

**ELEKTRO-EROZYON İLE İŞLEMEDE  
İŞPARÇASINA UYGULANAN TİTREŞİMLERİN  
İŞLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**ALİ ÖZGEDİK**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2009  
ANKARA**



**ELEKTRO-EROZYON İLE İŞLEMEDE  
İŞPARÇASINA UYGULANAN TİTREŞİMLERİN  
İŞLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**ALİ ÖZGEDİK**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2009  
ANKARA**

Ali ÖZGEDİK tarafından hazırlanan ELEKTRO-EROZYON İLE İŞLEMEDE İŞPARÇASINA UYGULANAN TİTREŞİMLERİN İŞLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Can ÇOĞUN

Tez Danışmanı, Makina Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bedri TUÇ

Makina Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Can ÇOĞUN

Makina Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Nizami AKTÜRK

Makina Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Haluk DARENDELİLER

Makina Müh. Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Tarih: 26 / 06 / 2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ali ÖZGEDİK

**ELEKTRO-EROZYON İLE İŞLEMEDE  
İŞPARÇASINA UYGULANAN TİTREŞİMLERİN  
İŞLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ  
(Doktora Tezi)**

**Ali ÖZGEDİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Haziran 2009**

**ÖZET**

Bu çalışmada, Elektro Erozyon ile İşleme (EEİ) tekniğinin kararlılığını ve performans çıktılarını iyileştirmek amacı ile işleme haznesine ve işparçasına uygulanan farklı frekanstaki titreşimlerle değişik işleme koşullarında (boşalım akımı, vurum süresi ve işleme derinliği) deneyler yapılmıştır. İşleme haznesi titreşimli (İHT-EEİ) deneylerde ve işparçası titreşimli (İT-EEİ) deneylerde titreşimsiz koşullara göre elektrot aşınma hızı (EAH) ve bağıl aşınma (BA) değerlerinde azalma elde edilmiştir. Titreşimli deneylerde işparçası işleme hızı (İİH) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) değerlerinde daha küçük artış ve azalmalar tespit edilmiştir. Değişik işleme derinliklerinde işparçasına uygulanan titreşimler ile yapılan deneylerde frekans değerlerindeki artışların özellikle yüksek akım değerlerinde İİH değerlerinde artış, EAH, BA ve  $R_a$  değerlerinde azalma sağladığı tespit edilmiştir. İHT-EEİ tekniğinde işleme haznesinin istenen frekans ve genlik değerlerinde titreştirilememesinden dolayı İT-EEİ tekniğinin EEİ alanında daha etkin olabileceği deneysel sonuçlardan anlaşılmıştır.

**Bilim Kodu** : 914.1.140  
**Anahtar Kelimeler** : Elektro erozyon ile işleme, işleme haznesi titreşimi,  
işparçası titreşimi, işleme performansı  
**Sayfa Adedi** : 218  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Can ÇOĞUN

**AN INVESTIGATION ON THE EFFECT OF THE APPLIED WORKPIECE  
VIBRATIONS ON THE MACHINING PERFORMANCE IN ELECTRICAL  
DISCHARGE MACHINING  
(Ph. D. Thesis)**

**Ali ÖZGEDİK**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
June 2009**

**ABSTRACT**

In this study, vibrations with different frequencies are applied to workpiece for improving the electrical discharge machining stability and performance outputs. Experiments are conducted with different machining conditions such as discharge current, pulse duration and machining depth. Tool wear rate (TWR) and relative wear (RW) are dropped at experiments with machining tank vibration (MTV-EDM) and workpiece vibration (WV-EDM), when compared to experiments without vibrations. According to the results of experiment with vibration, increase in workpiece removal rate (WRR), and drop at surface roughness of workpiece ( $R_a$ ) are less compared improvements at other parameters. Experiments conducted by applying vibrations on the workpiece at various machining depth clearly demonstrate that increasing frequency values especially at high current values results in an increase in WRR values and decrease in TWR, RW,  $R_a$  values. Since the vibration of the machining tank at the desired frequency and amplitude is not technically practical, it is realized from the experimental results that the use of WV-EDM technique seems to be much more promising in EDM field.



**Science Code** : 914.1.140  
**Key Words** : Electrical discharge machining, machining tank  
vibration, workpiece vibration, machining performance  
**Page Number** : 218  
**Adviser** : Prof. Dr. Can ÇOĞUN

## TEŞEKKÜR

Akademik çalışmalarım süresince engin bilgi birikimi ve değerli katkıları ile beni yönlendiren, sosyal yaşantıma yönelik kıymetli yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam ve danışmanım Prof. Dr. Can ÇOĞUN'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Değerli vakitlerini ayırarak tezime katkıda bulunan tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Nizami AKTÜRK ve Prof. Dr. Haluk DARENDELİLER'e, çalışmada kullanılan titreşim ünitelerinin temininde destek olan Gazi Üniversitesi (BAP 06/2006-1) ve TÜBİTAK (Hızlı Destek 106M336) kurumlarının ilgili birimlerine ve bu destekte hakkı olan herkese teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bütün bilgi ve olanaklarını benimle paylaşan çok değerli dostum Uzman Aydın Gökçe ve sevgili ağabeyim Teknisyen Kadir Yılmaz'a, deney numunelerinin üretiminde yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşım Öğr. Gör. Dr. Hakan GÜRÜN'e, lisansüstü çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Bugüne kadar hem bana hem de vakit ayırmakta zorlandığım eşime ve çocuklarıma her açıdan destek olan, hiçbir zaman emeğini esirgemeyen babam Öğr. Gör. İlker ÖZGEDİK'e, annem Memduha ÖZGEDİK'e, ve sevgili kardeşim Gülsüm ÖZGEDİK'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca hiçbir fedakarlıktan kaçınmadan maddi ve manevi her türlü konuda bana destek olan sevgili eşim Edaviye ÖZGEDİK'e, akademik çalışmalarımın yoğunluğuna bağlı olarak kendileri ile gerektiği kadar zaman geçiremediğimi düşündüğüm, ancak bu duruma küçük yaşlarına rağmen büyük bir olgunlukla anlayış gösteren ve bu çalışmayı atfettiğim sevgili çocuklarım Ahmet Eren ve Ayşe İrem'e sevgi ve şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| ÖZET .....   | iv           |
| ABSTRACT .....   | vi           |
| TEŞEKKÜR.....  | viii         |
| İÇİNDEKİLER .....  | ix           |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....  | xii          |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....  | xiii         |
| RESİMLERİN LİSTESİ.....  | xx           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....   | xxi          |
| 1. GİRİŞ.....  | 1            |
| 2. ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME (EEİ) YÖNTEMİ.....                       | 32           |
| 2.1. EEİ ile İşleme Tipleri.....                                       | 33           |
| 2.2. EEİ ile İşlemenin Fiziksel Prensibi .....                         | 35           |
| 2.3. EEİ ile İşlemenin Temel Parametreleri.....                        | 37           |
| 2.3.1. Elektriksel parametreler.....                                   | 37           |
| 2.3.2. Vurum jeneratörü karakteristikleri .....                        | 39           |
| 2.3.3. Dielektrik sıvı parametreleri .....                             | 41           |
| 2.3.4. İşparçası malzemesinin fiziksel özellikleri.....                | 45           |
| 2.3.5. Elektrot malzemesinin fiziksel özellikleri .....                | 45           |
| 2.3.6. İşparçası ve elektrodun boyutsal ve geometrik özellikleri ..... | 46           |
| 2.4. EEİ ile İşlemede Performans Karakteristikleri.....                | 46           |
| 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN DENEY DÜZENEKLERİ .....                        | 48           |
| 3.1 Dielektrik Sıvı, İşparçası ve Elektrot .....                       | 50           |

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| 3.1.1. Dielektrik sıvı .....   | 50           |
| 3.1.2. İşparçası .....   | 50           |
| 3.1.3. Elektrot .....  | 51           |
| 3.2. Elektro Erozyon Tezgahı .....   | 52           |
| 3.2.1. Tezgah kontrol panosu .....   | 52           |
| 3.2.2. Tezgah gazyağı tankı .....  | 53           |
| 3.2.3. Tezgah başlığı .....  | 53           |
| 3.2.4. Tezgah işleme haznesi .....   | 54           |
| 3.3. Titreşim Sistemi .....  | 55           |
| 3.3.1. Bilgisayar (Dizüstü Bilgisayar-Notebook) .....                          | 55           |
| 3.3.2. Sarsıcı (Shaker-Vibration Exciter) .....                                | 55           |
| 3.3.3. Yükseltici (Amplifikatör-Power Amplifier) .....                         | 56           |
| 3.3.4. Kontrol ünitesi (Controller) .....                                      | 56           |
| 3.3.5. Mini ivmeölçer (Miniature Accelerometer) .....                          | 57           |
| 3.3.6. Soğutucu fan (Fan Kit-Air Cooling) .....                                | 57           |
| 3.4. İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği .....                                      | 58           |
| 3.5. İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği .....                                       | 62           |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....  | 66           |
| 4.1. İHT-EEİ Deney Parametreleri .....   | 66           |
| 4.2. İT-EEİ Deney Parametreleri .....  | 67           |
| 4.2.1. Temel titreşim frekans değerleri (TTFD) grubu deney parametreleri ..... | 67           |
| 4.2.2. Titreşim frekansı ara değerleri (TFAD) grubu deney parametreleri .....  | 69           |

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| 4.2.3. İşleme derinliği (İD) grubu deney parametreleri.....               | 70           |
| 4.3. EEİ Performans Çıktılarının Tespit Edilmesi .....                    | 71           |
| 4.3.1. İİH değerinin tespiti.....   | 71           |
| 4.3.2. EAH değerinin tespiti .....  | 71           |
| 4.3.3. İşparçası R <sub>a</sub> değerinin tespiti.....                    | 71           |
| 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....                                    | 73           |
| 5.1. İşleme Haznesi Titreşimli EEİ (İHT-EEİ) Deney Sonuçları.....         | 73           |
| 5.2. İşparçası Titreşimli EEİ (İT-EEİ) Deney Sonuçları .....              | 85           |
| 5.2.1. Temel titreşim frekans değerleri (TTFD) grubu deney sonuçları..... | 85           |
| 5.2.2. Titreşim frekansı ara değerleri (TFAD) grubu deney sonuçları.....  | 123          |
| 5.2.3. İşleme derinliği (İD) grubu deney sonuçları .....                  | 133          |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....   | 147          |
| 6.1. Sonuçlar .....   | 147          |
| 6.2. Öneriler .....   | 151          |
| KAYNAKLAR .....   | 152          |
| EKLER .....   | 160          |
| EK-1 Sarsıcı Teknik Özellikleri.....                                      | 161          |
| EK-2 Yükseltici Teknik Özellikleri.....                                   | 162          |
| EK-3 İvmeölçer Teknik Özellikleri .....                                   | 163          |
| EK-4 İHT-EEİ Deney Düzenekini Oluşturan Parçaların Kütleleri .....        | 164          |
| EK-5 İHT-EEİ Tekniği Deney Düzenekini Oluşturan Parçaları .....           | 166          |
| EK-6 İT-EEİ Deney Düzenekini Oluşturan Parçaların Kütleleri .....         | 180          |
| EK-7 İT-EEİ Tekniği Deney Düzenekini Oluşturan Parçaları.....             | 181          |
| EK-8 Deney Sistematiği .....  | 201          |
| EK-9 İHT-EEİ Tekniği Deney Verileri .....                                 | 211          |
| EK-10 İHT-EEİ Tekniği TTFD Grubu Deney Verileri .....                     | 212          |
| EK-11 İHT-EEİ Tekniği TFAD Grubu Deney Verileri .....                     | 214          |
| EK-12 İHT-EEİ Tekniği İD Grubu Deney Verileri.....                        | 215          |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 217          |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| <b>Çizelge</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Çizelge 3.1. Deney düzeneklerini oluşturan parçalar .....                   | 49           |
| Çizelge 3.2. İşparçası malzemesi alaşım elementleri .....                   | 50           |
| Çizelge 3.3. İHT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları.....                  | 61           |
| Çizelge 3.4. İT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları .....                  | 65           |
| Çizelge 4.1. İHT-EEİ deney parametreleri .....                              | 66           |
| Çizelge 4.2. İHT-EEİ deney seti tasarımı .....                              | 67           |
| Çizelge 4.3. TTFD grubu deney parametreleri.....                            | 68           |
| Çizelge 4.4. Vurum çevrim süresi-işparçası titreşim frekansı eşleşmesi..... | 68           |
| Çizelge 4.5. TTFD grubu deney setleri .....                                 | 68           |
| Çizelge 4.6. TFAD grubu deney parametreleri.....                            | 69           |
| Çizelge 4.7. TFAD grubu deney parametreleri.....                            | 69           |
| Çizelge 4.8. İD grubu deney parametreleri .....                             | 70           |
| Çizelge 4.9. İD grubu deney setleri.....                                    | 70           |
| Çizelge 5.1. İHT-EEİ deney sonuçları .....                                  | 73           |
| Çizelge 5.2. TTFD grubu deney sonuçları .....                               | 85           |
| Çizelge 5.3. TFAD grubu deney sonuçları .....                               | 123          |
| Çizelge 5.4. İD grubu deney sonuçları.....                                  | 133          |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil  | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 1.1. MEEİ ile delmede gaz kabarcıklarının sıkışması.....                 | 14    |
| Şekil 1.2. UTE ile yapılan EEİ (UTE-EEİ).....                                  | 15    |
| Şekil 1.3. UTE-EEİ'nin İİH ve EAH üzerindeki etkisi .....                      | 16    |
| Şekil 1.4. UTE-MEEİ'nin İİH üzerindeki etkisi .....                            | 17    |
| Şekil 1.5. UTE-MEEİ'nin işleme süresi ve elektrot aşınmasına etkisi.....       | 18    |
| Şekil 1.6. Döner elektrot, titreşimli elektrot, döner-titreşimli elektrot..... | 18    |
| Şekil 1.7. Gaz ortamda UİT-EEİ.....  | 19    |
| Şekil 1.8. Bir boşalım ile oluşan krater kesit görünüşü.....                   | 21    |
| Şekil 1.9. Gaz ortamda UİT-EEİ'de yüzey pürüzlülüğü oluşumu.....               | 21    |
| Şekil 1.10. UİT-MEEİ'de işleme atıklarının uzaklaştırılması.....               | 22    |
| Şekil 1.11. UİT-MEEİ'de titreşim frekansının işleme süresine etkisi.....       | 23    |
| Şekil 1.12. UİT-MEEİ'de titreşim genliğinin işleme süresine etkisi .....       | 24    |
| Şekil 1.13. UİT-MEEİ'de uygulanan bir deney sistemi .....                      | 24    |
| Şekil 1.14. MEEİ ve UİT-MEEİ'de oluşan vurum zincirleri.....                   | 24    |
| Şekil 1.15. UİT-MEEİ'de titreşim genliğinin işleme derinliğine etkisi .....    | 25    |
| Şekil 1.16. UİT-MEEİ deney düzeneği .....                                      | 26    |
| Şekil 1.17. Dielektrik sıvının ultrasonik titreşimi ile MEEİ .....             | 26    |
| Şekil 1.18. Kapasitans değişim derinliği.....                                  | 27    |
| Şekil 1.19. EEİ'de oluşan ikincil boşalım ve elektrot aşınması .....           | 27    |
| Şekil 1.20. MEEİ ve UİT-MEEİ'de oluşan vurum zincirleri.....                   | 28    |
| Şekil 2.1. EEİ'nin şematik görünüşü.....                                       | 32    |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 2.2. EEİ tezgahının ana kısımları .....   | 33           |
| Şekil 2.3. EEİ ile delme ve oyma yöntemi .....  | 34           |
| Şekil 2.4. EEİ ile kesme yöntemi.....   | 34           |
| Şekil 2.5. EEİ ile taşlama yöntemi.....   | 34           |
| Şekil 2.6. EEİ ile işlemenin fiziksel prensibi .....  | 36           |
| Şekil 2.7. Plazma kanalı.....   | 36           |
| Şekil 2.8. Gerilim kontrollü bir vuruş jeneratöründe vuruşların gerilim ve akım dalga biçimleri ..... | 37           |
| Şekil 2.9. RC jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı .....                                      | 39           |
| Şekil 2.10. RC jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi.....  | 40           |
| Şekil 2.11. Döner vuruş jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı.....                             | 40           |
| Şekil 2.12. Döner vuruş jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi .....                                | 40           |
| Şekil 2.13. Isopulse jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı .....                               | 41           |
| Şekil 2.14. Isopulse jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi .....                                   | 41           |
| Şekil 2.15. Dielektrik sıvı uygulama yöntemleri.....  | 43           |
| Şekil 2.16. Elektrot ve işparçası boyutları arasındaki ilişki .....                                   | 46           |
| Şekil 3.1. İşparçası ölçüleri .....   | 50           |
| Şekil 3.2. Elektrot ölçüleri.....   | 51           |
| Şekil 3.3. İHT-EEİ tekniği şematik görünümü.....  | 58           |
| Şekil 3.4. İT-EEİ tekniği şematik görünümü .....  | 62           |
| Şekil 4.1. İşparçası yüzey pürüzlülüğü ölçüm planı.....   | 72           |
| Şekil 5.1. İHT-EEİ'de boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ ).....                 | 75           |
| Şekil 5.2. İHT-EEİ'de boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )...75                 | 75           |



| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 5.3. İHT-EEİ'de boşalım akımının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ ) .....    | 76           |
| Şekil 5.4. İHT-EEİ'de boşalım akımının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ ) ..... | 76           |
| Şekil 5.5. İHT-EEİ'de vurum süresinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=6 A$ ) .....          | 79           |
| Şekil 5.6. İHT-EEİ'de vurum süresinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=6 A$ ) .....          | 79           |
| Şekil 5.7. İHT-EEİ'de vurum süresinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=6 A$ ) .....           | 80           |
| Şekil 5.8. İHT-EEİ'de vurum süresinin $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=6 A$ ) .....        | 80           |
| Şekil 5.9. İHT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi .....                   | 83           |
| Şekil 5.10. İHT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi .....                  | 83           |
| Şekil 5.11. İHT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi .....                   | 84           |
| Şekil 5.12. İHT-EEİ'de titreşim frekansının $R_a$ üzerindeki etkisi .....                | 84           |
| Şekil 5.13. İT-EEİ'de boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ ) .....   | 87           |
| Şekil 5.14. İT-EEİ'de boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ ) .....   | 87           |
| Şekil 5.15. İT-EEİ'de boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ ) .....   | 88           |
| Şekil 5.16. İT-EEİ'de boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ )....     | 89           |
| Şekil 5.17. İT-EEİ'de boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )....     | 89           |
| Şekil 5.18. İT-EEİ'de boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )....     | 90           |
| Şekil 5.19. İT-EEİ'de boşalım akımının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ ) .....    | 91           |
| Şekil 5.20. İT-EEİ'de boşalım akımının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ ) .....    | 91           |
| Şekil 5.21. İT-EEİ'de boşalım akımının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ ) .....    | 92           |
| Şekil 5.22. İT-EEİ'de boşalım akımının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ ).....  | 93           |
| Şekil 5.23. İT-EEİ'de boşalım akımının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ ).....  | 93           |
| Şekil 5.24. İT-EEİ'de boşalım akımının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ ).....  | 94           |
| Şekil 5.25. İT-EEİ'de vurum süresinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=6 A$ ).....           | 96           |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 5.26. İT-EEİ'de vuruş süresinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A).....                 | 96           |
| Şekil 5.27. İT-EEİ'de vuruş süresinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A).....                 | 97           |
| Şekil 5.28. İT-EEİ'de vuruş süresinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$ A).....                  | 98           |
| Şekil 5.29. İT-EEİ'de vuruş süresinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A).....                 | 99           |
| Şekil 5.30. İT-EEİ'de vuruş süresinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A).....                 | 99           |
| Şekil 5.31. İT-EEİ'de vuruş süresinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=6$ A).....                   | 100          |
| Şekil 5.32. İT-EEİ'de vuruş süresinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A).....                  | 101          |
| Şekil 5.33. İT-EEİ'de vuruş süresinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A).....                  | 101          |
| Şekil 5.34. İT-EEİ'de vuruş süresinin $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=6$ A).....                | 103          |
| Şekil 5.35. İT-EEİ'de vuruş süresinin $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A).....               | 103          |
| Şekil 5.36. İT-EEİ'de vuruş süresinin $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A).....               | 104          |
| Şekil 5.37. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$ A).....             | 107          |
| Şekil 5.38. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A).....            | 107          |
| Şekil 5.39. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A).....            | 108          |
| Şekil 5.40. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=100$ $\mu$ s) .        | 108          |
| Şekil 5.41. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=200$ $\mu$ s) .        | 109          |
| Şekil 5.42. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=400$ $\mu$ s) .        | 109          |
| Şekil 5.43. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$ A)....              | 112          |
| Şekil 5.44. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A) ..              | 112          |
| Şekil 5.45. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A) ..              | 113          |
| Şekil 5.46. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi<br>( $t_s=100$ $\mu$ s) ..... | 113          |
| Şekil 5.47. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi<br>( $t_s=200$ $\mu$ s) ..... | 114          |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 5.48. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi<br>( $t_s=400 \mu s$ ) .....   | 114          |
| Şekil 5.49. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $i_d=6 A$ ).....  | 116          |
| Şekil 5.50. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12 A$ ).....   | 116          |
| Şekil 5.51. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25 A$ ).....   | 117          |
| Şekil 5.52. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ ) .   | 117          |
| Şekil 5.53. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ ) .   | 118          |
| Şekil 5.54. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ ) .   | 118          |
| Şekil 5.55. İT-EEİ'de titreşim frekansının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=6 A$ ) .....  | 120          |
| Şekil 5.56. İT-EEİ'de titreşim frekansının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=12 A$ ) .....   | 120          |
| Şekil 5.57. İT-EEİ'de titreşim frekansının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=25 A$ ) .....   | 121          |
| Şekil 5.58. İT-EEİ'de titreşim frekansının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ )..  | 121          |
| Şekil 5.59. İT-EEİ'de titreşim frekansının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )..  | 122          |
| Şekil 5.60. İT-EEİ'de titreşim frekansının $R_a$ üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )..  | 122          |
| Şekil 5.61. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin İİH üzerindeki<br>etkisi ( $i_d=12 A$ , $t_s=200 \mu s$ ) .....                                | 125          |
| Şekil 5.62. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin İİH üzerindeki<br>etkisi ( $i_d=25 A$ , $t_s=200 \mu s$ ) .....                                | 125          |
| Şekil 5.63. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin İİH üzerindeki<br>etkisi ( $i_d=12 A$ , $t_s=200 \mu s$ & $i_d=25 A$ , $t_s=200 \mu s$ ) ..... | 126          |
| Şekil 5.64. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin EAH üzerindeki<br>etkisi ( $i_d=12 A$ , $t_s=200 \mu s$ ) .....                                | 127          |
| Şekil 5.65. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin EAH üzerindeki<br>etkisi ( $i_d=25 A$ , $t_s=200 \mu s$ ) .....                                | 128          |
| Şekil 5.66. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin EAH üzerindeki<br>etkisi ( $i_d=12 A$ , $t_s=200 \mu s$ & $i_d=25 A$ , $t_s=200 \mu s$ ) ..... | 128          |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 5.67. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                                    | 129          |
| Şekil 5.68. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                                    | 130          |
| Şekil 5.69. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s & $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....    | 130          |
| Şekil 5.70. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                                 | 131          |
| Şekil 5.71. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                                 | 132          |
| Şekil 5.72. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin $R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s & $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) ..... | 132          |
| Şekil 5.73. İT-EEİ'de işleme derinliğinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....  | 135          |
| Şekil 5.74. İT-EEİ'de işleme derinliğinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....  | 136          |
| Şekil 5.75. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                 | 136          |
| Şekil 5.76. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                 | 137          |
| Şekil 5.77. İT-EEİ'de işleme derinliğinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....  | 139          |
| Şekil 5.78. İT-EEİ'de işleme derinliğinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....  | 139          |
| Şekil 5.79. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                 | 140          |
| Şekil 5.80. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                 | 140          |
| Şekil 5.81. İT-EEİ'de işleme derinliğinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....   | 142          |

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 5.82. İT-EEİ'de işleme derinliğinin BA üzerindeki etkisi<br>( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                                    | 142          |
| Şekil 5.83. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için<br>BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....   | 143          |
| Şekil 5.84. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için<br>BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....   | 143          |
| Şekil 5.85. İT-EEİ'de işleme derinliğinin $R_a$ üzerindeki etkisi<br>( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                                 | 145          |
| Şekil 5.86. İT-EEİ'de işleme derinliğinin $R_a$ üzerindeki etkisi<br>( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s) .....                                 | 145          |
| Şekil 5.87. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için<br>$R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=12$ A, $t_s=200$ $\mu$ s)..... | 146          |
| Şekil 5.88. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için<br>$R_a$ üzerindeki etkisi ( $i_d=25$ A, $t_s=200$ $\mu$ s)..... | 146          |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| <b>Resim</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Resim 3.1. İşparçası .....   | 51           |
| Resim 3.2. Elektrot.....   | 51           |
| Resim 3.3. EDM M 25 A elektro erozyon tezgahı .....                      | 52           |
| Resim 3.4. Tezgah kontrol panosu .....                                   | 53           |
| Resim 3.5. Tezgah başlığı .....  | 54           |
| Resim 3.6. Tezgah işleme haznesi .....                                   | 54           |
| Resim 3.7. IBM ThinkPad R40e model bilgisayar .....                      | 55           |
| Resim 3.8. LDS V406/8 model sarsıcı .....                                | 55           |
| Resim 3.9. LDS PA 100E model yükseltici .....                            | 56           |
| Resim 3.10. LDS-Dactron marka COMET USB Shaker Control System .....      | 56           |
| Resim 3.11. PCB PIEZOTRONICS marka 352C22 model mini ivmeölçer....       | 57           |
| Resim 3.12. Multi-Stage 9MS8 model soğutucu fan .....                    | 57           |
| Resim 3.13. İHT-EEİ tekniğine ait deney düzeneğinin genel görünümü ..... | 59           |
| Resim 3.14. İHT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları.....                | 60           |
| Resim 3.15. İT-EEİ tekniğine ait deney sisteminin genel görünümü .....   | 63           |
| Resim 3.16. İT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları .....                | 64           |
| Resim 4.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı .....                          | 72           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Simgeler | Açıklama  |
|----------|---|
| $f_c$    | Vurum frekansı, vurum/s                             |
| $f_v$    | Titreşim frekansı, Hz                               |
| $h$      | İşleme derinliği, mm                                |
| $i$      | Ortalama çalışma akımı, amper                       |
| $i_d$    | Boşalım akımı, amper                                |
| $L_c$    | Örnekleme uzunluğu, mm                              |
| $L_n$    | Ölçüm uzunluğu, mm                                  |
| $L_t$    | Travers uzunluğu, mm                                |
| $P$      | Dielektrik sıvı basıncı, bar                        |
| $P_d$    | Boşalım gücü, watt                                  |
| $R_a$    | İşparçası ortalama yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$ |
| $t_c$    | Vurum çevrim süresi, $\mu\text{s}$                  |
| $t_d$    | Boşalım süresi, $\mu\text{s}$                       |
| $t_l$    | Gecikme süresi, $\mu\text{s}$                       |
| $t_m$    | İşleme süresi, dakika                               |
| $t_p$    | Bekleme süresi, $\mu\text{s}$                       |
| $t_s$    | Vurum süresi, $\mu\text{s}$                         |
| $V$      | Ortalama çalışma gerilimi, volt                     |
| $V_d$    | Boşalım gerilimi, volt                              |
| $V_o$    | Açık devre gerilimi, volt                           |
| $W_s$    | Vurum enerjisi, joule                               |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>                             |
|--------------------|---|
| <b>BA</b>          | Bağıl aşınma, %                             |
| <b>EAH</b>         | Elektrot Aşınma Hızı, mm <sup>3</sup> /dak  |
| <b>EEİ</b>         | Elektro Erozyon ile İşleme                  |
| <b>İD</b>          | İşleme Derinliği                            |
| <b>İHT</b>         | İşleme Haznesi Titreşimli                   |
| <b>İHT-EEİ</b>     | İşleme Haznesi Titreşimli EEİ               |
| <b>İİH</b>         | İşparçası İşleme Hızı, mm <sup>3</sup> /dak |
| <b>İT</b>          | İşparçası Titreşimli                        |
| <b>İT-EEİ</b>      | İşparçası Titreşimli EEİ                    |
| <b>LBM</b>         | Lazer ile İşleme                            |
| <b>MEEİ</b>        | Mikro EEİ                                   |
| <b>MMD</b>         | Mikro Mekanik Delme                         |
| <b>MP</b>          | Mikro Punching                              |
| <b>MUSM</b>        | Mikro USM                                   |
| <b>TFAD</b>        | Titreşim Frekansı Ara Değerleri             |
| <b>TM</b>          | Toz Metalurjisi                             |
| <b>TTFD</b>        | Temel Titreşim Frekans Değerleri            |
| <b>UİT-EEİ</b>     | Ultrasonik İşparçası Titreşimli EEİ         |
| <b>UİT-MEEİ</b>    | Ultrasonik İşparçası Titreşimli MEEİ        |
| <b>USM</b>         | Ultrasonik İşleme                           |
| <b>UTE</b>         | Ultrasonik Titreşimli Elektrot              |
| <b>UTE-EEİ</b>     | Ultrasonik Titreşimli Elektrot ile EEİ      |
| <b>UTE-MEEİ</b>    | Ultrasonik Titreşimli Elektrot ile MEEİ     |



## 1. GİRİŞ

Endüstride ihtiyaç duyulan yüksek kalitede kalıp ve takım imalatındaki isteklerin sürekli artması, değişik teknolojilerin bu alanda uygulanması zorunluluğunu da beraberinde getirmiştir. Günümüz teknolojisinde Elektro-Erozyon İle İşleme (EEİ) bu alanda yaygın olarak kullanılan alışılmamış imal usullerinden birisidir. EEİ, dielektrik sıvı içerisinde elektrot ile işparçası arasında oluşan elektriksel boşalımın işparçası yüzeyinden çok küçük bir hacmi aşındırması esasına dayanır. İletken elektrot (erkek kalıp), işparçasında (dişi kalıp) oluşturulacak boşluğa göre hazırlanır. EEİ sıklıkla, çok sert, kırılğan, yüksek mukavemetli, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelere uygulanmaktadır. Elektrot ile işparçası arasında doğrudan fiziksel temas olmadan ve işparçasına mekanik gerilme uygulanmadan işlemenin yüksek doğruluk ve hassasiyetle gerçekleştirilebilmesi bu yöntemi günümüz kalıp üretiminin ana metotlardan biri yapmıştır. Elektriksel kıvılcımın aşındırma etkisi ilk olarak 1768 yılında İngiliz bilim adamı Priestly tarafından keşfedilmiştir. Elektrik kontağındaki aşındırıcı etkiyi azaltmak için yapılan çalışmalar sırasında Rus bilim adamları B.R. ve N.I. Lazarenko 1943 yılında elektriksel kıvılcımın aşındırıcı etkisini olumlu yönde kullanmaya karar vermişler ve metal işleme için bir metot geliştirmişlerdir. Bu amaçla Lazarenko devresi olarak bilinen kıvılcım jeneratör devresi ile ilk EEİ tezgahını oluşturmuşlardır. Bu jeneratör devresinin geliştirilmiş şekli mevcut birçok erozyon tezgahında kullanılmaktadır [1].

Mevcut yöntemlerle işlenmesi çok zor olan metallerin bu yöntemle işlenmesi zaman ve maliyet açısından büyük kazançlar sağlamaktadır [2]. Günümüzde EEİ yöntemi ile üretilen pres kalıpları, enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, civata başı dövme kalıpları, toz sıkıştırma kalıpları bu yöntemin kullanıldığı genel örneklerdendir [3]. Bunların yanı sıra 30-50 µm çapındaki döner elektrotla deliklerin işlenmesi [4], dielektrik sıvı içerisine karıştırılmış metal tozları ile yüzey bitirme işlemi [5], kompozit elektrotla

yüzey modifikasyonu [6], çevresel işleme [7] gibi EEİ yönteminin kullanım alanını genişletmek için yapılmış çalışmalar mevcuttur.

EEİ işleminde karşılaşılan temel problemler şunlardır:

1) EEİ'de talaş kaldırma, işparçası malzemesinin ergimesi ve buharlaşması ile gerçekleşmektedir [8]. İşleme esnasında işparçasından talaş kaldırılırken aynı zamanda elektrodun da aşındığı gözlenmektedir [9, 10].

2) İşparçasının ve elektrodun işleme yüzeylerinde hızlı soğuyarak katılaşmış bir bölge (tabaka) oluşur. Bunun sonucu olarak elektrot ve işparçası çiftinin bu bölgede sertlik ve kimyasal bileşiminde değişiklik oluşur [8]. Bunun yanı sıra bu tabakanın altında ısıl etkilenmiş çok katmanlı bir bölge oluşur. Bu bölgelerden işparçası yüzeyine yakın olan kısım beyaz tabaka olarak anılır. Bu tabaka çok yüksek sertliğe ve çok kırılğan bir yapıya sahiptir. Beyaz tabaka yüzeyinde mikro çatlaklar ve gözenekler oluşur [11-13].

3) Dielektrik sıvı uygulama şeklinin ve hızının yeterli olmaması halinde işleme aralığında işleme atıklarının meydana getirdiği aşırı bölgesel kirlenme nedeniyle işparçası ile elektrot arasında kısa devre ve ark tipi vurumların oluşumunun arttığı belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak işparçası işleme hızında (İİH) düşüş, elektrot aşınma hızında (EAH) ve bağıl aşınmada (BA) artış, kötü yüzey kalitesi ve tolerans dışı boyutlar elde edilir [10, 14, 15]. 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 artar [13].

4) İşlem esnasında elektrodun ısıl genişmesi ve kaba işleme ile bitirme işlemleri arasında elektrot değişimi esnasındaki aksenal sapmalar, istenen işleme ölçülerinin dışında sonuçların elde edilmesine neden olur [13].

Bunun yanı sıra, EEİ tekniği ile ilgili olarak bu güne kadar geçen süreç içerisinde EEİ ile işlemenin temel parametreleri ile ilgili ve bu işleme tekniğini geliştirmeye yönelik farklı araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada bu araştırmalar iki başlık altında sunulmuştur.

### EEİ ile ilgili temel çalışmalar

Tek bir kıvılcımın noktasal bir ısı kaynağı olarak kullanıldığı teorik ve deneysel bir çalışmada elektrot ve işparçası yüzeyinde oluşan bir kraterin teorik modeli oluşturulmuştur [16]. Bu modelde, elektrot ve işparçasından buharlaşan, ergiyen ve ergiyip krater etrafına dağılan malzeme miktarı bulunmuştur. Ayrıca tek bir kıvılcım ile yapılan deneysel inceleme sonrasında dielektrik sıvı farklı kimyasal çözücüler kullanılarak elektrot ve işparçası malzemelerinden ayrıştırılmış, elde edilen sonuçlar teorik modelin sayısal sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Diğer bir çalışmada, dielektrik sıvının işleme aralığındaki akışından kaynaklanan üç farklı akış alanı için Navier-Stokes ve süreklilik denklemi kullanılarak [17], işleme aralığındaki basınç alanının, hız alanının ve kuvvetlerin geometrik parametrelerin fonksiyonu olarak ifadesi sunulmuştur. Deneysel sonuçlardan elektrot ön yüzey açısının elektrot çapındaki azalma ve dielektrik sıvının debisindeki artış ile arttığı anlaşılmıştır. Debideki artışın talaş kaldırma hızını fazla arttırmamasına rağmen elektrot aşınma hızını arttırdığı belirtilmiştir. Püskürtme tipi dielektrik sıvı uygulamasında iç köşe yarıçap değerinin dış köşe yarıçap değerinden fazla olduğu, emme tipinde ise bunun tam tersi bir durumun söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, dielektrik akış yönünün ve dielektrik sıvı debisinin farklılığından kaynaklanan gaz hacmi, bölgesel kirlilik ve sıcaklıktaki azalmalar ile açıklanmıştır.

EEİ uygulamasına yönelik en uygun elektrot malzemesinin seçiminin elektrot sayısını ve elektrot üretim maliyetlerini azaltacağı ve işleme hızını arttıracığı bilinen bir gerçektir. Bu amaçla, saf metallerin yanı sıra metal alaşımlarının, metal ve ametal karışımlarının elektrot malzemesi olarak kullanılabilmesi için aşınma ve işleme hızları açısından incelemeleri yapılmış ve birbirlerine olan üstünlükleri belirtilmiştir [18]. Elektrot malzemesinin hangi özelliklerinin bağlı aşınma üzerinde daha etkili olduğunun araştırıldığı diğer bir çalışmada otuz beş farklı elektrot malzemesi ile dört farklı işparçası malzemesi denenmiştir [19]. Öncelikli sırası ile elektrot malzemesinin kohezif enerjisi, elektriksel direnci, mekanik dayanımı, tokluğu ve buharlaşma sıcaklığının ergime sıcaklığına oranının etkili özellikler olduğu tespit edilmiştir.

Bakır, bakır-tungsten, pirinç ve alüminyum gibi dört farklı elektrot malzemesinin kullanıldığı En-31 (T105 Cr1 Mn60) takım çeliği işparçası malzemesinin işlenmesinde bakır ve alüminyum yüksek işleme hızı ve dar kesme genişliği vermiştir. Düşük elektrot aşınması sıralamasında önce bakır daha sonra bakır-tungsten, alüminyum ve pirinç gelmiştir. Yüksek akım değerlerinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değerini bakır-tungsten elektrot verirken bunu bakır ve alüminyum elektrotlar izlemiştir. Çalışmanın genel sonucu olarak ise bütün kriterler incelendiğinde bakır elektrodun diğer malzemelere göre daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir [20].

EEİ'de işlemede önemli etkisi olan elektrostatik kuvvetin hesaplanması için genel bir ısı-elektrik modelin oluşturulduğu çalışmada, elektrostatik kuvvete bağlı olarak boşalım sırasında boşalım yüzeyinden malzemenin içerisine doğru oluşan gerilme dağılımı da incelenmiştir [21]. Elde edilen modele göre kısa süreli vurumlarda malzeme kaldırma işleminde elektrostatik kuvvetin, uzun süreli vurumlarda ise ergimenin daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Kaba, orta kaba ve bitirme işleme koşullarında beş farklı takım çeliği malzemesinin kullanıldığı deneysel bir çalışmada işlenmiş yüzeydeki tekrar katılmış tabakanın mikroyapısı incelenmiştir [22]. EEİ'de oluşmuş

katılaşmış tabakanın temel olarak üç farklı gruba ayrılabilceği (sırası ile kalın ve çok katmanlı tabaka, orta kalınlıkta tek katmanlı tabaka, niteliksiz ve metalin yapısal homojenitesini yansıtan tabaka) belirtilmiştir. Boşalım enerjisinin tekrar katılaşmış tabakanın ortalama kalınlığını ve tekrar katılaşmış farklı tabakaların dağılımını da etkilediği görülmüştür.

Bakır elektrot ve çelik işparçası çiftinin kullanıldığı, vuruş süresi ve boşalım gücünün sabit tutulduğu deneysel bir çalışmada boşalımlar arası bekleme süresinin vuruş zincirleri üzerindeki etkisi incelenmiştir [23]. Bekleme süresinin artışı ile boşalımlardaki ortalama gecikme süresinin ve aktif olmayan vuruşların oluşumunun azaldığı anlaşılmıştır. Uzun gecikme süreli boşalımların sayısının vuruş bekleme süresi ile arttığı tespit edilmiştir.

Elektrot ve işparçası malzemelerinin işleme performansı üzerindeki etkisinin teorik ve deneysel olarak incelendiği bir çalışmada fiziksel ve matematiksel olarak modellenmiş bir kıvılcımın işleme yapabilmesi için gerekli olan işleme ortamının bozunması (iyonizasyon), boşalım ve erozyonu (aşındırması) gibi aşamalar araştırılmıştır [24]. Teorik ve deneysel çalışmalar bozunum üzerinde en etkili unsurun dielektrik sıvı içerisinde askıda kalan ergiyip tekrar katılaşmış elektrot malzemesinin olduğunu göstermiştir. Boşalım aşamasının ise elektrot malzemesi buharı, işparçası malzemesi buharı ve dielektrik sıvı buharının oluşturduğu ortam ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Erozyonun ise boşalım koşulları, elektrot ve işparçası malzemesi özellikleri ve de dielektrik uygulama koşulları ile ilgili olduğu belirtilmiştir.

Farklı güç seviyesi, vuruş süresi ve bekleme süresi değerlerinin değişken parametreler olarak kullanıldığı bakır elektrot ile çelik işparçası deneylerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğu değerlerinin incelenmesinde boşalım süresinin artışının yüzey pürüzlülüğu değerlerini doğrudan etkilediği tespit edilmiştir [25].

5 mm çapında boydan dielektrik puskrtme deliğine sahip bakır elektrot ile yapılan işlemede, akımın artışı ile İİH, EAH ve BA'nın arttığı, vurum süresinin artışı ile İİH ve EAH değerlerinin arttığı, belirli bir vurum süresi değerinden sonra EAH değerinin kayda değer bir değişim göstermediği gözlenmiştir. Püskürtme basıncının belirli bir değere kadar artışı ile İİH ve EAH değerlerinin arttığı bu değerden sonra fazla değişmediği, vurum süresi ve basınçtaki artışın BA değerini azalttığı belirtilmiştir [26].

Pozitif kutuplanmış silindirik elektrotta başlangıçta oluşan köşe aşınması oranının n yüzey aşınmasından büyük olması gaz yağı bozunumu ile ağığa çıkan karbonun n yüzeye yapışarak koruyucu bir tabaka oluşturması ile açıklanırken, işlemenin ilerlemesi ile yüzeye yapışan karbon miktarının aşınma miktarı ile bir denge oluşturması sonucu n yüzey aşınmasının arttığı, yarıçap artışının azaldığı gözlenmiştir. Yarıçap artış miktarındaki azalmanın ağığa çıkan karbonun köşedeki yüzeye yapışmasına da bağlı olduğu belirtilmiştir. Karbonun elektrot yüzeyinde oluşturduğu tabakanın bu derece etkili olması ise elektrot yüzeyindeki bu yapının ısı iletkenliğinin düşük olması ile açıklanmıştır [27].

İki farklı işparçası malzemesinin kullanıldığı bir çalışmada [28], dielektrik sıvı hızlarının değişimine karşılık tekrar katılaşmış üç tipte tabakanın oluştuğu gözlenmiştir. Bunlardan birincisinin tek katmanlı ve 10 m kalınlıkta, ikincisinin tek katmanlı ve 10-20 m kalınlıkta, ncsnn ise çok katmanlı ve 20 m'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Mikro atlak yoğunluğunun iki katmanlı tipte en fazla olduğu, tek katmanlı tekrar katılaşmış tabakaların ısı iletkenlik katsayısı yüksek işparalarında daha az mikro çatlak oluşturma eğiliminde olduğu anlaşılmıştır.

Ortadan püskürtmeli kare kesitli bakır ve grafit elektrot kullanılarak yapılan deneylerde kaba işlemede elektrot n yüzeyi genişledikçe EAH ve İİH değerlerinin arttığı, bitirme işleminde ise işparçası ortalama yüzey

pürüzlülüğü ( $R_a$ ) değerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca bakır elektrotlarda grafitte göre daha iyi  $R_a$  elde edilmiştir [29].

Gaz yağı ve saf suyun kullanıldığı deneysel çalışmada [8], gaz yağı kullanımında işparçası yüzeyinde oluşan karbürün saf su kullanımında oluşan oksite göre daha yüksek ergime sıcaklığına, daha yüksek boşalım itme kuvvetine sahip olduğu ve bundan dolayı daha yüksek boşalım enerjisine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Tekrar katılan tabaka kalınlığının gaz yağı kullanımında daha büyük olduğu, yüzeydeki mikro çatlakların su kullanımında daha fazla olmasının sebebinin ise gaz yağı ve saf suyun ısı iletkenlik katsayıları ve soğutma oranları arasındaki farka bağlı olduğu ifade edilmiştir. Su ile işlemede ortamdaki oksijenden ötürü talaş boyutunun daha büyük olması işleme hızının da büyük olması sonucu ile örtüşmüştür.

Üç farklı işparçası malzemesi ile yapılan deneylerle gaz yağının bozunumu ile açığa çıkan karbonun işparçası yüzeyinde oluşturduğu karbürün, beyaz tabakadaki sertliğin ve karbon yüzdesinin ana malzemeden fazla olmasına neden olduğu tespit edilmiştir [12]. Aynı çalışmada su ile işlemede beyaz tabakadaki karbon yüzdesinin ana malzemeden daha az olması sudaki oksijenin işparçası yüzeyindeki karbon ile kimyasal gaz bileşimleri oluşturarak yüzeydeki karbon oranını düşürmesi nedeni ile açıklanmıştır.

Bakır, bakır-tungsten (%25 Cu) ve grafit elektrotlar kullanılarak yapılan deneylerde akımın artışı ile İİH değerinin bütün elektrotlarda arttığı, en yüksek İİH değerini grafit elektrodun sağladığı, yüksek akım aralığında ise en yüksek BA değerini bakır elektrodun verdiği gözlenmiştir. Düşük akım aralığında akımın artışı ile grafit elektrodun BA değeri azalmıştır. Yüzey bitirmede bakır elektrot en iyi pürüzlülük değerini vermiştir. Elektrot kutubu eksi olarak seçildiğinde daha yüksek İİH, daha düşük BA ve daha iyi yüzeyler elde edilmiştir [30].

HB 235 sertlik değerine sahip elik işparçası ve silindirik bakır elektrot ile yapılan deneylerde kk çaplı elektrotların akımın artışı ile meydana gelen ısıdan daha fazla etkilenererek büyük çaplı elektrotlara göre daha fazla aşındığı gözlenmiştir. İşleme aralığı arttıķa gerilimdeki artışın İİH ve EAH değerlerini önce arttırdığı sonra azalttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni gerilimin artışı ile boşalımların kararlılığının azalması ile ilişkilendirilmiştir [31].

Al-SiC metal anayapı kompozit malzemenin bir tek boşalımdan dolayı oluşan krater büyüklüğünün incelenmesi neticesinde boşalım enerjisindeki ve boşalım akımındaki artış ile krater çapının arttığı tespit edilmiştir [32].

Farklı dielektrik sıvı uygulama yöntemlerinin kullanıldığı, silindirik elektrolitik bakır elektrot ile SAE 1040 eliğinin işleme deneyleri neticesinde elektrot n yüzey açısının akımın artışı ile önce arttığı yüksek akım değerlerine ulaşıldığında küçüldüğü, akımdaki artışın i ve dış köşe yarıçaplarını belirgin olarak arttırdığı tespit edilmiştir. Vurum süresinin artışı elektrot n yüzey aşınma hızını ve n yüzey açısını arttırmış, dış ve i köşe yarıçap değerlerini azaltmıştır. En yüksek işleme hızları, emme uygulamasında, en düşük değerler ise statik durumda elde edilmiştir. Elektrot aşınma hızında en yüksek değerler püskürtmede elde edilirken, bunu sırasıyla emme ve statik durum izlemiştir. Elektrot n yüzey açısının, dış ve i köşe yarıçaplarının dielektrik sıvının işleme aralığına giriş yn ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Büyük açı değerleri püskürtmede, kk açı değerleri ise statik durumda grlmştir. İ köşe yarıçaplarının püskürtmede, dış köşe yarıçaplarının ise emmede büyük olduğu grlmştir. İşleme aralığına giren dielektriğin sıcaklığının, kirliliğinin ve gaz hacminin çıkış bölgesine göre daha az olması, giriş bölgesinde daha yüksek elektrot aşınmasına ve daha büyük köşe aşınma yarıçapına sebep olmuştur. Elektrotlardaki köşe aşınma geometrisi eksponansiyel fonksiyon ile modellenmiştir [15].



### EEİ tekniğini geliştirmek amacı ile yapılmış çalışmalar

Bu başlık altında EEİ ile işlemenin prensipleri çerçevesinde işleme performans çıktılarını iyileştirmek amacı ile tezgah-işparçası-elektrot üzerinde yapılmış modifikasyonlar ile ilgili literatür araştırması sunulmuştur.

Dönen silindirik bakır ve çinko elektrotların kullanıldığı Al-SiC metal anayapı kompozit malzemenin işlenmesi deneylerinde elektrodun dönme hareketinin durağan elektroda göre her koşulda yüksek İİH, düşük EAH ve düşük  $R_a$  değerleri sergilediği tespit edilmiştir [33].

İçinden oksijen püskürtmesi yapılan boru tipi döner bakır elektrot kullanılarak sementit karbür işparçası malzemesinin üç boyutlu EEİ frezelenmesi ile klasik EEİ frezeleme ve klasik dalma EEİ ile aynı geometrinin işlenmesinin kıyaslandığı deneylerde oksijen püskürtmeli yeni yöntem daha düşük elektrot aşınması göstermiştir [34]. Klasik dalma EEİ yöntemi işleme süresi olarak daha kısa sürmüş olsa da elektrot üretim süresinin göz önünde bulundurulduğunda oksijen püskürtmeli EEİ frezeleme tekniğinin daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Silindirik takım çeliği işparçasının kendi eksenine etrafındaki dönme hareketine karşılık bu eksene dik doğrultuda hareket eden bakır elektrottan oluşan EEİ deney düzeneği ile yapılmış olan deneyler neticesinde işparçasının dönme hareketinin daha yüksek işleme hızı ve daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri sağladığı belirtilmiştir [35]. Artan dönme hızı ile işleme hızının arttığı ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

Dönme hareketi ve et kalınlığının onda biri yarıçapında salınım hareketi yapan boru tipi bakır elektrodun içinden püskürtülen yüksek hızdaki gaz jetinin kullanıldığı deneylerde, ergimiş ve buharlaşmış malzemenin daha kısa sürede soğuduğu, oluşan talaşların işleme aralığından daha hızlı uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir [36]. Oksijen miktarının artırılması ile işleme

hızının arttığı, elektrot aşınma hızının gaz yağı ile işlemekten daha düşük olduğu, elektrot aşınma hızının vuruş süresinden bağımsız olduğu ve işleme yönünün yerçekiminden bağımsız olduğu tespit edilmiştir.

6061 Al alaşımı ve  $Al_2O_3$  ile takviyelendirilmiş metal ana yapı kompozit malzemenin yüzük şeklindeki döner bakır elektrot ile işlenmesinde  $Al_2O_3$  hacimsel oranının (%0, %10, %20) artışı ile İH değerinin azaldığı gözlenmiştir [37].

Bakır elektrot ve çelik işparçası seti ile dielektrik (gazyağı) içerisine karıştırılmış grafit ve borik asit tozlarının farklı konsantrasyon ve vuruş süreleri için işleme deneyleri yapılmış, vuruş süresinin artışı ile hem grafit hem de borik asit toz karışımları için yüzey pürüzlülüğü artmış, grafit tozunun kullanılması yüzey kalitesini arttırmıştır. Grafit konsantrasyonunun ve vuruş süresinin artışı borik asit ve katkısız gazyağına göre daha yüksek işleme hızı vermiştir. Elektrot aşınma hızı her iki tozun kullanımı ile artış göstermiştir [38].

Hızlı prototip tekniği ile üretilmiş modellerin elektroliz ile bakır kaplanması ile elde edilen ince kabuk şeklindeki elektrotların performans incelemeleri neticesinde kabuk kalınlığının artışına bağlı olarak işleme derinliğinin arttığı, ancak mevcut şartlar dahilinde bu teknik ile üretilen elektrotların henüz ağır işleme koşulları için yetersiz olduğu belirtilmiştir [39, 40].

Hızlı prototip tekniklerinden stereolitografi ile üretilip elektroliz ile bakır kaplanan, içerisinde soğutma kanalı olan ve olmayan iki farklı tip elektrodun dolu bakır malzemeden imal edilmiş elektrotlar ile işleme performanslarının karşılaştırıldığı çalışmada soğutma kanallı elektrotların kanalsız tiplere göre daha iyi performans gösterdiği, kaplama kalınlığının artırılmasının işleme performans değerlerini iyileştirdiği tespit edilmiştir [40].

Boru tipi döner elektrodun kullanıldığı EEİ frezeleme tekniğinde elektriksel boşalımların elektrodun hareket rotası boyunca hızla hareket ederek malzeme kaldırdığı tespit edilmiştir. Silindirik dolu elektrot kullanılan dalma EEİ ile kıyaslandığında yeni tekniğin yaklaşık olarak dört kat yüksek işleme hızına, düşük elektrot aşınma hızına ve düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu, ısıl etkilenmiş bölge kalınlığının da düşük olduğu görülmüştür [41].

İçi dolu ve içi boş silindirik elektrotların döner veya sabit ilerlemeleri ile farklı dielektrik sıvı uygulama tiplerinin bir arada kullanıldığı bir çalışmada [42], İİH ve EAH değerlerinin içi boş döner elektrodta yüksek,  $R_a$  değerlerinin içi dolu sabit elektrodta en az olduğu tespit edilmiştir. Dönme hızının artışı ile İİH değerinin arttığı,  $R_a$  değerinin azaldığı da gözlenmiştir. İİH, EAH ve  $R_a$  değerlerinin püskürtme tipinde yüksek olduğu gözlenmiştir. Dielektrik sıvı basıncı artışı ile İİH, EAH ve işleme derinliğinin arttığı,  $R_a$  değerinin ise önce arttığı daha sonra azaldığı belirtilmiştir.

Elektriksel iletken olmayan seramik malzemelerin EEİ yöntemi ile delinebilmesi için işparçası yüzeyleri yardımcı elektrot ile kaplanmış ve boru tipi elektrot içerisinde uygulanan grafit tozu-dielektrik sıvı karışımı kullanılmıştır. Bu sistem yardımıyla on iki değişik iş parçası delinmiş ve her seramik iş parçası için en uygun işleme parametreleri belirlenmiştir [43].

Toz metalurjisi tekniği (TM) ile üretilen elektrodun gözenekli yapısından dolayı işparçası yüzeyinde daha fazla pürüzlülüğe neden olduğu, bu pürüzlülüğünde boşalımları engellediği anlaşılmıştır. TM elektrotlar ile yapılan işlemlerde işleme parametrelerinin uygun seçilmesi durumunda elektrotların işparçası üzerine elektrot malzemesinin biriktirilmesinde kullanılabileceği ve klasik katı elektrotlara göre TM elektrotların vurum zamanı ve boşalım akımından daha fazla hassasiyet gösterdiği yapılan işlemler neticesinde tespit edilmiştir [44].

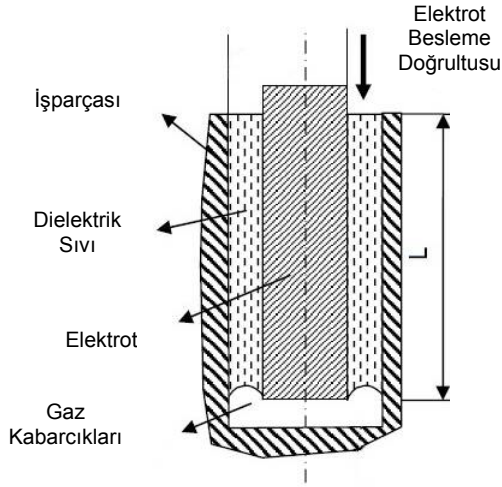
Gaz yağına karıştırılan Al, Cr, Cu ve SiC tozları arasında işleme aralığının değişiminde en çok Al tozlarının etkili olduğu, Cu tozlarının ise işleme aralığını değiştirmedeği anlaşılmıştır. Kullanılan tozların tanecik boyutunun büyümesi İH ve EAH değerlerini azaltmıştır. Tanecik konsantrasyonu artışının EAH değerini azalttığı belirlenmiştir [45].

Yarı püskürtme metodu olarak adlandırılan elektrodun iki ekseninde gerçekleştirdiği doğrusal hareketlerle uygulanan dielektrik sıvı püskürtme yönteminde işleme hızının arttığı ve kısa devre oluşumunun azaldığı, ayrıca yarı püskürtme metodunda elektrot aşınmasının da arttığı gözlenmiştir [10].

İşlenmesi çok zor malzemelerdeki mikro deliklerin işlenmesi ile ilgili endüstrideki yoğun talep ve minyatür parça üretimi için sarf edilen büyük çabalar nedeni ile mikro üretim teknikleri büyüyen bir ilgi uyandırmıştır. Bununla birlikte mikro deliklere özellikle optik cihazlarda, medikal elemanlarda ve otomobil motor parçalarında ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun neticesinde Mikro Ultrasonik İşleme (MUSM), Mikro Mekanik Delme (MMD), Lazer ile İşleme (LBM), Mikro Punching (MP) ve Mikro EEİ (MEEİ) gibi değişik teknikler bu ihtiyaçlara cevap vermek için geliştirilmiştir [4, 46, 47]. Bu tekniklerden MEEİ, fiziksel temas olmaksızın işleme yapabilmesi, yüksek işleme hassasiyeti ve işparçası sertlik değerinden bağımsız olarak elektrik iletken tüm malzemeler için uygulanabilir olması gibi birçok avantaja sahiptir. İşleme prensibi olarak temelde klasik EEİ ile aynı olmasına rağmen uygulamada bazı özel karakteristiklere sahiptir [47]. MEEİ'de dielektrik sirkülasyonu ve işleme atıklarının uzaklaştırılması çok zordur. İşleme atıklarının uzaklaştırılması yetersiz hale geldiğinde işleme aralığındaki işleme atıkları konsantrasyonu artmakta ve işleme boşluğunun elektriksel direncini değiştirmektedir. Artan konsantrasyon nedeni ile işlemenin kararlılığını olumsuz yönde etkileyen anormal ark oluşumları gerçekleşmektedir. Sürekli ark oluşumu ise işparçası yüzeyinde derin kraterlerin oluşumuna neden olmaktadır. Bunun sonucunda işparçası yüzey kalitesi kötüleşmekte ve yüksek elektrot aşınması ortaya çıkmaktadır. Özellikle işleme derinliğinin ve

işlenecek delik boyunun çapına oranının (L/D) artması ile bu durum kendini daha da çok göstermektedir. Yukarıda bahsedilen durum neticesinde işlemenin dengesiz hale gelmesiyle işleme verimi düştüğü gibi L/D oranı da küçülmektedir. [48-50]

EEİ ile işlenmiş silindirik delikler farklı giriş ve çıkış çaplarına sahiptir. Deliklerdeki bu çap farkı (delikte koniklik) elektrot aşınmasından ve işleme sırasında ortaya çıkan aşınmış partiküllerin yol açtığı ikincil boşalımlardan kaynaklanır. Bu konikleşme çoğu kalıp imalatında istenilen bir durum olmakla birlikte mikro boyuttaki deliklerin işlenmesinde olumsuz etki yaratmaktadır [47]. MEEİ işleminde oluşan işleme atıklarının neredeyse toz boyutunda olduğu ve dielektrik sıvı içinde asılı durduğu ve uzun bir süre sonunda tankın dibine çökeldiği bilinmektedir. MEEİ ile delme işleminde başlangıçta oluşan gaz kabarcıkları elektrodun merkezine göre radyal olarak yüksek hızda hareket ederler. Belirli bir mesafeden sonra kaldırma kuvveti ile yüzmeye başlarlar. Boşalıklar sürekli olarak oluştukça işleme atıkları bu kabarcık hareketleri ile uzaklaştırılır. Daha derin deliklerin delinmesi sırasında işleme atıkları etkili bir biçimde uzaklaştırılmadığında anormal boşalıklar ve kısa devreler daha sık oluşur. Bunun yanı sıra derin deliklerin delinmesi sırasında işleme boşluğundaki sıvının akış (viskoz) direnci artar ve işleme sırasında oluşan gaz kabarcıklarının basıncı sıvı akışını sürdürece kadar yüksek olamaz. Zamanla akış hızı düşer ve gaz kabarcıkları deliğin tabanında sıkışarak sıvının işleme ortamına girişini engeller (Şekil 1.1). Elektrot ilerlemesi sürdürülür ise kısa devre oluşur. Bu durumda işlemin devamı için elektrot kısa bir süre yukarı kaldırılır. Neticede işleme süresinin artışı ve kararsız boşalıklar gibi istenmeyen durumlarla karşılaşılır. MEEİ işleminde dielektrik sirkülasyonu boşalım ile oluşan dielektrik akışına bağlıdır [50].

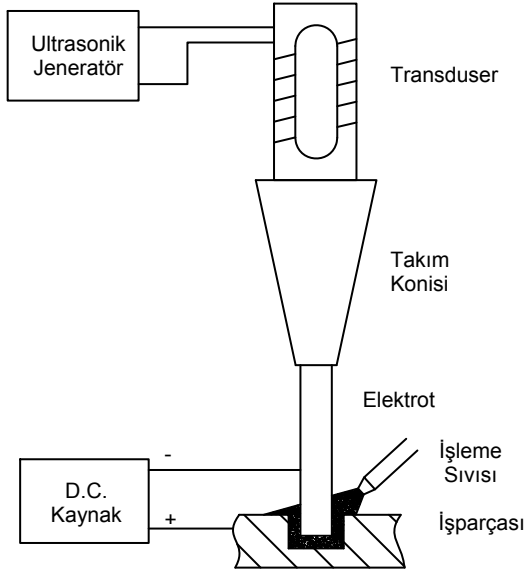


Şekil 1.1. MEEİ ile delmede gaz kabarcıklarının sıkışması [50]

Klasik EEİ tekniğinde kullanılan standart dielektrik püskürtme teknikleri mikro boyutlarda elektrot kullanımı nedeniyle MEEİ tekniğinde kullanılamamaktadır. MEEİ’de dış püskürtme (external flushing) ince elektrodun titreşimine ve eğilmesine neden olduğu için kullanılamamaktadır. Elektrot içinden yapılabilecek bir iç püskürtme ise (internal flushing) elektrot boyutlarından dolayı imkansızdır [50].

Klasik EEİ ve MEEİ işleme tekniklerinin ortak sorunu olan dielektrik sıvı sirkülasyonu ve buna bağlı diğer problemlerin aşılabilmesi için çok sayıda araştırmalar yapılmış ve olumlu gelişmeler elde edilmiştir.

Ultrasonik işleme tekniğindeki takım titreşimlerinin EEİ işlemindeki elektroda uygulandığı çalışmalarda (Şekil 1.2) iletken seramik malzemelere delik delinmesi için deneyler yapılmıştır. Ultrasonik titreşimli elektrodun (UTE) işparçası yüzeyinde oluşturduğu kavitasyon neticesinde ergimiş metal havuzunun kolaylıkla boşaldığı, elektrodun pompalama etkisi ile işleme boşluğunda daha iyi dielektrik sirkülasyonu oluştuğu, bunların neticesinde daha iyi işleme hızı ve daha az tekrar katılmış işparçası malzemesi tespit edildiği belirtilmiştir [51-53].



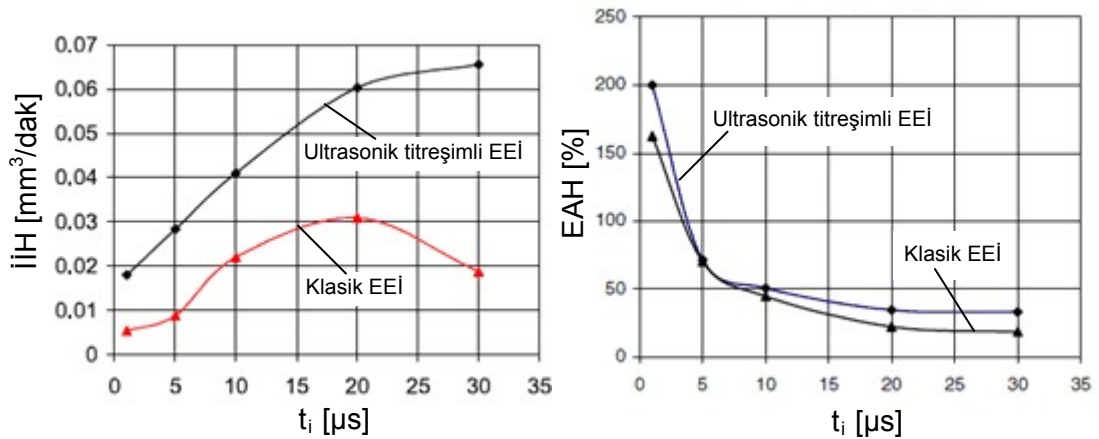
Şekil 1.2. UTE ile yapılan EEİ (UTE-EEİ) [51-53]

Havacılık ve uzay sanayinde yaygın olarak kullanılan seramik kaplamalı nikel alaşımı malzemelerde özellikle soğutma amaçlı kullanılan deliklerin daha düzgün olarak delinebilmesi amacı ile ultrasonik işleme (USM) ile EEİ tekniğinin bir araya getirildiği çalışmada elektroda ultrasonik titreşimler uygulanarak işleme deneyleri yapılmıştır [54]. Parafin dielektrik sıvı içerisine ilave edilen bor karbür aşındırıcı tanelerin ve yumuşak çelik elektrodun kullanıldığı deneylerde titreşimin uygulanması işleme hızında ve kararlı boşalım sayısında artış sağlamıştır. Titreşim genliğinin artışı da işleme hızını olumlu yönde etkilemiştir.

MEEİ ile delme işleminde elektrot aşınmasının hesaplanabilmesi amacı ile basit bir metodun ortaya koyulduğu bir çalışmada üç farklı işparçası malzemesi için mikro boyutlardaki dolu ve tüp elektrotlar ile işleme deneyleri yapılmıştır [55]. Farklı işparçası malzemeleri için delik delmede dikkat edilmesi gereken parametreler ayrı ayrı belirtilmiştir.

Bakır elektrodun ultrasonik titreştirildiği sementit wolfram karbür (WC-Co) malzemenin işlenmesi deneylerinde uygulanan titreşimler (25 kHz frekans, maksimum 5  $\mu$ m) düşük akım ve düşük vurum süresi değerlerinde İH

değerlerini belirgin arttırmıştır (Şekil 1.3). Vurum süresi ve akımın artışına karşılık UTE ile yapılan işlemlerde de genel olarak daha yüksek İİH, EAH ve  $R_a$  değerleri elde edilmiştir. Ultrasonik elektrot titreşimlerinin boşalım boşluğu boyunca basınç değişimi oluşturduğu, yoğun mikro jetlerin ve şok dalgalarının oluşumunu sağladığı, kavitasyon gaz kabarcıkları ürettiği ve sonucunda daha iyi dielektrik uygulaması sağladığı ve daha iyi dielektrik iyonizasyonu oluşturduğu belirtilmiştir. Ultrasonik titreşimlerin işleme hızına olumlu etkisi ise daha iyi dielektrik uygulanabilmesi, iyonizasyon kolaylığı, boşalım sonrası hızlı basınç azalması ve oluşan kavitasyon sonucu işparçası malzemesi aşınması ile açıklanabilir. UTE-EEİ belirgin olarak ark, kısa devre ve açık devre vurum oluşumunu, ateşleme gecikme zamanını azaltmış ve bunlara bağlı olarak normal vurum sayısını ve ortalama boşalım enerjisini arttırmıştır. Ultrasonik titreşimler bitirme koşullarında İİH açısından daha etkili olmuştur [56].

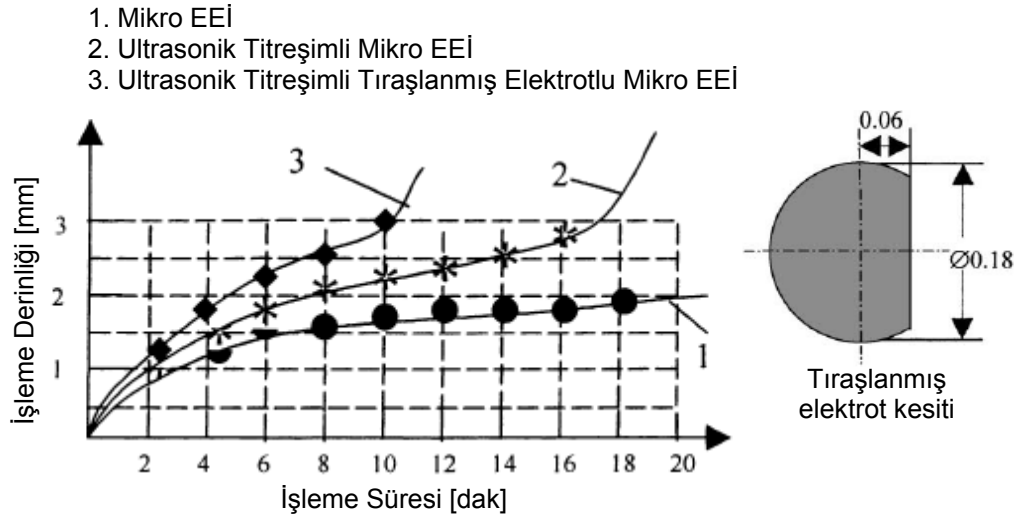


Şekil 1.3. UTE-EEİ'nin İİH ve EAH üzerindeki etkisi [56]

Bir tarafı boydan tıraşlanmış silindirik elektrot ve tam silindirik elektrotlar kullanılarak UTE-MEEİ tekniği ile titanyum alaşımı işparçasına delikler delinmiştir [57]. Titreşimin (20 kHz frekans, 2 mikrometre genlik) uygulandığı her iki elektrot tipi, MEEİ işlemine göre daha iyi işleme hızı vermiştir (Şekil 1.4). MEEİ işleminde elektrot yan yüzeyi ile işparçasının iç yan duvarı arasında kalan işleme boşluğunun çok küçük olması (4-10 µm) işleme

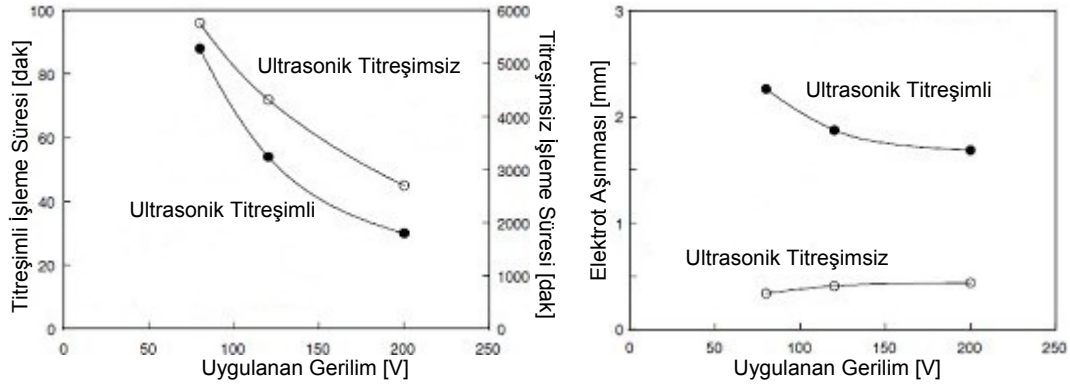


atıklarının uzaklaştırılmasını olumsuz etkilemektedir. Tıraşlanmış titreşimli elektrodda tıraşlanmış tarafta işleme atıklarının daha kolay çıkmasını sağlayacak bir kanal oluşturulmuş ve bunun neticesinde iyi işleme hızı ve geometrik tamlık elde edilmiştir.



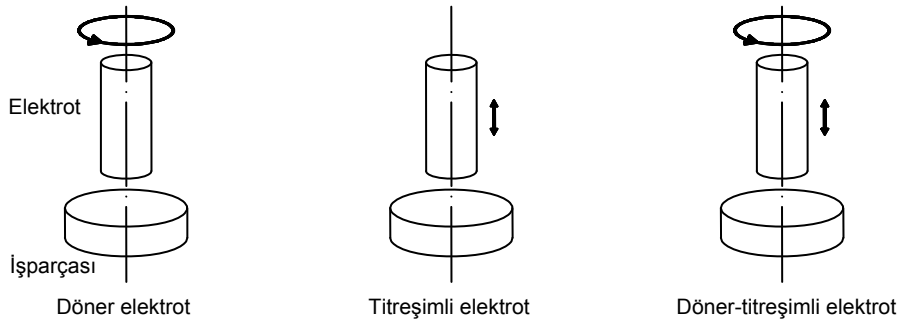
Şekil 1.4. UTE-MEEİ'nin İH üzerindeki etkisi [57]

MEEİ işleminde wolfram elektrodda uygulanan 40 kHz frekanstaki ultrasonik titreşimlerin delme işlemindeki etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada ultrasonik titreşimlerin işleme hızını 60 kat, elektrot aşınmasını ise birkaç kat arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 1.5). Titreşim genliğinin belirli bir değere kadar olan artışı işleme hızını artırırken elektrot aşınmasını da azaltmıştır. Sonuçlar, uygulanan titreşim ile boşalım atıklarının kinetik enerjisinin arttığı, bunun da atıkların daha kolay uzaklaştırılmasını sağladığı yönünde yorumlanmıştır. Sonuç olarak elektrodda uygulanan titreşimler ile kısa devre oluşumunun, karbon birikmesinin, işleme zamanının ve elektrot aşınmasının azaldığı tespit edilmiştir. Ultrasonik titreşimlerin devreye alınması ile yıkama etkisinin tekrar kazanılabildiği veya etkisinin artırılabilirdiği ifade edilmiştir [58].



Şekil 1.5. UTE-MEEI'nin işleme süresi ve elektrot aşınmasına etkisi [58]

Ultrasonik titreşimli, döner ve iki durumun birlikte kullanıldığı elektrotlar ile yapılan işleme koşullarında (Şekil 1.6) yüksek frekanstaki ultrasonik titreşimlerin (19900 Hz frekans, 4-12  $\mu\text{m}$  genlik), bitirme işleminde (2A, 4  $\mu\text{s}$  vurum süresi) İİH üzerinde olumlu bir etki oluşturduğu gözlenmiştir. Düşük frekanstaki titreşimlerin (50 Hz) ve dönme hareketinin bir arada kullanılmasının işlemede tatmin edici bir etki yaratmadığı anlaşılmıştır. Yüksek frekans ve yüksek genlik değerine sahip titreşimlerin uygulandığı deneylerde en iyi İİH değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte ultrasonik titreşimin, dönmenin ve her iki durumun bir arada kullanılmasının İİH, EAH ve  $R_a$  değerlerinde artışa sebep olduğu tespit edilmiştir [59].

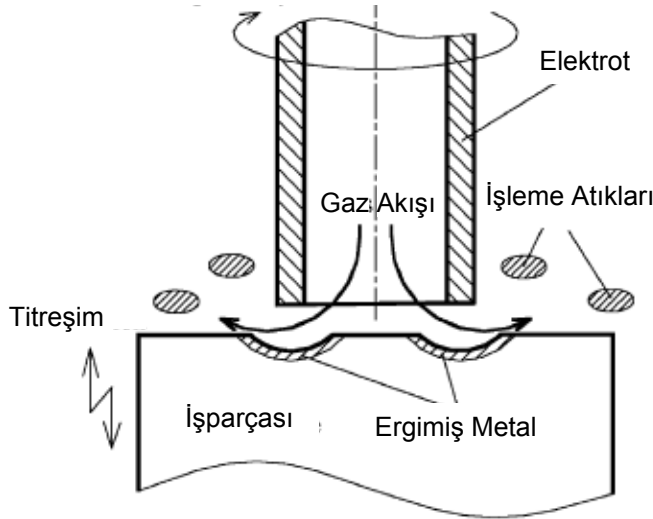


Şekil 1.6. Döner elektrot, titreşimli elektrot, döner-titreşimli elektrot [59]

Ultrasonik frekansta titreştirilen elektrodun ön yüzeyinde oluşturulan pompalama hareketi etkisi ile işleme atıklarının işleme ortamından daha iyi uzaklaştırıldığı ve işleme ortamındaki dielektriğin sirkülasyonunun daha kolay

sağlandığı bunun da İH üzerinde olumlu etki yarattığı, bu olumlu etkinin özellikle bitirme işlemindeki gibi dar işleme boşluğu olan koşullarda daha etkili olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, işleme boşluğundaki büyük basınç değişimlerinin daha etkili boşalmalara neden olduğu ve böylece ergimiş metalin her bir kraterden daha fazla atılmasını sağladığı, ısı etkilenmiş tabaka kalınlığının azaldığı, daha küçük ve az sayıda mikro çatlakların gözlemlendiği belirtilmiştir [59-61].

Hidrokarbon esaslı dielektrik sıvı ortamın oluşturduğu kirliliği azaltmak amacı ile dielektrik sıvı yerine boru tipi elektrot içinden üflenen yüksek hızdaki gaz ortam kullanılmıştır [36]. Bu yeni yöntem, düşük işleme hızı ve işleme kararsızlığı gibi dezavantajlara sahip olsa da işleme prensibi açısından dikkat çekmiştir. Bu yöntemin dezavantajlarını giderebilmek amacı ile içerisinden yüksek hızda gaz üflenen ince cidarlı boru tipi bakır elektrot ile çelik işparçasına uygulanan ultrasonik titreşimlerin kombinasyonunun oluşturduğu ultrasonik işparçası titreşimli EEİ (UİT-EEİ) işleme mekanizması (Şekil 1.7) ile bazı deneyler yapılmıştır [62].



Şekil 1.7. Gaz ortamda UİT-EEİ [62]

Gaz ortam ile işlemede işleme aralığının 0,01 mm gibi çok küçük bir değere sahip olmasının kısa devre oluşumlarını da beraberinde getirdiğini düşünen

bazı araştırmacılar elektrot dönme hareketini de çalışmalarında uygulamışlardır. Yüksek hızdaki gazın ergimiş ve buharlaşmış malzemeyi ortamdaki uzaklaştırdığı ve bu malzemelerin soğuyarak katılaşmalarını hızlandırmak sureti ile elektrot yüzeyine yapışmaları önlediği, yüksek hızdaki gazın bir önceki boşalım neticesinde elektrot ve işparçası yüzeyindeki boşalım noktalarında ısı transferi ile oluşan sıcaklığı azaltarak işleme boşluğunun deiyonizasyonunu sağladığı belirtilmiştir. Uygulanan titreşim genliğindeki artışın ergimiş işparçası malzemesinin yüzeye yapışmaksızın uzaklaştırılabilmesini kolaylaştırdığı ve buna bağlı olarak İİH değerini arttırdığı bildirilmiştir. Genlik değerinin değişimi ile yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir değişim elde edilmemiştir [62]. Bu çalışmanın devamı niteliğindeki diğer bir çalışmada ise işleme parametrelerinin birkaç değerindeki değişiklik ile yapılan deneylerin yanı sıra aşağıdaki kabuller ile işparçası işleme hızını işleme öncesinde belirlemek amacı ile teorik bir model geliştirilmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar ile bu model karşılaştırılmıştır [63]. Teorik modelde;

- i) her bir vuruşta bir kıvılcımın oluştuğu,
- ii) ultrasonik işparçası titreşimi ile yapılan EEİ işleminde oluşan kraterlerin R yarıçapında bir kürenin tac kısmı şeklinde olduğu,
- iii) boşalım gecikme süresinin ( $t_i$ ) boşalım süresi ( $t_d$ ) ile kıyaslandığında çok kısa ve sabit bir değere sahip olduğu,
- iv) etkin boşalım gerilim dalga formlarının hepsinin aynı olduğu,

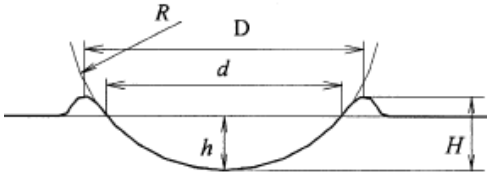
şeklinde kabuller yapılarak Eş. 1.1 elde edilmiştir.

$$\text{İİH} = \frac{\eta_1 \cdot V_d \cdot i_d \cdot t_s}{t_s + t_p} \quad (1.1)$$

Burada  $\eta_1$  orantısal sabit,  $V_d$  boşalım gerilimi,  $i_d$  boşalım akımı,  $t_s$  vuruş süresi ve  $t_p$  bekleme süresi olarak belirtilmiştir. Deneyler neticesinde gaz ortamda UİT-EEİ'nin titreşimsiz duruma ve klasik EEİ işlemine göre daha yüksek İİH değerleri verdiği ve açık devre voltajı, vuruş süresi, titreşim genliği, boşalım akımı değerlerindeki artış ile elektrot et kalınlığındaki azalma ile İİH değerinin arttığı tespit edilmiştir [63]. Yine gaz ortamda UİT-EEİ ile ilgili

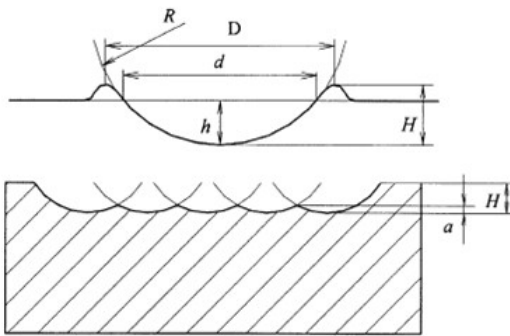
çalışmaların [62, 63] devamı olan diğer bir çalışmada ise [64], deneysel çalışmalara ek olarak Eş. 1.1 ile verilmiş olan ifade, Şekil 1.8'deki geometrik model için yapılan kabuller sonucunda düzenlenerek bir kıvılcım ile oluşan kraterin yüksekliğini veren teorik bir model elde edilmiştir (Eş 1.2). Deneyler neticesinde elde edilen sonuçlara göre açık devre voltajı, vurma süresi ve boşalım akımı artışı teorik modelde de ifade edildiği gibi yüzey pürüzlülüğü değerlerini arttırmıştır [64].

$$H = \left[ \frac{\eta_1 \cdot V_d \cdot i_d \cdot t_s}{6,24 \pi} \right]^{1/3} \quad (1.2)$$



Şekil 1.8. Bir boşalım ile oluşan krater kesit görünüşü [64]

Bahsedilen çalışmalar [62-64] ile elde edilen teorik modelin bir sonraki aşamasında [65], çakışık kraterlerle oluşan yüzey profilinin Şekil 1.9'da gösterildiği gibi temsil edilebileceği, önceki teorik modelin (Şekil 1.8) ifade ettiği kraterin gerçek yüksekliğinin  $a$  ile tanımlanabileceği ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmekte kullanılabileceği belirtilmiştir (Eş. 1.3).

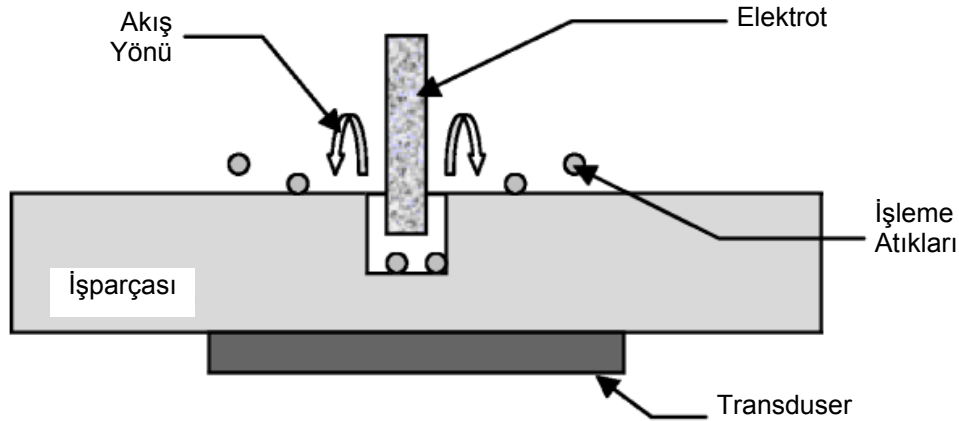


Şekil 1.9. Gaz ortamda UİT-EEİ'de yüzey pürüzlülüğü oluşumu [65]

$$R_a = \xi_1 (V_d \cdot i_d \cdot t_s)^{1/3} \quad (1.3)$$

Deneyler neticesinde artan genlik değerinin işleme hızını artırdığı ve bu artışın titreşimsiz gaz ortamdaki EEİ ile kıyaslandığında neredeyse iki kat olduğu tespit edilmiştir [65].

İşparçasına uygulanan ultrasonik titreşimler ile yüksek yoğunluktaki dalgaların dielektrik sıvı içindeki yayılımını konu alan bir çalışmada, ultrasonik dalgaların hareketi ile kavitasyon ve akustik akıntı gibi önemli etkilerin MEEİ işleminde uygulanabilirliği incelenmiştir. Buradaki amaç ultrasonik titreşimlerin uygulanması ile birlikte ultrasonik akış akıntısı doğrultusunda işleme atıklarının hareket etmesidir (Şekil 1.10). Bu durum akustik akıntının tank içinde oluşması veya uygulanması ile gerçekleşebilir [48].

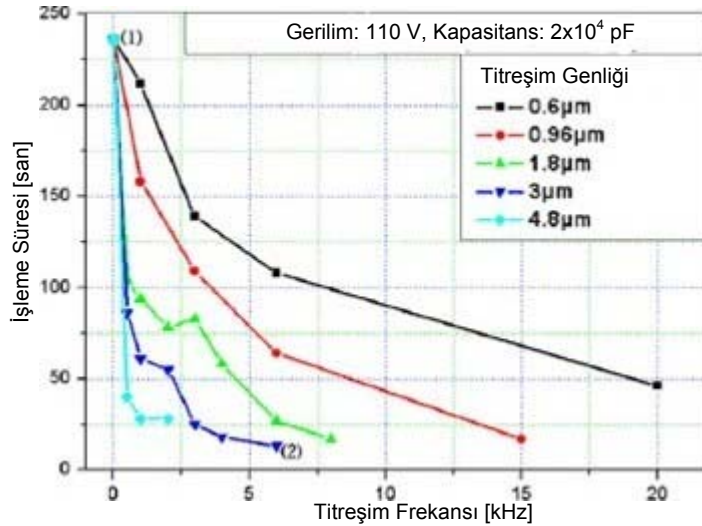


Şekil 1.10. UİT-MEEİ'de işleme atıklarının uzaklaştırılması [48]

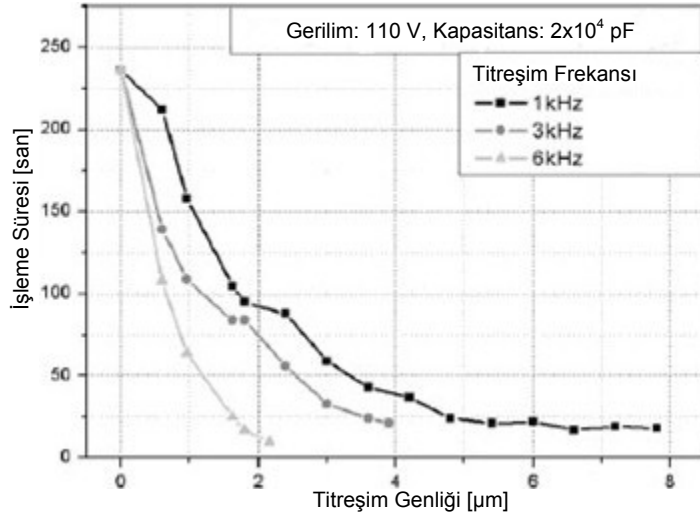
Deneylerde 100 µm çapındaki tungsten elektrot ile 2 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik malzemeye 500 µm derinlikte delik delinmiştir. Yapılan deneyler MEEİ işleminin ultrasonik titreşimler ile daha kararlı hale geldiğini, işleme atıklarının uzaklaştırılma hızının artışı ile yüzey pürüzlülüğünün önemli derecede iyileştiğini, ark oluşum sıklığının azaldığını ve daha az çukurlaşmanın olduğunu göstermiştir. 50,5 ile 53,2 kHz aralığında uygulanan

ultrasonik titreşimler ile aynı işleme koşullarındaki titreşimsiz deneyde elde edilen 394,22 nm değerindeki ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine göre %9 daha iyi değerler elde edilmiştir [48].

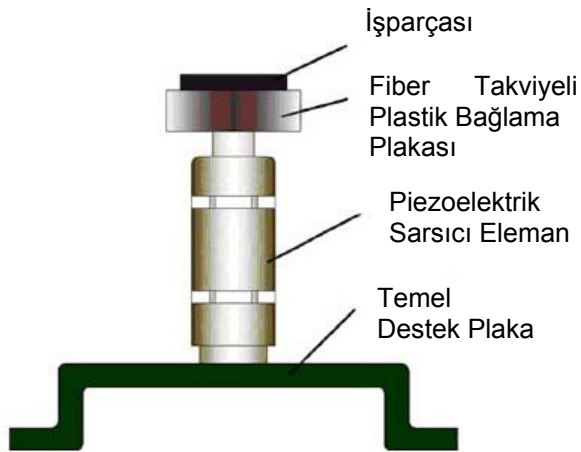
20 kHz frekans ve 8 µm genlik değerine sahip titreşimlerin işparçasına uygulanması (UİT-MEEİ) ile ilgili deneylerde titreşim frekansındaki artışa karşılık gelen tüm genlik değerlerinde işleme süresinin azaldığı gözlenmiştir (Şekil 1.11). Yüksek frekanstaki titreşimler etkili boşalım sayısını arttırmıştır. Titreşimler sayesinde artan etkili boşalımların sayısı da kıvılcım patlama kuvvetini arttırmış, dolayısı ile EEİ sırasında bu kuvvetin etki ettiği dielektrik sıvı sirkülasyonunu ve işleme atıklarının uzaklaştırılmasını hızlandırmıştır. Titreşim genliğinin ortalama işleme aralığı mesafesine kadar olan artışı işleme süresini azaltmıştır (Şekil 1.12). Ancak, bu değerden sonraki artışlar işleme süresinde önemsiz değişimlere neden olmuştur. Bu durum ise işleme boşluğu değerinden fazla olan titreşim genliği uygulamalarında servo kontrolün açık devre oluşumunu engelleyememesi ile açıklanmıştır [66].



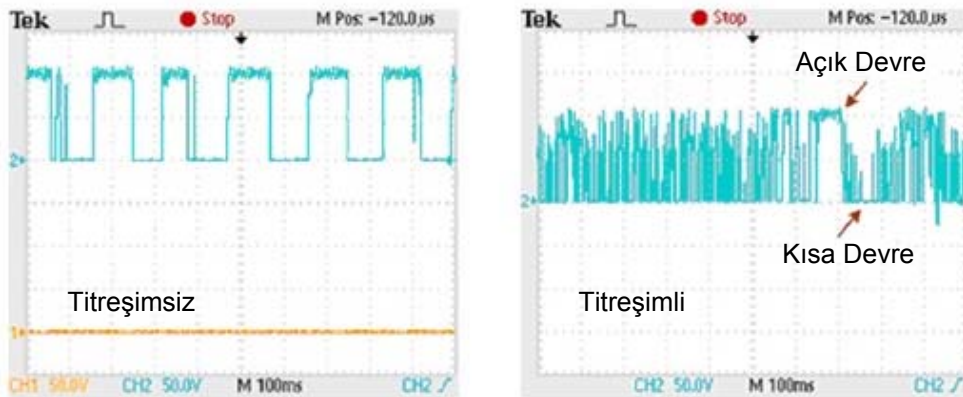
Şekil 1.11. UİT-MEEİ'de titreşim frekansının işleme süresine etkisi [66]



Şekil 1.12. UİT-MEEİ'de titreşim genliğinin işleme süresine etkisi [66]



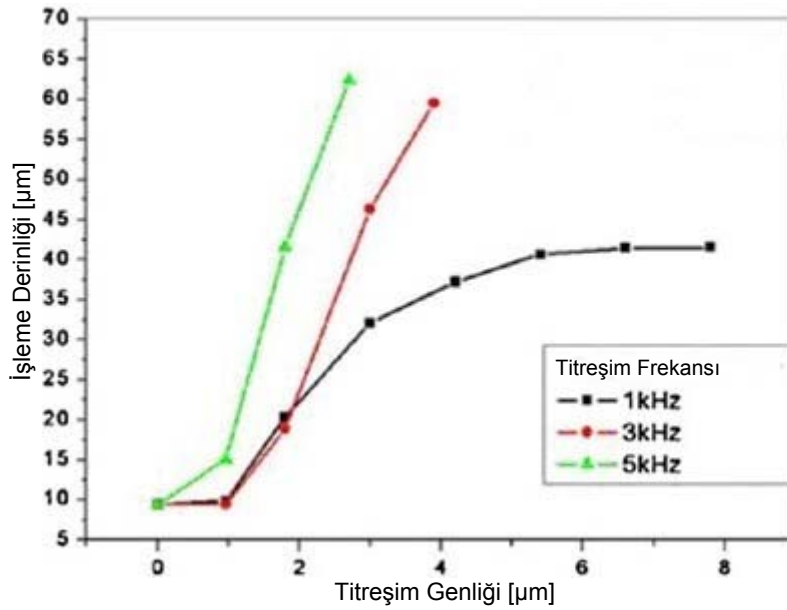
Şekil 1.13. UİT-MEEİ'de uygulanan bir deney sistemi [66]



Şekil 1.14. MEEİ ve UİT-MEEİ'de oluşan vuru zincirleri [66]

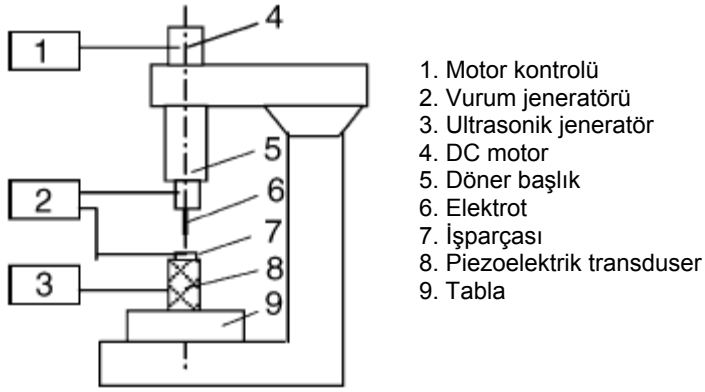


Üç boyutlu mikro deliklerin işleme performansını arttırmak için işparçasına uygulanan farklı frekanstaki titreşimler ile farklı geometride wolfram elektrot ve bakır işparçası çiftleri işleme deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler neticesinde artan titreşim genliği ve frekansı ile işleme derinliğinin arttığı (Şekil 1.15) ve frekansın işlemede en önemli parametre olduğu belirtilmiştir [67].



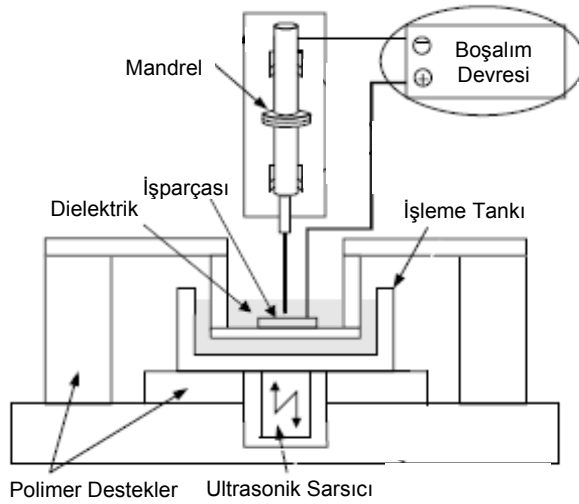
Şekil 1.15. UİT-MEEİ'de titreşim genliğinin işleme derinliğine etkisi [67]

Diğer bir çalışmada, 20 kHz frekans ve 1 µm'den küçük genliğe sahip ultrasonik titreşimlerin 0,2-1 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik ve bakır işparçasına uygulanmasında 43 µm çapında tungsten elektrot kullanılmıştır (Şekil 1.16). İİH'nin belirlenmesinde işleme derinliğinin işleme süresine oranı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, işleme parametrelerine bağlı olarak UİT-MEEİ ile elde edilen İİH değerlerinin MEEİ ile elde edilen değerlerin 4 ile 8 katı olduğunu göstermiştir. Her iki işleme tekniğinde de artan işparçası kalınlığı işleme hızını azaltmıştır [49].

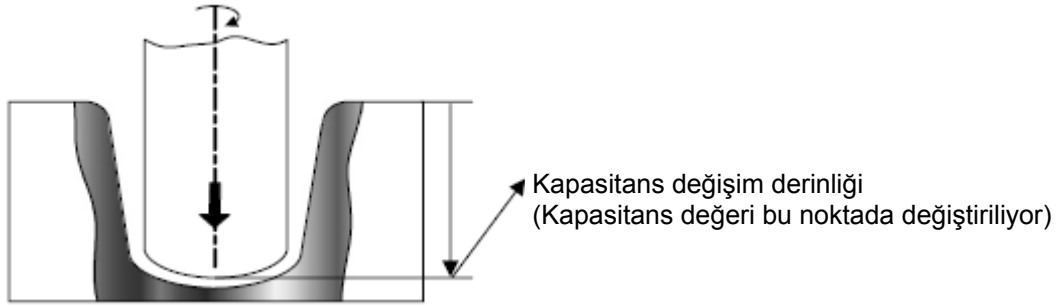


Şekil 1.16. UİT-MEEİ deney düzeneği [49]

EEİ ile işlenmiş silindirik deliklerde oluşan konikliğe elektrot dalma derinliğinin, kullanılan boşalım kapasitesinin ve işleme zamanının etkileri ön deneyler ile incelenmiştir. Elde edilen veriler esas alınarak konikliği ve ikincil boşalımları azaltmak amacı ile sadece işleme tankına uygulanan ultrasonik titreşimlerin (Şekil 1.17) yanı sıra işleme sırasında deliğin çıkış noktasına yakın derinliklerde (Şekil 1.18) kapasitans değeri değiştirilerek deneyler yapılmıştır [47].

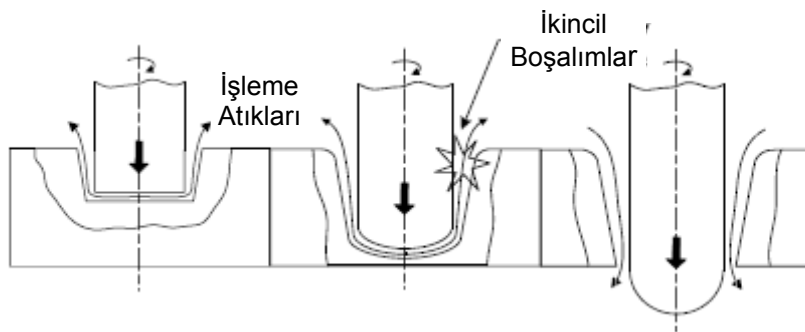


Şekil 1.17. Dielektrik sıvının ultrasonik titreşimi ile MEEİ [47]



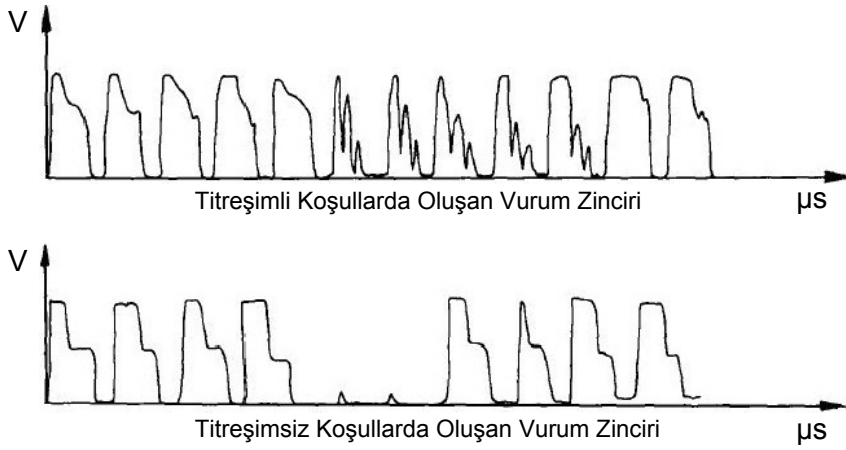
Şekil 1.18. Kapasitans değişim derinliği [47]

İşparçası ve elektrot besleme mekanizması üzerindeki titreşim etkisini en aza indirmek amacı ile işleme tankı polimer takozlar ile desteklenmiştir. 500  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki AISI 304 paslanmaz çelik işparçasına 95  $\mu\text{m}$  çapında mikro elektrot kullanılarak giriş ve çıkış delik çapları arasındaki farkın 16  $\mu\text{m}$  olduğu delikler delinmiştir. Şekil 1.19'da görüldüğü üzere aşınmış partiküllerin neden olduğu ikincil boşalıklar işleme süresi ilerledikçe delik giriş çapını genişletmektedir. Kapasitans değerinin 1000 pF değerinden 3000 pF değerine farklı işleme derinliklerindeki değişimi ile delik giriş ve çıkış çap farklarının azaltılmış olmasına rağmen fark değeri 8  $\mu\text{m}$  altına düşmemiştir. Delikteki konikliği büyük ölçüde arttırdığı bilinen ikincil boşalıkların oluşumunu azaltmak için işleme süresi kısa tutulmuştur. Ultrasonik frekanstaki titreşimlerin uygulanması ile delik giriş çapı azaldığı için her koşulda çap farkı azalmış fakat bu fark 8  $\mu\text{m}$  altına düşmemiştir. Kapasitans değişimi ve ultrasonik titreşimlerin birlikte kullanılması ile oluşan çap farkı 1  $\mu\text{m}$ 'ye kadar düşürülmüştür [47].



Şekil 1.19. EEİ'de oluşan ikincil boşalıklar ve elektrot aşınması [47]

İşparçasına (yüksek karbonlu çelik) 22 kHz frekans ve 3  $\mu\text{m}$  genlikte ultrasonik titreşim uygulandığı bakır elektrot ile gazyağı dielektrik kullanılan deneysel çalışmada işleme sırasında oluşan vuru zincir profilleri kısa süreli zaman dilimleri halinde gelişigüzel kaydedilmiştir (Şekil 1.20). Ultrasonik titreşimin aktif vurumların boşalım gecikmesinde ve ortalama vurum enerjilerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı, kıvılcım oluşumu verimini ve ortalama vurum enerjisini iyileştirmek yoluyla aktif olmayan vurumları önemli derecede azalttığı gözlemlenmiştir [68].



Şekil 1.20. MEEİ ve UİT-MEEİ'de oluşan vuru zincirleri [68]

Gazyağı dielektrik, bakır elektrot, 22 kHz frekans ve 3  $\mu\text{m}$  genlik değerinde ultrasonik titreşimler kullanılarak yapılan deneysel çalışmada işleme esnasında oluşan işleme atıkları boyutsal ve geometrik olarak optik ve elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Bütün partiküllerin yumru ile küresel şekiller arasında bariz olarak eliptik bir geometriye sahip oldukları, ultrasonik titreşimlerin küreselleşmeyi arttırdığı, partiküllerin çoğunluğunun içi dolu katı partiküller olduğu tespit edilmiştir. İşleme akımı ve vurum sürelerindeki artışın partikül boyutunu arttırdığı bunun nedeninin artan enerji ve uygulama süresinin artışı ile daha büyük krater oluşumu ile açıklanabileceği belirtilmiştir. Ultrasonik titreşimlerin partikül boyutunda belirgin bir etkisi gözlemlenmemiştir [69].

200 µm çaptaki tungsten elektrot ile takım çeliği işparçasının işlendiği deneylerde işparçasına uygulanan ultrasonik titreşimlerin (40 kHz frekans, maksimum 10 µm genlik) etkisi ve işleme parametrelerinin İİH ve EAH değerleri açısından optimizasyonu araştırılmıştır [70]. Ultrasonik titreşimler neticesinde oluşan kavitasyonun malzemeyi işlemede önemli bir etki olduğu, işleme ortamının titreşim etkisi ile pompalanması sonucu daha iyi sirküle edilmesinin ark oluşumlarını azalttığı ve MEEİ performansını arttırmasının ise uygulanan titreşimlerin işleme koşullarını iyileştirmesi sureti ile sağladığı belirtilmiştir.

### Literatür İncelemesi Sonuçları ve Tez Çalışmasının Amacı

Literatür araştırması bütün çalışmaların işleme performans çıktılarının (işparçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı, bağıl aşınma ve işparçası yüzey pürüzlülüğü) iyileştirilmesini hedeflediğini göstermektedir. EEİ'de, işlemin kararlılığının ve performans çıktılarının işleme boşluğundaki işleme atıklarının ortamdan uzaklaştırılması ile doğrudan ilişkili olduğu literatür araştırmasından çıkan diğer bir sonuçtur.

Özellikle işleme derinliğinin ve işparçasında oluşturulacak geometrinin karmaşıklığının artması işleme boşluğundaki dielektrik sıvının sirkülasyonunu ve bu sıvı içerisindeki aşınmış partiküllerin işleme boşluğundan uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Uygulanan dielektrik sıvı, işparçası malzemesinin elektriksel boşalıklar nedeni ile ergitilmesini takiben işleme atıklarını işleme ortamından uzaklaştırması yanında krater içindeki ergimiş işparçası malzemesinin bir kısmının da işparçası yüzeyinde tekrar katılaşmasına neden olmaktadır. Ergimiş işparçası malzemesinin tekrar katılaşması işleme hızı açısından EEİ tekniğinin doğasında bulunan bir olumsuzluktur.

EEİ tekniğindeki bahsedilen bu problemleri en aza indirmek ve işleme performansını arttırabilmek amacı ile işleme parametreleri ile ilgili yapılmış

olan bilimsel çalışmaların yanı sıra elektrot, işparçası ve dielektrik ortam elemanlarına kazandırılan dinamik hareketler ile yapılan deneysel çalışmalar literatür araştırması sürecinde incelenmiştir. Bahsedildiği üzere, elektrodun döndürülmesi, elektrodun, işparçasının ve dielektrik ortamın ultrasonik frekanslarda titreştirilmesi gibi hareket uygulamaları işleme performans çıktıları üzerinde olumlu etkiler sağlamıştır. Ancak, sunulan literatür özeti incelendiğinde bahsedilen bu olumlu gelişmelerin hemen hepsinin ya mikro EEİ (MEEİ) tekniğinde ya da silindirik deliklerin klasik EEİ tekniği ile işleminde uygulanan sınırlı çalışmalar olduğu anlaşılmıştır. Kalıp üretiminde yaygın olarak tercih edilen dalma EEİ tekniği göz önüne alındığında kullanılan karmaşık şekilli elektrotlar ile yapılan işlemlerde bu uygulamaların ve sonuçların ne ölçüde geçerli olabileceği bilinmemektedir.

MEEİ'de özellikle elektrodun çok ince olduğu durumlarda dönen elektroda uygulanan büyük genlikli titreşimlerin işleme hassasiyetini yok ettiği ve derin mikro deliklerin elde edilmesinin çok zor olduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra elektrot titreşiminin uygulanabilirliğinin elektrot tasarımının transduser ve takım konisine bağlı olarak yapılması gibi bir zorunluluğu da beraberinde getirmesi nedeniyle bu sistemlerin pratik uygulanabilirliği sınırlıdır. Elektroda uygulanan titreşimler yerine işparçasına titreşim uygulamanın en büyük avantajı ise; transduser, transduser konisi ve takım konisi içermeyen sistemin daha serbest takım tasarımına müsaade etmesidir.

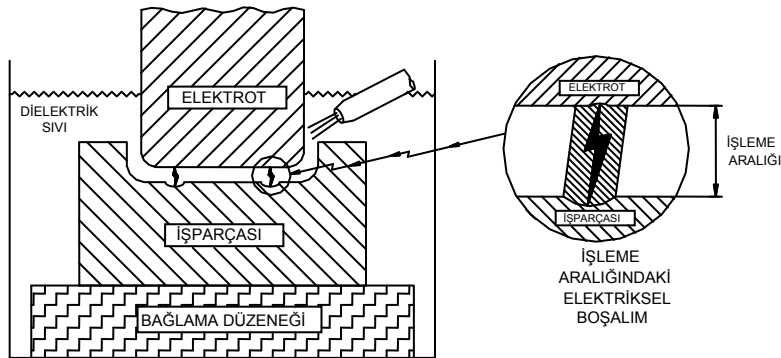
İşparçasına uygulanacak titreşimler ile ilgili yapılacak çalışmaların işleme performansının artırılması yönünde faydalı olacağı yapılan ön araştırmalardan anlaşılmaktadır. İşparçası titreşiminin EEİ performans çıktıları üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çok az sayıda ve sınırlı parametreler ile yapılmış olan deneysel çalışmalar bütünlük taşımaktan oldukça uzaktadır.

Çalışmada, her bir boşalım sonrası işparçası ve elektrot malzemelerinden aşınarak işleme ortamına karışan partiküllerin işparçasına uygulanacak titreşimler sayesinde daha etkin bir şekilde uzaklaştırılması ve her bir boşalım

sonrası krater haznesinde bulunan ergimiş işparçası malzemesinin uygulanan titreşimler ile tekrar katılaşmadan krater dışına biraz daha fazla atılarak işleme hızının arttırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda önce işparçasının bağlı olduğu işleme haznesine daha sonra da işparçasına doğrudan uygulanan farklı frekanstaki titreşimler ve değişik işleme koşullarında (boşalım akımı, vurun sũresi ve işleme derinliği) deneyler yapılmıştır.

## 2. ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME (EEİ) YÖNTEMİ

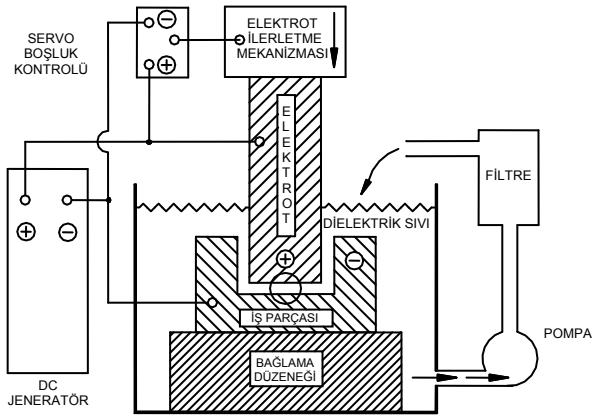
Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ) yöntemi (Şekil 2.1) dielektrik sıvı içerisinde daldırılmış, elektriksel iletkenliğe sahip elektrot ile işparçası arasındaki sabit bir işleme aralığında, vuruş jeneratörü tarafından kontrollü bir şekilde oluşturulan elektriksel boşalmaların işparçası yüzeyinden küçük bir bölgeyi eritmesi ve buharlaştırması esasına dayanır. Elektriksel boşalım enerjisi nedeniyle ısınan elektrot ile işparçası yüzeylerinin soğutulması ve işleme atıklarının işleme aralığından uzaklaştırılması dielektrik sıvı tarafından sağlanır. İşleme aralığının sabit bir değerde tutulması ise elektrodun servo kontrollü besleme mekanizması ile işparçasına doğru hareket ettirilmesi sayesinde gerçekleşir.



Şekil 2.1. EEİ'nin şematik görünüşü

EEİ tezgahının ana kısımları; vuruş jeneratörü, kontrol paneli, servo kontrol mekanizması, elektrot besleme (ilerleme) mekanizması, elektrot bağlama adaptörü, işparçası bağlama düzeneği, dielektrik sıvı tankı, dielektrik sıvı pompası, dielektrik sıvı filtresi ve alt tabladır (Şekil 2.2).



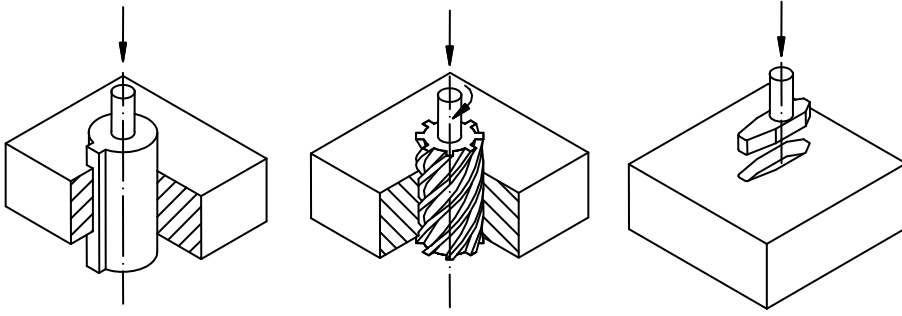


Şekil 2.2. EEİ tezgahının ana kısımları

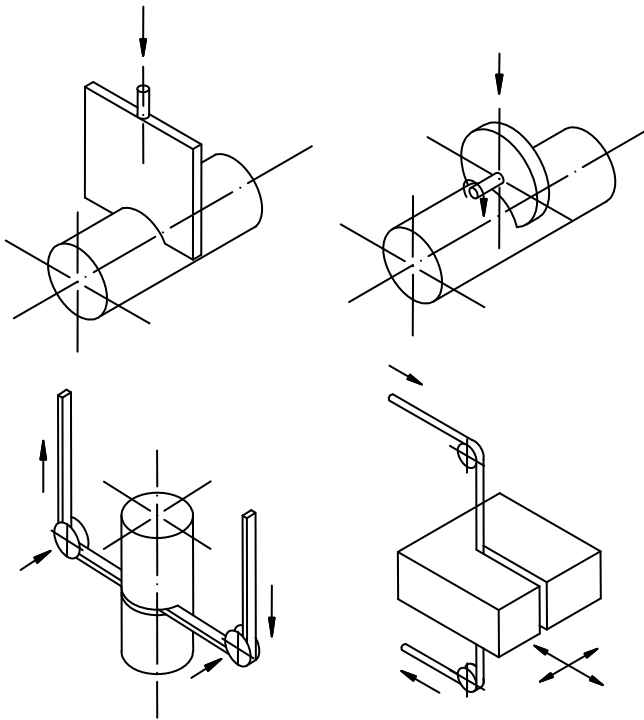
## 2.1. EEİ ile İşleme Tipleri

EEİ ile işleme tipleri işleme prensipleri göz önünde bulundurularak aşağıdaki gibi üç ana grup altında toplanabilir.

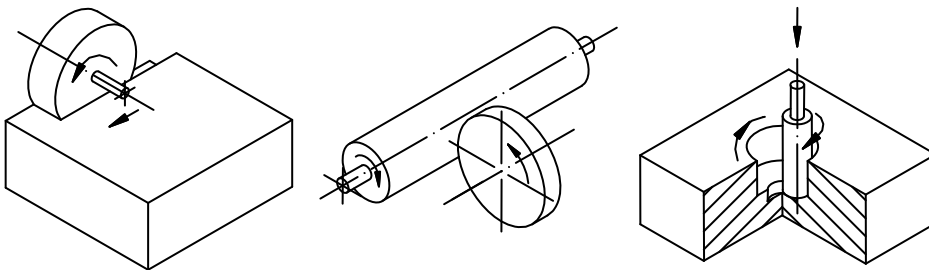
- (i) EEİ ile delme ve oyma
- (ii) EEİ ile kesme
- (iii) EEİ ile taşlama
- (iv) EEİ ile delme ve oyma yöntemi, işparçasının sabit profilli bir elektrot ile boydan boya delinmesi veya elektrodun işparçasına belirli bir işleme derinliğinde batırılması ile yapılan işlemdir (Şekil 2.3).
- (v) EEİ ile kesme yöntemi, işparçasının levha, disk, tel veya şerit şeklindeki elektrotlar ile çeşitli profillerde kesilerek koparıldığı veya belirli bir işleme derinliğinde elektrodun işparçası üzerinde çentik oluşturduğu bütün operasyonları kapsayan bir yöntemdir (Şekil 2.4).
- (vi) EEİ ile taşlama yöntemi, işparçasının silindirik veya konik şekillere sahip kendi eksenine etrafında dönen elektrotlar ile dış yüzeylerinin veya iç deliklerinin taşlandığı bir işleme yöntemidir (Şekil 2.5)



Şekil 2.3. EEİ ile delme ve oyma yöntemi



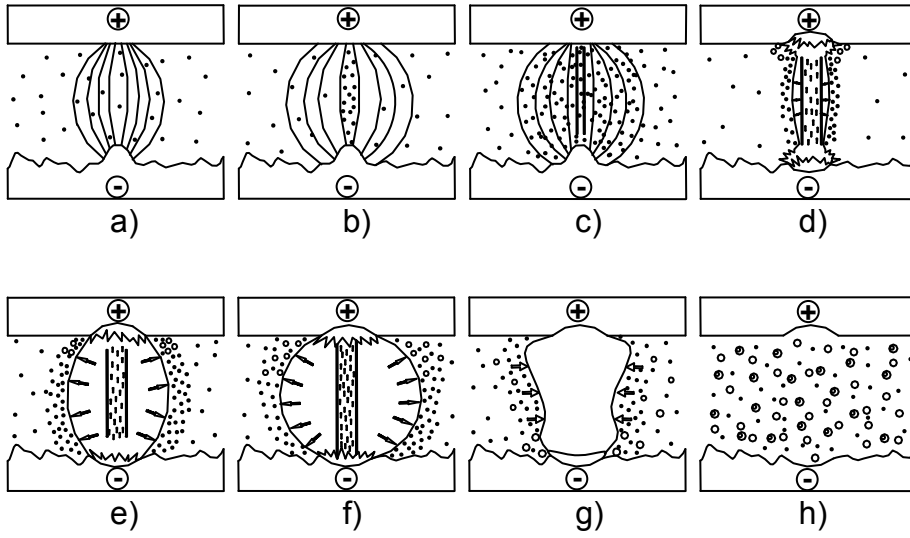
Şekil 2.4. EEİ ile kesme yöntemi



Şekil 2.5. EEİ ile taşlama yöntemi

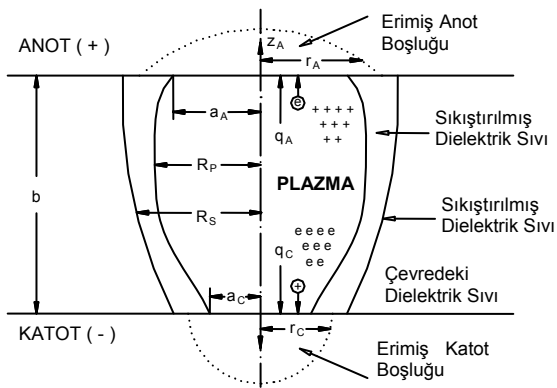
## 2.2. EEİ ile İşlemenin Fiziksel Prensibi

EEİ ile işlemenin fiziksel prensibi Şekil 2.6'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Bu şekilde EEİ'nin üç temel elemanı olan elektrot, işparçası ve dielektrik sıvı arasındaki fiziksel olaylar işlem sırasına göre dizilmiştir. EEİ ile işlemede kullanılan dielektrik sıvı çok küçük partiküller içermektedir (Şekil 2.6.a). Operasyon sırasında 10-40  $\mu\text{m}$ 'lik işleme aralığı boyunca uygulanan yaklaşık 80-200 V'luk doğru akım gerilimi işparçası ve elektrot arasında manyetik alan oluşmasına sebep olur. İşlemin başlangıcında hiçbir elektrik akım akışı olmaz. Bunun nedeni dielektrik sıvının elektrodu ve işparçasını yalıtmış olmasıdır. Elektriksel alan dielektrik sıvı içerisindeki partiküllerin elektriksel alan içinde bir hat üzerinde asılı kalmasına ve işleme aralığı boyunca bir köprü oluşturmasına neden olur (Şekil 2.6.b). Bu olay dielektrik sıvının kırılmasına sebep olur. Dielektrik sıvının kırılması ile işleme aralığındaki gerilim değeri düşer ve akım değeri operatör tarafından ayarlanmış olan sabit değere kadar yükselir (Şekil 2.6.c). Şekil 2.6.c'de gösterilen plazma kanalı vuruş süresi boyunca büyür ve gelişir (Şekil 2.6.d, e). Plazma kanalının etrafında buhar kabarcıkları oluşur. Bu buhar kabarcıkları ile plazma kanalının etrafındaki dielektrik sıvı, plazma kanalının gelişimini sınırlar ve giren enerjiyi çok küçük bir hacimde konsantre halde tutar (Şekil 2.6.f). 3  $\text{j/mm}^3$ 'e kadar olan enerji yoğunlukları, yerel plazma sıcaklıklarının 40 000 °K'e kadar ulaşmasına neden olur. Yoğunluk etkileri sebebiyle dinamik plazma basıncı 3 kbar'a kadar çıkar. Vuruş süresi boyunca yüksek plazma enerjisi işparçası ve elektrot çiftini termal iletimle ertirir. Fakat yüksek plazma basıncı sebebiyle sınırlı elektrot malzemesi buharlaşması olur. Akım durduğunda plazma kanalı kesilir ve buhar kabarcıkları söner. Bu da elektrot ve işparçası yüzeylerindeki aşırı ısınmış sıvı partiküllerin dielektrik sıvı içinde patlamasına sebep olur (Şekil 2.6.g). Dielektrik sıvı ergiyik malzemeyi soğutup katılaştırarak ortamdan uzaklaştırır da sıvı malzemenin bir kısmı yüzeylerde tekrar katılaştır (Şekil 2.6.h). Bu çevrim işlemenin sonuna kadar her boşalım için tekrarlanır.



Şekil 2.6. EEİ ile işlemenin fiziksel prensibi [71]

Vurum süresinin başlangıcındaki hızlı hareket eden elektronların bombardımanı sebebiyle elektrot ilk başta hızla erir. Fakat plazma yarıçapının artması ile yerel ısı transferinde oluşan azalma hızla ergiyen elektrot malzemesinin birkaç mikro saniye içerisinde tekrar katılaşmasına neden olur. Büyük kütleli pozitif iyonların daha düşük hareket kabiliyetleri sebebi ile işparçasının ergimesi daha geç olur. İşparçasında, elektron verilmesi (atılması) nedeniyle plazma yarıçapı elektroda göre daha küçüktür (Şekil 2.7). Plazma kanalının bu nedenle işparçasının iç kısımlarına doğru bir nokta ısı kaynağı oluşturduğu düşünülmektedir [71, 72].



Şekil 2.7. Plazma kanalı [71, 72]

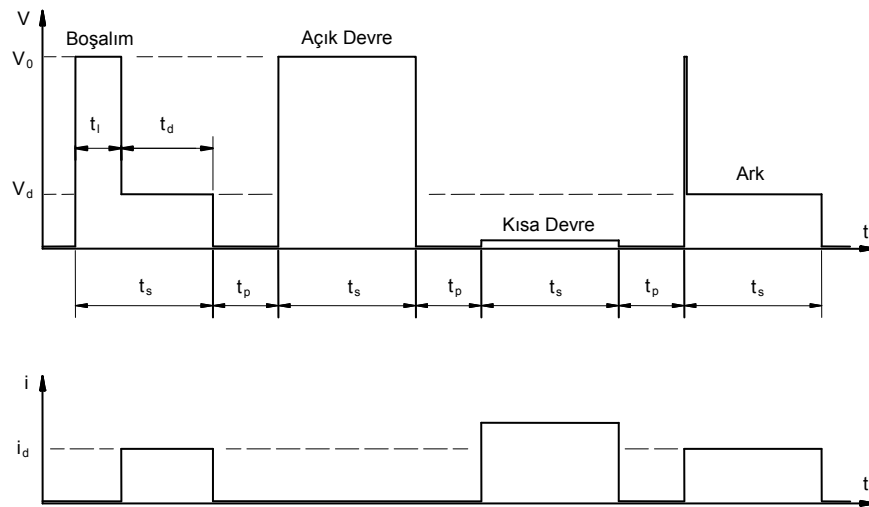
### 2.3. EEİ ile İşlemenin Temel Parametreleri

EEİ ile işlemenin çok parametreliliği işleme yöntemi olduğu düşünüldüğünde, işleme parametreleri ile işleme performansı arasındaki ilişkilerin çok iyi bilinmesi gerekir. EEİ ile işlemenin temel parametreleri aşağıda verilmiştir:

1. Elektriksel parametreler,
2. Vurum jeneratörü karakteristikleri,
3. Dielektrik sıvı parametreleri,
4. İşparçası malzemesi fiziksel özellikleri,
5. Elektrot malzemesi fiziksel özellikleri,
6. İşparçası ve elektrodun boyutsal ve geometrik özellikleri,

#### 2.3.1. Elektriksel parametreler [73, 74]

İşleme aralığındaki boşalım işleminin tipik gerilim ve akım değişimleri  $u(t)$  ve  $i(t)$  tarafından karakterize edilirler. Bu değişimler Şekil 2.8'de gerilim kontrollü bir vurum jeneratörü için gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Gerilim kontrollü bir vurum jeneratöründe vurumların gerilim ve akım dalga biçimleri [74]

EEİ ile işlemenin elektriksel parametreleri aşağıda verilmiştir;

- a) *Boşalım süresi* ( $t_d$ ): Ateşleme sonrası işleme aralığı boyunca oluşan boşalımın süresi.
- b) *Gecikme süresi* ( $t_l$ ): Ateşleme öncesinde dielektrik sıvının iyonlaşma (elektrik iletkenleşme) süresi.
- c) *Vurum süresi* ( $t_s$ ): İşleme aralığına gerilimin ilk uygulanması anı ile boşalımın bitiş anı arasındaki toplam süre.

$$t_s = t_d + t_l \quad (2.1)$$

- d) *Bekleme süresi* ( $t_p$ ): İki vurum arasında vurum jeneratörü tarafından bırakılan ara süresi.
- e) *Vurum çevrim süresi* ( $t_c$ ): Jeneratör tarafından uygulanan vurum ve bekleme süresinin toplamı.

$$t_c = t_s + t_p \quad (2.2)$$

- f) *Vurum frekansı* ( $f_c$ ): Jeneratör tarafından elektrotlar arasına birim zamanda uygulanan gerilim vurumlarının sayısı.
- g) *Açık devre gerilimi* ( $V_o$ ): Akım boşalımı olmadığı anda işleme aralığında görülen gerilim.
- h) *Boşalım gerilimi* ( $V_d$ ): Boşalımın devam ettiği sürece ölçülen gerilim.
- i) *Boşalım akımı* ( $i_d$ ): Boşalım süresince işleme aralığından geçen akım.
- j) *Boşalım gücü* ( $P_d$ ): Bir boşalım süresince uygulanan güç.

$$P_d = V_d(t) \cdot i_d(t) \quad (2.3)$$

k) *Vurum enerjisi* ( $W_s$ ): Boşalım süresince işleme aralığına uygulanan enerji

$$W_s = \int_t V_d(t) \cdot i_d(t) \cdot dt \approx V_d \cdot i_d \cdot t_d \quad (2.4)$$

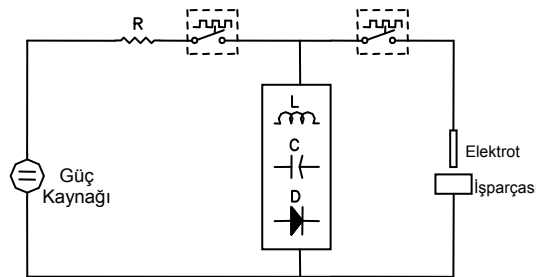
l) *Ortalama çalışma gerilimi* ( $V$ ): İşleme süresince işleme aralığında ölçülen gerilimin aritmetik ortalaması.

m) *Ortalama çalışma akımı* ( $i$ ): İşleme süresi boyunca işleme aralığından geçen akımın aritmetik ortalaması.

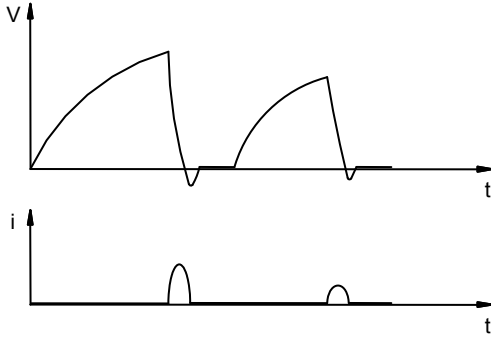
### 2.3.2. Vurum jeneratörü karakteristikleri

i) RC tipi jeneratörler:

Doğal ateşlemenin ve çoğunlukla salınımlı boşalımların oluştuğu, boşalım sonunun enerji depolanması tarafından etkilendiği, boşalım süresi ve sıklığının esasen 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 [73].



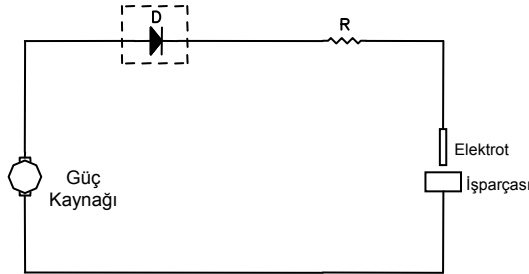
Şekil 2.9. RC jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı [73]



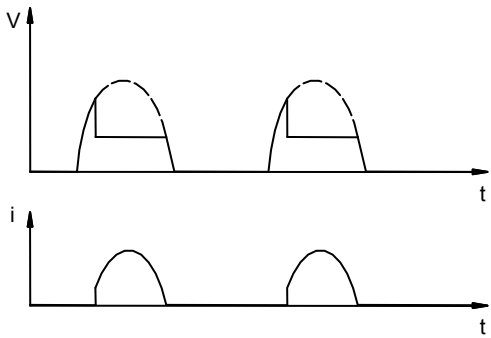
Şekil 2.10. RC jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi [73]

ii) Döner vurum jeneratörleri:

Gerilim kaynağının doğrudan bir direnç üzerinden boşalım aralığına bağlı olduğu, boşalım süresi ve sıklığının öncelikle döner jeneratör tarafından belirlendiği jeneratörlerdir. Bu jeneratörler bir kollektör ve bir doğrultucu ile teçhiz edilebilir [73].



Şekil 2.11. Döner vurum jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı [73]

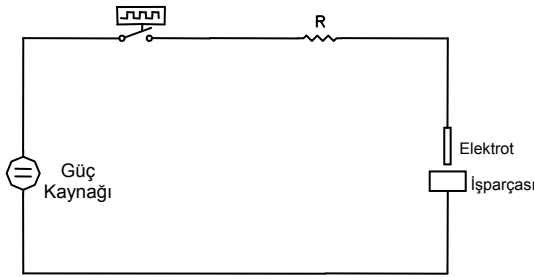


Şekil 2.12. Döner vurum jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi [73]

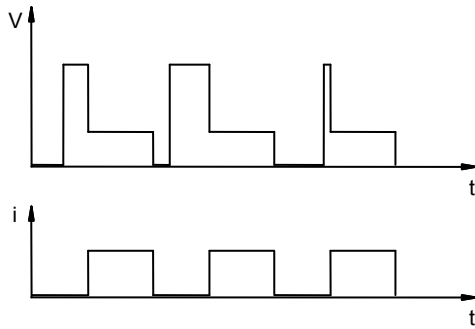


### iii) Isopulse jeneratörler:

Gerilimin anahtarlama elemanları kullanımıyla işleme aralığına bağlı olduğu, boşalım sürelerinin ve sıklıklarının özellikle kontrollü anahtarlama proseslerine bağlı olduğu jeneratörlerdir [73].



Şekil 2.13. Isopulse jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı [73]



Şekil 2.14. Isopulse jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi [73]

### 2.3.3. Dielektrik sıvı parametreleri

EEİ ile işlemede kullanılan dielektrik sıvının görevleri aşağıdadır.

- i) Fiziksel olarak dielektrik sıvı elektrotlar üzerinde toplanan yükü belirli bir süre için tutar. Bu süre işleme aralığı şartları ile belirlenir. İşleme aralığı şartları uygun olduğunda dielektrik sıvı elektrik akımının çok küçük bir dirençle artmasına izin verir.

- ii) Dielektrik sıvı, boşalımı dar bir kanalda tutar. Böylece elektrot yüzeyi üzerindeki güç yoğunluğu ve işleme hızı artar.
- iii) Boşalım esnasında açığa çıkan ısı hemen atılmalıdır. Çünkü bu ısı erozyona katkıda bulunmaz. Aksine elektrot ve işparçası yüzeyleri üzerinde zarara sebep olur. Dielektrik sıvı ısıyı yüzeylerden boşalım biter bitmez uzaklaştırır.
- iv) Boşalım sonrası işleme aralığında oluşan işleme atıkları dielektrik sıvı ile işleme aralığından uzaklaştırılır. Bu işlem kısa devreleri ve elektrot aşınmasını önleme açısından çok önemlidir [15, 75].

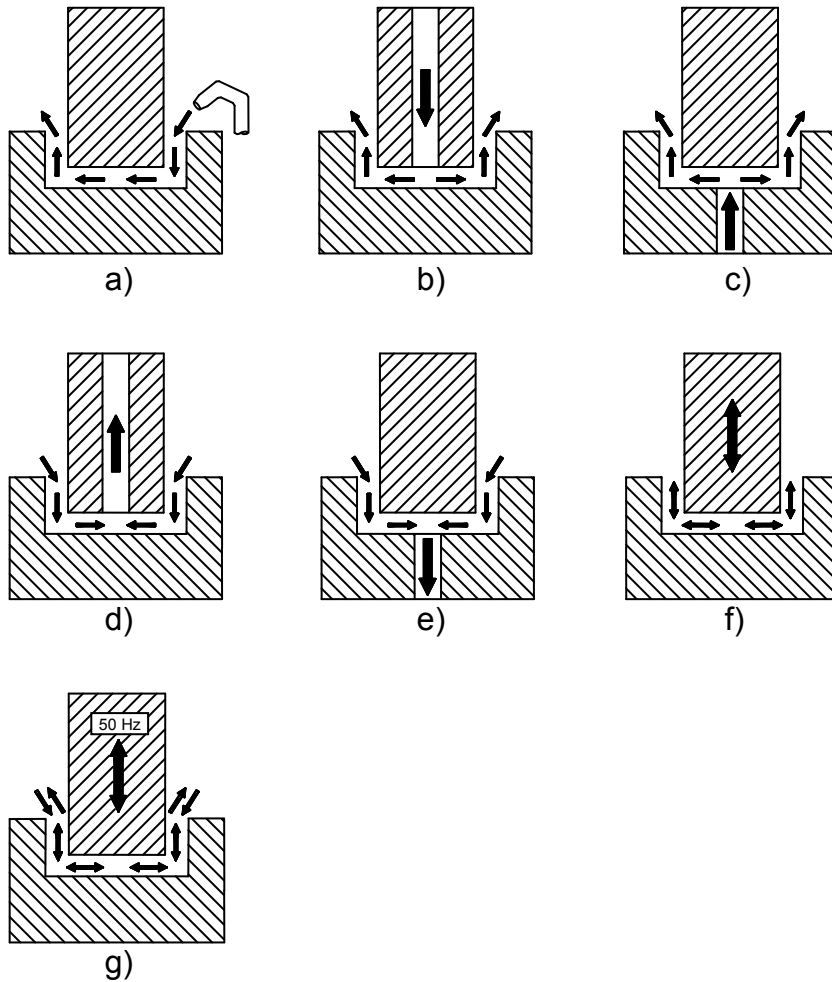
EEİ ile işlemede dielektrik sıvıya ait özellikler de işlem üzerinde oldukça etkilidir. İşleme üzerinde etkili olan dielektrik sıvı özellikleri aşağıda sunulmuştur.

1) *Dielektrik sıvının cinsi:* EEİ ile işlemede en çok kullanılan dielektrik sıvı hidrokarbon bileşikleri ve sudur. Bunların yanı sıra organik bileşikler olan glikol ve etilenin farklı hacimsel oranlardaki sulu çözeltileri de kullanılmaktadır. [76]. Ayrıca deneysel amaçlı gaz jeti uygulamaları da mevcuttur [36]. Hidrokarbon bileşikleri ham petrolün rafine edilmiş formu olup, bunların arasında en iyi bilinen gaz yağıdır. Suyun kullanımı, tel erozyon tezgahlarında, düşük viskozitenin avantajlı olduğu ve işleme sırasında dielektrik sıvının bozunumu ile karbon oluşumunun istenmediği dalma tipi erozyon tezgahlarında geçerlidir [28].

2) *Dielektrik sıvı uygulama yöntemi:* EEİ ile işlemede yaygın olarak kullanılan dört tip dielektrik sıvı uygulama yöntemi vardır. Bu teknikler;

- i) Yanal püskürtme: Dielektrik sıvının işleme aralığına yardımcı bir aparat ile işleme aralığına yandan uygulandığı bir yöntemdir (Şekil 2.15.a).
- ii) Elektrot veya işparçası içinden püskürtme: Dielektrik sıvının işleme aralığına elektrot veya işparçasına açılan bir delik ile püskürtüldüğü bir yöntemdir (Şekil 2.15.b, c).

- iii) Elektrot veya işparçası içinden emme: Dielektrik sıvının işleme aralığından elektrot veya işparçasına açılan bir delik ile emildiği bir yöntemdir (Şekil 2.15.d, e).
- iv) Statik: Dielektrik sıvının sadece elektrodu aşağı ve yukarı yönde yaptığı hareketler ile oluşan basınç vasıtası ile uygulandığı bir yöntemdir (Şekil 2.15.f).
- v) Titreşimli: Elektrodun 50 Hz frekansta aşağı yukarı doğrultuda titreştirilmesi ile sağlanan pompalamayı kullanan bir yöntemdir (Şekil 2.15.g) [15, 28, 42].



Şekil 2.15. Dielektrik sıvı uygulama yöntemleri

- a. Yanal püskürtme, b) Elektrot içinden püskürtme,  
c) İşparçası içinden püskürtme, d) Elektrot içinden emme,  
e) İşparçası içinden emme, f) Statik, g) Titreşimli

3) *Dielektrik sıvı basıncı*: Dielektrik sıvının işleme aralığındaki işleme atıklarını ortamdaki uzaklaştırması ve yüzeylerdeki aşırı ısınmayı engellemesi için uygulanan farklı yöntemler vardır. Bu yöntemlerden dielektrik sıvının hiçbir basınç uygulanmadan sadece yanal akış yöntemiyle uygulanması durumunda işleme atıkları işleme aralığının iç kenarlarında toplanarak boşalım verimini azaltır. Basıncın uygulanmadığı durumlarda yüzeylerden kaldırılan talaş birikerek kirlilik oluşturur. Basıncın uygulanması özellikle derin işleme koşullarında daha kritiktir. Çünkü yanal akış derin işleme koşullarında işleme aralığında boşalımın oluşturduğu basınçtan dolayı yeterli temizliği gerçekleştiremez ve işleme aralığında biriken işleme atıkları işlemenin verimini düşürür. Ayrıca basıncın uygulanmaması halinde işleme derinliğinde belirgin azalma gözlenir. Dielektrik sıvı basıncındaki artış İİH ve EAH'da artışa sebep olurken yüzey pürüzlülüğünün önce artmasına daha sonra yüksek basınç değerlerinde fazla değişmemesine neden olur [26, 29, 42]. Bunların yanı sıra, dielektrik sıvının basınçlı uygulandığı yöntemlerde elektrodun keskin köşe ve kenarlarındaki yuvarlanma eğilimi basınç uygulanmadığı durumlara göre daha yüksektir. Bunun sebebi ise ergimiş metalin yüzeyde tekrar katılaşmadan basınç yoluyla ortamdaki uzaklaştırılmasıdır [77].

4) *Dielektrik sıvı akış hızı*: Dielektrik sıvının akış hızı uygulama merkezinden uzaklaştıkça azalır. Yüksek hızlardaki dielektrik sıvı akışı kabarcıklara neden olur. Bu kabarcıklar akışın türbülanslı olmasına yol açar. Dielektrik sıvının türbülanslı yapısı, bir sonraki boşalımın aynı noktalarda oluşma olasılığını artırır [78]. Ayrıca dielektrik akış hızı işparçası yüzeyindeki tekrar katılaşmış tabaka kalınlığını ve bu tabakadaki mikro çatlakların yoğunluğunu da etkiler. Akış hızının yüksek olması ergimiş işparçası malzemesinin yüzeyden daha çabuk uzaklaştırılmasını sağlayacağı için tekrar katılaşan tabaka kalınlığı azalır [28].

5) *Dielektrik sıvı viskozitesi*: Yüksek viskozite değerine sahip dielektrik sıvılarla yapılan derin işlemlerde işleme atıklarının ortamdaki

uzaklaştırılması zordur. Bunun sebebi ise yüksek viskoziteye sahip dielektrik sıvının işleme aralığı ve kesme genişliği aralıklarında etkin bir sirkülasyon sağlayamamasıdır. Bununla birlikte düşük viskoziteli dielektrik sıvıların ise kırılmaya karşı dirençleri düşüktür.

6) *Dielektrik sıvı sıcaklığı*: İşleme sırasında dielektrik sıvının soğutma işlemine tabi tutulmaması dielektrik sıvının ısınmasına ve viskozite değerinin düşmesine sebep olur. Bunun neticesinde dielektrik sıvının elektriksel kırılmaya karşı direnci azalarak düzensiz boşalmalara neden olur.

#### **2.3.4. İşparçası malzemesinin fiziksel özellikleri**

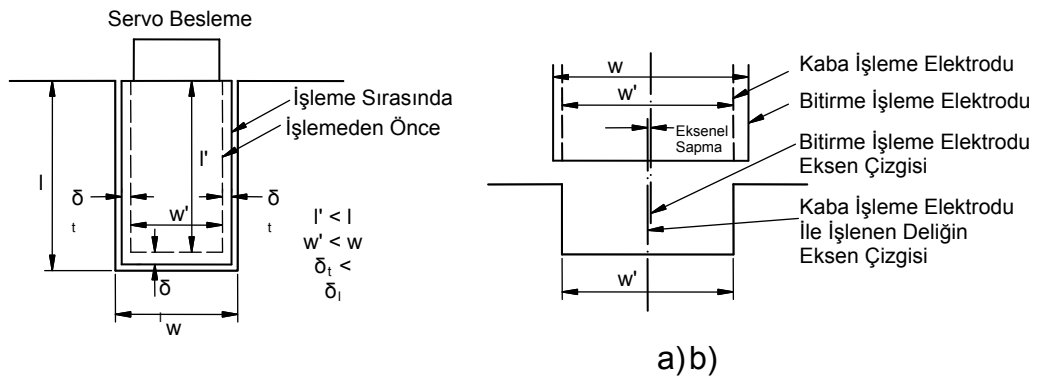
EEİ ile işlemede elektriksel iletkenliğe sahip bütün metaller işparçası olarak işlenebilir. İşparçası malzemesinin işlenebilirlik derecesi işparçası malzemesinin bazı ısı-fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu özelliklerden en etkili olanları yoğunluk, ısı kapasite ve ergime sıcaklığıdır. Bu değerler ile işleme hızı ters orantılıdır [72].

#### **2.3.5. Elektrot malzemesinin fiziksel özellikleri**

EEİ ile işlemede elektrot malzemelerinin sahip olması istenen en genel ısı-fiziksel özellikler, yüksek ısı kapasite ve yüksek ergime sıcaklığı değerleridir. EEİ'de elektrot aşınması bu değerler ile ters orantılıdır. Yüksek ergime sıcaklığına ve yüksek ısı kapasiteye sahip elektrot malzemelerinin aşınma direnci yüksektir [79].

### 2.3.6. İşparçası ve elektrodun boyutsal ve geometrik özellikleri

EEİ ile işleme esnasında kullanılan bakır elektrotlar işparçası olarak çoğunlukla kullanılan çelik malzemelerden daha fazla genleşir. Bundan dolayı elektrot tasarımı yapılırken ısıl genleşmeyi göz önünde bulundurmak gerekir (Şekil 2.16.a). Aşamalı yapılan işlemlerde (Şekil 2.16.b) elektrot değişimi esnasında oluşan aksel sapmaların da engellenmesi gerekir [13].



Şekil 2.16. Elektrot ve işparçası boyutları arasındaki ilişki [13]

a) Termal genleşmenin etkisi, b) Aksel sapmanın etkisi

İşleme yüzey alanı küçük olan elektrotlar yüksek enerji yoğunlukları sebebi ile daha fazla aşınır [29]. Ayrıca keskin köşe ve kenarlara sahip elektrotlarda köşe ve kenar aşınmasının işleme başlangıcında çok hızlı olduğu bilinmektedir.

### 2.4. EEİ ile İşlemede Performans Karakteristikleri

Genel olarak EEİ'de işleme performansının değerlendirilmesi aşağıdaki performans karakteristiklerine göre yapılır:

$$\text{İşparçası İşleme hızı} = \dot{V}H = \frac{\text{İşparçası toplam aşınma hacmi [mm}^3\text{]}}{\text{Toplam işleme süresi [dak.]}]} [\text{mm}^3/\text{dak.}] \quad (2.5)$$

$$\text{Elektrot aşınma hızı} = \text{EAH} = \frac{\text{Elektrot toplam aşınma hacmi [mm}^3\text{]}}{\text{Toplam işleme süresi [dak.]}]} [\text{mm}^3/\text{dak.}] \quad (2.6)$$

$$\text{Bağıl aşınma} = \text{BA} = \frac{\text{Elektrot aşınma hızı (EAH)}}{\text{İşparçası işleme hızı (İİH)}} \times 100 \quad [\%] \quad (2.7)$$

*İşparçası ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ):* Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri işparçası yüzeyinde belirli bir uzunluktaki doğrultu üzerinden ölçülen y eksenindeki değerlerin  $\mu\text{m}$  cinsinden aritmetik ortalamasıdır.

Yukarıda sıralanan performans karakteristiklerinin değerleri tamamen işleme parametrelerine bağlıdır. EEİ ile işlemenin optimizasyonu minimum elektrot aşınma hızı (EAH) ile maksimum işparçası işleme hızını (İİH) olabildiğince düşük işparçası ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) değeri ile birlikte elde etmektir [80, 81].

### 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN DENEY DÜZENEKLERİ

Bu çalışmada, EEİ'de işleme performansını iyileştirmek için işparçasına mekanik titreşim uygulamak amacı ile ilk olarak İşleme Haznesi Titreşimli EEİ (İHT-EEİ) deney düzeneği tasarlanmış, imalatı gerçekleştirilmiş, farklı parametreler için deneyler yapılmıştır. Daha sonra İHT-EEİ tekniğinin kısıtlamaları görülerek işparçasına doğrudan titreşimlerin uygulanabilmesi amacı ile İşparçası Titreşimli EEİ (İT-EEİ) deney düzeneği tasarlanmış, imalatı gerçekleştirilmiş ve farklı parametreler için deneyler yapılmıştır.

Deneylerde silindirik bakır elektrot, disk şeklinde işlenmiş çelik işparçası ve gazyağı dielektrik kullanılmıştır. Deneylerde farklı frekans değerleri, boşalım akımları, vuruş süreleri ve işleme derinlikleri kullanılmıştır. Deneyler neticesinde İİH, EAH, BA ve  $R_a$  değerlerinin işleme parametreleri ile gösterdiği değişim incelenmiştir.

Çalışmada önce İHT-EEİ ve sonra İT-EEİ tekniğine ait deney sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 3.1'de İHT-EEİ ve İT-EEİ tekniğine ait deney düzeneklerinin parçaları verilmiştir.



Çizelge 3.1. Deney düzeneklerini oluşturan parçalar

|   |  |
|---|--|
| 1. Dielektrik Sıvı, İşparçası ve Elektrot   |  |
| 2. Elektro Erozyon Tezgahı  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>i) Tezgah kontrol panosu</li> <li>ii) Tezgah gazyağı tankı</li> <li>iii) Tezgah başlığı</li> <li>iv) Tezgah işleme haznesi</li> </ul>  |  |
| 3. Titreşim Sistemi   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>i) Bilgisayar (Dizüstü Bilgisayar-Notebook)</li> <li>ii) Sarsıcı (Shaker-Vibration Exciter)</li> <li>iii) Yükseltici (Amplifikatör-Power Amplifier)</li> <li>iv) Kontrol Ünitesi (Controller)</li> <li>v) Mini İvmeölçer (Miniature Accelerometer)</li> <li>vi) Soğutucu Fan (Fan Kit-Air Cooling)</li> </ul>  |  |
| 4. İşleme Haznesi Titreşimli Deney Düzenegi   | 4. İşparçası Titreşimli Deney Düzenegi   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>i) Düzenek alt tablası</li> <li>ii) Sarsıcı alt plakası</li> <li>iii) Sarsıcı</li> <li>iv) Soğutucu fan bağlantısı</li> <li>v) Sarsıcı-yükseltici bağlantı kablosu</li> <li>vi) Sarsıcı başlığı</li> <li>vii) İvmeölçer</li> <li>viii) Sarsıcı-işleme haznesi bağlantı yatağı</li> <li>ix) İşleme haznesi alt kılavuz pimi</li> <li>x) İşleme haznesi</li> <li>xi) İşleme haznesi alt tablası</li> <li>xii) Dielektrik sıvı seviye kontrol borusu</li> <li>xiii) Dielektrik sıvı tahliye borusu ve kanalı</li> <li>xiv) İşparçası bağlama aparatı</li> <li>xv) İvmeölçer</li> <li>xvi) İşparçası</li> <li>xvii) Lineer rulman</li> <li>xviii) Kılavuz mil</li> <li>xix) Statik yük dengeleyici yay</li> <li>xx) Vidalı kılavuz mil</li> <li>xxi) Yükseklik ayar somunu</li> <li>xxii) Dielektrik uygulama borusu</li> <li>xxiii) Dielektrik sıvı hortumu ve vanası</li> <li>xxiv) Elektrot bağlama aparatı</li> <li>xxv) Elektrot</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>i) Düzenek alt tablası</li> <li>ii) Sarsıcı alt plakası</li> <li>iii) Sarsıcı</li> <li>iv) Soğutucu fan bağlantısı</li> <li>v) Sarsıcı-yükseltici bağlantı kablosu</li> <li>vi) Vidalı kılavuz mil</li> <li>vii) Yükseklik ayar somunu</li> <li>viii) Kılavuz mil</li> <li>ix) Lineer rulman</li> <li>x) İvmeölçer alt plakası</li> <li>xi) İvmeölçer</li> <li>xii) Sarsıcı başlığı</li> <li>xiii) Sarsıcı muhafaza elemanı</li> <li>xiv) Koruyucu kapak</li> <li>xv) İşleme haznesi</li> <li>xvi) İşleme haznesi alt tablası</li> <li>xvii) Dielektrik sıvı seviye kontrol borusu</li> <li>xviii) Dielektrik sıvı tahliye borusu ve kanalı</li> <li>xix) İşparçası bağlama aparatı-sarsıcı başlığı bağlantı diskisi</li> <li>xx) Yay destek plakası</li> <li>xxi) İşparçası bağlama aparatı</li> <li>xxii) İvmeölçer</li> <li>xxiii) İşparçası</li> <li>xxiv) Statik yük dengeleyici yay</li> <li>xxv) Yay kılavuz mili</li> <li>xxvi) İşparçası bağlama plakası destek mili</li> <li>xxvii) Elektrot bağlama aparatı</li> <li>xxviii) Elektrot</li> <li>xxix) Yanal dielektrik uygulama borusu</li> <li>xxx) Dielektrik sıvı hortumu ve vanası</li> </ul> |

### 3.1 Dielektrik Sıvı, İşparçası ve Elektrot

#### 3.1.1. Dielektrik sıvı

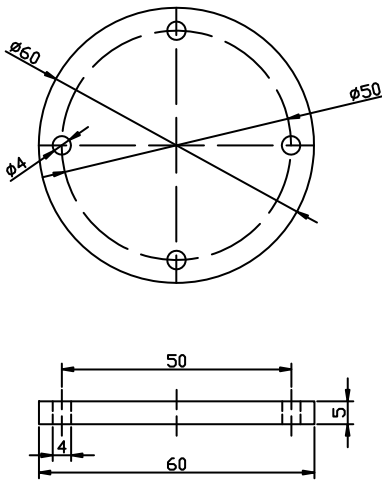
Deneylerde dielektrik sıvı olarak gaz yağı (kerosene) kullanılmıştır.

#### 3.1.2. İşparçası

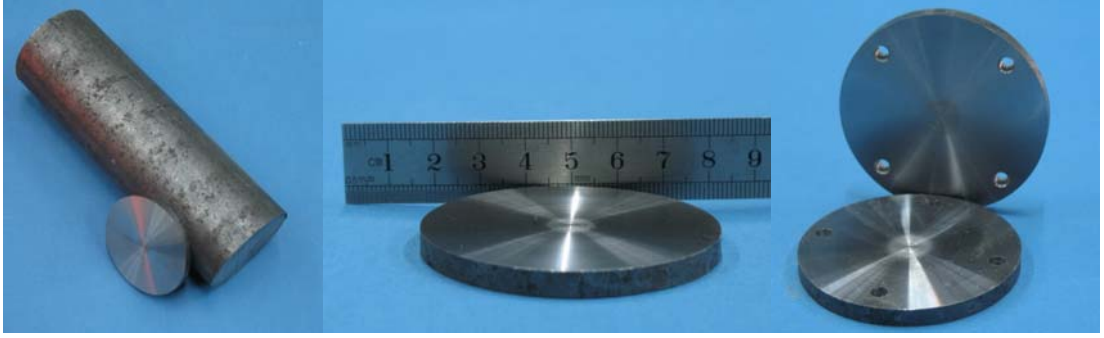
Deneylerde işparçası malzemesi olarak Çizelge 3.2'de alaşım elementleri verilmiş olan  $7,8 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip Ç1040 malzemedan BSD torna tezgahında silindirik 60 mm çapında ve 5 mm kalınlığında kesilmiş ve BSD freze tezgahında 4 mm çapında bağlama delikleri delinmiş numuneler kullanılmıştır (Şekil 3.1, Resim 3.1).

Çizelge 3.2. İşparçası malzemesi alaşım elementleri

| SAE/AISI | C %       | Mn %      | Si %      | P %          | S %          |
|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| 1040     | 0,35–0,44 | 0,60–0,90 | 0,10–0,30 | 0,040 en çok | 0,050 en çok |



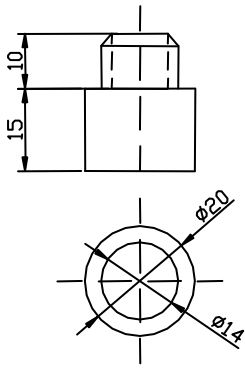
Şekil 3.1. İşparçası ölçüleri



Resim 3.1. İşparçası

### 3.1.3. Elektrot

Deneylerde BSD torna tezgahında 20 mm çapta ve 25 mm boyda, boy ölçüsünün 10 mm'lik kısmına bağlama kolaylığı için M14 diş açılmış 8,9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip silindirik elektrolitik bakır elektrotlar kullanılmıştır (Şekil 3.2, Resim 3.2).



Şekil 3.2. Elektrot ölçüleri



Resim 3.2. Elektrot

### 3.2. Elektro Erozyon Tezgahı

Deneysel alışmalar, G.Ü Mühendislik-Mimarlık Fakóltesi Makina Mühendisliği Bölümü, Takım Tezgahları Laboratuvarı'nda bulunan Furkan EDM M 25 A tipi elektro erozyon tezgahında gerçekleştirilmiştir (Resim 3.3).



Resim 3.3. EDM M 25 A elektro erozyon tezgahı

#### 3.2.1. Tezgah kontrol panosu

Tezgah kontrol panosu, EEİ parametrelerinin ve tezgaha ait diğer bütün güç ayarlamaların yapıldığı birimdir (Resim 3.4)



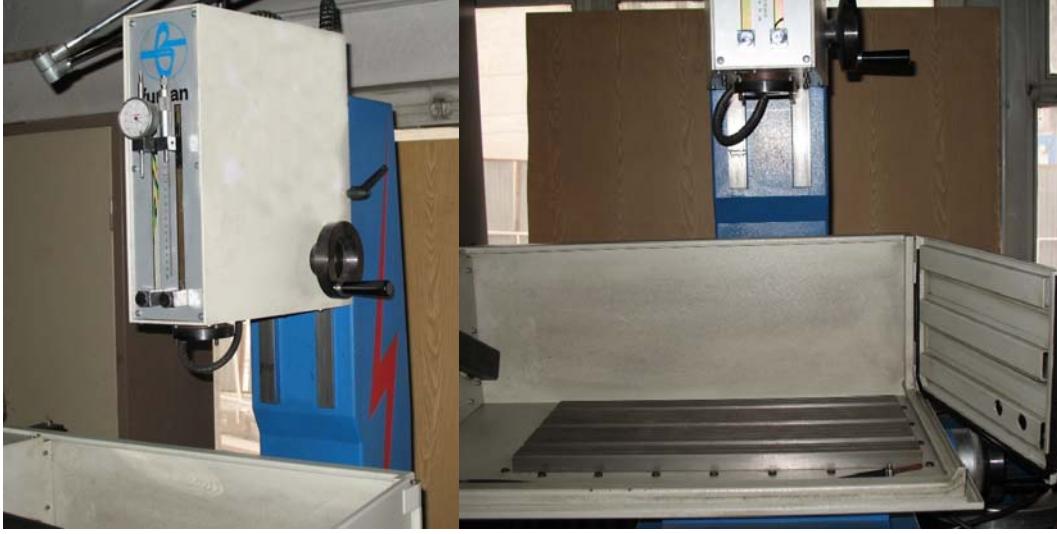
Resim 3.4. Tezgah kontrol panosu

### 3.2.2. Tezgah gazyağı tankı

Dielektrik sıvı olarak kullanılan gazyağının depolandığı ve işleme sırasında filtreleme işleminin yapıldığı birimdir.

### 3.2.3. Tezgah başlığı

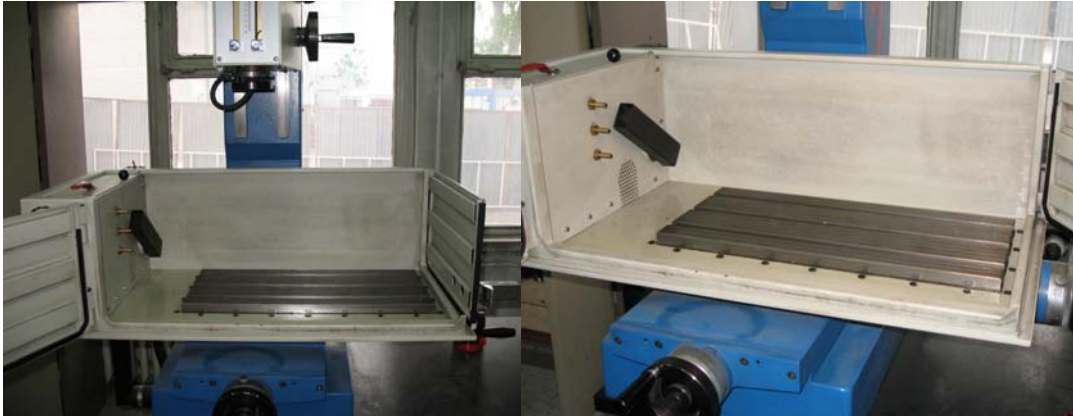
Elektrodun sabitlendiği adaptör başlığı taşıyan ve işleme esnasında elektrodun işparçasına doğru ilerleme hareketini sağlayan servo kontrol mekanizmasının olduğu birimdir (Resim 3.5).



Resim 3.5. Tezgah başlığı

### 3.2.4. Tezgah işleme haznesi

EEİ işleminin gerçekleşebilmesi için dielektrik sıvı havuzunun oluşturulduğu ve işparçasının sabitlendiği sistemdir. Bu çalışmada bu sistem sadece titreşimli işleme düzeneğinin sabitlenmesi için kullanılmıştır (Resim 3.6).

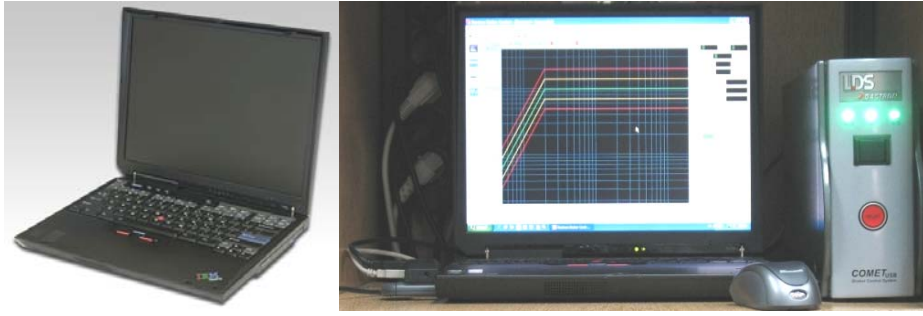


Resim 3.6. Tezgah işleme haznesi

### 3.3. Titreşim Sistemi

#### 3.3.1. Bilgisayar (Dizüstü Bilgisayar-Notebook)

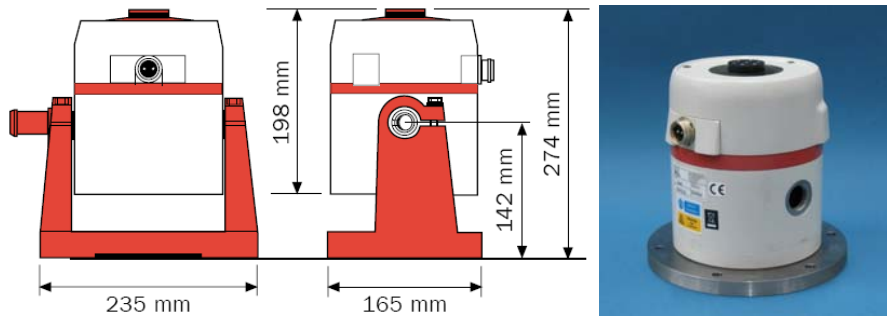
Deneylerde uygulanacak olan titreşimlerin sinyal karakteristiklerinin tanımlanması ve kontrol edilmesinde kullanılan kontrol ünitesi için gerekli olan yazılımın çalıştırılmasında IBM ThinkPad R40e model bilgisayar kullanılmıştır (Resim 3.7).



Resim 3.7. IBM ThinkPad R40e model bilgisayar

#### 3.3.2. Sarsıcı (Shaker-Vibration Exciter)

Uygulanacak titreşimlerin üretilmesi için Ling Dynamic Systems (LDS) firmasına ait teknik özellikleri Ek-1’de verilmiş olan LDS V406/8 model sarsıcı (Resim 3.8) kullanılmıştır.



Resim 3.8. LDS V406/8 model sarsıcı



### 3.3.3. Yükseltici (Amplifikatör-Power Amplifier)

Yükseltici olarak LDS V406/8 model sarsıcı ile uyumlu olan ve teknik özellikleri Ek-2'de verilmiş olan Ling Dynamic Systems (LDS) firmasına ait LDS PA 100E model yükseltici kullanılmıştır (Resim 3.9).



Resim 3.9. LDS PA 100E model yükseltici

### 3.3.4. Kontrol ünitesi (Controller)

Deneylerde işparçasına uygulanacak titreşimlerin sinyal karakteristiklerinin tanımlanması ve kontrol edilmesinde kontrolcü olarak Ling Dynamic Systems (LDS) firmasına ait LDS-Dactron marka COMET USB Shaker Control System (Resim 3.10) kullanılmıştır. Yazılım programı olarak ise LDS-Dactron Shaker Control System 6.1 programı kullanılmıştır.



Resim 3.10. LDS-Dactron marka COMET USB Shaker Control System



### 3.3.5. Mini ivmeölçer (Miniature Accelerometer)

Her iki deney düzeneğinde de oluşturulmuş olan titreşim sinyalinin kontrolü ve izlenmesi amacı ile sarsıcı ünitenin armatürü üzerinde bulunan bir plaka ve işparçası bağlama aparatı üzerine sabitlenmiş teknik özellikleri Ek-3'de verilmiş olan PCB PIEZOTRONICS marka 352C22 model iki adet mini ivmeölçer (Resim 3.11) kullanılmıştır.



Resim 3.11. PCB PIEZOTRONICS marka 352C22 model mini ivmeölçer

### 3.3.6. Soğutucu fan (Fan Kit-Air Cooling)

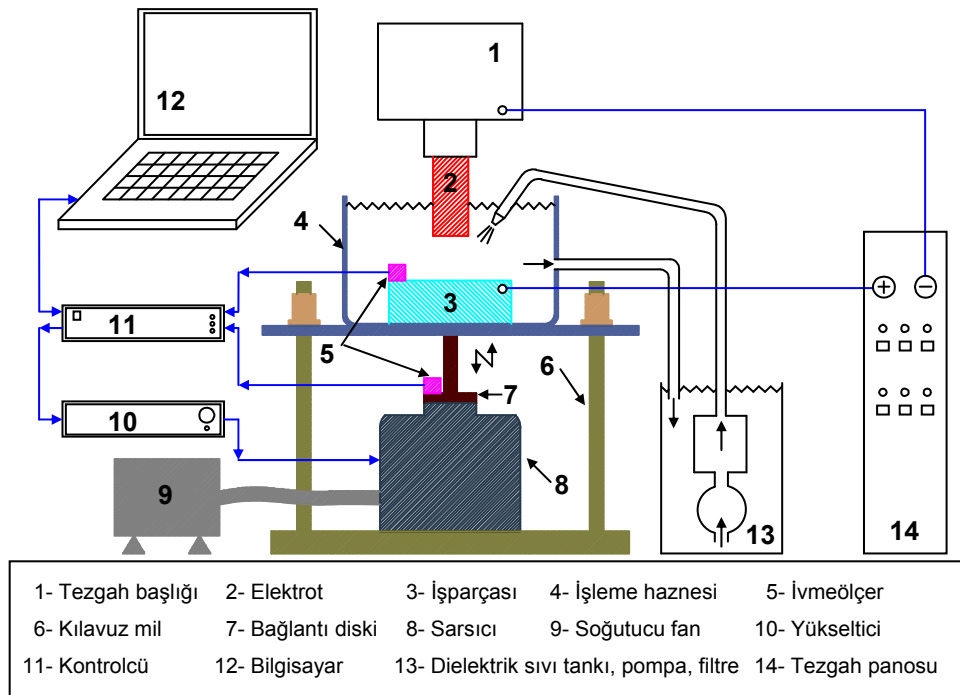
Sarsıcı ünitenin soğutulmasında AIR CONTROL INDUSTRIES LTD (ACI) firmasına ait Multi-Stage 9MS8 model soğutucu fan kullanılmıştır (Resim 3.12).



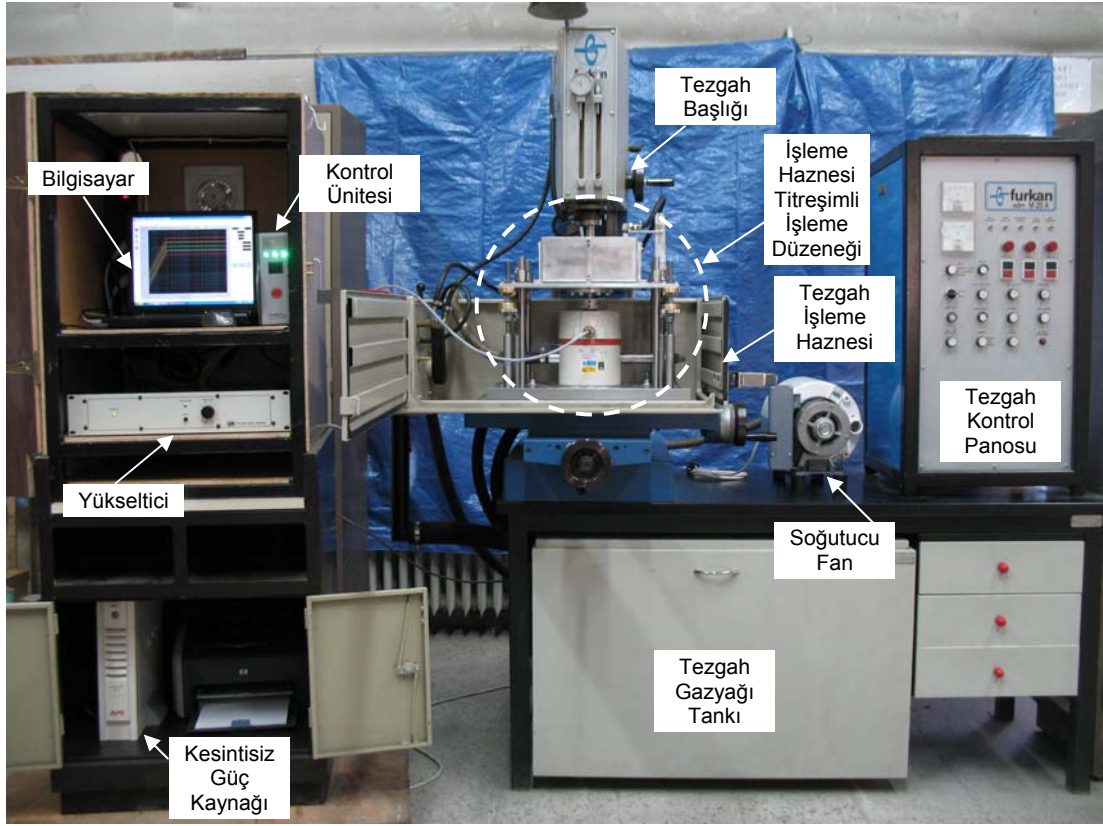
Resim 3.12. Multi-Stage 9MS8 model soğutucu fan

### 3.4. İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği

Deneyel çalışmalarda kullanılmış olan İHT-EEİ tekniği deney düzeneği Şekil 3.3'de şematik olarak gösterilmiştir. Deney düzeneği, bir tablaya bağlı kılavuz miller üzerinde rulmanlı yataklar sayesinde işparçasının bağlı olduğu işleme haznesinin elektrot ilerleme eksenini ile aynı ekseninde titreşim üreten bir sarsıcının ürettiği titreşimler ile EEİ ile işleme sırasında titreştirilmesi esasına dayanır. Deney düzeneğinin bir parçası olan sarsıcı ünitenin uygulayabileceği kuvvetin sınırlı olması nedeniyle işleme sırasında işleme haznesinin üzerinde bulunan diğer parçaların ve hazne içerisindeki dielektrik sıvının ağırlıklarının sarsıcı üniteye yansıtılmaması amacı ile vidalı kılavuz miller üzerinde çalışan dört adet statik yük dengeleyici yay kullanılmıştır. Deney düzeneğini oluşturan parçaların kütleleri Ek-4'de verilmiştir. Titreşimsiz deneyler sarsıcı ünite ile işleme haznesi arasındaki bağlantı çözülerek gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılmış olan İHT-EEİ tekniğine ait deney düzeneğinin genel görünümü Resim 3.13'de verilmiştir.

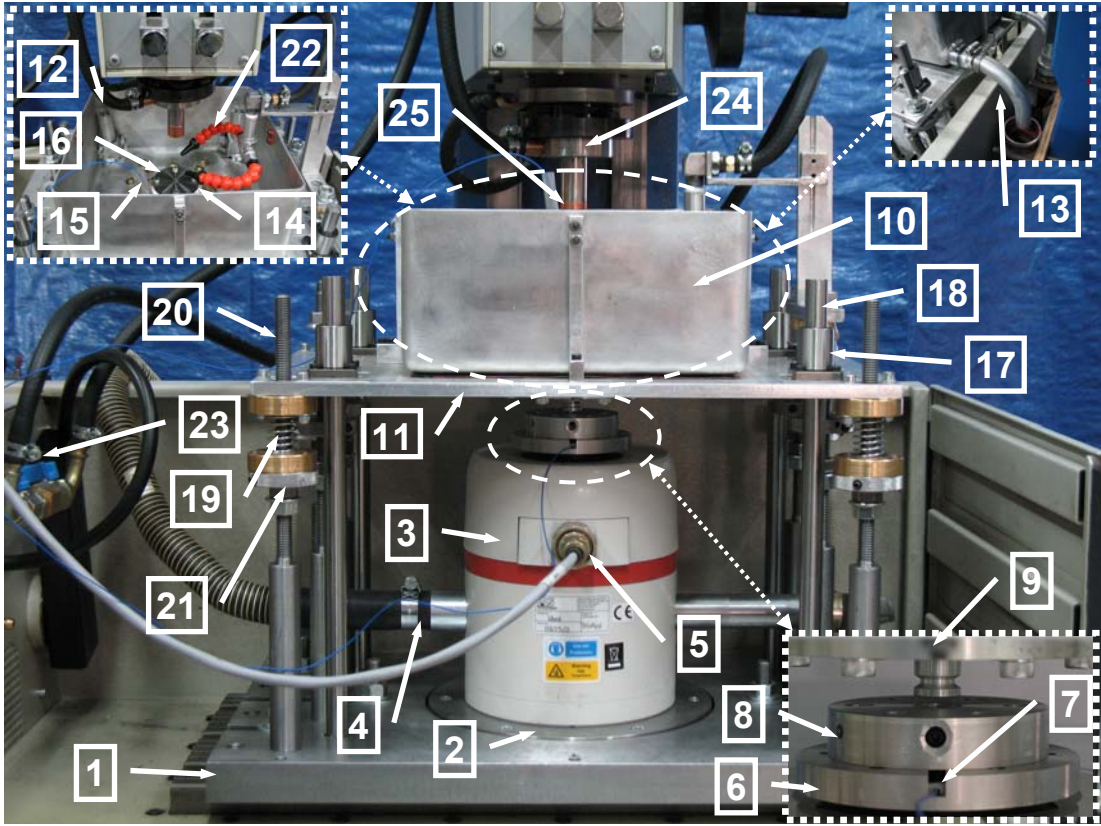


Şekil 3.3. İHT-EEİ tekniği şematik görünümü



Resim 3.13. İHT-EEİ tekniğine ait deney düzeneğinin genel görünümü

İHT-EEİ tekniğine ait deney düzeneğini oluşturan parçaların (Resim 3.14 ve Çizelge 3.3) deney düzeneği içerisindeki konumu, malzemesi ve görevleri Ek-5'de verilmiştir.



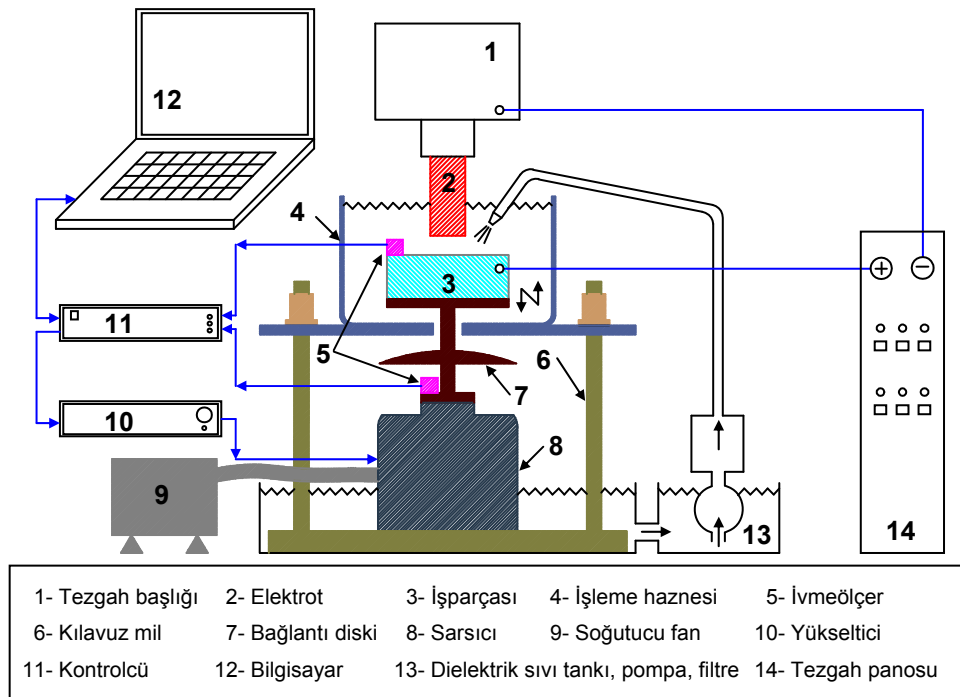
Resim 3.14. İHT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları

Çizelge 3.3. İHT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları

| Parça No | Parça Adı   |
|----------|---|
| 1        | Düzenek alt tablası   |
| 2        | Sarsıcı alt plakası   |
| 3        | Sarsıcı   |
| 4        | Soğutucu fan bağlantısı                                       |
| 5        | Sarsıcı-yükseltici bağlantı kablosu                           |
| 6        | Sarsıcı başlığı   |
| 7        | İvmeölçer (titreşim sinyalinin kontrolü için)                 |
| 8        | Sarsıcı-işleme haznesi bağlantı yatağı                        |
| 9        | İşleme haznesi alt kılavuz pimi                               |
| 10       | İşleme haznesi  |
| 11       | İşleme haznesi alt tablası                                    |
| 12       | Dielektrik sıvı seviye kontrol borusu                         |
| 13       | Dielektrik sıvı tahliye borusu ve kanalı                      |
| 14       | İşparçası bağlama aparatı                                     |
| 15       | İvmeölçer (işparçasına yansıyan titreşimlerin izlenmesi için) |
| 16       | İşparçası   |
| 17       | Lineer rulman   |
| 18       | Kılavuz mil   |
| 19       | Statik yük dengeleyici yay                                    |
| 20       | Vidalı kılavuz mil  |
| 21       | Yükseklik ayar somunu   |
| 22       | Dielektrik uygulama borusu                                    |
| 23       | Dielektrik sıvı hortumu ve vanası                             |
| 24       | Elektrot bağlama aparatı                                      |
| 25       | Elektrot  |

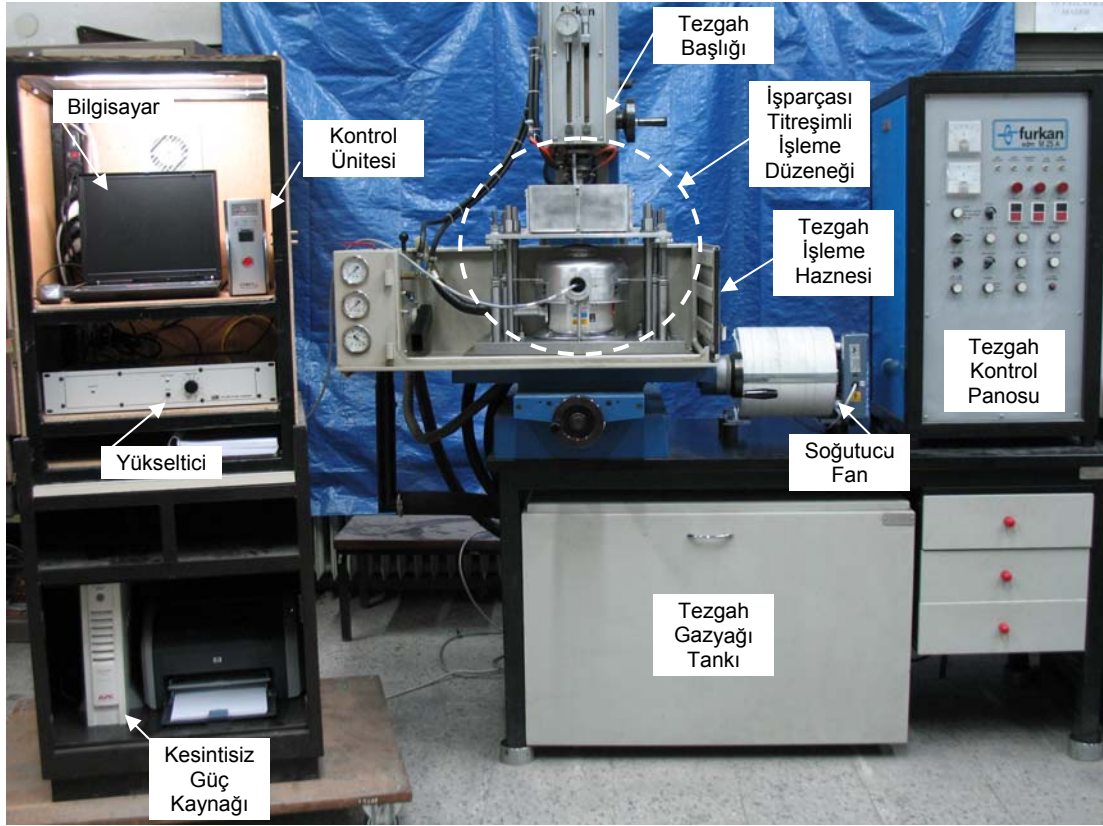
### 3.5. İT-EEİ Tekniği Deney Düzenegi

İT-EEİ düzenegi (Şekil 3.4) tezgah işleme haznesine bağlı bir tabla üzerindeki sarsıcının işleme haznesinin ortasındaki delikten geçen bir ara parça sayesinde işparçasını elektrot ilerleme ekseni ile aynı eksende titreştirmesi esasına dayanır. Elektrot ilerleme ekseni, işparçası ekseni ve sarsıcı ünitenin eksenlerinin paralellliğini sağlamak amacı ile lineer rulman yataklamalı kılavuz mil ve işleme haznesini sabitlemek amacı ile vidalı kılavuz miller kullanılmıştır. Sarsıcı ünitenin uygulayabileceği kuvvetin sınırlı olmasından dolayı ara parçaların ağırlıklarının sarsıcı üniteye yansıtılmaması amacı ile işleme haznesi alt tablasına bağlı küçük kılavuz miller üzerinde dengeleyici yaylar kullanılmıştır. Deney düzenegini oluşturan parçaların kütleleri Ek-6'da verilmiştir. Titreşimsiz deneyler sırasında işleme haznesi alt tablasına sabitlenmiş dört adet mil üzerine özel bağlantı plakası kullanılarak işparçasının bağlantısı sağlanmıştır. Deneylerde kullanılmış olan İT-EEİ tekniğine ait deney sisteminin genel görünümü Resim 3.15'de verilmiştir.



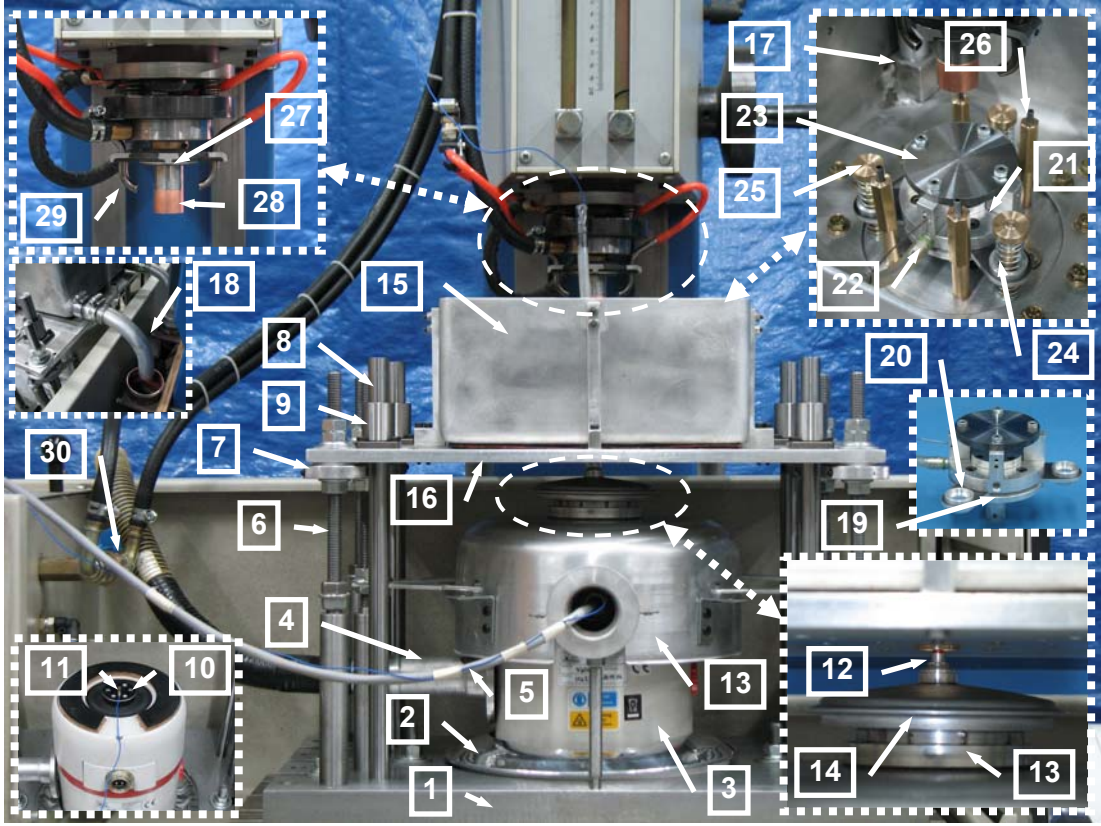
Şekil 3.4. İT-EEİ tekniği şematik görünümü





Resim 3.15. İT-EEİ tekniğine ait deney sisteminin genel görünümü

İT-EEİ tekniğine ait deney düzeneğini oluşturan parçaların (Resim 3.16 ve Çizelge 3.4) deney düzeneği içerisindeki konumu, malzemesi ve görevleri Ek-7’de verilmiştir.



Resim 3.16. İT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları



Çizelge 3.4. İT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları

| Parça No | Parça Adı   |
|----------|---|
| 1        | Düzenek alt tablası   |
| 2        | Sarsıcı alt plakası   |
| 3        | Sarsıcı   |
| 4        | Soğutucu fan bağlantısı                                       |
| 5        | Sarsıcı-yükseltici bağlantı kablosu                           |
| 6        | Vidalı kılavuz mil  |
| 7        | Yükseklik ayar somunu   |
| 8        | Kılavuz mil   |
| 9        | Lineer rulman   |
| 10       | İvmeölçer alt plakası   |
| 11       | İvmeölçer (titreşim sinyalinin kontrolü için)                 |
| 12       | Sarsıcı başlığı   |
| 13       | Sarsıcı muhafaza elemanı                                      |
| 14       | Koruyucu kapak  |
| 15       | İşleme haznesi  |
| 16       | İşleme haznesi alt tablası                                    |
| 17       | Dielektrik sıvı seviye kontrol borusu                         |
| 18       | Dielektrik sıvı tahliye borusu ve kanalı                      |
| 19       | İşparçası bağlama aparatı-sarsıcı başlığı bağlantı diski      |
| 20       | Yay destek plakası  |
| 21       | İşparçası bağlama aparatı                                     |
| 22       | İvmeölçer (işparçasına yansıyan titreşimlerin izlenmesi için) |
| 23       | İşparçası   |
| 24       | Statik yük dengeleyici yay                                    |
| 25       | Yay kılavuz mili  |
| 26       | İşparçası bağlama plakası destek mili                         |
| 27       | Elektrot bağlama aparatı                                      |
| 28       | Elektrot  |
| 29       | Yanal dielektrik uygulama borusu                              |
| 30       | Dielektrik sıvı hortumu ve vanası                             |

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1. İHT-EEİ Deney Parametreleri

İHT-EEİ deneylerinde, titreşim frekansı ( $f_v$ ), boşalım akımı ( $i_d$ ) ve vurum süresi ( $t_s$ ) değişen parametreler olarak kullanılmıştır. Kutuplama, bekleme süresi ( $t_p$ ), dielektrik sıvı cinsi, uygulama yöntemi ve pompa basıncı (P), işparçası ve elektrot malzemeleri, işparçası ve elektrot geometrileri ve işleme süresi ( $t_m$ ) bütün deneylerde sabit tutulmuştur. İHT-EEİ deneylerinde uygulanacak titreşim frekansının tespit edilmesinde sarsıcı ünitenin sistemin kütlesine bağlı olarak uygulayabileceği değerler esas alınmıştır. Sarsıcı ünitenin seçilmiş olan sabit işleme süresine yakın bir değerden sonra sistemin kütlesine bağlı olarak kararsız davranış göstermesi İHT-EEİ deneylerinde deney süresinin sabit seçilmesine neden olmuştur. Deneylerde kullanılmış olan işleme parametrelerine ait değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İHT-EEİ deney parametreleri

| Deney Parametreleri                         | Değerler                        |
|---|---------------------------------|
| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [ A ]               | 6, 12                           |
| Vurum Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ]          | 100, 200                        |
| Titreşim frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ]          | 0, 500, 1000                    |
| Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [ $\mu$ s ]        | 50                              |
| İşleme süresi ( $t_m$ ) [ dak. ]            | 30                              |
| Dielektrik sıvı                             | Gazyağı                         |
| Dielektrik sıvı pompa basıncı ( P ) [ bar ] | 0,5                             |
| Kutuplama                                   | Elektrot ( + ), İşparçası ( - ) |

Çizelge 4.2 de görülen 9 adet deney seti için üçer adet deney yapılmıştır. Yapılan üçer adet deney neticesinde tutarsızlık gösteren bazı deneyler tekrarlanmıştır. İHT-EEİ deney sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında tutarlı üç deney sonucunun aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. İHT-EEİ deney seti tasarımı

| Boşalım Akımı<br>( $i_d$ ) [ A ] | Vurum Süresi<br>( $t_s$ ) [ $\mu$ s ] | Titreşim Frekansı<br>( $f_v$ ) [ Hz ] |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 6                                | 100                                   | 0                                     |
| 6                                | 100                                   | 500                                   |
| 6                                | 100                                   | 1000                                  |
| 6                                | 200                                   | 0                                     |
| 6                                | 200                                   | 500                                   |
| 6                                | 200                                   | 1000                                  |
| 12                               | 200                                   | 0                                     |
| 12                               | 200                                   | 500                                   |
| 12                               | 200                                   | 1000                                  |

## 4.2. İT-EEİ Deney Parametreleri

İT-EEİ deneylerinde kullanılmış olan işleme parametreleri üç ayrı deney grubu şeklinde oluşturulmuştur. Bunlar sırası ile temel titreşim frekans değerleri (TTFD) grubu, titreşim frekansı ara değerleri (TFAD) grubu ve işleme derinliği (İD) grubu olarak adlandırılmıştır.

### 4.2.1. Temel titreşim frekans değerleri (TTFD) grubu deney parametreleri

Titreşim frekansı ( $f_v$ ), boşalım akımı ( $i_d$ ) ve vurum süresi ( $t_s$ ) değişen parametreler olarak kullanılmıştır. Kutuplama, bekleme süresi ( $t_p$ ), dielektrik sıvı cinsi, uygulama yöntemi ve pompa basıncı (P), işparçası ve elektrot malzemeleri, işparçası ve elektrot geometrileri ve işleme derinliği (h) deneylerde sabit tutulmuştur (Çizelge 4.3). Titreşim frekansları tespit edilirken her bir vurum çevrim süresi ( $t_c$ ) ile en az bir işparçası titreşim hareketinin (salınımının) çakışması esas alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda Çizelge 4.4'de verilmiş vurum sürelerine (vurum çevrim sürelerine) karşılık gelen titreşim frekansları bütün akım değerleri için kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. TTFD grubu deney parametreleri

| Deney Parametreleri                           | Değerler                        |
|---|---------------------------------|
| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [ A ]                 | 6, 12, 25                       |
| Vurum Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ]            | 100, 200, 400                   |
| Titreşim frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ]            | 0, 2222, 4000, 6667             |
| Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [ $\mu$ s ]          | 50                              |
| İşleme derinliği ( $h$ ) [ mm ]               | 4                               |
| Dielektrik sıvı                               | Gazyağı                         |
| Dielektrik sıvı pompa basıncı ( $P$ ) [ bar ] | 0,5                             |
| Kutuplama                                     | Elektrot ( + ), İşparçası ( - ) |

Çizelge 4.4. Vurum çevrim süresi-işparçası titreşim frekansı eşleşmesi

| Vurum Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ] | Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [ $\mu$ s ] | Vurum Çevrim Süresi ( $t_c$ ) [ $\mu$ s ] | Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ] |
|------------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|
| 100                                | 50                                   | 150                                       | 6667                               |
| 200                                | 50                                   | 250                                       | 4000                               |
| 400                                | 50                                   | 450                                       | 2222                               |

Çizelge 4.5 de görülen 36 adet deney seti için üçer adet deney yapılmıştır. Yapılan üçer adet deney neticesinde tutarsızlık gösteren bazı deneyler tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında tutarlı üç deney sonucunun aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. TTFD grubu deney setleri

| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [ A ] | Vurum Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ] | Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ] |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 6                             | 100                                | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 6                             | 200                                | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 6                             | 400                                | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 12                            | 100                                | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 12                            | 200                                | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 12                            | 400                                | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 25                            | 100                                | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 25                            | 200                                | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 25                            | 400                                | 0, 2222, 4000, 6667                |

#### 4.2.2. Titreşim frekansı ara değerleri (TFAD) grubu deney parametreleri

TTFD grubundaki titreşim frekans değerleri ile üretilen işparçası titreşimlerinin olumlu etkilerinin gözlemlendiği akım ve vuruş süresi değerlerinde titreşim frekansının ara değerlerinin işleme performansı üzerindeki etkilerinin daha yakından incelenebilmesi amacı ile ikinci bir grup deney yapılmıştır. Diğer tüm parametreler deneylerde sabit tutulmuştur (Çizelge 4.6). Titreşim frekansının ara değerleri belirlenirken bir önceki deney seti grubunda kullanılmış olan titreşim frekanslarının yaklaşık olarak orta değerleri (ortalamaları) kullanılmıştır.

Çizelge 4.6. TFAD grubu deney parametreleri

| Deney Parametreleri                         | Değerler                              |
|---|---------------------------------------|
| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [ A ]               | 12, 25                                |
| Vuruş Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ]          | 200                                   |
| Titreşim frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ]          | 0, 1100, 2222, 3100, 4000, 5300, 6667 |
| Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [ $\mu$ s ]        | 50                                    |
| İşleme derinliği ( h ) [ mm ]               | 4                                     |
| Dielektrik sıvı                             | Gazyağı                               |
| Dielektrik sıvı pompa basıncı ( P ) [ bar ] | 0,5                                   |
| Kutuplama                                   | Elektrot ( + ), İşparçası ( - )       |

Çizelge 4.7 de görülen 14 adet deney seti için üçer adet deney yapılmıştır. Yapılan üçer adet deney neticesinde tutarsızlık gösteren bazı deneyler tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında birbiri ile tutarlı olan üç deney sonucunun aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

Çizelge 4.7. TFAD grubu deney parametreleri

| Boşalım Akımı<br>( $i_d$ ) [ A ] | Vuruş Süresi<br>( $t_s$ ) [ $\mu$ s ] | Titreşim Frekansı<br>( $f_v$ ) [ Hz ] |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 12                               | 200                                   | 0, 1100, 2222, 3100, 4000, 5300, 6667 |
| 25                               | 200                                   | 0, 1100, 2222, 3100, 4000, 5300, 6667 |

#### 4.2.3. İşleme derinliği (İD) grubu deney parametreleri

Titreşimlerin işleme performansı üzerindeki etkisinin işleme derinliğine bağlı değişimini incelemek amacı ile TTFD grubundaki frekans değerleri ile işparçası titreşimlerinin olumlu etkilerinin gözlemlendiği akım ve vurum süresi değerlerinde üç farklı işleme derinliği için deneyler yapılmıştır. Bu gruptaki deneylerde titreşim frekansı ( $f_v$ ), boşalım akımı ( $i_d$ ) ve işleme derinliği ( $h$ ) değişen parametreler olarak kullanılmıştır. Diğer parametreler deneylerde sabit tutulmuştur (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. İD grubu deney parametreleri

| Deney Parametreleri                         | Değerler                        |
|---|---------------------------------|
| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [ A ]               | 12, 25                          |
| Vurum Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ]          | 200                             |
| Titreşim frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ]          | 0, 2222, 4000, 6667             |
| Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [ $\mu$ s ]        | 50                              |
| İşleme derinliği ( $h$ ) [ mm ]             | 2, 4, 6                         |
| Dielektrik sıvı                             | Gazyağı                         |
| Dielektrik sıvı pompa basıncı ( P ) [ bar ] | 0,5                             |
| Kutuplama                                   | Elektrot ( + ), İşparçası ( - ) |

Çizelge 4.9'da görülen 24 adet deney seti için üçer adet deney yapılmıştır. Yapılan üçer adet deney neticesinde tutarsızlık gösteren bazı deneyler tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde tutarlı üç deney sonucunun aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

Çizelge 4.9. İD grubu deney setleri

| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [ A ] | Vurum Süresi ( $t_s$ ) [ $\mu$ s ] | İşleme Derinliği ( $h$ ) [ mm ] | Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [ Hz ] |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 12                            | 200                                | 2                               | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 12                            | 200                                | 4                               | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 12                            | 200                                | 6                               | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 25                            | 200                                | 2                               | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 25                            | 200                                | 4                               | 0, 2222, 4000, 6667                |
| 25                            | 200                                | 6                               | 0, 2222, 4000, 6667                |

İHT-EEİ ve İT-EEİ teknikleri için belirlenmiş parametreler ile yapılan deneylerde izlenilmiş prosedür ve sistematige ait bilgiler Ek-8'de verilmiştir.

### **4.3. EEİ Performans Çıktılarının Tespit Edilmesi**

#### **4.3.1. İİH değerinin tespiti**

İşparçaları nihai ölçülerine getirildikten sonra işleme öncesi ve sonrası aseton ile temizlenerek basınçlı hava ile kurutulduktan sonra 0,001 gr hassasiyete sahip Precisa firmasına ait XB 320M model dijital terazi ile tartılmıştır. Aradaki hacimsel fark yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir işparçası için hacimsel fark işleme süresine bölünerek İİH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] hesaplanmıştır.

#### **4.3.2. EAH değerinin tespiti**

Elektrotlar nihai ölçülerine getirildikten sonra işleme öncesi ve sonrası aseton ile temizlenerek basınçlı hava ile kurutulduktan sonra 0,001 gr hassasiyete sahip Precisa firmasına ait XB 320M model dijital terazi ile tartılmıştır. Aradaki hacimsel fark yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir elektrot için hacimsel fark işleme süresine bölünerek EAH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] hesaplanmıştır.

#### **4.3.3. İşparçası $R_a$ değerinin tespiti**

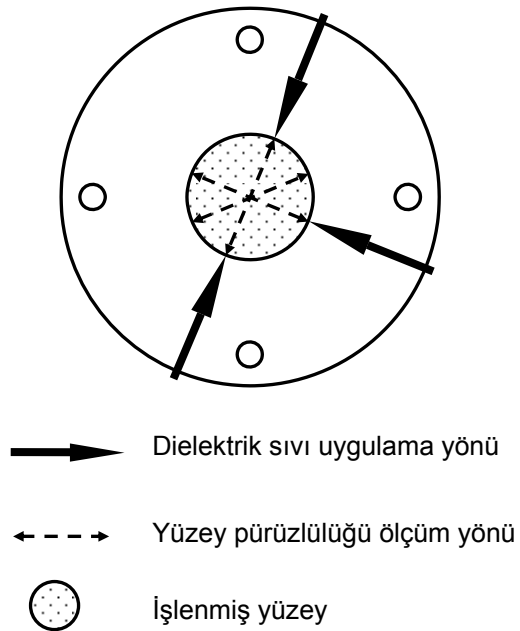
İşparçasının işlenmiş yüzeylerine ait  $R_a$  değerleri Rank Taylor-Hobson marka Surtronic 3 + HB-103 tipi portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı (Resim 4.1) ile Şekil 4.1'de gösterilen üç farklı doğrultuda yapılmış toplam 12 adet ölçümün aritmetik ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde örnekleme uzunluğu ( $L_c$ ) 0,8 mm ve ölçüm uzunluğu ( $L_n=5L_c$ ) 4 mm olarak seçilmiştir. Travers uzunluğu ise ölçüm cihazına ait Eş. 4.1'den 4,2 mm olarak hesaplanmıştır.

$$L_t = L_c/4 + L_n \quad (4.1)$$



Resim 4.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı



Şekil 4.1. İşparçası yüzey pürüzlülüğü ölçüm planı



## 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 5.1. İşleme Haznesi Titreşimli EEİ (İHT-EEİ) Deney Sonuçları

İHT-EEİ için 9 adet deney seti neticesinde elde edilen İİH, EAH, BA ve  $R_a$  sonuçları Çizelge 5.1'de toplu olarak verilmiştir. Diğer işleme ve titreşim parametrelerinin yer aldığı bütün deney sonuçları Ek-9'da verilmiştir.

Çizelge 5.1. İHT-EEİ deney sonuçları

| Deney No | $i_d$ [A] | $t_s$ [ $\mu$ s] | $f_v$ [Hz] | İİH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] | EAH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] | BA [%] | $R_a$ [ $\mu$ m] |
|----------|-----------|------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|--------|------------------|
| 1        | 6         | 100              | 0          | 9,349                            | 0,079                            | 0,847  | 5,73             |
| 2        | 6         | 100              | 500        | 10,083                           | 0,088                            | 0,875  | 5,96             |
| 3        | 6         | 100              | 1000       | 9,764                            | 0,081                            | 0,830  | 5,73             |
| 4        | 6         | 200              | 0          | 8,273                            | 0,026                            | 0,319  | 5,51             |
| 5        | 6         | 200              | 500        | 8,451                            | 0,026                            | 0,313  | 5,74             |
| 6        | 6         | 200              | 1000       | 8,355                            | 0,029                            | 0,344  | 5,48             |
| 7        | 12        | 200              | 0          | 39,663                           | 0,282                            | 0,712  | 9,62             |
| 8        | 12        | 200              | 500        | 37,742                           | 0,228                            | 0,606  | 9,47             |
| 9        | 12        | 200              | 1000       | 38,107                           | 0,226                            | 0,592  | 9,43             |

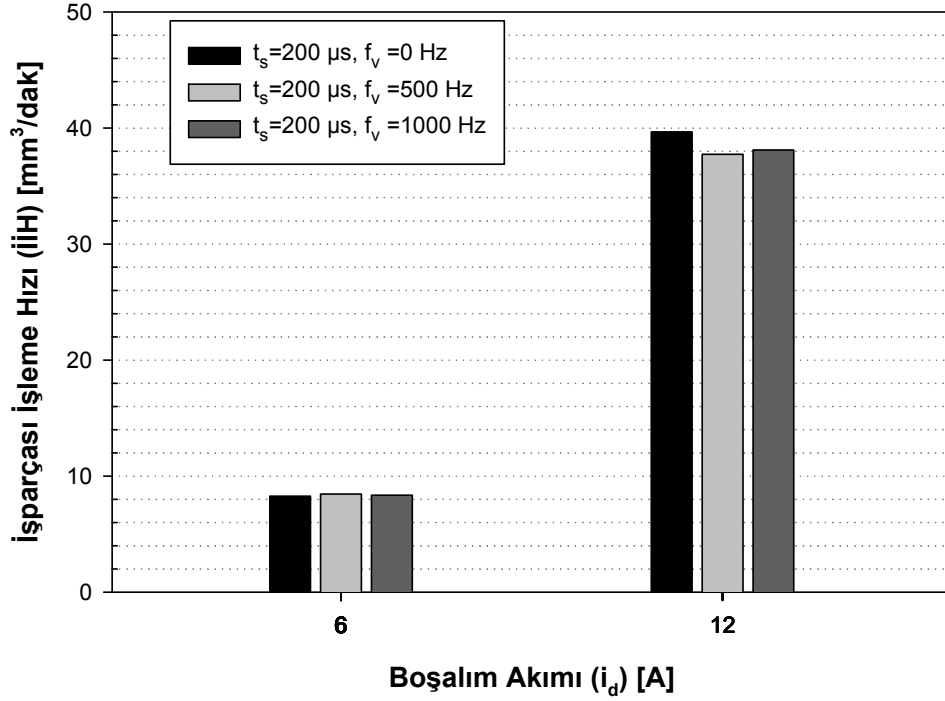
#### İHT-EEİ'de boşalım akımının etkisi

İHT-EEİ deneylerinde boşalım akımının 6 A değerinden 12 A'e olan artışı titreşimli ve titreşimsiz bütün koşullarda İİH değerinin artmasına neden olmuştur (Şekil 5.1). Bunun nedeni, boşalım akımının artışı ile artan boşalım enerjisinin işparçası yüzeyinden ergiterek buharlaştırdığı malzeme miktarının artmasıdır [15, 26, 30]. İİH değerinde akımın artışına karşılık en yüksek artış 3,79 kat ile titreşimsiz koşulda gerçekleşirken, bunu sırası ile 3,56 kat ile 1000 Hz ve 3,46 kat artış ile 500 Hz titreşim frekansının uygulandığı İHT deneyler izlemiştir.

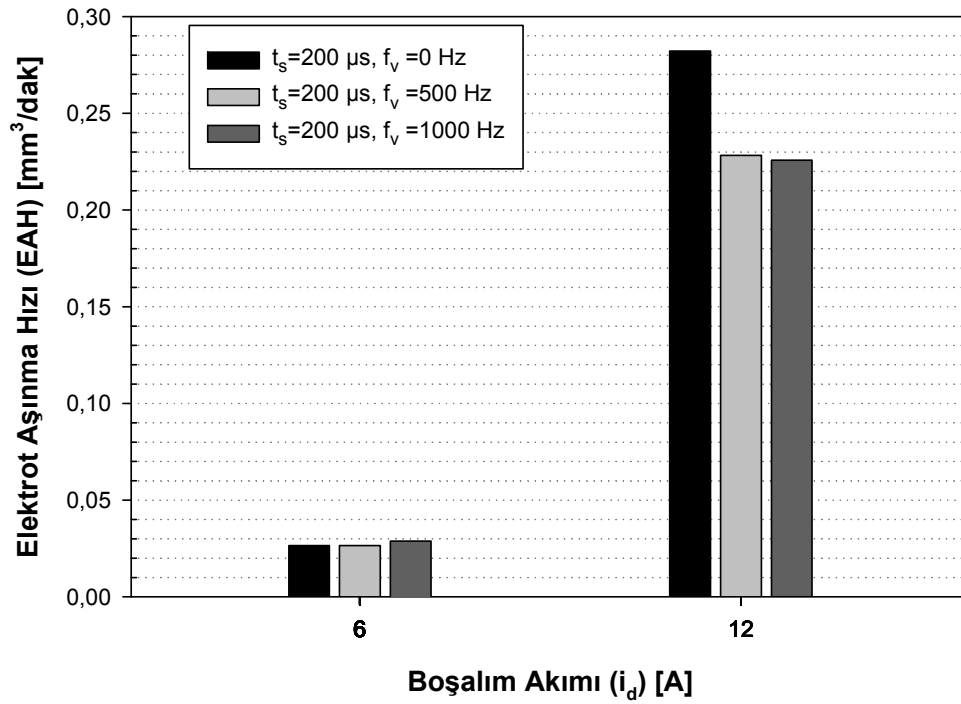
Artan boşalım akımı İH ve EAH değerlerinin artmasına neden olmuştur (Şekil 5.2). Bu durum, boşalım akımının artışı ile artan boşalım enerjisinin işparçası yüzeyinden ergiterek buharlaştırdığı malzeme miktarını arttırmasına karşılık aynı mekanizmanın elektrot içinde geçerli olduğu şeklinde açıklanabilir [15, 26, 27]. Boşalım akımının artışı ile EAH değerlerindeki en düşük artışlar sırası ile 6,83 kat ile 1000 Hz ve 7,63 kat ile 500 Hz titreşim frekansına sahip deneylerde elde edilmiştir. EAH değerindeki en yüksek artış 9,68 kat ile titreşimsiz koşullarda elde edilmiştir. Titreşimsiz koşullarda boşalım akımının artışı ile elde edilen EAH değerlerindeki yüksek artışa karşılık işleme haznesine titreşim uygulanarak yapılan işleme deneylerinde elde edilen daha küçük artışlar çalışma açısından olumlu gelişmeler elde edilebileceğini göstermiştir.

Boşalım akımının artışı ile bütün deneysel koşullarda BA'da da artış görülmüştür (Şekil 5.3). Artan boşalım akımı ile BA değerlerinin artması literatür çalışmaları ile uyumludur [15, 26]. BA'nın artan boşalım akımı ile artış göstermesi İH'deki artışların EAH'deki artışlara göre daha az olması nedeniyledir. Boşalım akımı artışı ile BA değerlerinde en büyük artış 12,28 kat ile titreşimsiz koşullarda elde edilmiştir. Bunun nedeni boşalım akımının artışı ile titreşimli ve titreşimsiz deneylerde İH'deki artışlar birbirine yakinken titreşimsiz koşullarda EAH'deki artışın İHT deneylerde elde edilenlere göre daha fazla olması ile açıklanabilir. Akımın artışı ile BA'da 9,39 kat ve 7,19 kat artışların sırası ile 500 Hz ve 1000 Hz titreşim frekanslı İHT deneylerinde olması titreşimsiz koşullarda elde edilmiş olan artış ile kıyaslandığında EAH değerlerindeki olumlu gelişmeler açıkça görülmektedir.

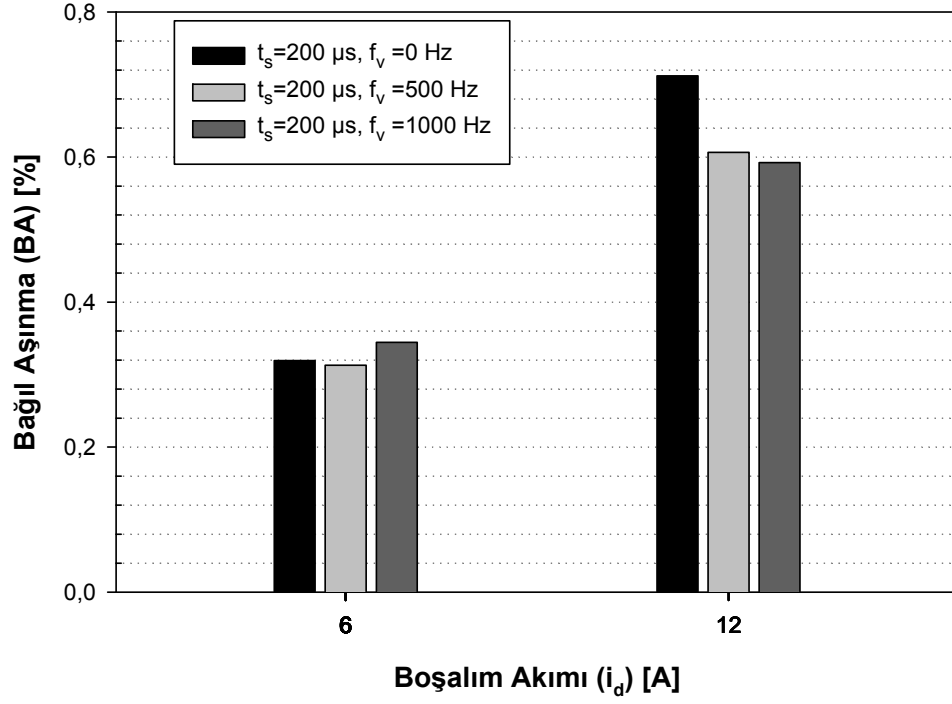
Boşalım akımının artışı  $R_a$  değerlerinin de artmasına neden olmuştur (Şekil 5.4). Titreşimsiz koşullardaki 5,51  $\mu m$   $R_a$  değeri artan boşalım akımı ile %74 artış göstererek 9,62  $\mu m$  değerine ulaşırken İHT deneylerde 500 Hz'deki 5,74  $\mu m$   $R_a$  değerinde %65 ve 1000 Hz'deki 5,48  $\mu m$   $R_a$  değerinde ise %72 artış elde edilmiştir. Boşalım akımının artışı ile  $R_a$  değerlerindeki en büyük artış titreşimsiz koşullarda elde edilmiştir.



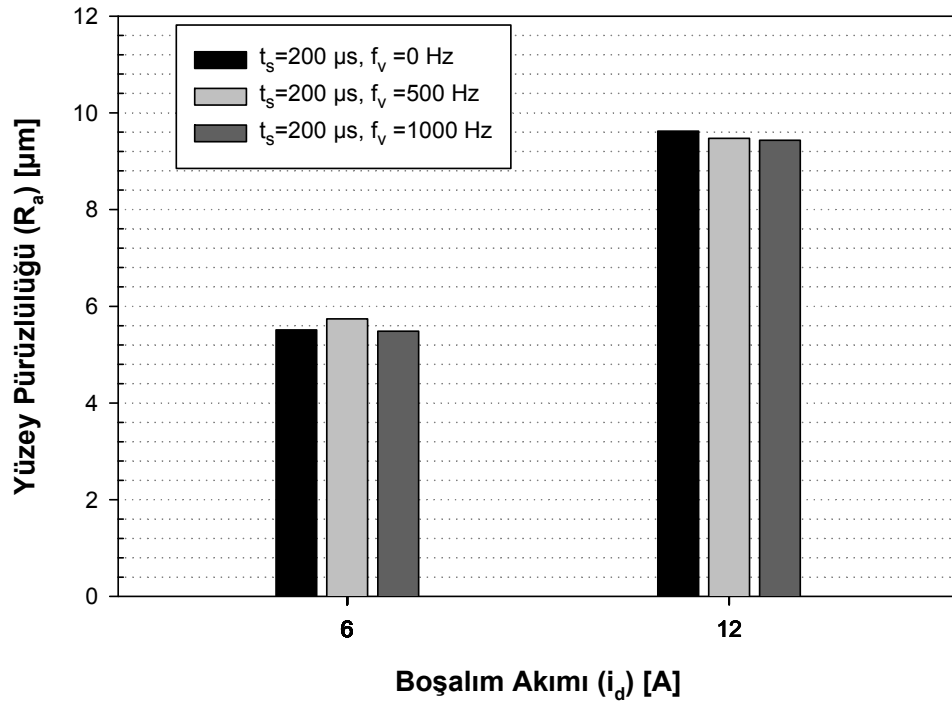
Şekil 5.1. İHT-EEİ'de boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



Şekil 5.2. İHT-EEİ'de boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



Şekil 5.3. İHT-EEİ'de boşalım akımının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



Şekil 5.4. İHT-EEİ'de boşalım akımının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )

### İHT-EEI'de vuruş süresinin etkisi

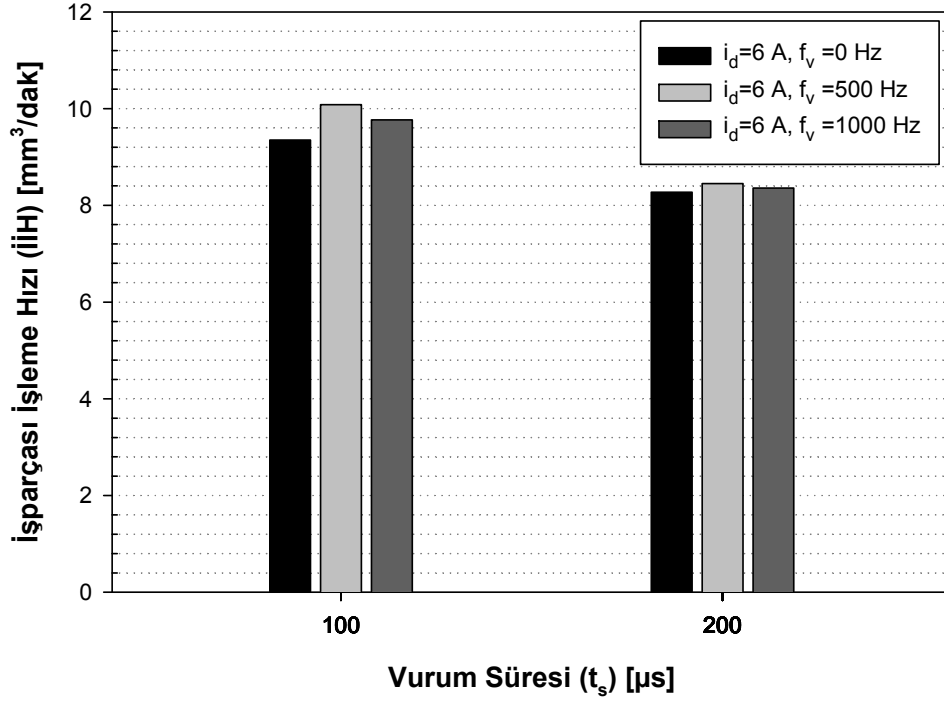
Vuruş süresinin 100  $\mu$ s değerinden 200  $\mu$ s'ye olan artışı 6 A boşalım akımının uygulandığı titreşimli ve titreşimsiz bütün deney koşullarında İİH'de azalmaya neden olmuştur (Şekil 5.5). Bu durum düşük boşalım akımı değerlerinde artan vuruş süresi sonucunda daha uzun süreli vuruşlarda işleme boşluğundaki akım yoğunluğunun azalması [27] ve işparçasındaki artan ısı transferinin, ergime ve buharlaşma hızını düşürmesi ile açıklanabilir. Artan vuruş süresine karşılık titreşimsiz koşullarda İİH değerlerinde %11,51 azalma elde edilirken, 500 Hz ve 1000 Hz titreşim frekansının uygulandığı İHT deneylerde sırası ile %16,18 ve %14,44 azalma elde edilmiştir.

Vuruş süresindeki artış titreşimli ve titreşimsiz bütün koşullarda EAH değerlerinde yüksek oranlarda düşüş sağlamıştır (Şekil 5.6). EAH değerlerindeki %70,07 azalmanın elde edildiği 500 Hz frekanslı deneyleri %66,67 azalma ile titreşimsiz deneyler izlerken en düşük azalma %64,44 ile 1000 Hz'de elde edilmiştir. EAH'nın artan vuruş süresi ile azalması daha önceki deneysel çalışmalarla uyumludur [8, 15, 26, 27, 30, 31]. EAH değerinin azalma sebebi, bazı araştırmacılar tarafından uzun vuruş sürelerinde, gazyağının bozunumu ve işparçasının ergimesi ile açığa çıkan karbonun elektrot yüzeyine yapışarak aşınma direncini arttırması olarak yorumlanmıştır [8].

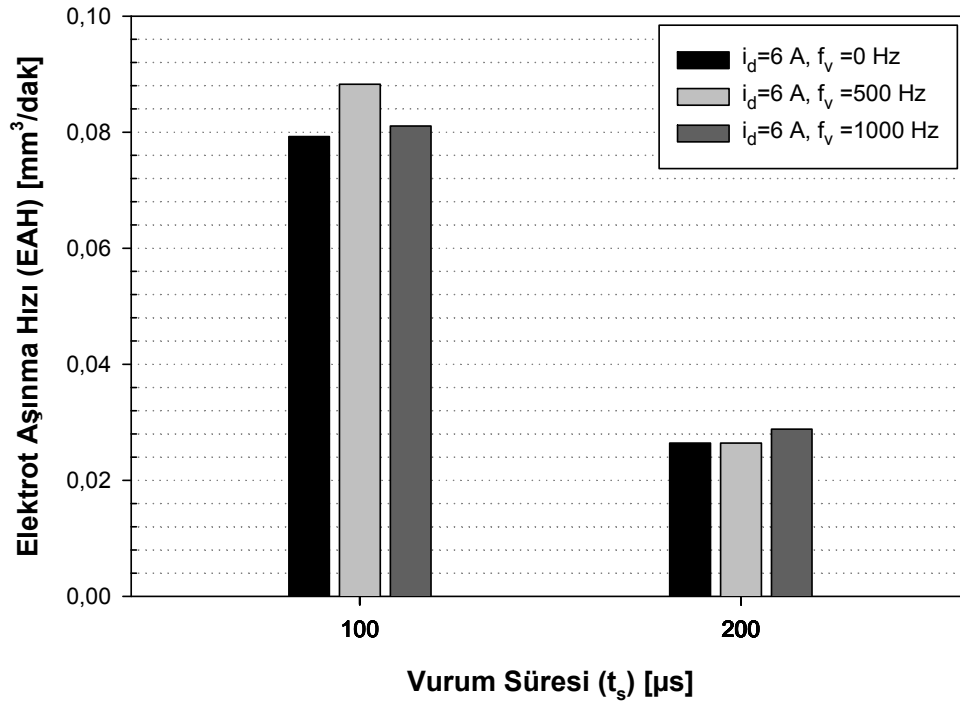
EAH'daki büyük azalmalara karşılık İİH değerlerindeki küçük azalmaların neticesinde artan vuruş süresi BA değerlerinde azalmaya neden olmuştur (Şekil 5.7). EAH ile paralel değişim gösteren BA değerlerinde en büyük azalma %64,28 ile 500 Hz frekans değerinde elde edilirken bunu %62,30 azalma ile titreşimsiz koşullar ve %58,52 azalma ile 1000 Hz frekansına sahip İHT deneyleri izlemiştir.

Uzun süreli vurumlara karşılık gelen büyük enerjili boşalımların işparçası yüzey pürüzlülüğü değerlerinde belirgin artışlar oluşturduğu çalışmaların aksine [15, 25] bu çalışmada  $R_a$  değerlerinde küçük de olsa bir azalma gözlenmiştir (Şekil 5.8).

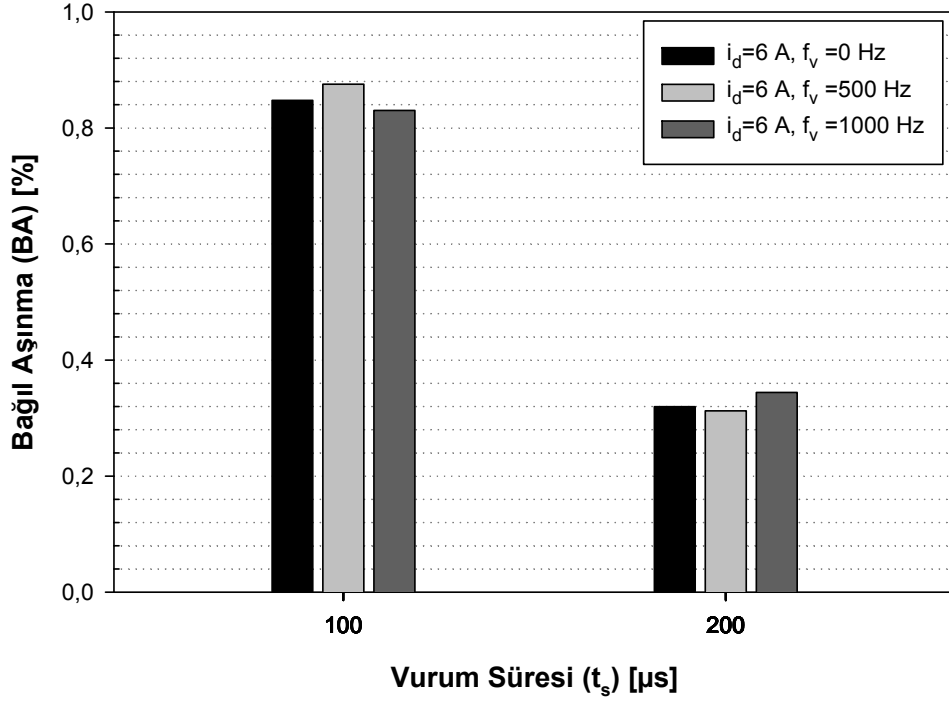
Bunun nedeni, vuruş süresinin artışı ile İİH değerlerinde azalmaya neden olan işleme mekanizmasının daha sığ kraterler oluşturmasıdır. En büyük düşüşün %4,22 ile 1000 Hz frekans değerinde gözlemlendiği  $R_a$  değişimi sonuçlarında %3,74 ve %3,68 oranlarındaki azalma ile titreşimsiz ve 500 Hz frekans değerine sahip deneyler yakın sonuçlar vermiştir.



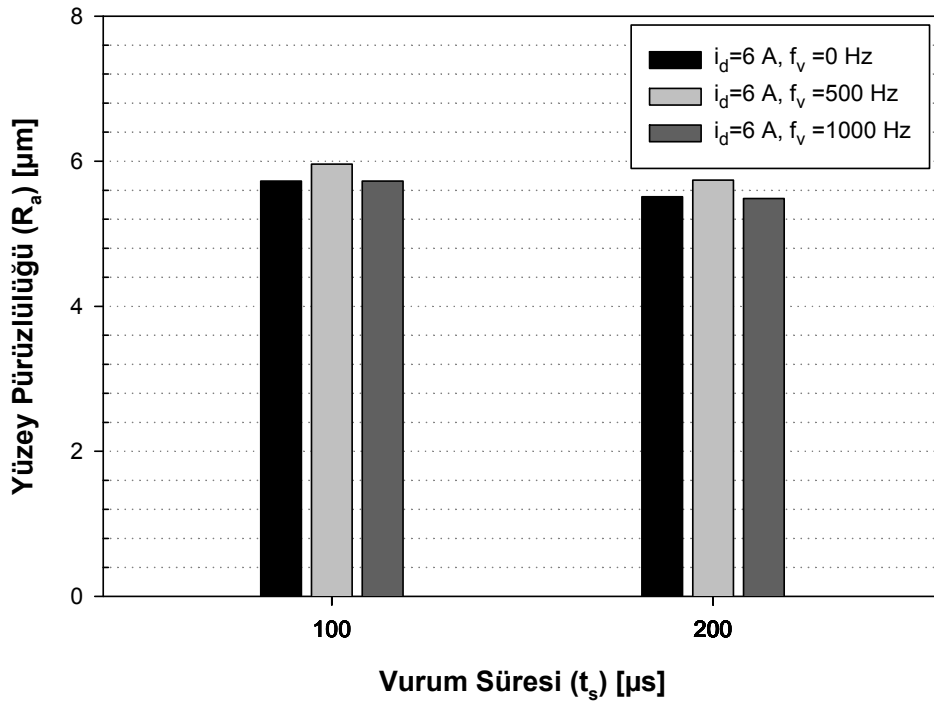
Şekil 5.5. İHT-EEİ'de vurum süresinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)



Şekil 5.6. İHT-EEİ'de vurum süresinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)



Şekil 5.7. İHT-EEİ'de vurum süresinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d = 6$  A)



Şekil 5.8. İHT-EEİ'de vurum süresinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d = 6$  A)



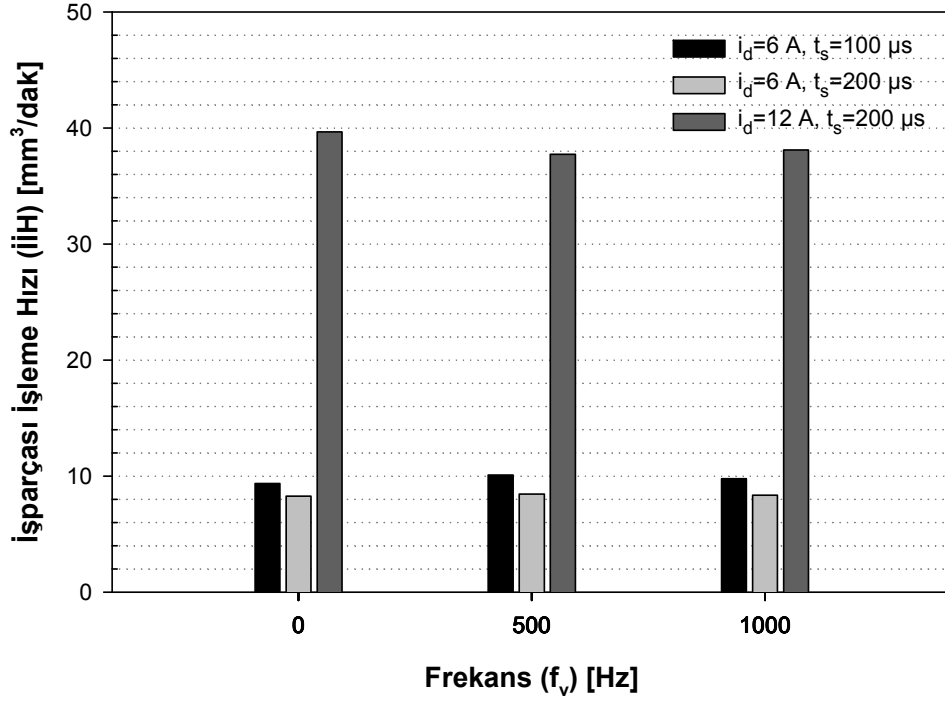
### İHT-EEI'de titreşim frekansının etkisi

İşleme haznesine uygulanan 500 Hz ve 1000 Hz (0,1~0,8  $\mu\text{m}$  maksimum genlik) titreşimler 6 A-100  $\mu\text{s}$  ve 6 A-200  $\mu\text{s}$  deneylerinde İİH'nin titreşimsiz koşullara göre artışına neden olurken 12 A-200  $\mu\text{s}$  parametrelerinde azalmaya neden olmuştur (Şekil 5.9). 500 Hz ve 1000 Hz frekansın uygulandığı deneylerde titreşimsiz koşullara göre İİH değerleri sırası ile 6 A-100  $\mu\text{s}$ 'de %7,85 ve %4,44, 6 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %2,15 ve %1 artış gösterirken 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %4,84 ve %3,92 azalma göstermiştir. Frekansın 500 Hz'den 1000 Hz'e arttırılması ile İİH değerlerinde 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %1'lik bir artış sağlanmıştır. 6 A-100  $\mu\text{s}$  ve 200  $\mu\text{s}$ 'de frekansın artışı İİH değerlerinde bir önceki frekans değerine göre azalmaya sebep olmuştur. Bu durum düşük akım değerlerinde uygulanan düşük titreşim frekanslarının ve yüksek akım değerlerinde yüksek titreşim frekanslarının olumlu etki sağlayabileceğini göstermiştir. İHT deneylerinde uygulanan titreşimler İİH değerlerinde benzer işparçası titreşimli deneylerde elde edilen sonuçlar kadar olumlu etkiler sağlamasa da uygulanan titreşimlerin işlemenin daha kararlı olmasına yardımcı olduğu gözlenmiştir.

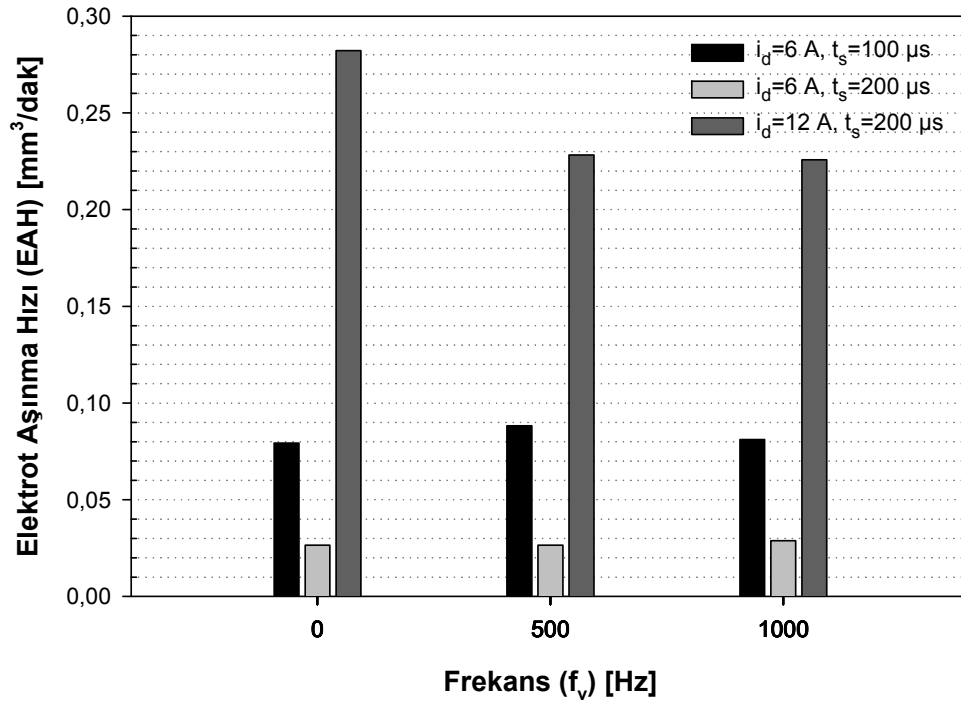
Titreşimin uygulanması ile 6A-100  $\mu\text{s}$  ve 200  $\mu\text{s}$ 'de titreşimsiz koşullara göre daha yüksek EAH değerlerinin (%2,27~%11,36 arasında) elde edildiği, 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de ise daha düşük (%19,12 ve %20) EAH elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 5.10). Frekansın 500 Hz'den 1000 Hz'e arttırılması ile EAH değerlerinde 6 A-100  $\mu\text{s}$  işleme koşullarında %8,16 azalma, 6 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %9,09 artış elde edilirken 12 A-200  $\mu\text{s}$ 'de %1 azalma tespit edilmiştir. 6 A boşalım akımının kullanıldığı deneylerde uygulanan titreşimler EAH değerlerini literatürdeki elektrot titreşimli çalışmalardaki gibi [56, 58] arttırmış olmasına rağmen 12 A'de EAH değerlerindeki azalma bu çalışmada elde edilen olumlu sonuçlardan biri olmuştur.

Titreşimin uygulandığı deneylerde BA değerleri titreşimsiz koşullara göre 12 A-200  $\mu$ s parametrelili 500 Hz ve 1000 Hz titreşim frekanslarında sırası ile %14,80 ve %16,81 azalmıştır (Şekil 5.11). 500 Hz frekansının uygulanması 6 A-100  $\mu$ s parametrelili BA değerlerinde %3,30 artışa sebep olurken 6 A-200  $\mu$ s deneylerinde %2,12 azalma sağlamıştır. Frekansın 1000 Hz ve işleme parametrelerinin 6 A-100  $\mu$ s olduğu deneylerde BA değerleri titreşimsiz koşullara göre %2,01 azalma gösterirken 6 A-200  $\mu$ s parametrelili deneylerde %7,82 artış sağlamıştır. Titreşimli 6 A-100  $\mu$ s ve 200  $\mu$ s deneylerinde titreşimsiz koşullara göre elde edilen BA değerlerindeki küçük değişimler 12 A-200  $\mu$ s'de elde edilen BA değerlerindeki büyük azalmalar ile karşılaştırıldığında önemsizdir. Titreşim frekansının arttırılması ile bir önceki frekans değerine göre BA değerindeki en olumlu değişim %5,14 oranındaki azalma ile 6 A-100  $\mu$ s parametrelili deneylerde elde edilmiştir.

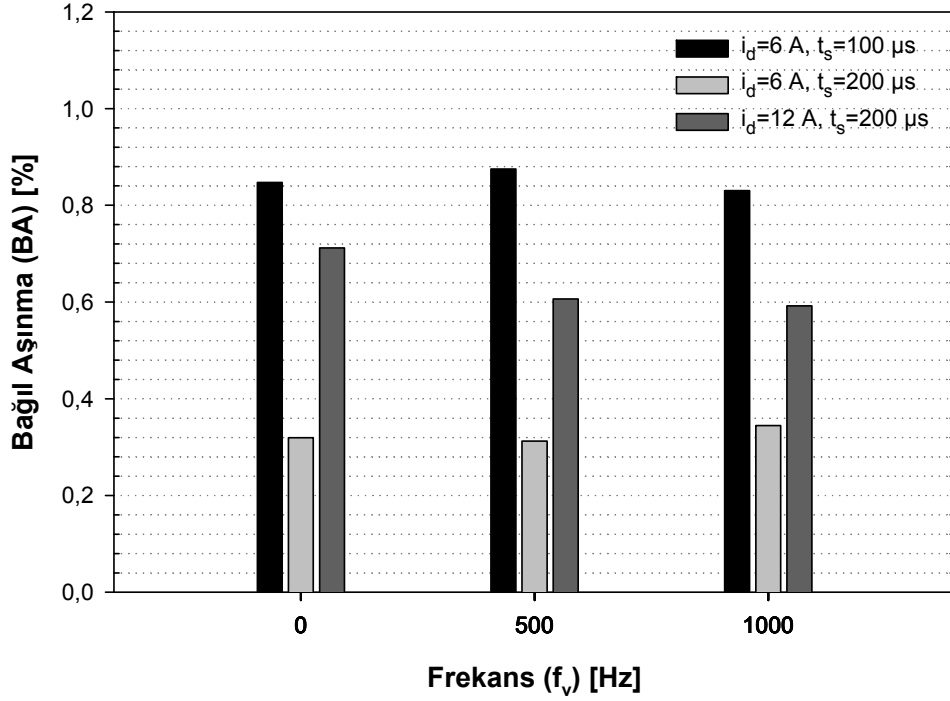
6A-100  $\mu$ s ve 200  $\mu$ s parametrelili deneylerde titreşimsiz koşullara göre 500 Hz frekansta elde edilen  $R_a$  değerlerindeki yaklaşık %4 oranındaki artışa karşılık 1000 Hz frekans değerinde  $R_a$  değerlerinde neredeyse hiçbir değişim görülmemiştir (Şekil 5.12). 500 Hz ve 1000 Hz frekansının 12 A-200  $\mu$ s parametrelili deneylerde uygulanması ile  $R_a$  değerlerinde sırası ile %1,56 ve %1,96 azalma elde edilmiştir. Bu da uygulanan titreşimlerin yüksek akım değerlerinde daha olumlu etki sağlayacağını göstermiştir.



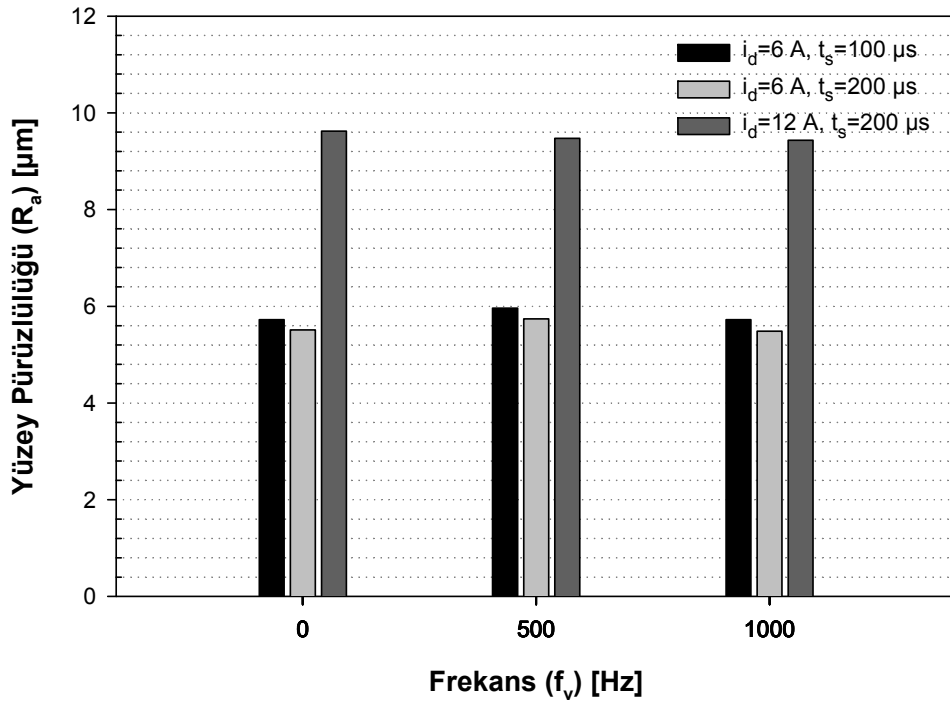
Şekil 5.9. İHT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi



Şekil 5.10. İHT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi



Şekil 5.11. İHT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi



Şekil 5.12. İHT-EEİ'de titreşim frekansının  $R_a$  üzerindeki etkisi

## 5.2. İşparçası Titreşimli EEİ (İT-EEİ) Deney Sonuçları

### 5.2.1. Temel titreşim frekans değerleri (TTFD) grubu deney sonuçları

İşparçasına uygulanan titreşimler ile yapılmış 36 deney koşuluna ait İİH, EAH, BA ve  $R_a$  değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. İT-EEİ tekniği ile yapılan TTFD grubu deneylerde kullanılan diğer işleme ve titreşim parametrelerinin yer aldığı bütün deney sonuçları Ek-10'da verilmiştir.

Çizelge 5.2. TTFD grubu deney sonuçları

| Deney No | $i_d$ [A] | $t_s$ [ $\mu$ s] | $f_v$ [Hz] | İİH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] | EAH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] | BA [%] | $R_a$ [ $\mu$ m] |
|----------|-----------|------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|--------|------------------|
| 1        | 6         | 100              | 0          | 5,058                            | 0,034                            | 0,665  | 5,93             |
| 2        | 6         | 100              | 2222       | 7,492                            | 0,044                            | 0,581  | 5,73             |
| 3        | 6         | 100              | 4000       | 5,443                            | 0,034                            | 0,620  | 5,72             |
| 4        | 6         | 100              | 6667       | 6,399                            | 0,038                            | 0,588  | 6,13             |
| 5        | 6         | 200              | 0          | 6,751                            | 0,012                            | 0,184  | 5,63             |
| 6        | 6         | 200              | 2222       | 7,782                            | 0,012                            | 0,149  | 5,57             |
| 7        | 6         | 200              | 4000       | 6,462                            | 0,010                            | 0,160  | 5,61             |
| 8        | 6         | 200              | 6667       | 7,364                            | 0,010                            | 0,134  | 5,77             |
| 9        | 6         | 400              | 0          | 3,453                            | 0,009                            | 0,254  | 4,55             |
| 10       | 6         | 400              | 2222       | 3,316                            | 0,009                            | 0,268  | 4,35             |
| 11       | 6         | 400              | 4000       | 3,236                            | 0,008                            | 0,243  | 5,03             |
| 12       | 6         | 400              | 6667       | 2,744                            | 0,005                            | 0,164  | 3,50             |
| 13       | 12        | 100              | 0          | 48,068                           | 0,763                            | 1,588  | 7,97             |
| 14       | 12        | 100              | 2222       | 48,684                           | 0,723                            | 1,485  | 8,37             |
| 15       | 12        | 100              | 4000       | 49,119                           | 0,734                            | 1,494  | 8,35             |
| 16       | 12        | 100              | 6667       | 48,036                           | 0,689                            | 1,435  | 8,42             |
| 17       | 12        | 200              | 0          | 46,111                           | 0,206                            | 0,446  | 8,87             |
| 18       | 12        | 200              | 2222       | 50,321                           | 0,222                            | 0,442  | 9,07             |
| 19       | 12        | 200              | 4000       | 46,364                           | 0,183                            | 0,394  | 8,99             |
| 20       | 12        | 200              | 6667       | 49,750                           | 0,208                            | 0,418  | 9,31             |
| 21       | 12        | 400              | 0          | 35,748                           | 0,0677                           | 0,189  | 8,18             |
| 22       | 12        | 400              | 2222       | 34,734                           | 0,0678                           | 0,195  | 7,53             |
| 23       | 12        | 400              | 4000       | 34,964                           | 0,0587                           | 0,168  | 7,97             |
| 24       | 12        | 400              | 6667       | 34,719                           | 0,0611                           | 0,176  | 8,53             |
| 25       | 25        | 100              | 0          | 104,370                          | 8,651                            | 8,289  | 11,37            |
| 26       | 25        | 100              | 2222       | 108,265                          | 9,606                            | 8,872  | 10,85            |
| 27       | 25        | 100              | 4000       | 107,802                          | 9,582                            | 8,888  | 11,62            |
| 28       | 25        | 100              | 6667       | 103,897                          | 7,132                            | 6,864  | 11,47            |
| 29       | 25        | 200              | 0          | 108,855                          | 4,387                            | 4,030  | 11,90            |
| 30       | 25        | 200              | 2222       | 108,879                          | 4,086                            | 3,753  | 11,24            |
| 31       | 25        | 200              | 4000       | 108,956                          | 3,681                            | 3,378  | 10,77            |
| 32       | 25        | 200              | 6667       | 110,114                          | 3,873                            | 3,518  | 11,08            |
| 33       | 25        | 400              | 0          | 99,089                           | 0,577                            | 0,583  | 12,32            |
| 34       | 25        | 400              | 2222       | 101,819                          | 0,515                            | 0,505  | 13,20            |
| 35       | 25        | 400              | 4000       | 100,168                          | 0,559                            | 0,558  | 12,15            |
| 36       | 25        | 400              | 6667       | 105,303                          | 0,538                            | 0,511  | 11,60            |

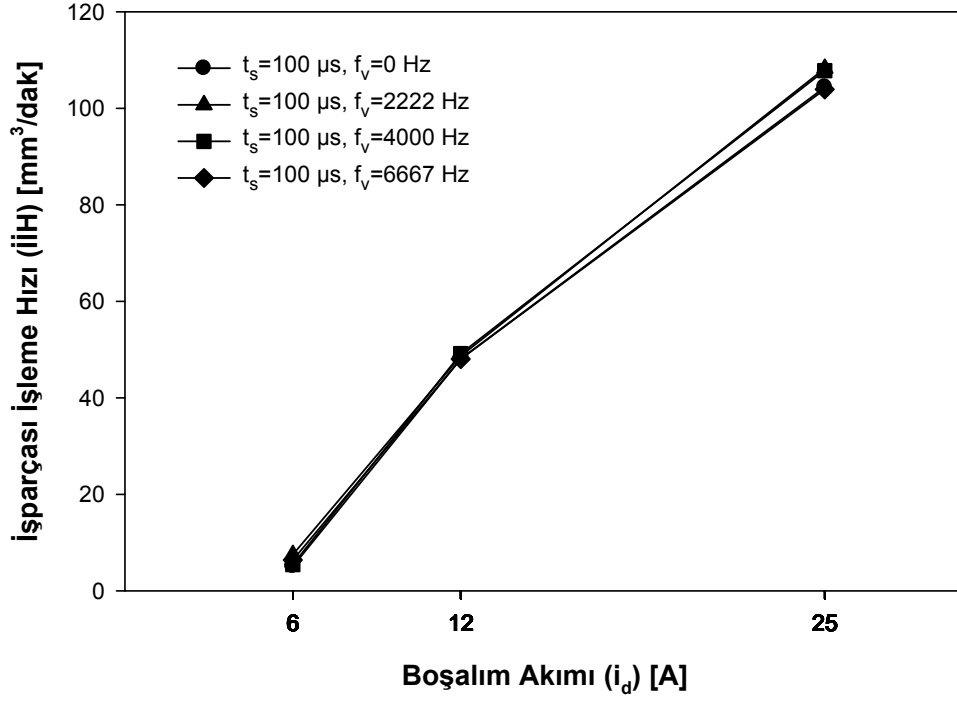
### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi

TTFD grubu deney sonuçlarının yer aldığı Çizelge 5.2 ve Şekil 5.13-5.15 incelendiğinde boşalım akımının 6 A'den 12 A'e ve 12 A'den 25 A'e olan artışının titreşimli ve titreşimsiz bütün deney koşullarında İİH değerlerinde artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni, boşalım akımının artışı ile artan boşalım enerjisinin işparçası yüzeyinden ergiterek buharlaştırdığı malzeme miktarının artmasıdır [15, 26, 30].

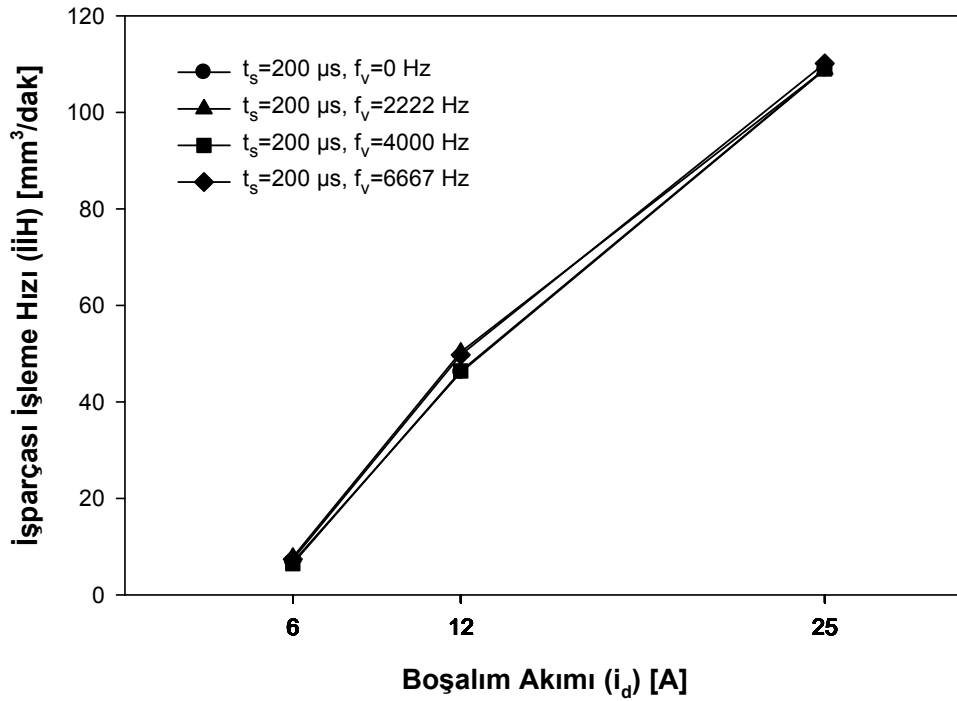
Deneyler boşalım akımının performans etkisi incelenirken, vuruş süresi değerlerine göre gruplandırılmıştır. Buna göre boşalım akımının 6 A'den 12 A'e artışına karşılık İİH değerlerinde en yüksek ortalama artış 10,07 kat ile 400 µs deney grubunda elde edilmiştir. Akımın 12 A'den 25 A'e artırılması ile İİH değerlerinde 400 µs deney grubunun ortalama 1,9 kat ile en yüksek artış gösterdiği ve bunu sırası ile ortalama 1,27 kat ile 200 µs deney grubunun ve takiben ortalama 1,18 kat artış ile 100 µs deney grubunun izlediği görülmüştür. 6 A'den 25 A'e geçişte İİH değerlerindeki en yüksek artış 31,18 kat ortalama ile 400 µs deney grubunda elde edilirken 16,78 kat ve 14,48 kat ortalama artış oranları sırası ile 100 µs ve 200 µs deney gruplarında elde edilmiştir.

İşleme parametreleri ile ilgili yapılmış diğer deneysel çalışmalarda olduğu gibi boşalım akımının küçük değerlerden orta değerlere olan artışlarına karşılık İİH değerlerinde oluşan artışlar nispeten daha az oluşurken, akım değerinin üst değerlerine olan artışlarda elde edilen İİH değerlerindeki artışlar daha yüksek oranlarda gerçekleşmiştir [26, 30].

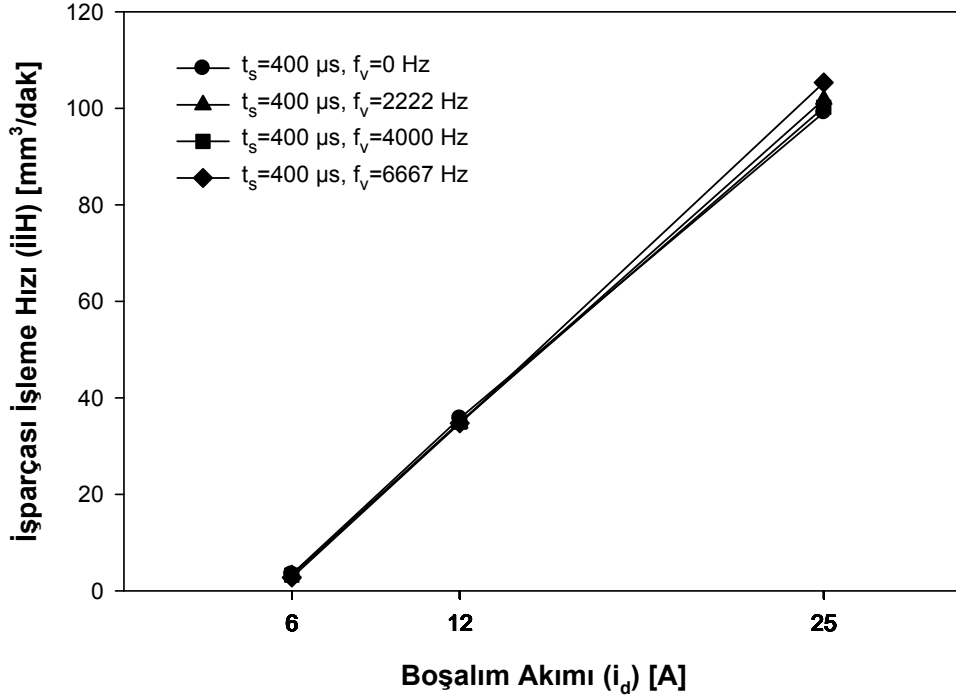
Ayrıca boşalım akımının 6 A'den 12 A'e, 12 A'den 25 A'e ve 6 A'den 25 A'e olan artışlarında elde edilen İİH değerlerindeki en yüksek artışların 400 µs deney gruplarında elde edilmiş olması boşalım akımının artışının uzun süreli boşalımlar üzerinde daha etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.13. İT-EEİ'de boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ )



Şekil 5.14. İT-EEİ'de boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



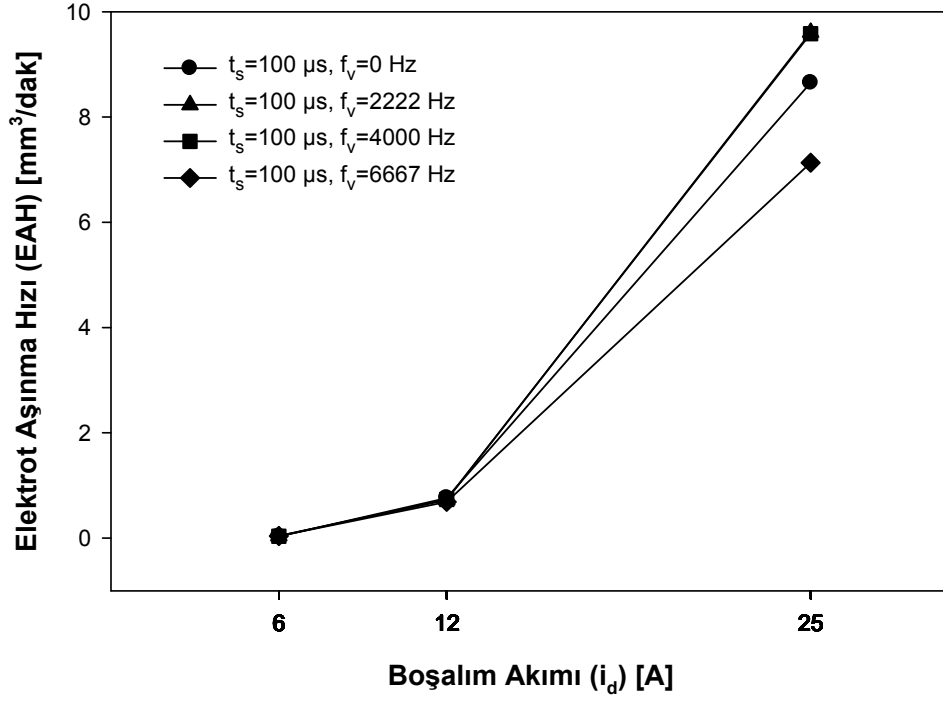
Şekil 5.15. İT-EEİ'de boşalım akımının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )

#### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi

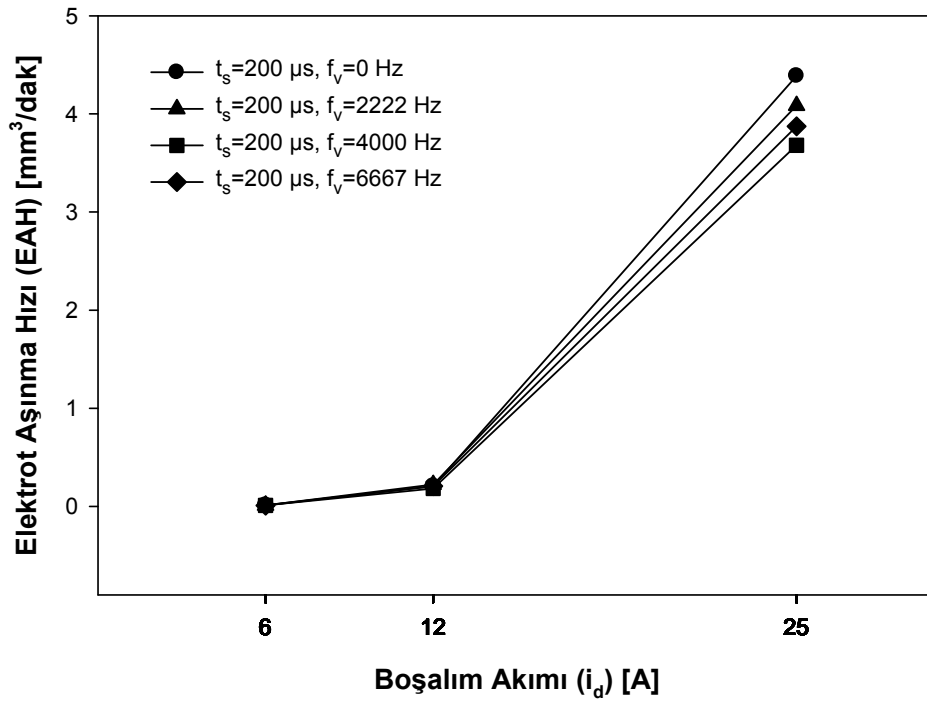
Bütün deney setlerinde boşalım akımının artışı ile EAH değerlerinin arttığı ve buna bağlı olarak elektrot şekil bozulmasının da hızlandığı görülmüştür. Bu durum, boşalım akımının artışı ile artan boşalım enerjisinin işparçası yüzeyinden ergiterek buharlaştırdığı malzeme miktarını arttırmasına karşılık aynı mekanizmanın elektrot içinde geçerli olduğu şeklinde açıklanmıştır [15, 26, 27].

Boşalım akımının 6 A'den 12 A'e artışına karşılık EAH değerlerinde en yüksek artış 100  $\mu s$  grubunda 18,84 kat olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.16-5.18). 12 A'den 25 A'e artış ile EAH değerlerinde en yüksek artış ortalama 18,61 kat ile 200  $\mu s$  deney grubunda elde edilmiştir. 25 A EAH değerlerinde 6 A'e göre en yüksek artış ortalama 362,51 kat ile 200  $\mu s$  deney grubunda meydana gelmiştir.

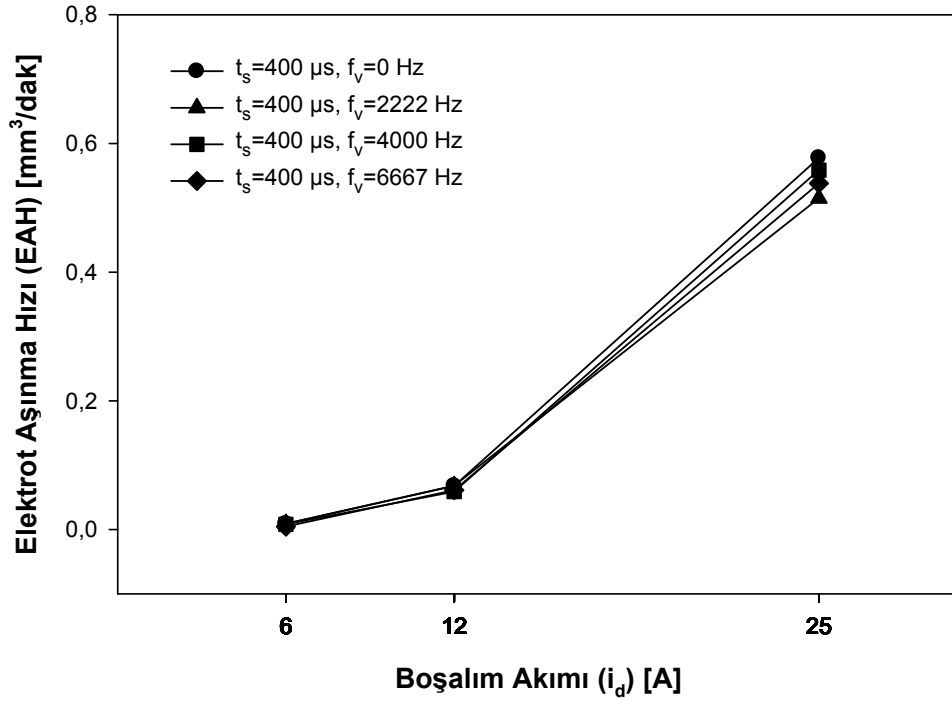




Şekil 5.16. İT-EEİ'de boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s = 100 \mu\text{s}$ )



Şekil 5.17. İT-EEİ'de boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s = 200 \mu\text{s}$ )

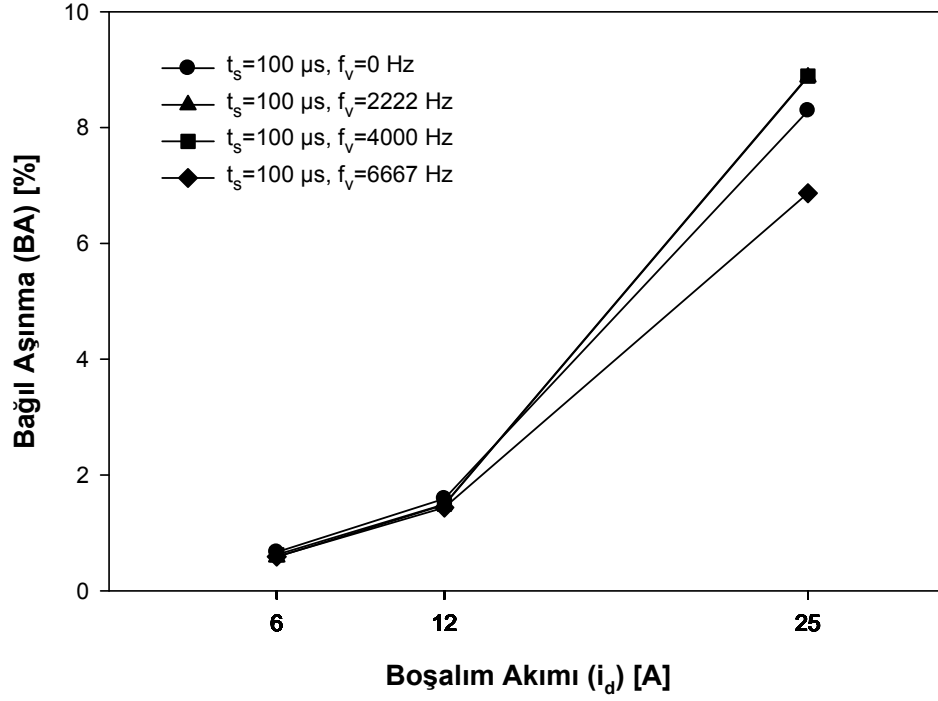


Şekil 5.18. İT-EEİ'de boşalım akımının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )

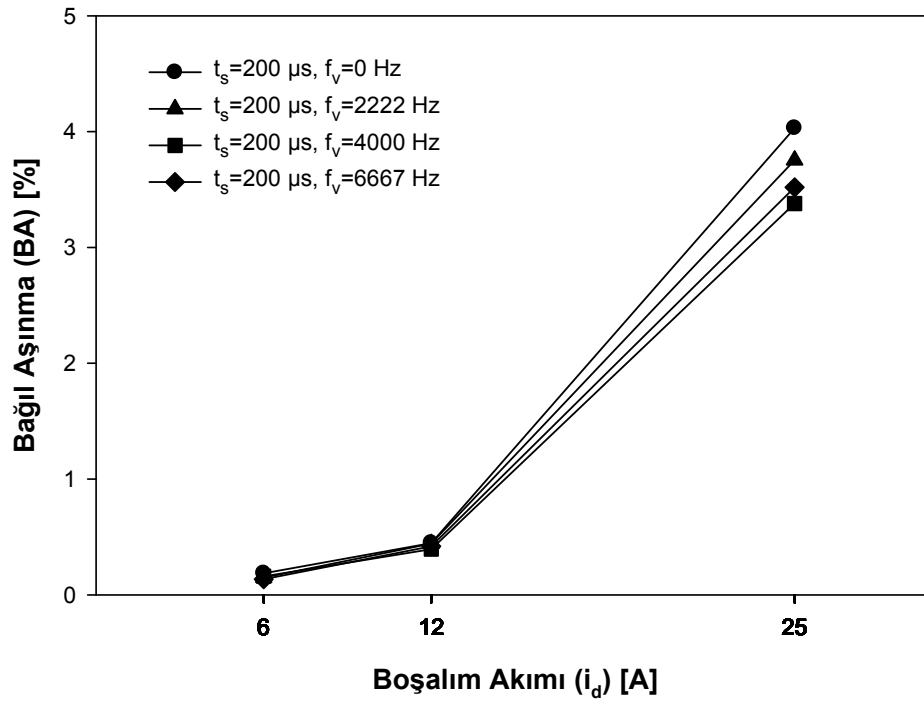
#### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde boşalım akımının BA üzerindeki etkisi

Boşalım akımının artışı deneylerin genelinde BA değerlerinin artmasına neden olmuştur (Şekil 5.19-5.21). BA değerleri yalnız 400  $\mu s$  vurum süreli deneylerde akımın 12 A'e artışı ile azalma göstermiştir. Bunun haricinde BA değerlerinin değişim karakteristiği benzer çalışmalar ile uyumludur [15, 26].

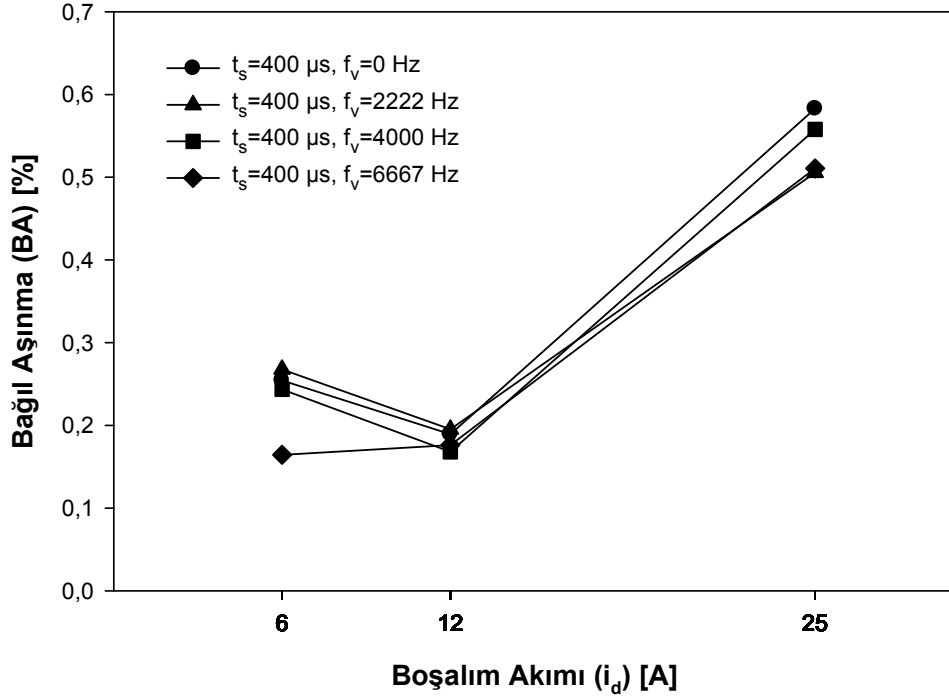
BA değerlerinde akımın 6 A'den 12 A'e ve 12 A'den 25 A'e artışı ile en yüksek ortalama artışlar sırası ile 1,74 ve 7,62 kat ile 200  $\mu s$  deney grubunda elde edilmiştir. 6 A'den 25 A'e çıkıldığında BA değerlerinde en yüksek artış ortalama 22,61 kat ile yine 200  $\mu s$  deney grubunda elde edilmiştir. 6 A'den 12 A'e, 12 A'den 25 A'e ve 6 A'den 25 A'e olan artışlara karşılık BA değerlerinin ortalamada en düşük çıktığı deney grupları İİH artışının en yüksek ve EAH değerlerinin en düşük çıktığı 400  $\mu s$  deney grupları olmuştur. Bu değerler 6 A-12 A'de 0,19 kat, 12 A-25 A'de 1,97 kat ve 6 A-25 A'de 1,39 kat olmuştur.



Şekil 5.19. İT-EEİ'de boşalım akımının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ )



Şekil 5.20. İT-EEİ'de boşalım akımının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )

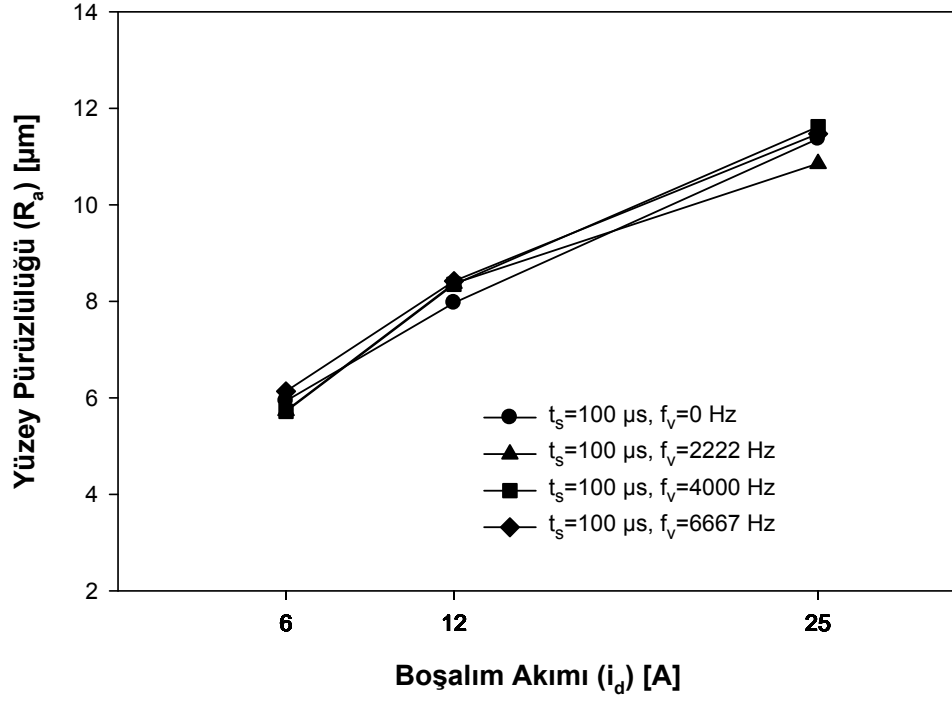


Şekil 5.21. İT-EEİ'de boşalım akımının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )

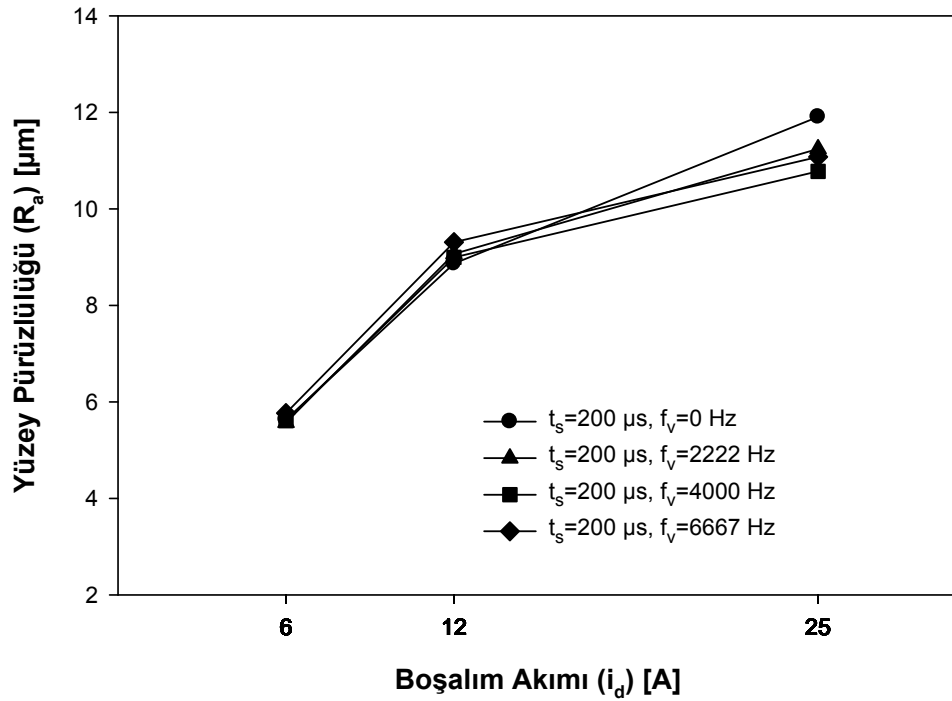
#### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde boşalım akımının $R_a$ üzerindeki etkisi

Boşalım akımının artışı ile bütün işleme koşullarında  $R_a$  değerleri artış göstermiştir (Şekil 5.22-5.24).

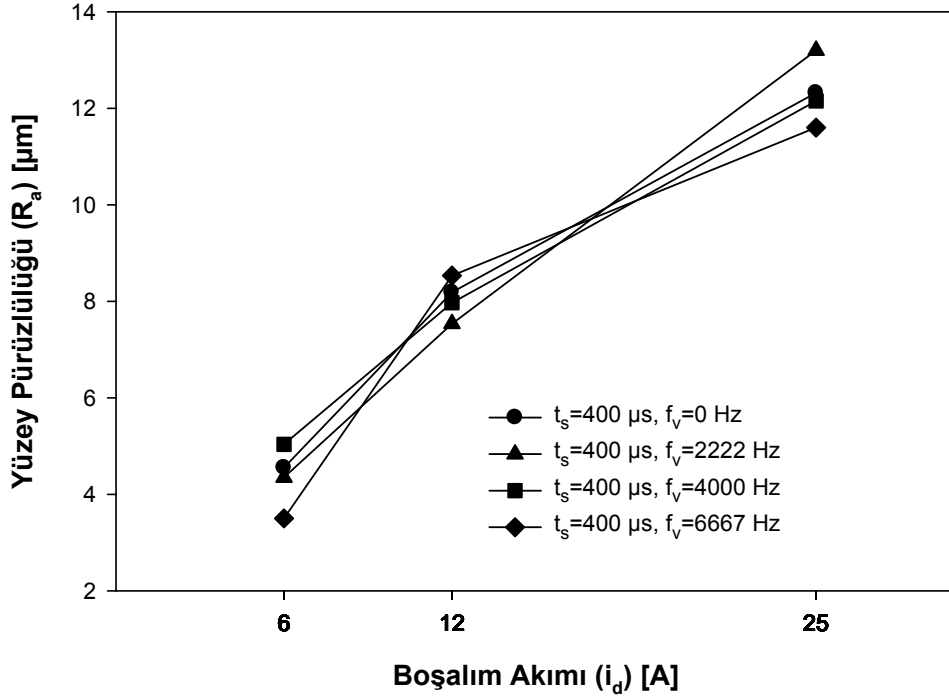
Boşalım akımının 6 A'den 12 A'e arttırılması ile  $R_a$  değerlerinde en yüksek artış ortalama %88,78 ile 400  $\mu s$  deney grubunda en düşük artış ise ortalama %40,87 ile 100  $\mu s$  deney grubunda tespit edilmiştir. 12 A'den 25 A'e artış ile  $R_a$  değerlerinde en yüksek artış ortalama %53,54 ile 400  $\mu s$  deney grubunda, en düşük artış ise ortalama %24,26 ile 200  $\mu s$  deney grubunda elde edilmiştir. 25 A'de yapılan deneylerdeki  $R_a$  değerleri 6 A'dekilerle karşılaştırıldığında en yüksek artış ortalama %186,74 ile 400  $\mu s$  deney grubunda elde edilmiştir. En düşük artış ise %92,75 ile 100  $\mu s$  deney grubundadır.



Şekil 5.22. İT-EEİ'de boşalım akımının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $t_s=100 \mu s$ )



Şekil 5.23. İT-EEİ'de boşalım akımının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



Şekil 5.24. İT-EEİ'de boşalım akımının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )

#### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde vurum süresinin İİH üzerindeki etkisi

TTFD grubu deneylerinde  $100 \mu s$ - $200 \mu s$  vurum süresi değişiminde İİH değerleri neredeyse bütün deney parametreleri için artış göstermiştir.  $200 \mu s$ - $400 \mu s$  ve  $100 \mu s$ - $400 \mu s$  değişimlerinde ise bütün deney parametrelerinde İİH değerlerinde azalma görülmüştür (Şekil 5.25-5.27). Bu durum kısa vurum sürelerinden orta değerlere olan artışlara karşılık uygulanan boşalımların ergitilen ve buharlaştırılan malzeme miktarını arttırması ve bunun İİH değerlerinin vurum süresi ile artması şeklinde açıklanmıştır. Bunun yanı sıra vurum süresinin orta seviyeden yüksek değerlere çıkartılması ile işleme boşluğundaki akım yoğunluğunun azalmasından ve işparçasındaki artan ısı transferinin, ergime ve buharlaşma hızını düşürmesinden dolayı vurum süresinin artışına karşılık İİH değerlerinin azalması da daha önceki çalışmalarda sunulmuştur [15, 27].

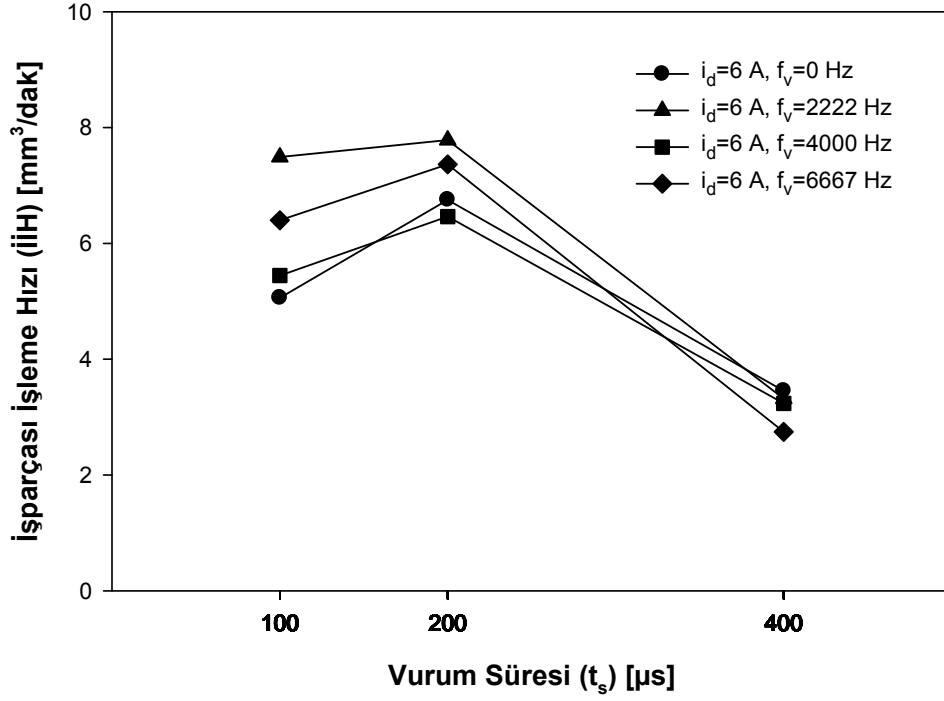
Bu çalışmada deney parametreleri 6 A, 12 A ve 25 A boşalım akımı değerlerine göre gruplandırılmış, vurun süresinin artışına karşılık grupların İİH değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

Vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 200  $\mu$ s'ye arttırılması ile İİH değerlerindeki en yüksek ortalama artış %17,79 ile 6 A deney grubunda elde edilirken 25 A'de %4,99 ortalama artış elde edilmiştir. 12 A'de önemli bir değişim görülmemiştir.

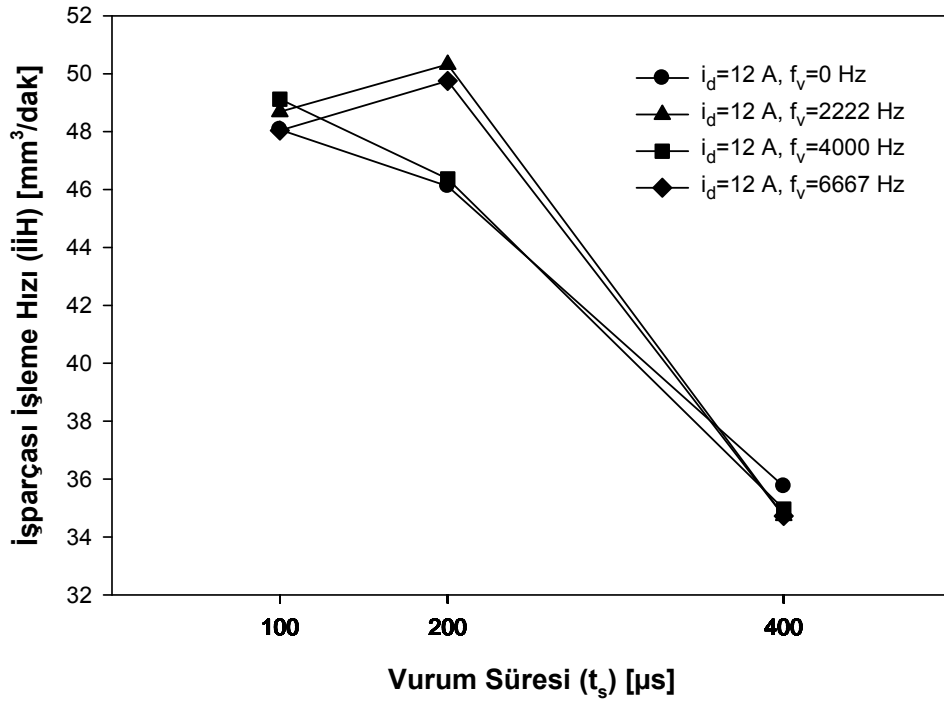
200  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye artış ile İİH'da en yüksek azalma %54,73 ortalama ile 6 A deney grubunda elde edilmiştir. Bunu ortalama %27,06 azalma ile 12 A deney grubu izlemiş ve sıralamada son olarak %6,97 ortalama azalma ile 25 A deney grubu yer almıştır.

Vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye artışı ile İİH değerlerinde meydana gelen azalma 6 A, 12 A ve 25 A deney grupları için sırası ile %46,28, %27,71 ve %4,19 değerleri ile gerçekleşmiştir.

İİH değerlerinin vurum süresi artışı ile düşük akım değerlerinde olumlu veya olumsuz daha yüksek oranda etkilendiği, boşalım akımı değerinin bir üst seviyesine çıkıldıkça etkilenmenin daha az olduğu görülmüştür.

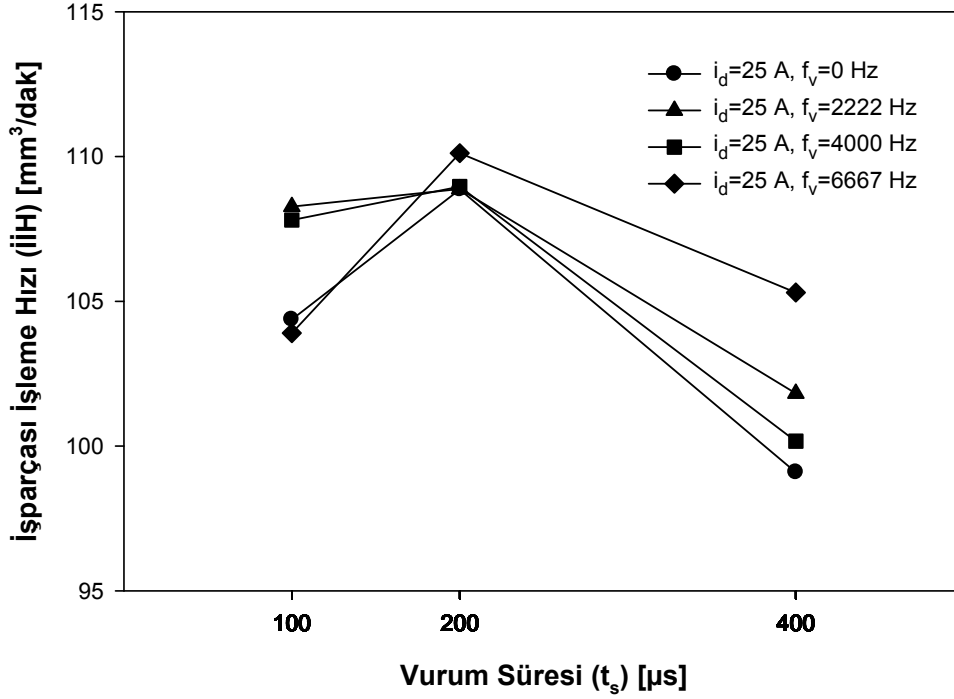


Şekil 5.25. İT-EEİ'de vurum süresinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)



Şekil 5.26. İT-EEİ'de vurum süresinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A)





Şekil 5.27. İT-EEİ'de vurum süresinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A)

#### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde vurum süresinin EAH üzerindeki etkisi

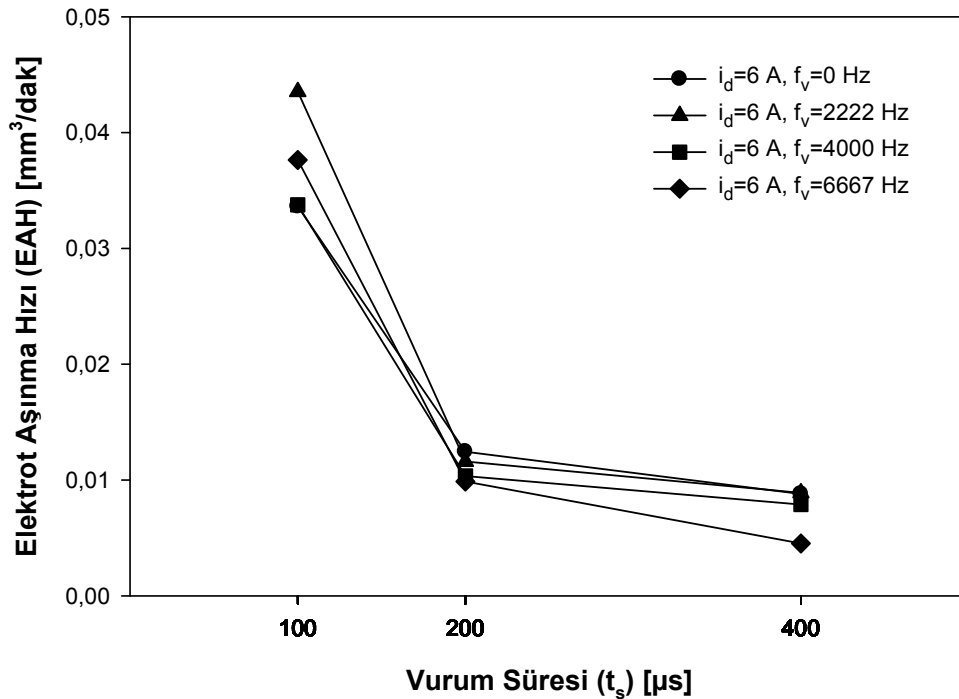
Vurum süresinin artışı ile tüm deneylerde EAH değerleri %23,42 ile %94,64 aralığında azalmıştır (Şekil 5.28-5.30). EAH değerlerinin artan vurum süresi ile azalması önceki çalışmalar ile uyumludur [8, 15, 27, 26, 30, 31]. Bu durum, bazı araştırmacılar tarafından uzun vurum sürelerinde, gazyağının bozunumu ve işparçasının ergimesi ile açığa çıkan karbonun elektrot yüzeyine yapışarak aşınma direncini artırması olarak açıklanmıştır [8]. Bunun yanı sıra artan vurum süresinin EAH değerlerinde azalmaya neden olması elektrot yüzeyinden ısı transferinin daha fazla oluşması ve böylece daha az elektrot malzemesinin aşınması ile açıklanmıştır [15].

Vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 200  $\mu$ s'ye artışı ile EAH değerleri %45,69 ile %77,23 arasında azalmış, en yüksek ortalama azalma %71,80 ile 12 A deney grubunda oluşmuştur.

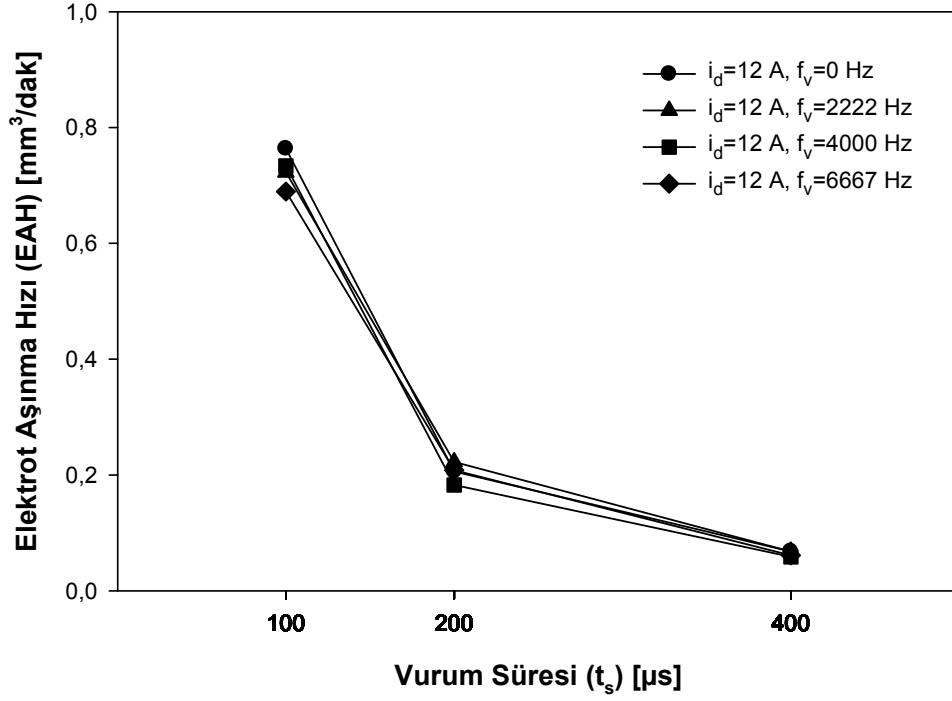
Vurum süresinin 200  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye artışı ile EAH değerleri %23,42 ile %87,40 aralığında azalırken ortalama %86,30 azalma ile 25 A deney grubu ilk sırada yer almıştır.

400  $\mu$ s vurum süreli deneylerdeki EAH değerlerinin 100  $\mu$ s'ye göre %73,88 ile %94,64 arasında azaldığı, 100  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye geçişte en yüksek ortalama azalmanın %93,65 ile 25 A deney grubunda elde edildiği anlaşılmıştır.

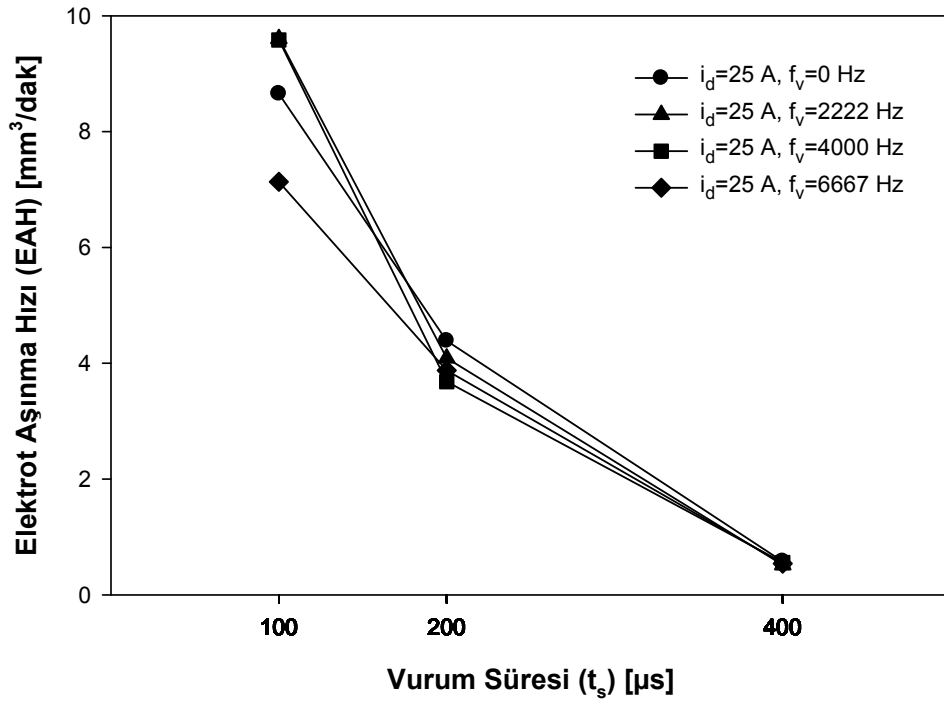
Vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s'ye artırılması ile EAH'daki orantısal azalma daha dar bir aralıkta yüksek değerlerde gerçekleşmiştir. 200  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye artış ile EAH'daki orantısal azalma değerleri düşükten yükseğe doğru değişen daha geniş bir aralıkta tespit edilmiştir.



Şekil 5.28. İT-EEİ'de vurum süresinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)



Şekil 5.29. İT-EEİ'de vurum süresinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12 A$ )

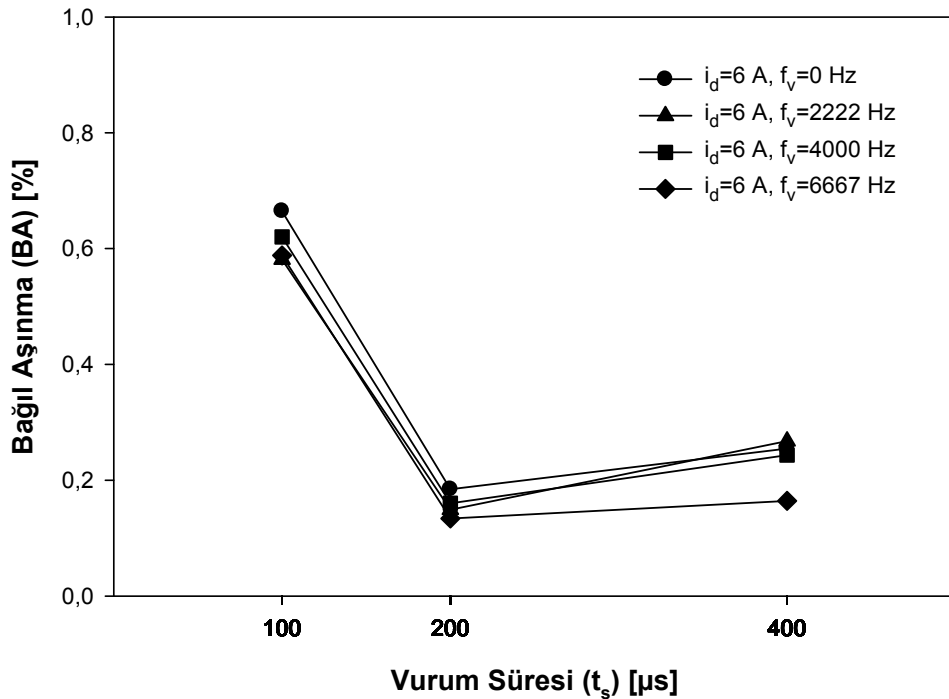


Şekil 5.30. İT-EEİ'de vurum süresinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25 A$ )

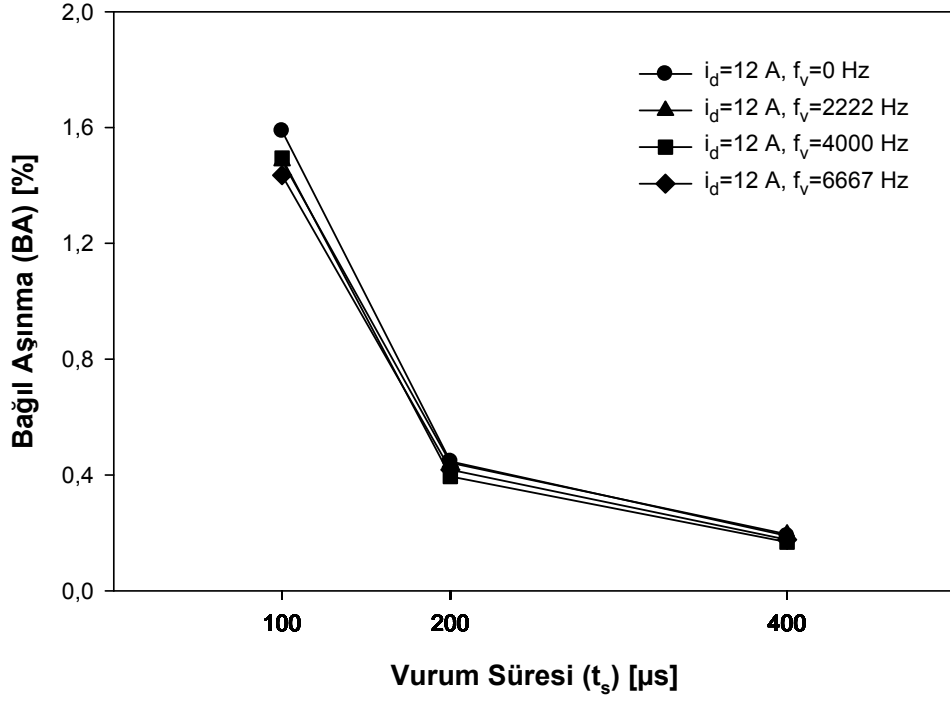
### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde vurum süresinin BA üzerindeki etkisi

Vurum süresinin artışı ile deneylerin genelinde BA değerleri azalmıştır (Şekil 5.31-5.33). Ancak 6 A deney grubunda 200  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye artışı ile BA değerleri artış göstermiştir. Bunun haricinde BA değerleri literatürdeki çalışmalar ile uyumludur [15, 26].

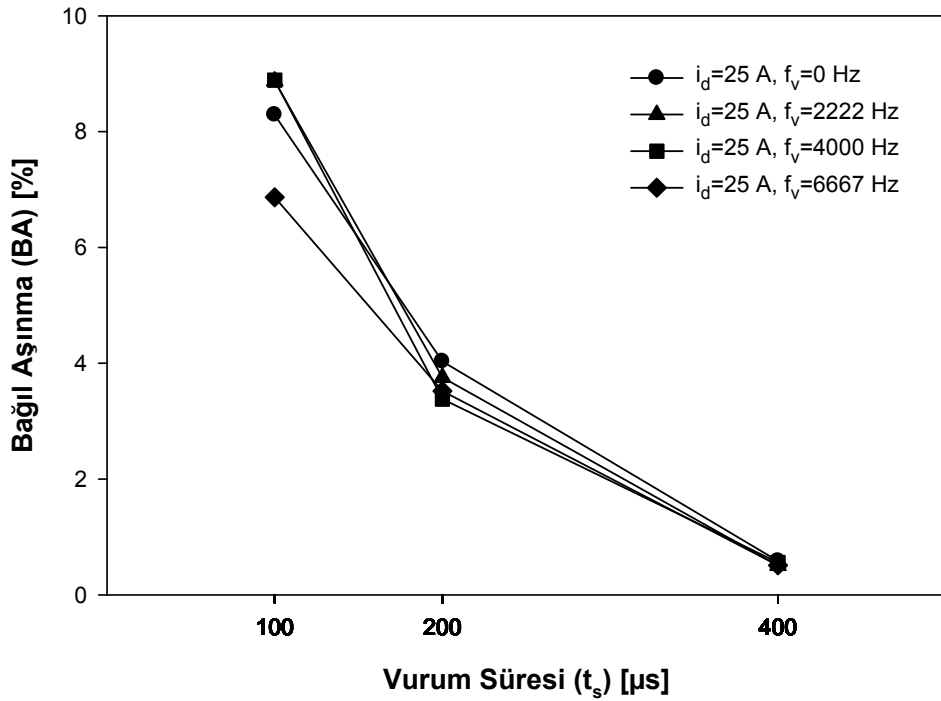
Vurum süresinin artışı ile EAH değerlerinin İH değerlerine göre daha fazla etkilendiği anlaşılmıştır. Vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 200  $\mu$ s'ye artırılması ile BA'daki en yüksek azalma %74,52 ortalama ile 6 A deney grubunda elde edilmiştir. 200  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye geçişte ise BA'daki ortalama en yüksek azalma %85,26 ortalama ile 25 A deney grubunda elde edilmiştir. 400  $\mu$ s vurum süreli BA değerlerinin 100  $\mu$ s'ye göre göstermiş olduğu azalmaya bakıldığında ortalama %93,39 ile 25 A deney grubu ilk sırada yer almıştır.



Şekil 5.31. İT-EEİ'de vurum süresinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)



Şekil 5.32. İT-EEİ'de vurum süresinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12\text{ A}$ )



Şekil 5.33. İT-EEİ'de vurum süresinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25\text{ A}$ )

### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde vurum süresinin $R_a$ üzerindeki etkisi

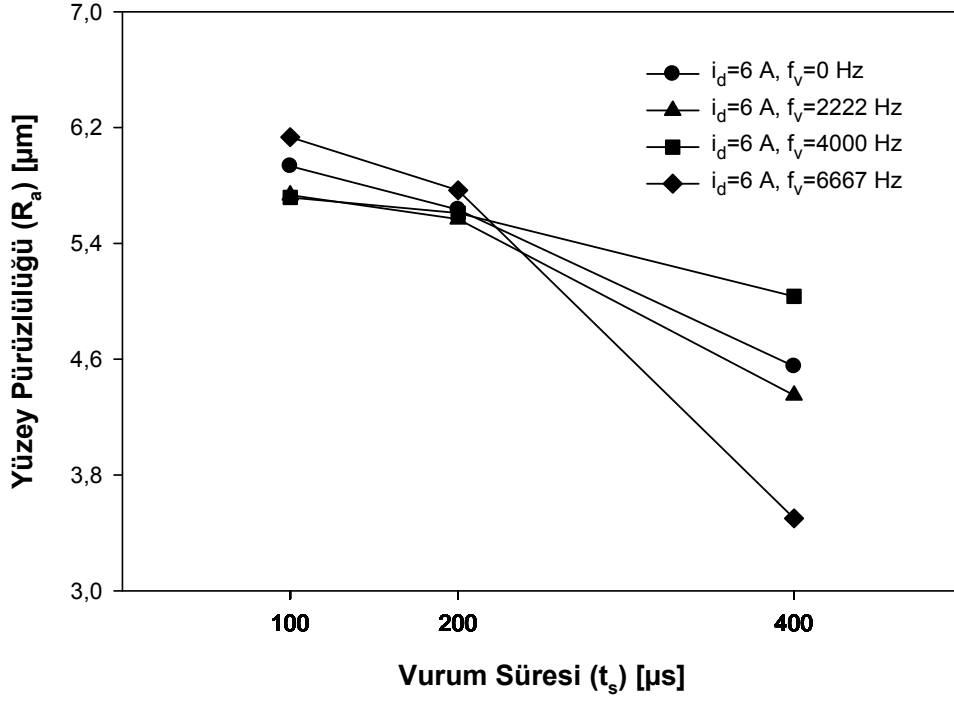
Vurum süresinin artışı ile  $R_a$  değerleri 6 A, 12 A ve 25 A deney gruplarında birbirinden tamamen farklı değişim göstermiştir.

6 A deneylerinde vurum süresinin artışı ile  $R_a$  değerleri azalmıştır (Şekil 5.34). 6 A deney grubunda vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 200  $\mu$ s'ye artışı  $R_a$ 'nın ortalama %3,96, 200  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye artışında ortalama %22,66 ve 100  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye artışında ise ortalama %25,58 azalmasına neden olmuştur.

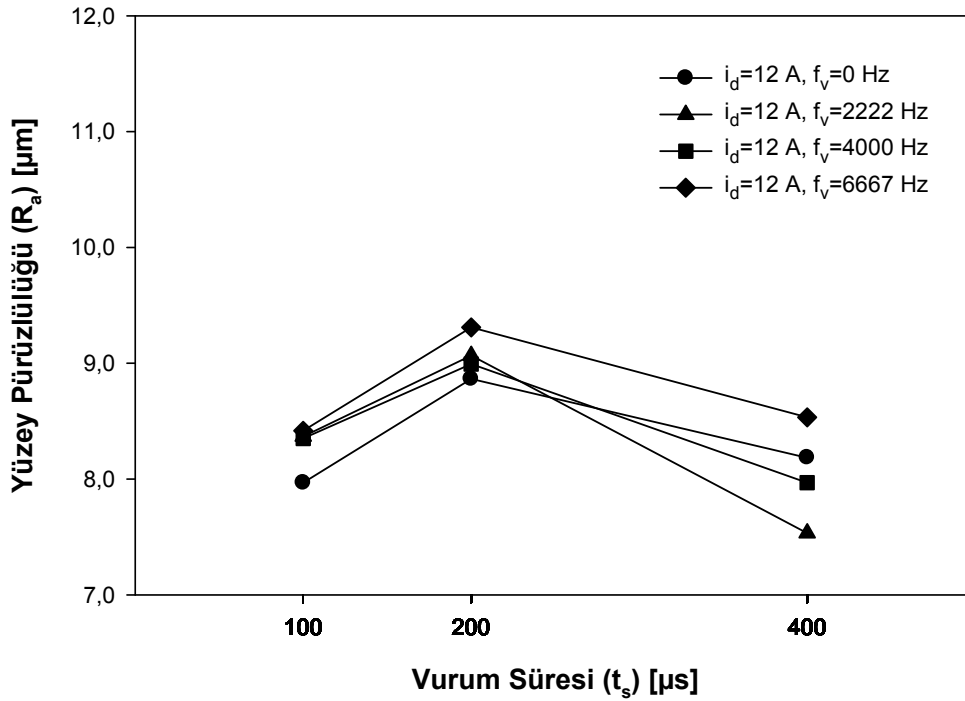
12 A deneylerinde vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 200  $\mu$ s'ye artışı ile  $R_a$  değerleri ortalama %9,48 artmıştır. Vurum süresinin 100  $\mu$ s ve 200  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s'ye artışı  $R_a$  değerlerini sırası ile ortalama %2,61 ve %11,08 azaltmıştır (Şekil 5.35).

Vurum süresinin artışı 25 A deney grubunda  $R_a$  değerlerini genelde arttırmıştır (Şekil 5.36).

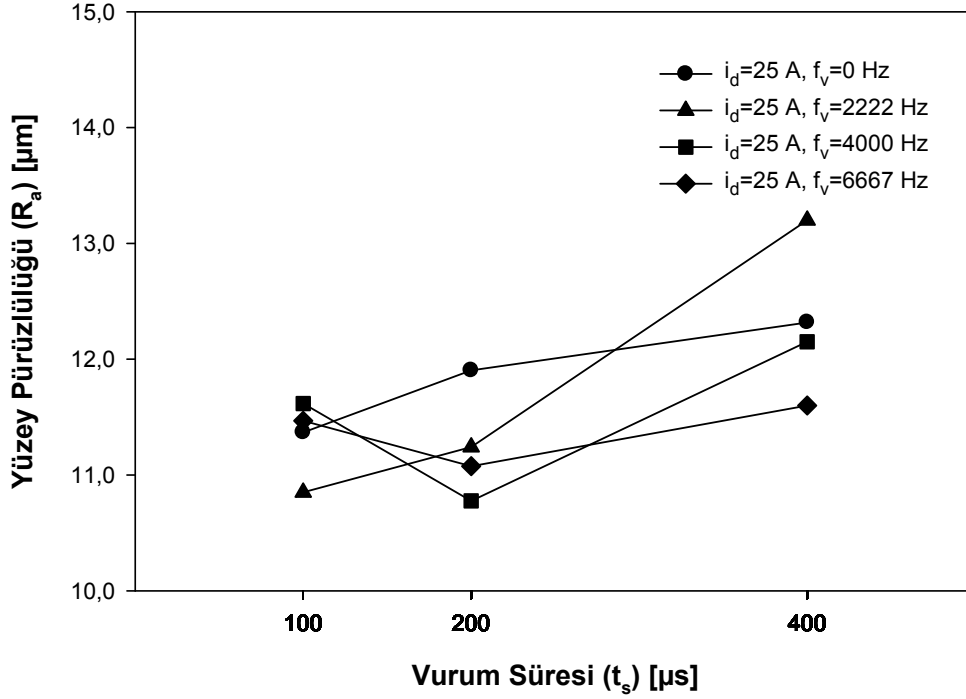
Düşük akım deneylerinde uzun vurum sürelerine olan artışların İİH ile paralel olarak  $R_a$  değerlerini de azalttığı anlaşılmıştır. Diğer yandan yüksek akım değerlerinde artan vurum süresi ile İİH'nın aksine  $R_a$  değerlerinin artış gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 5.34. İT-EEİ'de vurum süresinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)



Şekil 5.35. İT-EEİ'de vurum süresinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A)



Şekil 5.36. İT-EEİ'de vurum süresinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A)

#### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi

İşparçasına uygulanan 2222 Hz, 4000 Hz ve 6667 Hz frekanslı titreşimlerin (0,3~1,1  $\mu m$  maksimum genlik) uygulandığı deneylerin genelinde işparçasına uygulanan titreşimler ile İİH değerlerinde artışlar elde edilmiştir (Şekil 5.37-5.42).

Genelde elektroda uygulanan ultrasonik frekanslardaki ve az sayıda da olsa işparçasına uygulanan ultrasonik frekanslardaki titreşimler ile yapılmış çalışmalarda İİH değerlerinin titreşimin uygulanması ile arttığı belirtilmiştir [49, 51-53, 56-62, 66-68, 70].

İİH değerlerindeki artış, işparçasına uygulanan ultrasonik frekanstaki titreşimlerin ergimiş işparçası malzemesinin işparçası yüzeyinde tekrar yapışmasını engellediği ve böylece İİH değerinin arttığı şeklinde



yorumlanırken [62], bazı araştırmacılar yüksek frekanstaki titreşimlerin etkisi ile işleme ortamının pompalanmasının sonucunda dielektrik sıvı sirkülasyonunun ve işleme atıklarının uzaklaştırılmasının hızlağını, ark oluşumlarının azalağını bununda İİH değerlerinin artmasını sağladığını belirtmişlerdir [66, 68, 70].

Uygulanan titreşimlerin bitirme işlemindeki gibi dar işleme boşluğu olan koşullarda daha etkili olduğu belirtilmiştir [51-53, 56, 58-61]. Ayrıca ultrasonik frekansta titreştirilen elektrodun işleme aralığında yarattığı basınç değişiminin işparçası yüzeğinde oluşturduğu kavitasyonun ergimiş metal havuzunun daha etkin boşaltılmasını sağladığı ve böylece İİH değerlerinin arttığı şeklindeki ağıklamalar da literatürde yer almaktadır [59-61, 51-53, 56].

6 A boşalım akımında işparçasına titreşim uygulanması ile 100  $\mu$ s ve 200  $\mu$ s vurum sürelerinde İİH değerleri %7,61 ile %48,13 arasında artış gösterirken 400  $\mu$ s'de titreşim frekansının bütün değerleri için İİH değerlerinde azalma elde edilmiştir (şekil 5.37).

6 A boşalım akımında işparçasına titreşim uygulanması ile İİH değerlerinde titreşimsiz koşullara göre 100  $\mu$ s deney grubunda 2222 Hz'de %48,13, 4000 Hz'de %7,61 ve 6667 Hz'de %26,53 artış oranları elde edilmiştir.

Ayrıca düşük akım değerlerinde işparçasına titreşim uygulanmasının kısa vurum sürelerinde İİH değerlerini arttırdığı, vurum süresinin artan değerleri ile uygulanan titreşimlerin İİH değerlerindeki artış etkisinin azalağığı anlaşılmıştır.

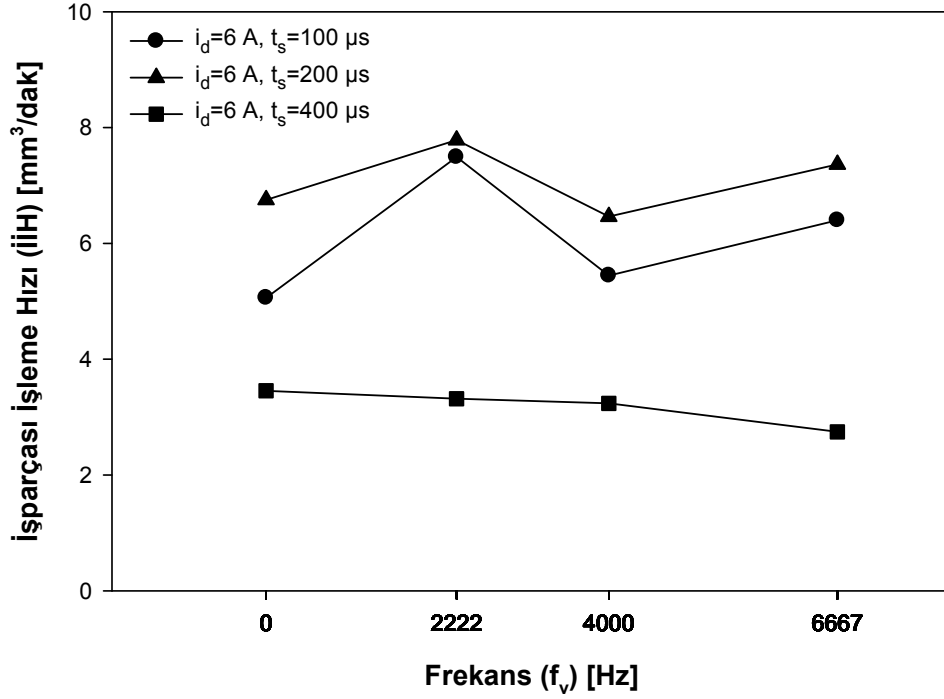
İşparçasına uygulanan titreşimler ile İİH değerlerinde 12 A boşalım akımının 100  $\mu$ s ve 200  $\mu$ s deney gruplarında %0,55 ile %9,13 arasında artış, 400  $\mu$ s deney grubunda ise küçük azalmalar tespit edilmiştir (şekil 5.38). 12 A deneylerinde titreşimlerin daha etkili olduğu deney grubu 200  $\mu$ s olmuştur.

Uygulanan titreşimler ile İİH değerlerinde beklenen artış genel olarak 25 A deneylerinde %0,02 ile %6,27 arasında gerçekleşmiştir (Şekil 5.39). Diğer deneylerde olduğu gibi 25 A deneylerinde de boşalım başına düşen titreşim sayısı artışı ile İİH'da genel bir artış sağlanamamıştır. 25 A'de uygulanan titreşimler 400 µs vurum süreli deneylerde daha etkili olmuştur. 25 A deneyleri içerisinde titreşimsiz koşullara göre en yüksek İİH artışı 25 A-400 µs-6667 Hz'de %6,27 ile elde edilmiştir.

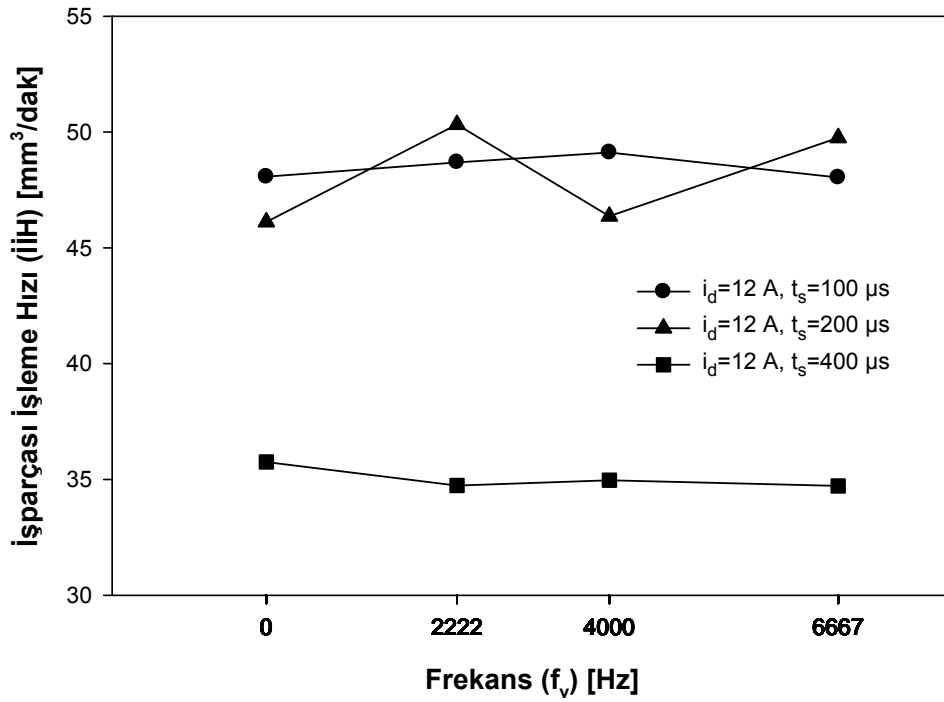
Titreşimsiz koşullara göre 2222 Hz ve 4000 Hz frekansları 25 A'de tüm vurum süreleri için İİH değerlerini arttırmıştır. 6667 Hz frekans değeri ise 25 A deneylerinde etkili sonuçlar sağlamıştır. 2222 Hz frekans değeri 100 µs ve 200 µs vurum süreli deneylerde İİH değerlerini arttırmıştır. 4000 Hz frekanslı titreşimler ile yapılan 100 µs vurum süreli tüm deneylerde titreşimsiz koşullara göre İİH değerlerinde artış tespit edilmiştir. 6667 Hz frekans değerinin bütün akım değerleri için İİH değerlerinde artış sağladığı vurum süresi ise 200 µs değeri olmuştur (Şekil 5.40-5.42).

6 A-100µs ve 200µs ile 12 A-200 µs titreşimli deney koşullarında İİH değerleri titreşimsiz koşullara göre %7,61 ile %48,13 arasında artmıştır. İİH değerlerinde %6,27'ye kadar olan düşük artışlar ise 12 A-100 µs ile 25 A akımının uygulandığı tüm titreşimli deneylerde elde edilmiştir. İİH değerlerinde %2,19 ile %20,53 arasında azalmalar ise 6 A ve 12 A akımlarının 400 µs vurum sürelerinde elde edilmiştir.

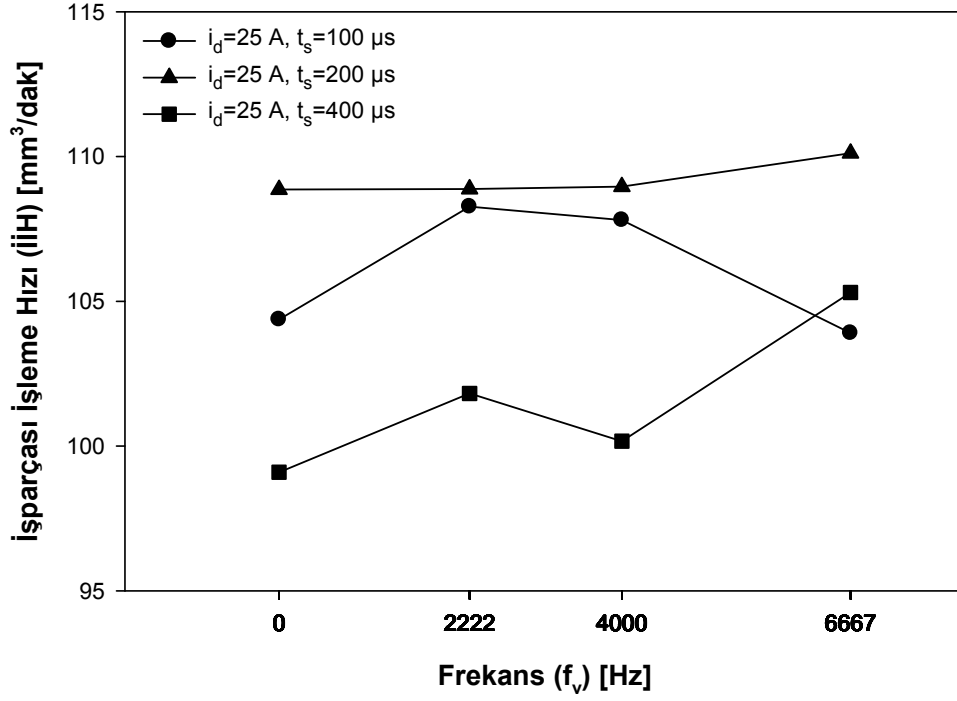
Düşük ve orta boşalım akımı ve vurum süreli titreşimli deneylerde İİH değerlerinde etkili artışlar tespit edilmiştir. Küçük oranlarda meydana gelen İİH artışları ise vurum süresinden bağımsız olarak yüksek akım değerlerinde tespit edilmiştir.



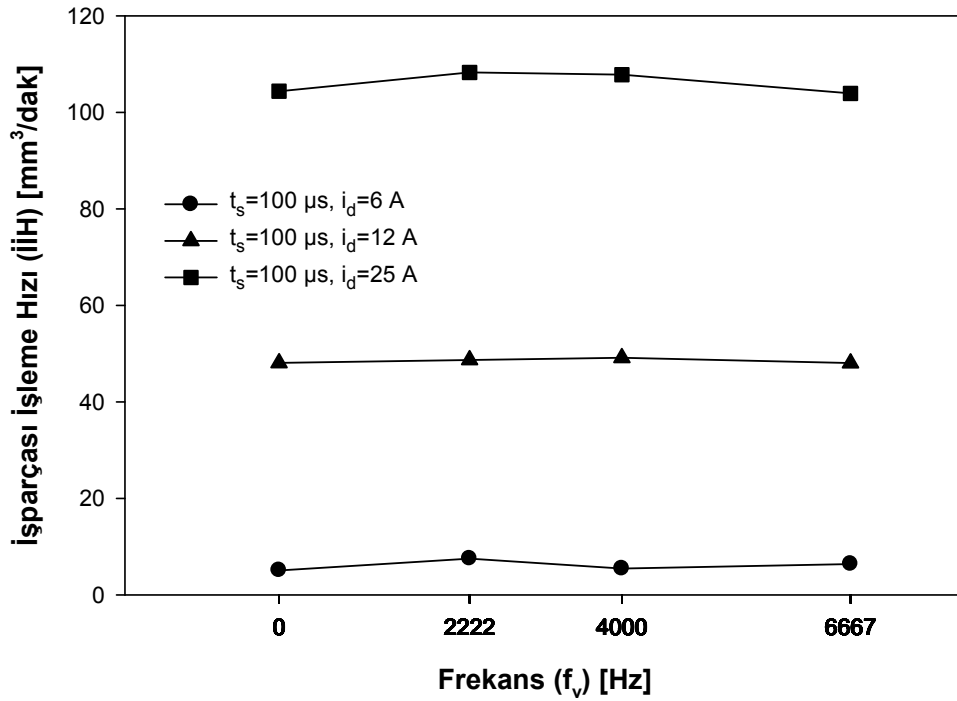
Şekil 5.37. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)



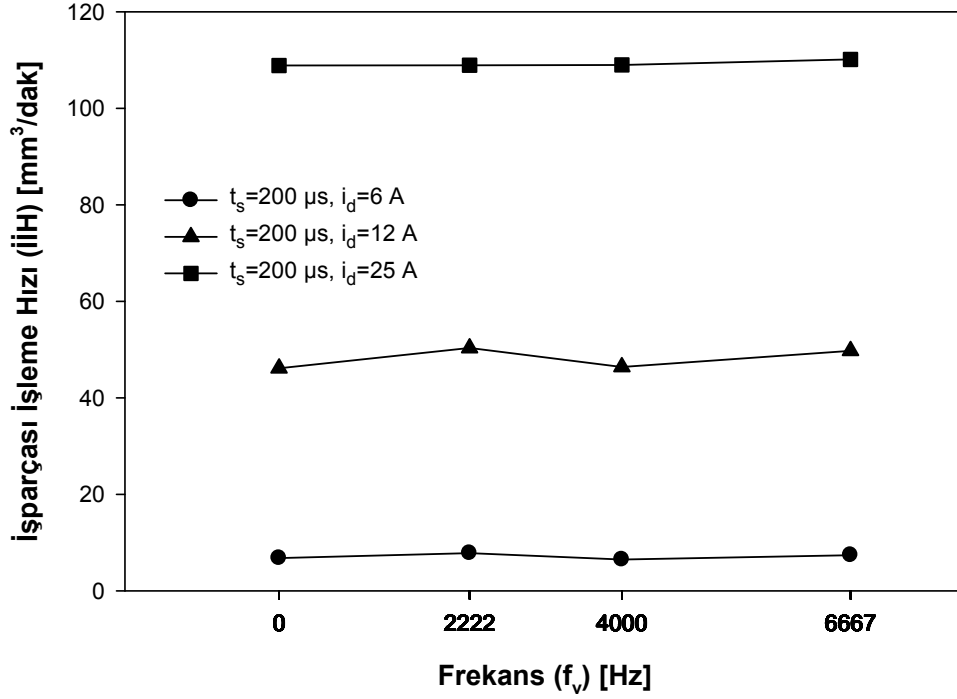
Şekil 5.38. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A)



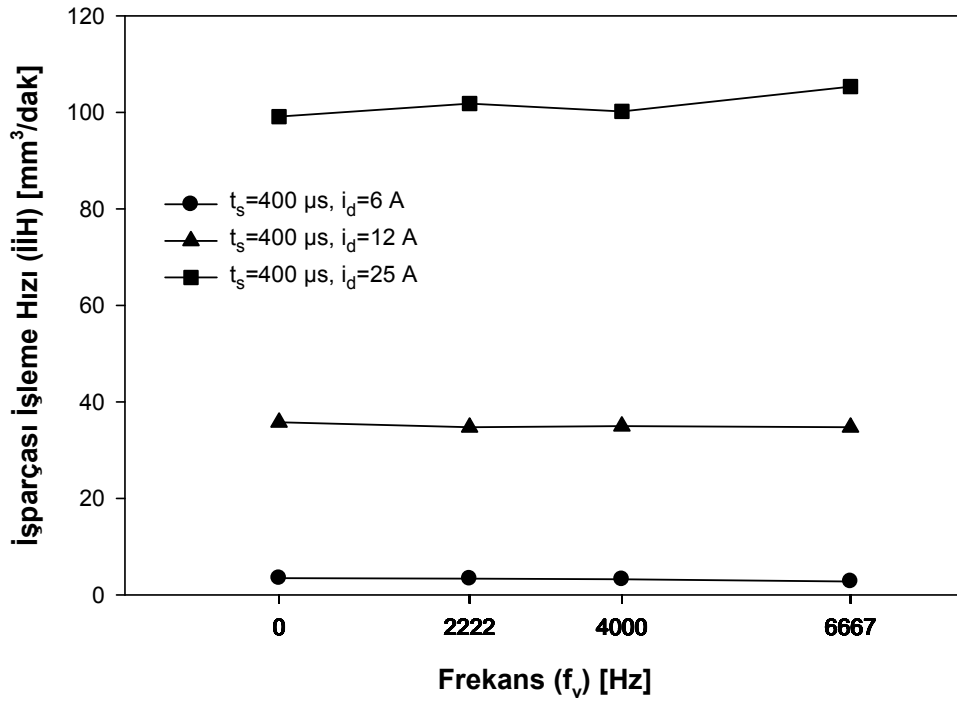
Şekil 5.39. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A)



Şekil 5.40. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=100$   $\mu$ s)



Şekil 5.41. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



Şekil 5.42. İT-EEİ'de titreşim frekansının İİH üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )

### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi

Titreşimsiz koşullara göre işparçası titreşimli EAH değerleri 6 A ve 25 A boşalım akımının 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s deney grupları ile 12 A boşalım akımının 100  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s deney gruplarında azalmıştır (Şekil 5.43-5.48). Titreşimsiz koşullara göre EAH değerlerinde ortaya çıkan genel azalmanın çalışmada elde edilmiş olan en önemli ve etkili sonuç olduğu anlaşılmıştır.

6 A'de 100  $\mu$ s deney grubunda EAH değerleri titreşimsiz koşullara göre artış gösterirken 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s deney gruplarında ise %6,79 ile %48,62 aralığında azalmıştır. 6 A deneylerinde EAH açısından en etkili frekans değerleri 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s deney grupları için 4000 Hz ve 6667 Hz olmuştur.

6 A deneylerinde frekansın artışı ile EAH değerinde bir önceki frekans değerine göre azalma yalnız 4000 Hz'de olmuştur.

İşparçasına uygulanan titreşimler 12 A'de 100  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s deney gruplarında EAH değerlerini %3,87 ve %13,24 arasında azaltmıştır.

Titreşim frekansının 12 A-100  $\mu$ s deney grubunda 6667 Hz'e ve 200  $\mu$ s ile 400  $\mu$ s deney gruplarında ise 4000 Hz'e çıkması EAH değerlerini azaltmıştır.

12 A deneylerinde titreşimsiz koşullara göre en etkili frekans değeri EAH değerlerinde 100  $\mu$ s, 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s deney grupları için sırası ile %3,87, %11,18 ve %13,24 azalma sağlayan 4000 Hz olmuştur.

25 A'de uygulanan titreşimler ile EAH değerlerinde %3,27 ile %16,10 arasında etkili azalmanın sağlandığı deneyler 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s vuru süreli deneyler olmuştur (Şekil 5.45).

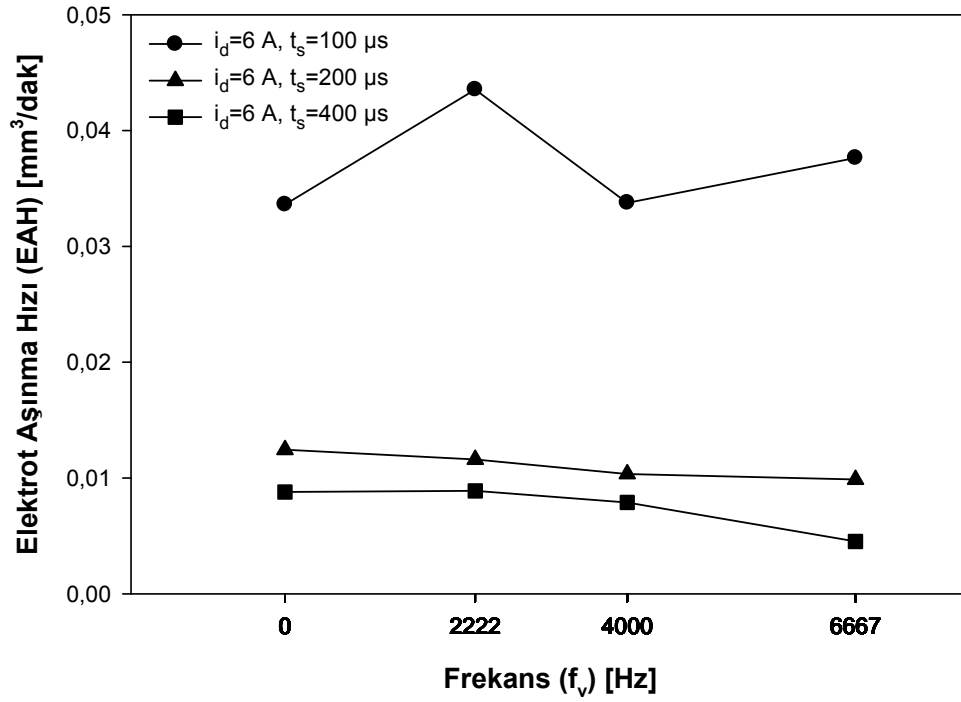
25 A deneylerinde titreşim frekansının arttırılması EAH değerlerinde bir önceki frekans değerine göre 100 µs deney grubunda 6667 Hz'de, 200 µs deney grubunda 4000 Hz'de ve 400 µs deney grubunda 6667 Hz'de azalma sağlamıştır.

Bir boşalıma karşılık bir titreşim eşleştirmesinin yapıldığı frekans değerlerinde 25 A için EAH değerlerinde etkili azalma değerleri tespit edilmiştir.

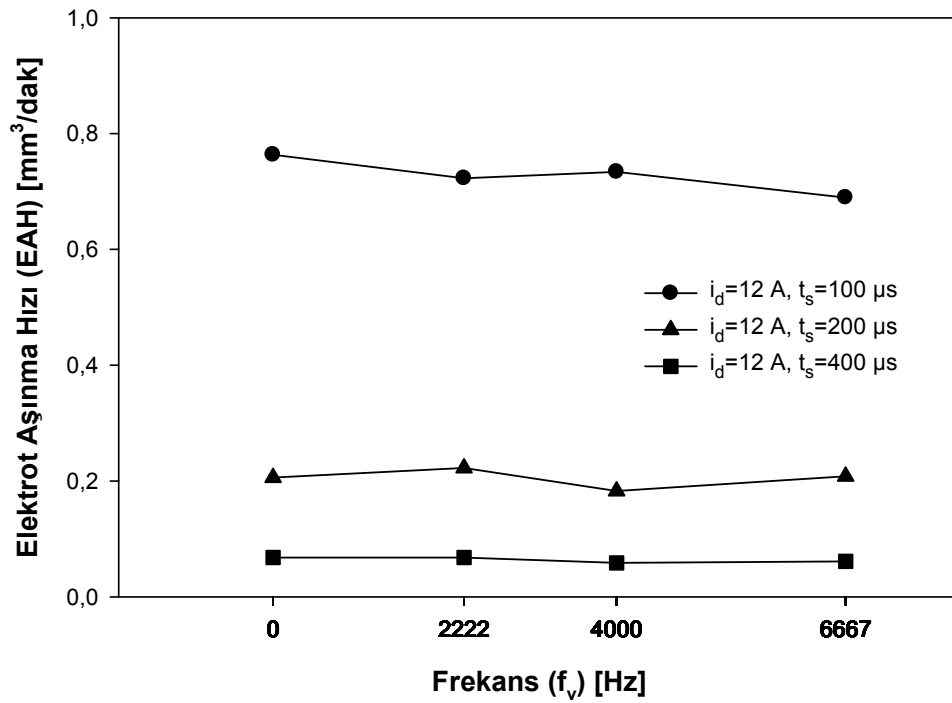
EAH değerlerinde etkili azalma sağlayan frekans değerleri 25 A'de 2222 Hz ile tüm boşalım akımı ve vurum süreleri için 4000 Hz ve 6667 Hz olmuştur (Şekil 5.46-5.48). 4000 Hz frekanslı deneylerde 12 A akımının tüm vurum sürelerinde EAH azalmıştır. 6667 Hz frekanslı deneylerde 25 A boşalım akımı tüm vurum süreleri için EAH değerleri azalma göstermiştir.

Ayrıca tüm akım değerlerinin 200 µs vurum süreli deneylerinde titreşim frekansının 4000 Hz'e artışı EAH değerlerinde azalma sağlamıştır.

Diğer taraftan 2222 Hz frekans değerinin genelde etkili olduğu bir vurum süresi değeri elde edilememiştir. 4000 Hz frekans değeri 200 µs ve 400 µs vurum süresine sahip tüm akım değerleri için EAH değerlerinde azalma sağlarken 6667 Hz frekans değeri de 200 µs ve 400 µs vurum süreli deneylerin genelinde EAH değerlerini azaltmıştır.

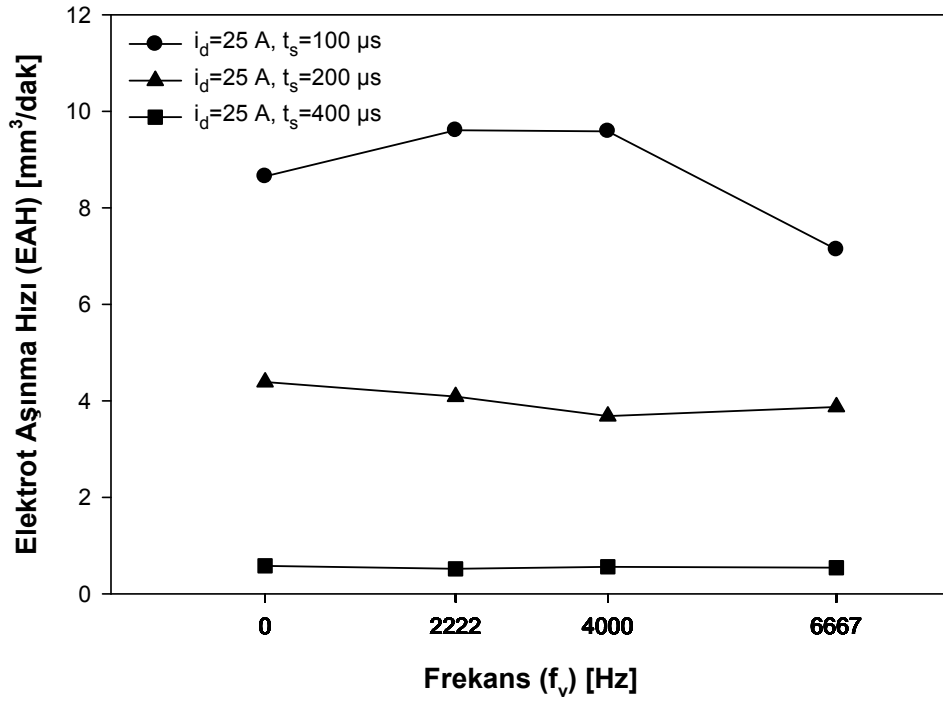


Şekil 5.43. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)

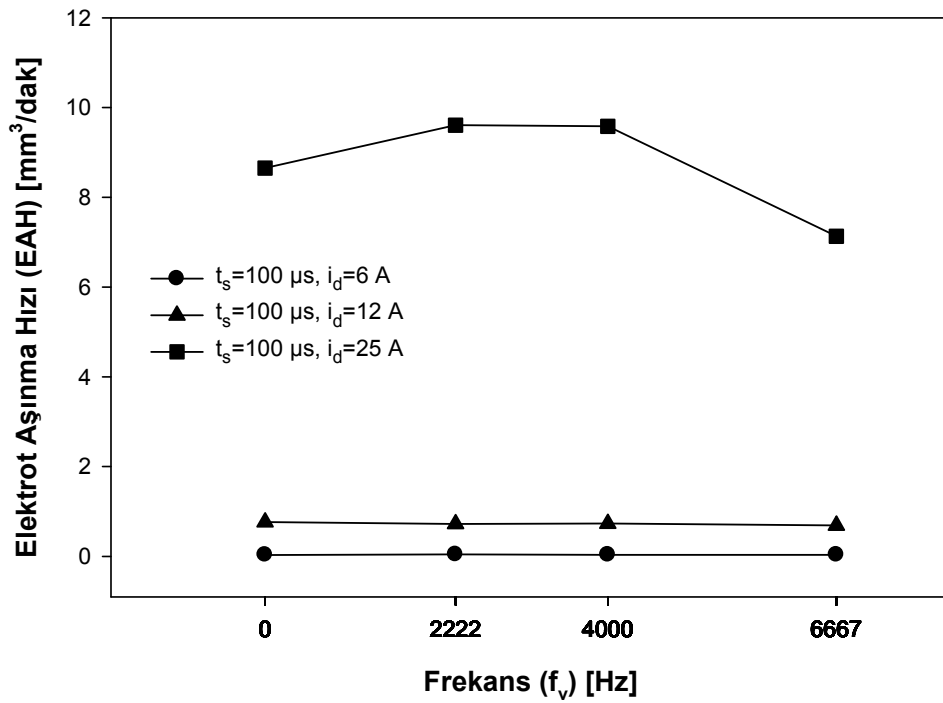


Şekil 5.44. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A)

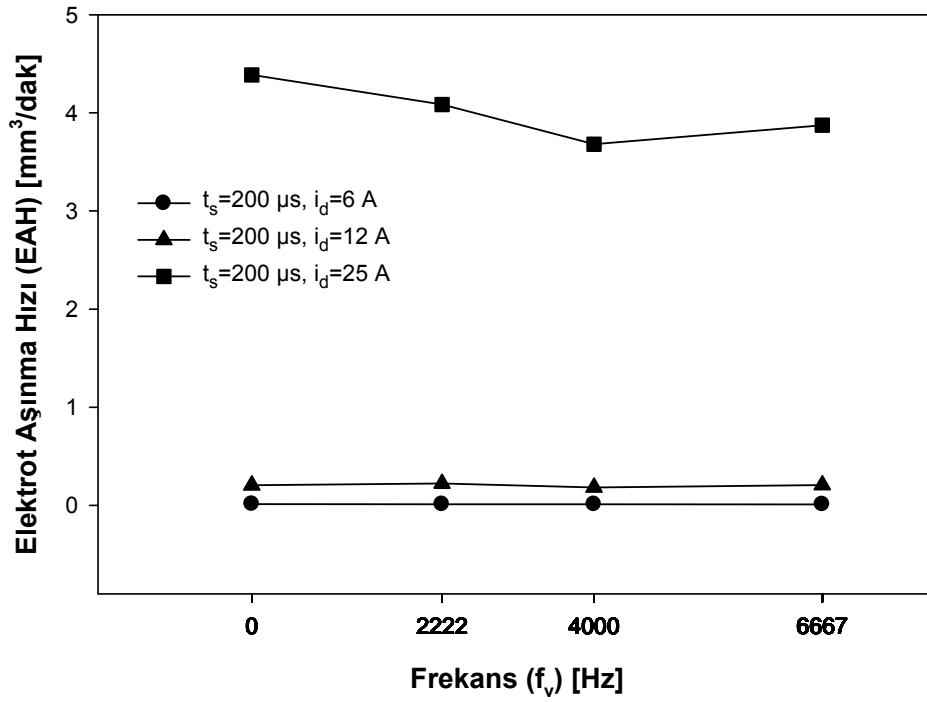




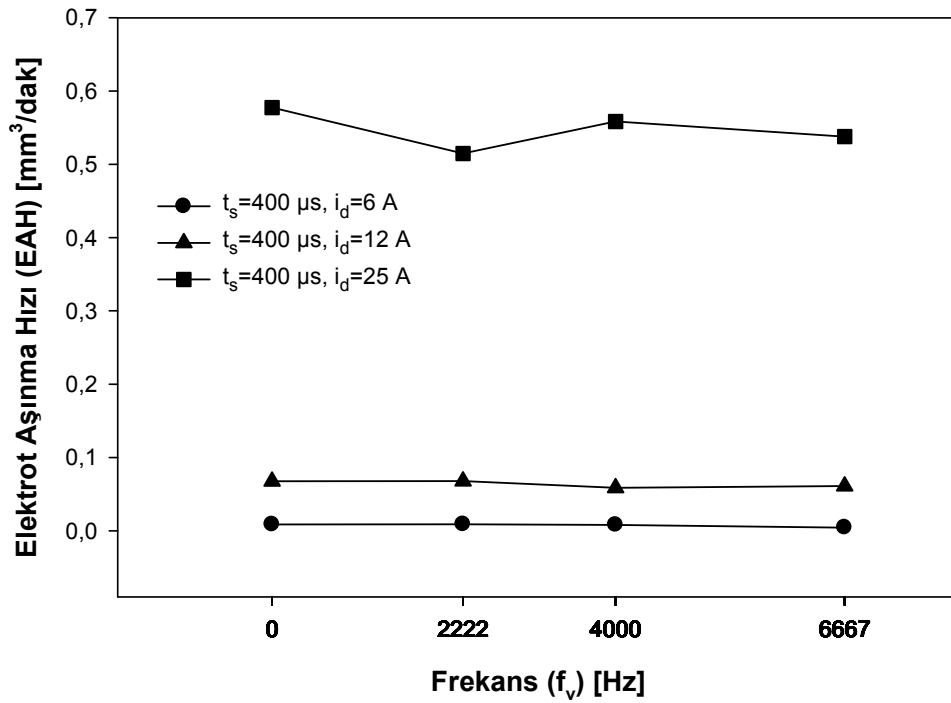
Şekil 5.45. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A)



Şekil 5.46. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=100$   $\mu$ s)



Şekil 5.47. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



Şekil 5.48. İT-EEİ'de titreşim frekansının EAH üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )

### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi

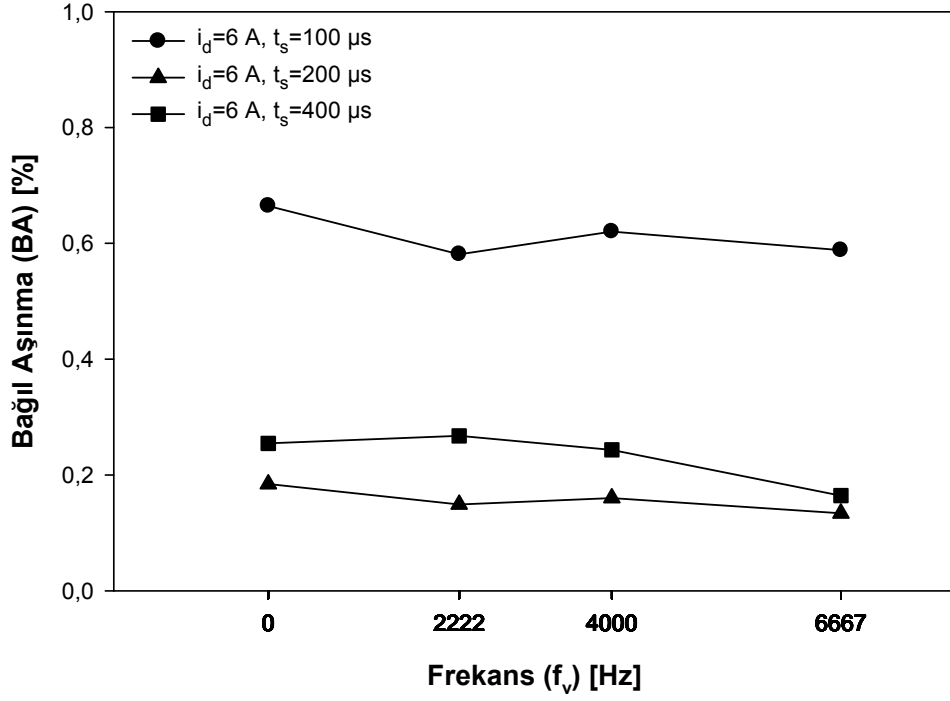
İşparçası titreşimli deneylerde BA değerlerinin genelinde titreşimsiz koşullara göre %1,04 ile %35,35 arasında azalma elde edilmiştir. (Şekil 5.49-5.54).

6 A işparçası titreşimli deneylerde BA değerleri titreşimsiz koşullara göre azalmıştır. 6 A deneylerinin BA değerlerinde en yüksek azalma oranları 200 µs deney grubunda elde edilmiştir (Şekil 5.49). Bu deney grubu aynı zamanda 6 A, 12 A ve 25 A deneylerinde BA değerlerinde en yüksek azalmanın elde edildiği deney grubu olmuştur. Uygulanan titreşim frekansları arasında titreşimsiz koşullara göre 6 A deneyleri için BA değerlerinde en yüksek azalma oranları 6667 Hz frekansta 100 µs, 200 µs ve 400 µs grupları için sırası ile %11,53, %27,29 ve %35,35 olarak tespit edilmiştir.

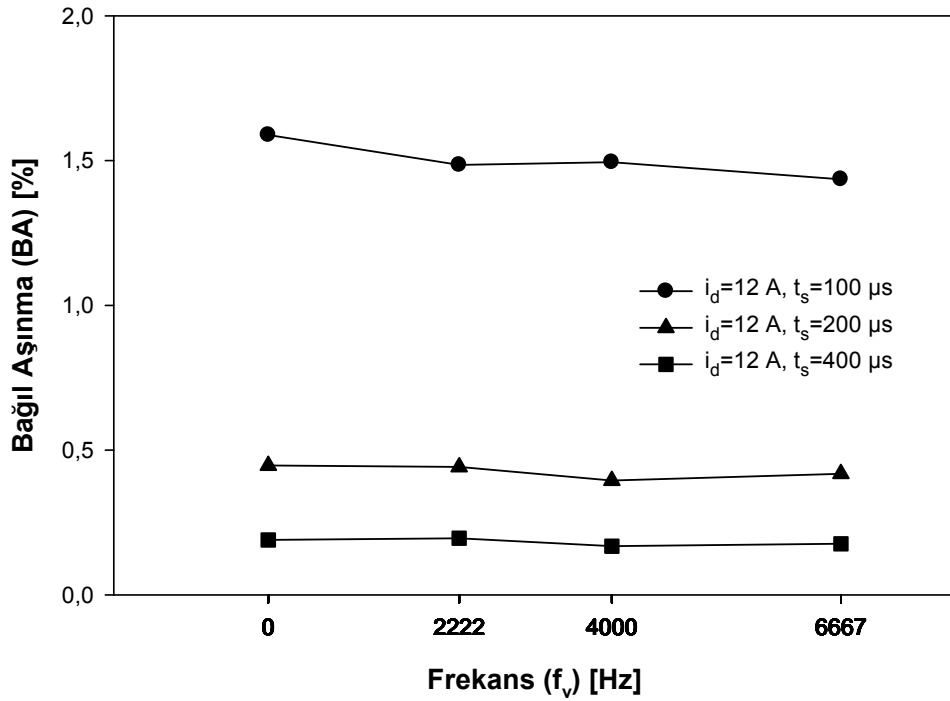
12 A deneylerinde uygulanan titreşim frekanslarının genelinde BA değerleri azalmıştır (Şekil 5.50). 12 A-100 µs deney grubunda titreşimsiz koşullara göre BA değerlerinde 2222 Hz, 4000 Hz ve 6667 Hz frekanslı deneylerde sırası ile %6,50, %5,92 ve %9,63 azalma tespit edilmiştir.

25 A deneylerinde uygulanan titreşimler ile BA değerlerinde bütün frekans değerleri için azalmanın elde edildiği deney grupları 200 µs ve 400 µs olmuştur (Şekil 5.51). 25 A deneylerinde BA değerlerinde titreşimin en etkili olduğu deney grubu 200 µs olmuştur. Bu grupta 2222 Hz, 4000 Hz ve 6667 Hz değerleri için sırası ile %6,88, %16,17 ve %12,72 azalma tespit edilmiştir.

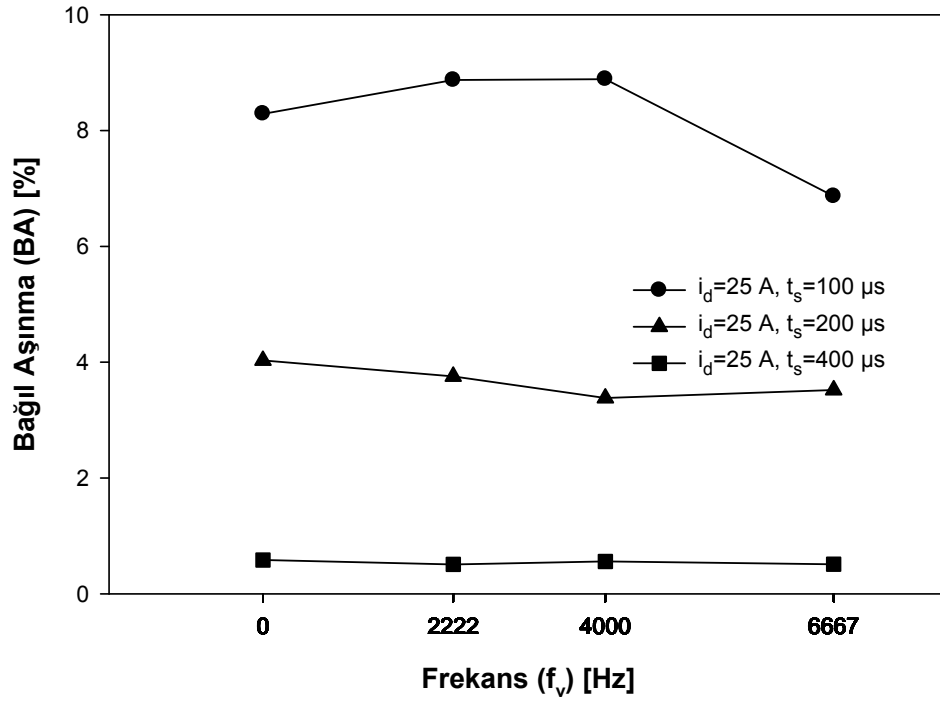
İşparçası titreşimli deneylerde 6667 Hz frekans değerinin bütün boşalım akımı ve vuruş süresi değerleri için BA değerlerinde yüksek azalma oluşmuştur (Şekil 5.52-5.54). Bunun yanı sıra 2222 Hz frekans değerinin ise BA değerleri üzerinde diğer frekans değerleri kadar etki oluşturmamıştır.



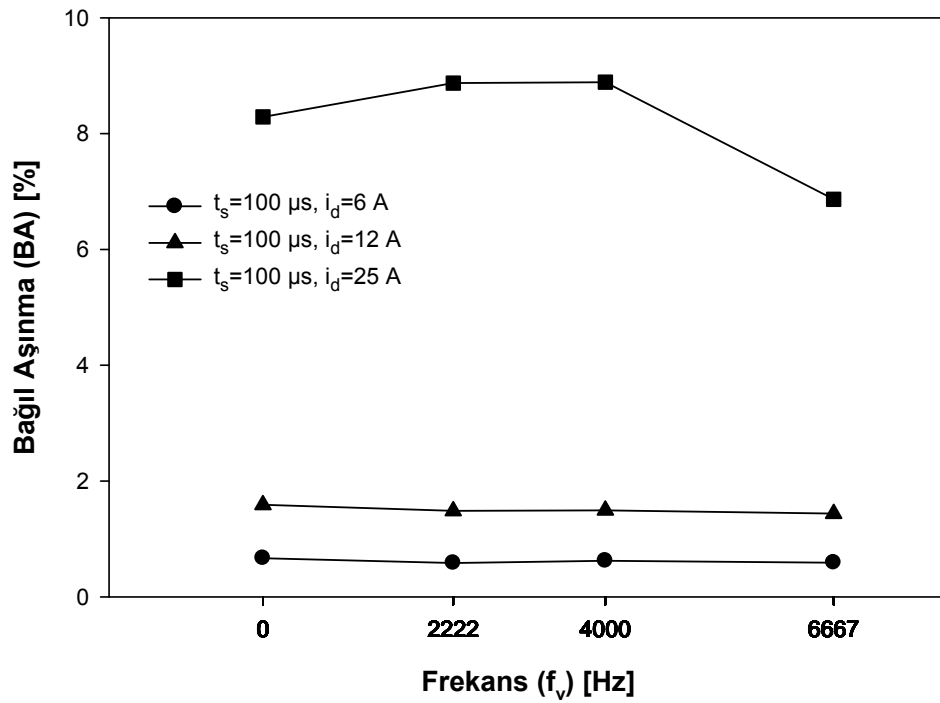
Şekil 5.49. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)



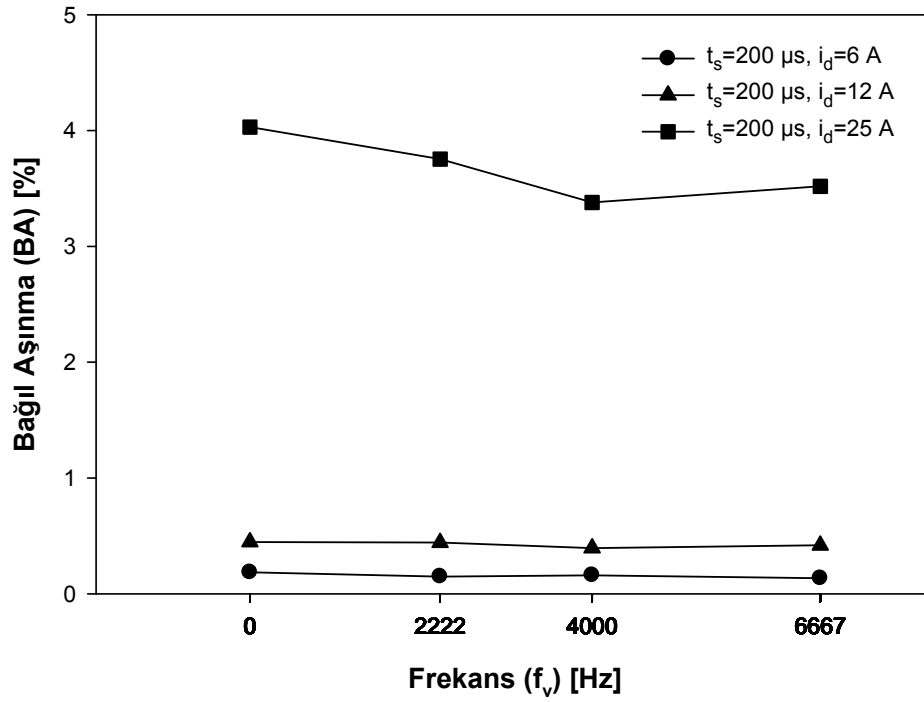
Şekil 5.50. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A)



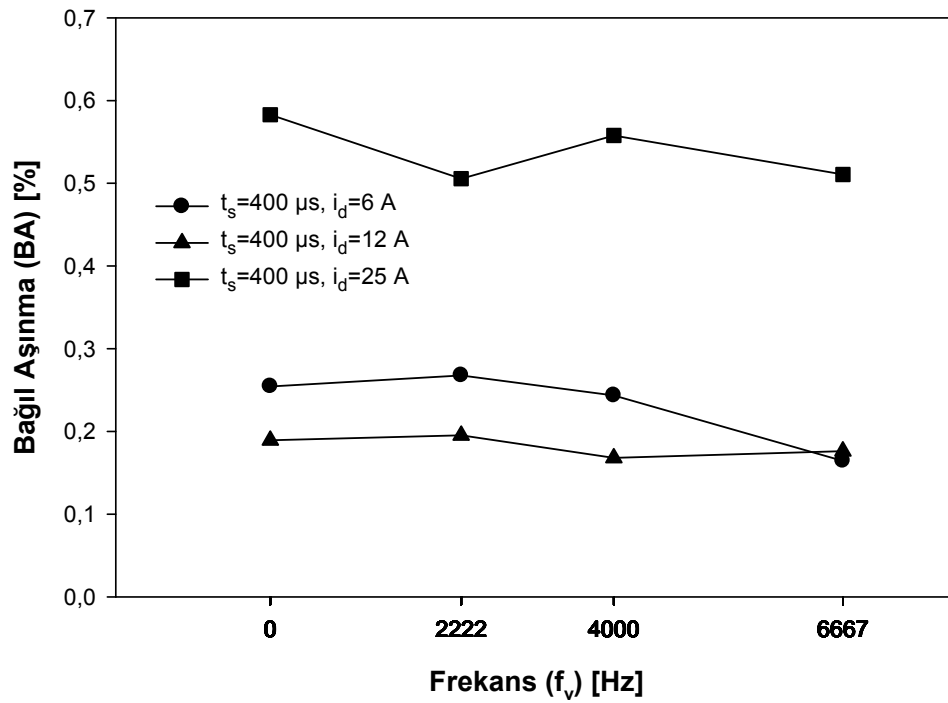
Şekil 5.51. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A)



Şekil 5.52. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=100$   $\mu$ s)



Şekil 5.53. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



Şekil 5.54. İT-EEİ'de titreşim frekansının BA üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )

### İT-EEİ'de TTFD deneylerinde titreşim frekansının $R_a$ üzerindeki etkisi

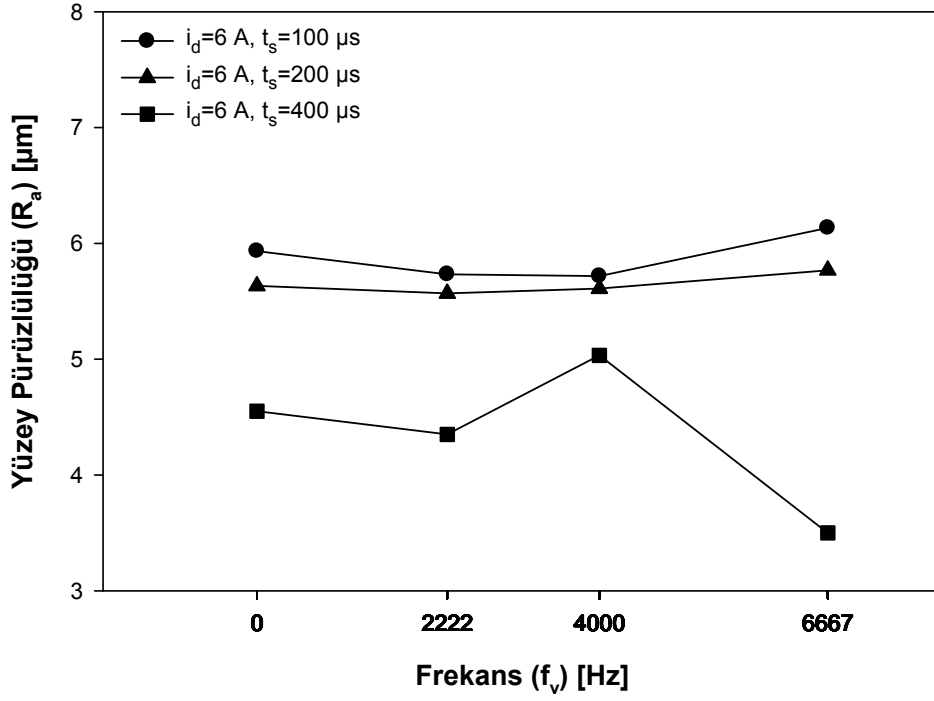
Uygulanan titreşimler ile 6 A ve 25 A deneylerinin genelinde  $R_a$  değerlerinin azaldığı, 12 A deneylerinde ise küçük miktarlarda arttığı tespit edilmiştir (Şekil 5.55-5.60). Titreşimsiz koşullara göre titreşimin uygulandığı deneylerde  $R_a$  değerlerinin %0,88 ile %10,62 artış aralığına karşılık %0,44 ile %23,08 azalma aralığı elde edilmiştir.

$R_a$  değerlerinde 6 A deneylerinin 100  $\mu$ s ve 200  $\mu$ s gruplarının 2222 Hz ve 4000 Hz frekans değerlerinde azalma tespit edilmiştir (Şekil 5.55). 6 A-400  $\mu$ s deney grubunda ise 2222 Hz ve 6667 Hz'de  $R_a$  değerleri azalmıştır.

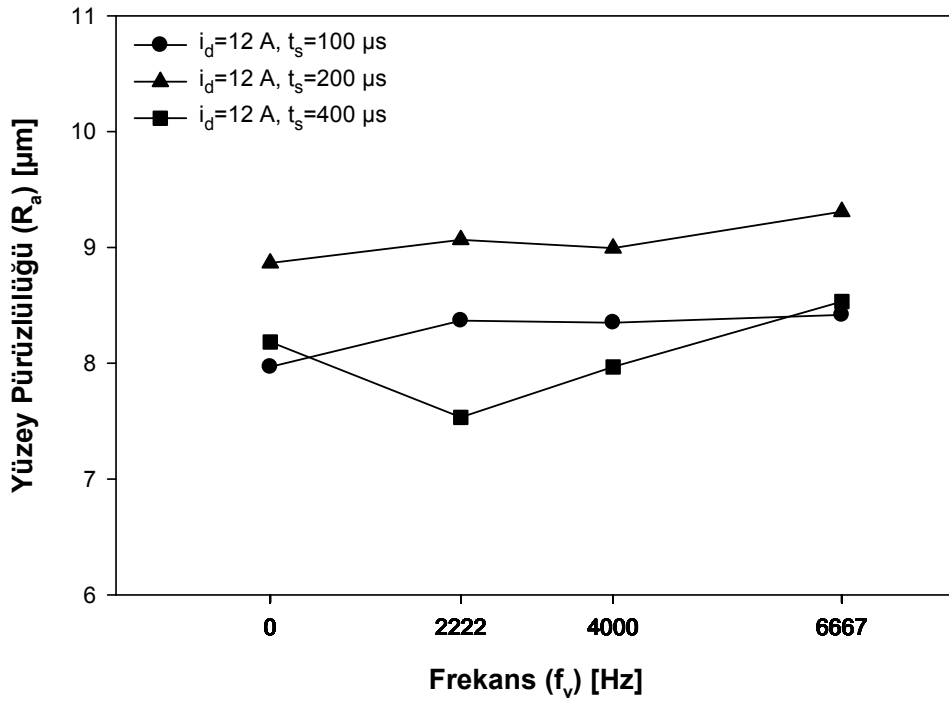
12 A deneylerinde titreşimsiz koşullara göre  $R_a$  değerlerindeki azalma yalnız 400  $\mu$ s deney grubunun 2222 Hz ve 4000 Hz frekans değerlerinde tespit edilmiştir. Geriye kalan 12 A deneylerinde ise titreşimsiz koşullara göre  $R_a$  değerleri %1,44 ile %5,65 arasında artmıştır (Şekil 5.56).

İşparçasına uygulanan titreşimler 25 A deneylerinin 200  $\mu$ s grubunda  $R_a$  değerlerini üç frekans değerinde de azaltmıştır (Şekil 5.57). 25 A-100  $\mu$ s deney grubunun 2222 Hz frekansında  $R_a$  değerleri azalırken 400  $\mu$ s grubunda ise 4000 Hz ve 6667 Hz frekansları azalma sağlamıştır.

$R_a$  değerleri genel olarak değerlendirildiğinde 2222 Hz ve 4000 Hz frekanslarının uygulandığı 6 A ve 25 A deneylerinde  $R_a$  değerlerinin azaldığı, 6667 Hz frekans değerinin ise sadece 25 A boşalım akımına sahip deneylerde azalmaya neden olduğu anlaşılmıştır.

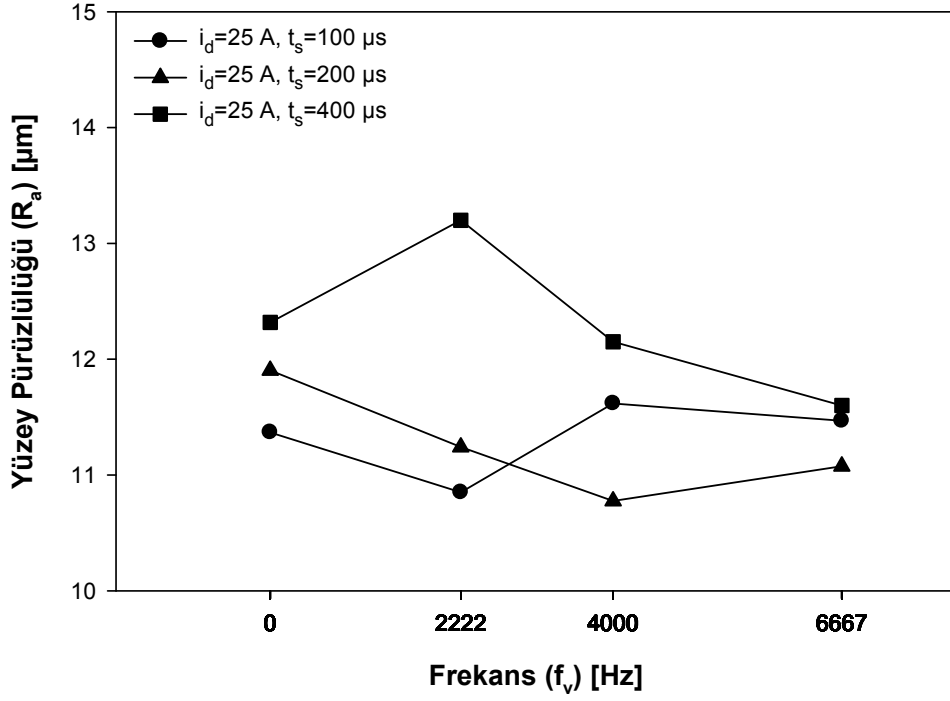


Şekil 5.55. İT-EEİ'de titreşim frekansının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=6$  A)

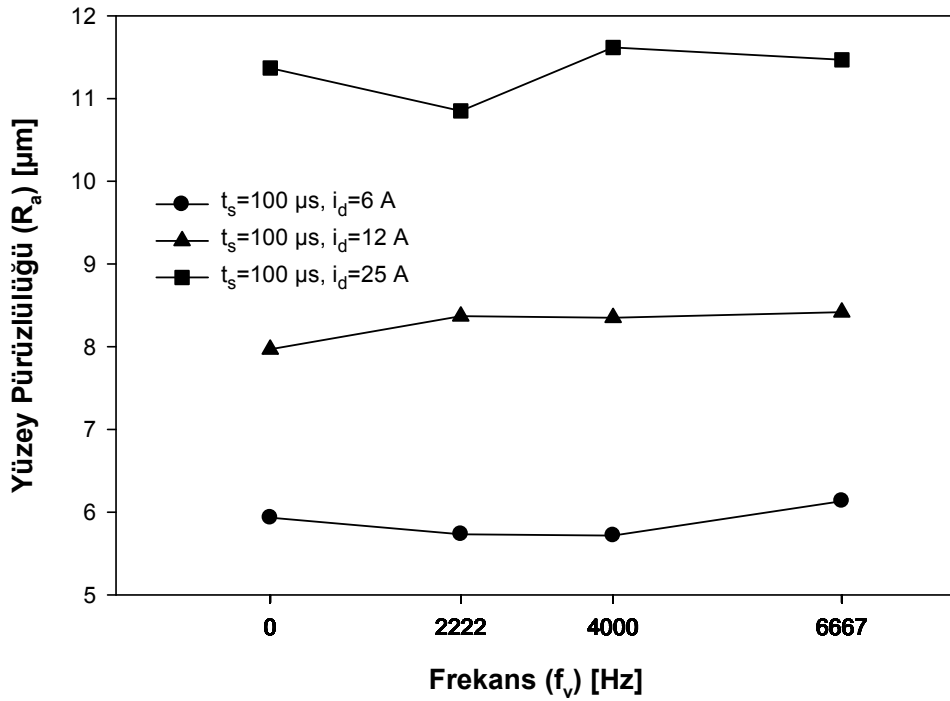


Şekil 5.56. İT-EEİ'de titreşim frekansının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A)

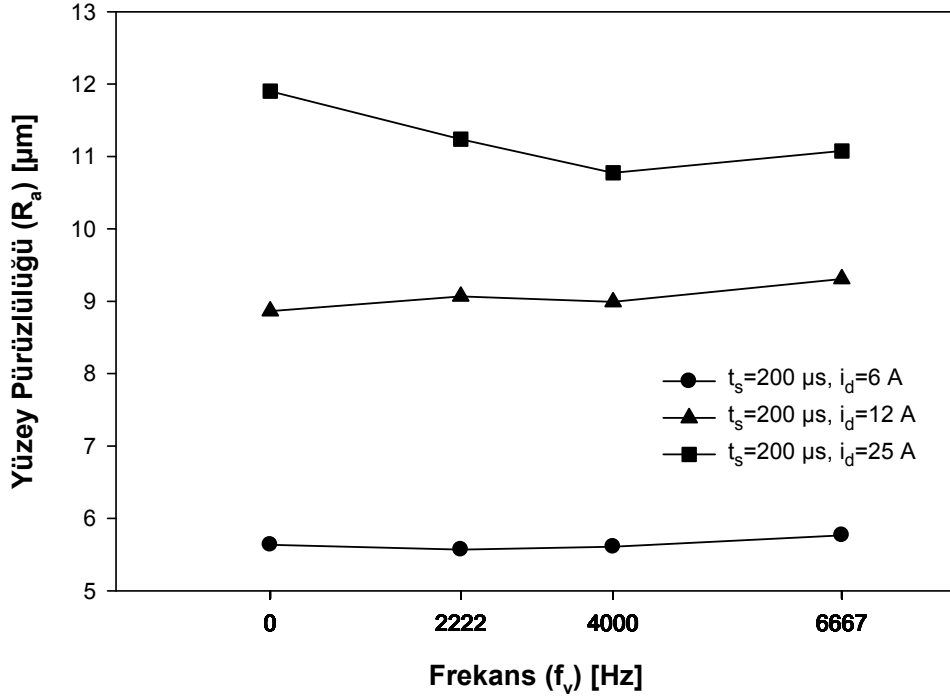




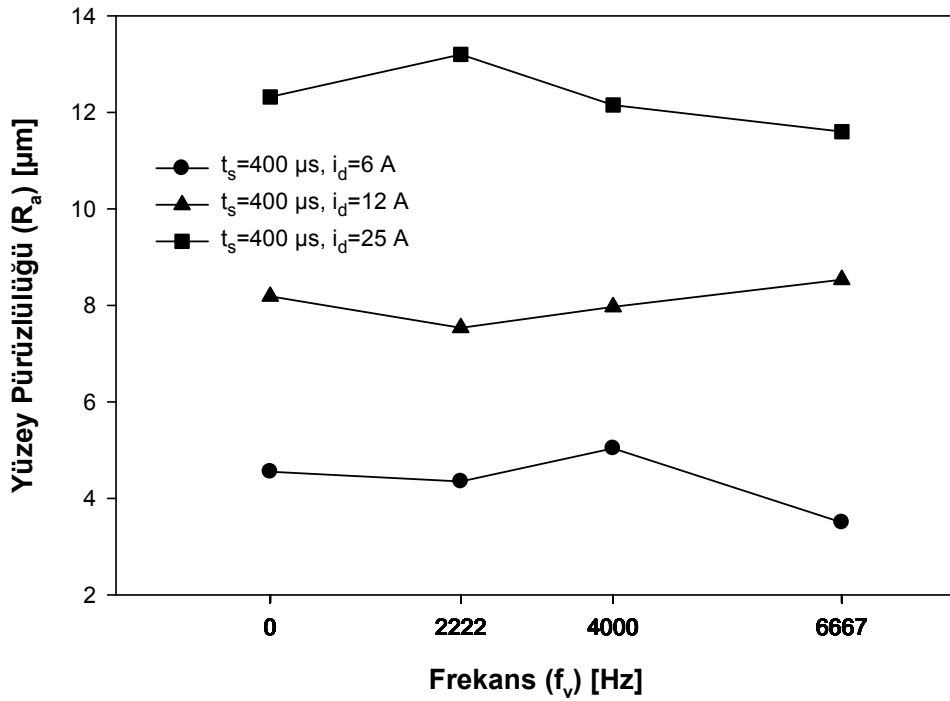
Şekil 5.57. İT-EEİ'de titreşim frekansının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A)



Şekil 5.58. İT-EEİ'de titreşim frekansının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $t_s=100$   $\mu$ s)



Şekil 5.59. İT-EEİ'de titreşim frekansının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $t_s=200 \mu s$ )



Şekil 5.60. İT-EEİ'de titreşim frekansının  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $t_s=400 \mu s$ )

### 5.2.2. Titreşim frekansı ara değerleri (TFAD) grubu deney sonuçları

TTFD grubu deneylerinde işparçası titreşimlerinin etkili olduğu akım ve vurum süresi değerlerinde titreşim frekansı ara değerlerinin işleme performansı üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan 14 adet deneyin İİH, EAH, BA ve  $R_a$  sonuçları Çizelge 5.3'de verilmiştir. Diğer işleme ve titreşim parametrelerinin yer aldığı bütün deney sonuçları Ek-11'de verilmiştir.

TFAD grubu deney parametreleri, temel titreşim frekans değerleri (TTFD) olan 2222 Hz, 4000 Hz, 6667 Hz ve bunlara ara değer olarak belirlenen 1100 Hz, 3100 Hz, 5300 Hz frekans değerlerinin bir araya gelmesi ile titreşimsiz ve işparçası titreşimli koşullarda kullanılan deney parametrelerinden oluşmaktadır.

Çizelge 5.3. TFAD grubu deney sonuçları

| Deney No | $i_d$ [A] | $t_s$ [ $\mu$ s] | $f_v$ [Hz] | İİH [mm <sup>3</sup> /dak] | EAH [mm <sup>3</sup> /dak] | BA [%] | $R_a$ [ $\mu$ m] |
|----------|-----------|------------------|------------|----------------------------|----------------------------|--------|------------------|
| 1        | 12        | 200              | 0          | 47,488                     | 0,211                      | 0,444  | 9,00             |
| 2        | 12        | 200              | 1100       | 49,724                     | 0,205                      | 0,412  | 9,05             |
| 3        | 12        | 200              | 2222       | 51,824                     | 0,228                      | 0,440  | 9,20             |
| 4        | 12        | 200              | 3100       | 48,360                     | 0,197                      | 0,406  | 9,31             |
| 5        | 12        | 200              | 4000       | 47,748                     | 0,188                      | 0,391  | 9,13             |
| 6        | 12        | 200              | 5300       | 49,833                     | 0,205                      | 0,411  | 9,15             |
| 7        | 12        | 200              | 6667       | 51,235                     | 0,2134                     | 0,416  | 9,450            |
| 8        | 25        | 200              | 0          | 112,106                    | 4,499                      | 4,014  | 12,08            |
| 9        | 25        | 200              | 1100       | 113,812                    | 4,159                      | 3,654  | 11,74            |
| 10       | 25        | 200              | 2222       | 112,131                    | 4,191                      | 3,737  | 11,41            |
| 11       | 25        | 200              | 3100       | 112,321                    | 3,899                      | 3,471  | 10,89            |
| 12       | 25        | 200              | 4000       | 112,210                    | 3,775                      | 3,360  | 10,94            |
| 13       | 25        | 200              | 5300       | 111,549                    | 3,886                      | 3,484  | 11,10            |
| 14       | 25        | 200              | 6667       | 113,402                    | 3,9727                     | 3,503  | 11,244           |

### İT-EEİ'de TFAD deneylerinde frekans ara değerlerinin İİH üzerindeki etkisi

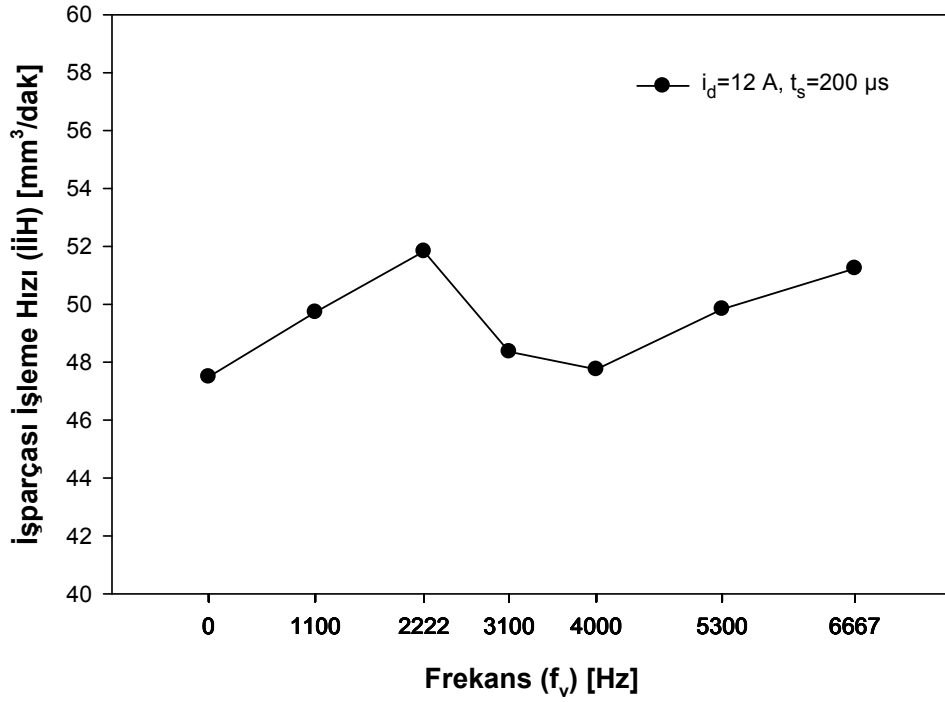
12 A ve 25 A boşalım akımının kullanıldığı TFAD grubu titreşimli deneylerde İİH değerleri titreşimsiz koşullara göre artmıştır (Şekil 5.61-5.63). Ayrıca TFAD ve TTFD gruplarındaki eşdeğer parametrelili deneylerdeki İİH değerlerinin titreşimsiz koşullara göre göstermiş oldukları artışlar uyumludur.

TFAD grubu deneylerinde İİH değerleri titreşimsiz koşullara göre 12 A-200  $\mu$ s ve 25 A-200 $\mu$ s deney gruplarında sırası ile ortalama %4,84 ve %0,42 artmıştır.

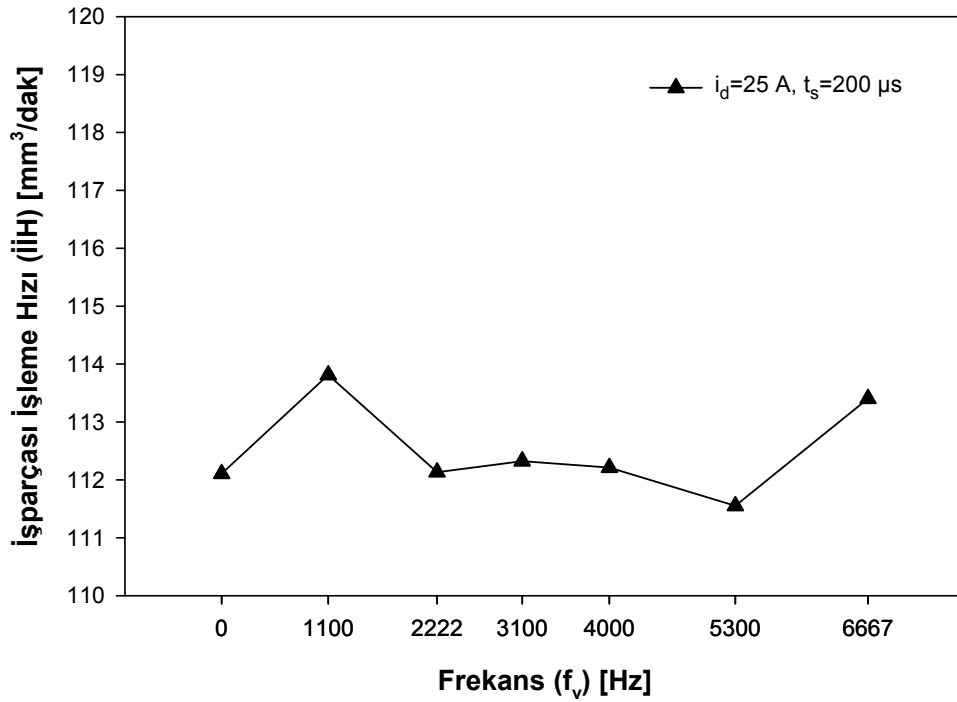
Temel frekans değerlerine eklenen 1100 Hz, 3100 Hz ve 5300 Hz frekanslarında 12 A-200  $\mu$ s deney grubundaki İİH değerleri 0-2222 Hz, 2222 Hz-4000 Hz ve 4000 Hz-6667 Hz değişim özellikleri ile uyum sağlamıştır.

25 A-200  $\mu$ s deney grubunun 1100 Hz ve 5300 Hz frekanslarındaki İİH değerleri TTFD grubu deneyleri ile farklılık gösterirken diğer frekans değerleri uyum içerisinde olmuştur.

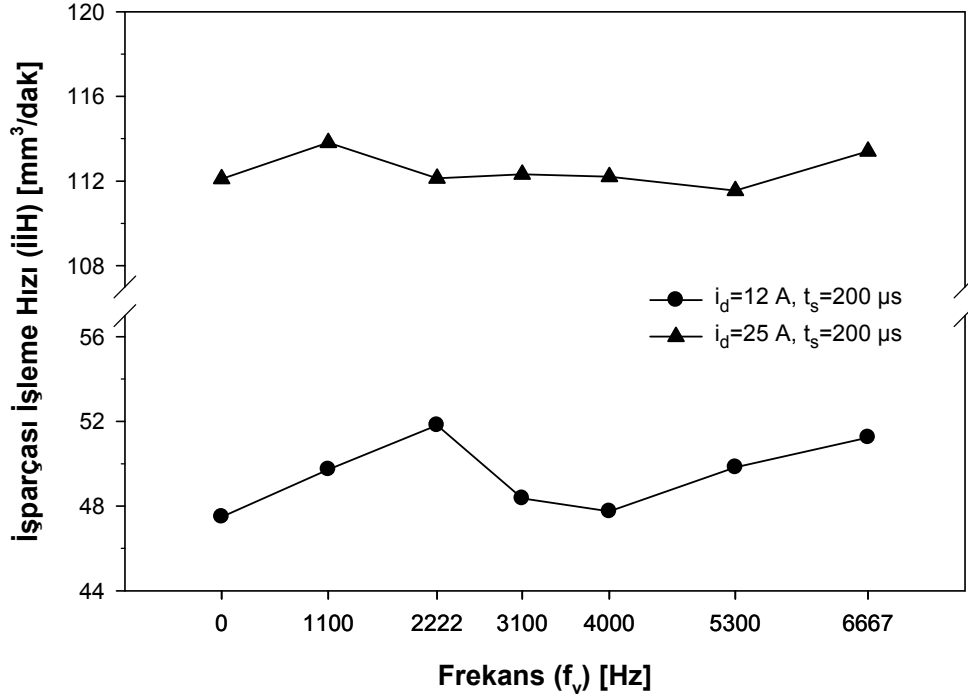
Temel frekans değerlerine ek olarak kullanılan 1100 Hz, 3100 Hz ve 5300 Hz değerleri titreşimsiz koşullara göre TTFD ve TFAD grubu deneylerindeki İİH değerlerinin değişim özellikleri ile uyum sağlamıştır.



Şekil 5.61. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.62. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.63. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin İİH üzerindeki etkisi (i<sub>d</sub>=12 A, t<sub>s</sub>=200 μs & i<sub>d</sub>=25 A, t<sub>s</sub>=200 μs)

#### İT-EEİ'de TFAD deneylerinde frekans ara değerlerinin EAH üzerindeki etkisi

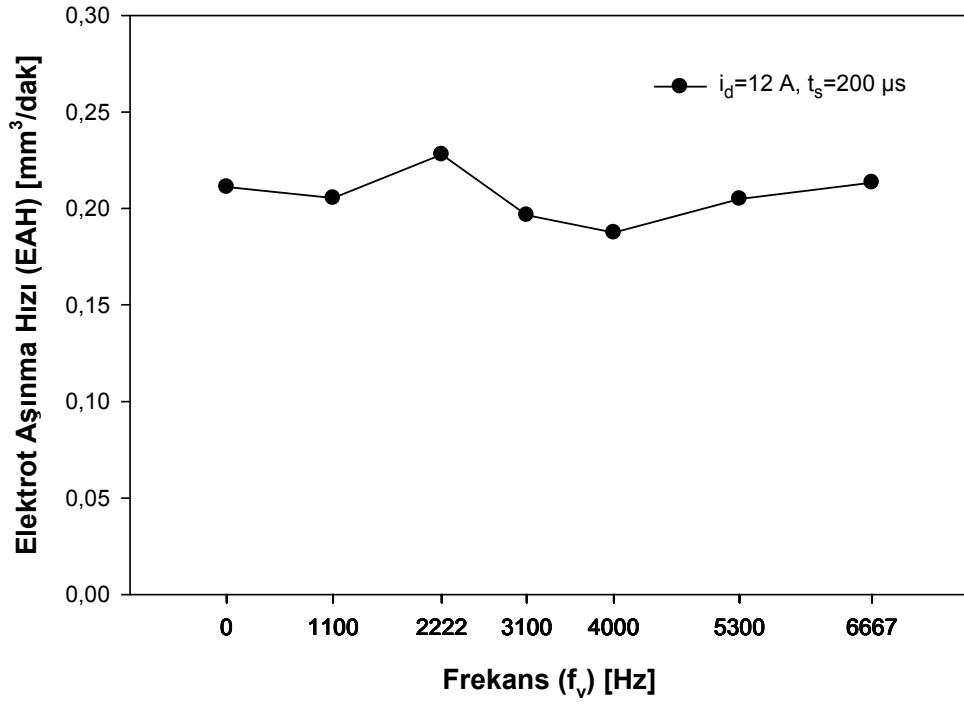
TFAD grubu deneylerde titreşimsiz koşullara göre EAH değerlerinde 12 A-200 μs ve 25 A-200 μs deney grupları için sırası ile ortalama %2,45 ve %11,53 oranlarında azalma elde edilmiştir. Bu sonuçlar TTFD grubu deneyleri ile uyum göstermiştir (Şekil 5.64-5.66).

12 A-200 μs deney grubunda ek olarak kullanılan 1100 Hz, 3100 Hz ve 5300 Hz frekans değerleri ile elde edilen EAH değerleri TFAD grubu temel frekans değerlerindekiyle uyumludur.

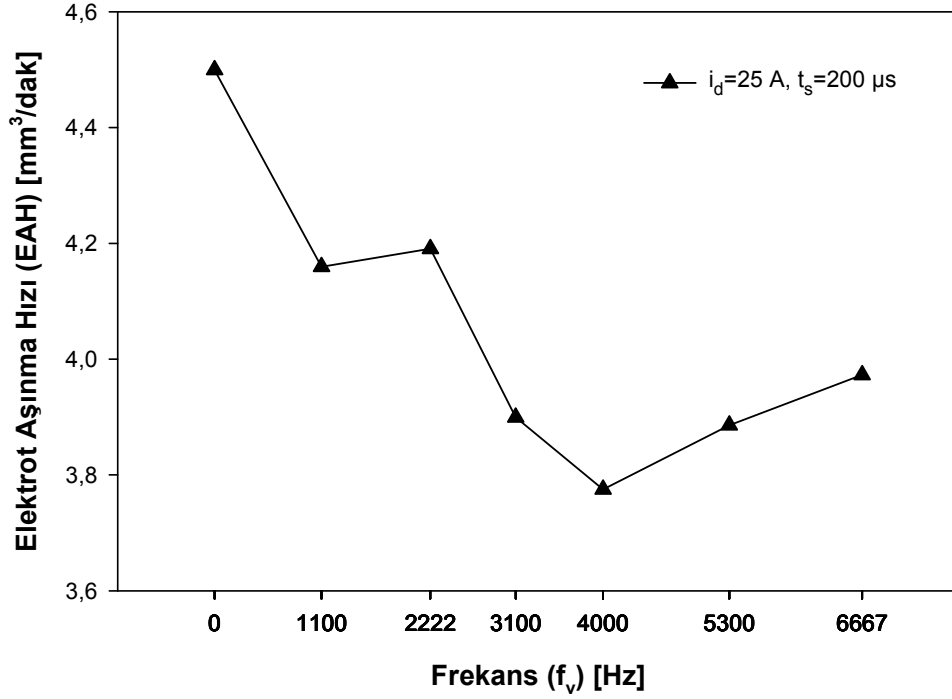
TTFD grubu deneylerinde olduğu gibi TFAD grubu deneylerinde de 25 A-200 μs deney grubunda tüm frekans değerlerine karşılık titreşimsiz koşula göre EAH değerleri azalmıştır.

25 A-200  $\mu$ s deney grubunda uygulanan ek frekans değerleri temel frekans değerlerinin 0-2222 Hz, 2222 Hz-4000 Hz ve 4000 Hz-6667 Hz geçişlerindeki EAH değişim özellikleri ile uyum içerisinde olmuştur.

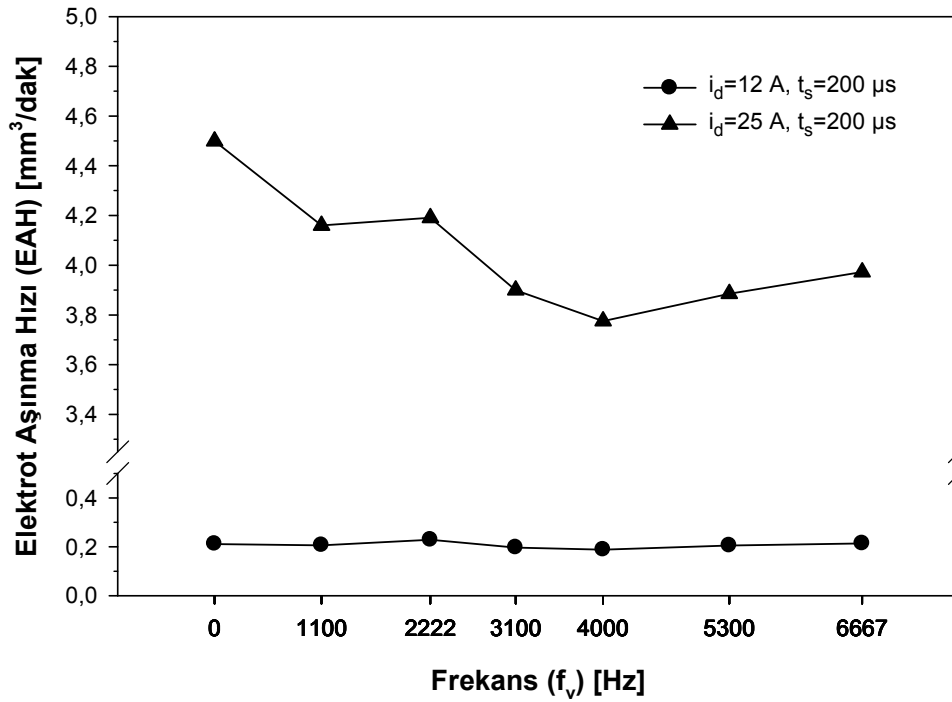
EAH değerlerinde elde edilen sonuçlara göre 12 A-200  $\mu$ s ve 25 A-200  $\mu$ s deney gruplarındaki azalma eğilimi ve orantısal değişimler TTFD grubu deneylerinde elde edilenler ile uyum sağlamıştır.



şekil 5.64. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin EAH zerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.65. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25\text{ A}$ ,  $t_s=200\ \mu\text{s}$ )



Şekil 5.66. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12\text{ A}$ ,  $t_s=200\ \mu\text{s}$  &  $i_d=25\text{ A}$ ,  $t_s=200\ \mu\text{s}$ )

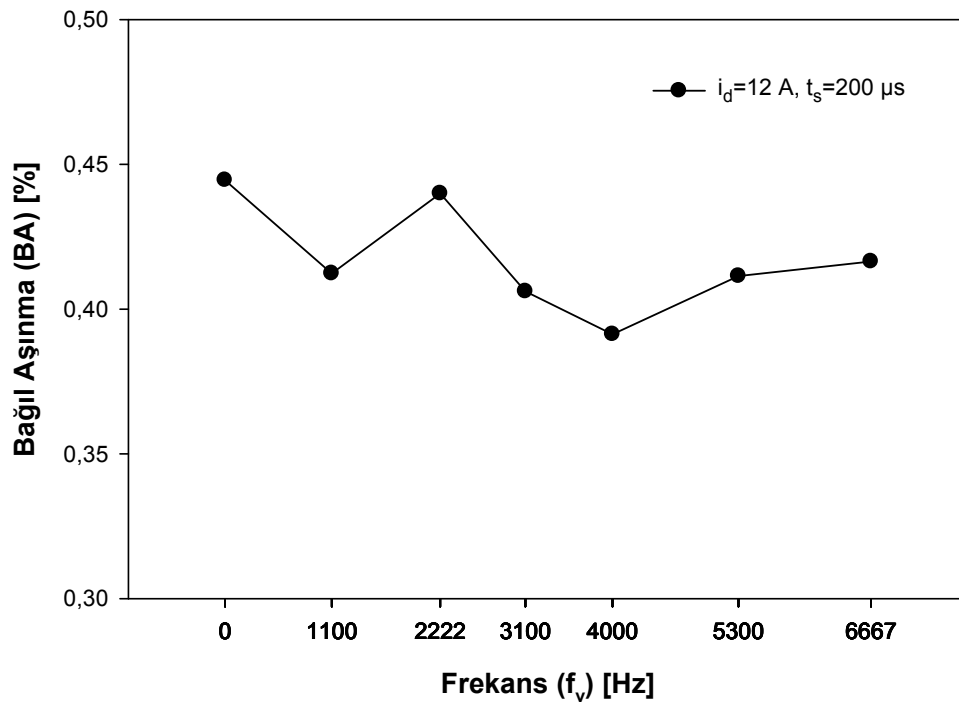


### İT-EEİ'de TFAD deneylerinde frekans ara değerlerinin BA üzerindeki etkisi

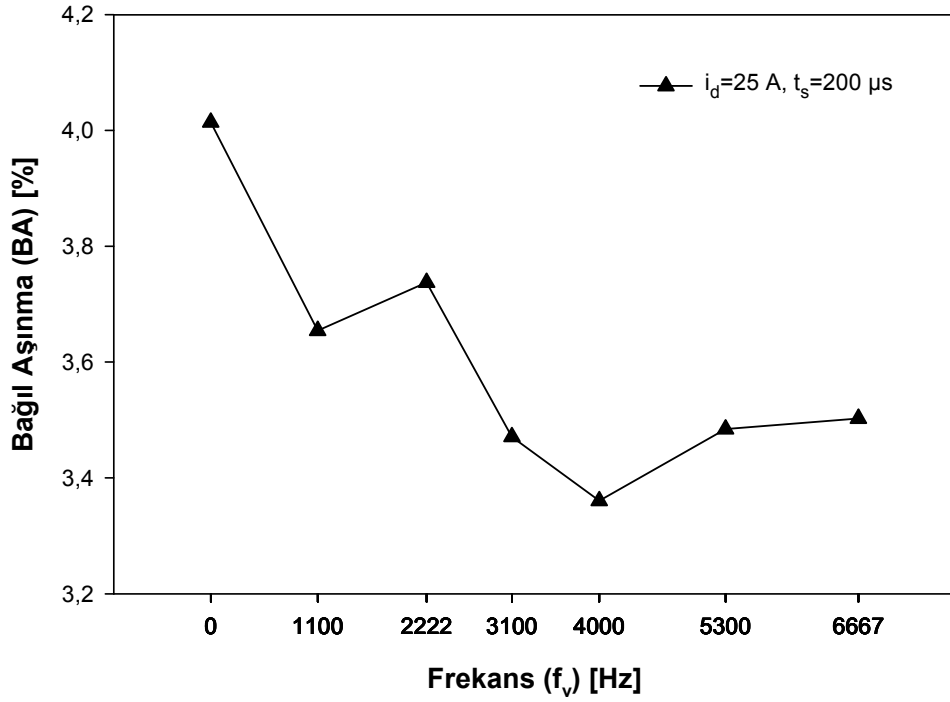
TTFD grubunda olduğu gibi TFAD grubundaki titreşimli deneylerde de titreşimsiz koşullara göre BA değerleri azalmıştır (Şekil 5.67-5.69).

TFAD'de 12 A-200  $\mu$ s deney grubunda BA değerleri titreşimsiz koşula göre ortalama %7,10 azalırken 25 A-200  $\mu$ s deney grubunda ortalama %11,93 azalma tespit edilmiştir.

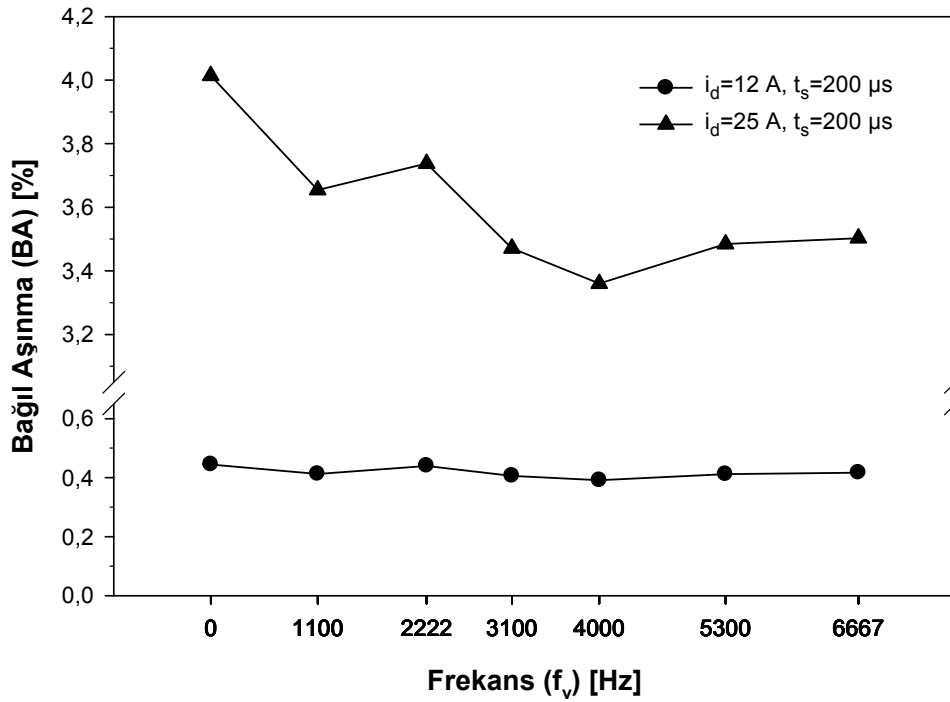
Her iki deney grubunda temel frekans değerlerine ek olarak kullanılan 1100 Hz, 3100 Hz ve 5300 Hz'de BA değerleri temel frekans değerlerindeki sonuçlar ile uyum sağlamıştır.



Şekil 5.67. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin BA üzerindeki etkisi (i<sub>d</sub>=12 A, t<sub>s</sub>=200  $\mu$ s)



Şekil 5.68. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



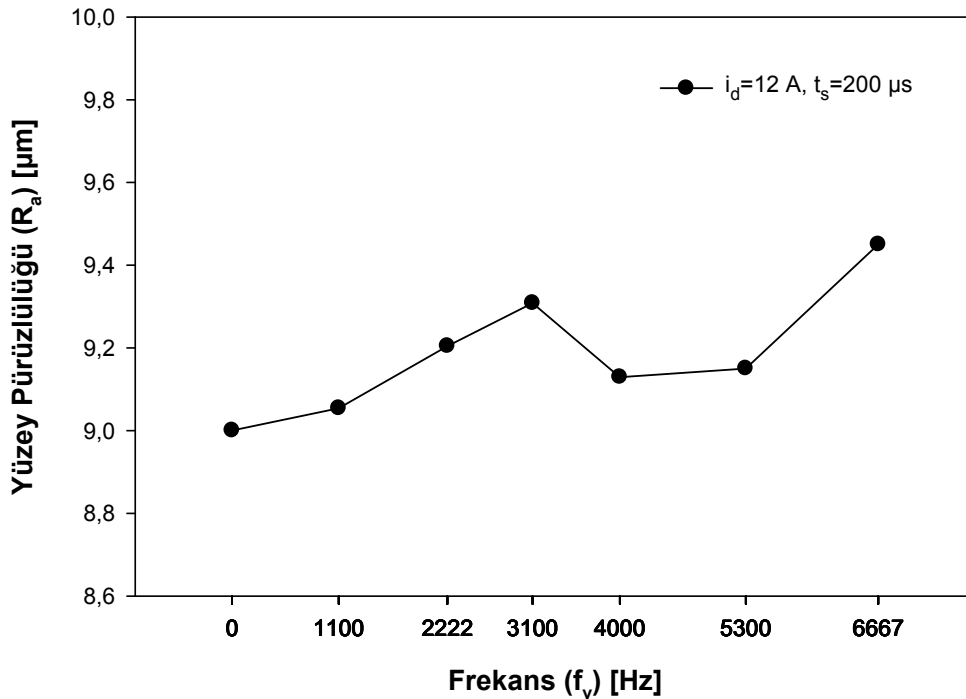
Şekil 5.69. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s &  $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)

### İT-EEİ'de TFAD deneylerinde frekans ara değerlerinin $R_a$ üzerindeki etkisi

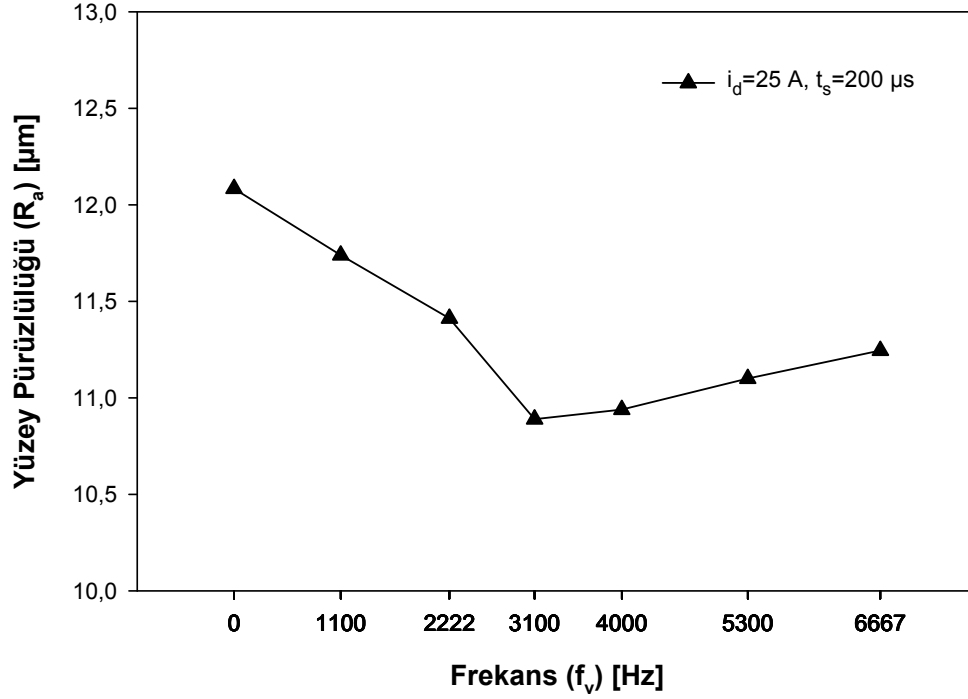
TFAD grubu  $R_a$  değerleri TTFD grubu sonuçları ile aynı değişim özelliklerini sergilemişlerdir. 12 A-200  $\mu$ s deney grubu  $R_a$  değerleri TTFD grubunda olduğu gibi titreşimsiz koşula göre artmıştır. Titreşimli deneylerde  $R_a$  değerleri titreşimsiz koşula göre ortalama %2,4 artmıştır (Şekil 5.70).

25 A-200  $\mu$ s deney grubunda ise titreşimli deneylerde titreşimsiz koşullara göre  $R_a$  değerleri TTFD grubundaki gibi azalmıştır. Bu azalmanın grup ortalaması %7,14 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.71).

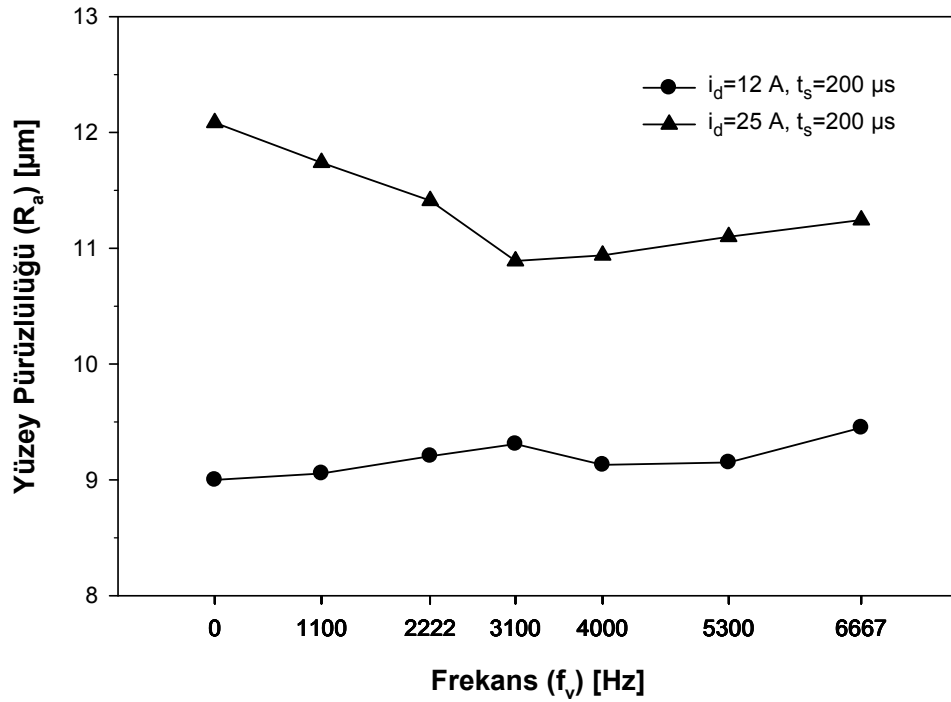
Her iki deney grubunda temel frekans değerlerine ek olarak kullanılan 1100 Hz, 3100 Hz ve 5300 Hz deneylerinde ortaya çıkan  $R_a$  sonuçları grup içi sonuçlar ile uyum sağlamıştır.



Şekil 5.70. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.71. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu\text{s}$ )



Şekil 5.72. İT-EEİ'de titreşim frekansı ara değerlerinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu\text{s}$  &  $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu\text{s}$ )

### 5.2.3. İşleme derinliği (İD) grubu deney sonuçları

TTFD grubu deneylerinde işparçası titreşimlerinin etkili olduğu akım ve vurum süresi değerlerinde işleme derinliğinin işleme performansı üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan 24 adet deneyin İİH, EAH, BA ve  $R_a$  sonuçları Çizelge 5.4'de verilmiştir. Diğer işleme ve titreşim parametrelerinin yer aldığı bütün deney sonuçları Ek-12'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. İD grubu deney sonuçları

| Deney No | $i_d$ [A] | $t_s$ [ $\mu$ s] | $f_v$ [Hz] | $h$ [mm] | İİH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] | EAH [ $\text{mm}^3/\text{dak}$ ] | BA [%] | $R_a$ [ $\mu$ m] |
|----------|-----------|------------------|------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|--------|------------------|
| 1        | 12        | 200              | 0          | 2        | 45,363                           | 0,242                            | 0,534  | 9,12             |
| 2        | 12        | 200              | 0          | 4        | 50,761                           | 0,175                            | 0,346  | 8,48             |
| 3        | 12        | 200              | 0          | 6        | 51,195                           | 0,172                            | 0,336  | 9,53             |
| 4        | 12        | 200              | 2222       | 2        | 45,120                           | 0,228                            | 0,505  | 8,08             |
| 5        | 12        | 200              | 2222       | 4        | 51,824                           | 0,228                            | 0,440  | 9,20             |
| 6        | 12        | 200              | 2222       | 6        | 52,253                           | 0,165                            | 0,316  | 9,78             |
| 7        | 12        | 200              | 4000       | 2        | 45,161                           | 0,217                            | 0,480  | 8,38             |
| 8        | 12        | 200              | 4000       | 4        | 47,748                           | 0,188                            | 0,391  | 9,13             |
| 9        | 12        | 200              | 4000       | 6        | 52,769                           | 0,165                            | 0,313  | 10,03            |
| 10       | 12        | 200              | 6667       | 2        | 44,904                           | 0,213                            | 0,475  | 9,12             |
| 11       | 12        | 200              | 6667       | 4        | 51,235                           | 0,2134                           | 0,416  | 9,45             |
| 12       | 12        | 200              | 6667       | 6        | 52,171                           | 0,168                            | 0,321  | 10,32            |
| 13       | 25        | 200              | 0          | 2        | 121,199                          | 5,306                            | 4,378  | 9,65             |
| 14       | 25        | 200              | 0          | 4        | 112,106                          | 4,499                            | 4,014  | 12,08            |
| 15       | 25        | 200              | 0          | 6        | 109,766                          | 2,491                            | 2,270  | 13,35            |
| 16       | 25        | 200              | 2222       | 2        | 117,332                          | 4,352                            | 3,709  | 9,62             |
| 17       | 25        | 200              | 2222       | 4        | 112,131                          | 4,191                            | 3,737  | 11,41            |
| 18       | 25        | 200              | 2222       | 6        | 109,090                          | 2,113                            | 1,937  | 12,52            |
| 19       | 25        | 200              | 4000       | 2        | 118,907                          | 4,441                            | 3,735  | 9,83             |
| 20       | 25        | 200              | 4000       | 4        | 112,210                          | 3,775                            | 3,360  | 10,94            |
| 21       | 25        | 200              | 4000       | 6        | 106,725                          | 2,418                            | 2,266  | 12,45            |
| 22       | 25        | 200              | 6667       | 2        | 119,216                          | 4,142                            | 3,474  | 9,55             |
| 23       | 25        | 200              | 6667       | 4        | 113,402                          | 3,9727                           | 3,503  | 11,244           |
| 24       | 25        | 200              | 6667       | 6        | 108,609                          | 2,211                            | 2,036  | 12,08            |

### İT-EEİ'de İD deneylerinde işleme derinliğinin İİH üzerindeki etkisi

2mm, 4 mm ve 6 mm işleme derinliği ile 12 A-200  $\mu$ s ve 25 A-200  $\mu$ s deney gruplarında yapılan deneylerde elde edilen İİH değerlerinin değişimi her deney grubu için ortalama olarak sunulmuştur.

12 A-200  $\mu$ s'de yapılan bütün deneylerde işleme derinliğinin artışı ile İİH değerleri artış göstermiştir (Şekil 5.73).

12 A-200  $\mu$ s deney grubunda, işleme derinliğinin 2 mm'den 4 mm'ye olan artışı ile İİH ortalama %9,84 artarken 4 mm'den 6 mm'ye olan artış ile ortalama %5,24 artış elde edilmiştir. 6 mm'de elde edilen İİH değerlerinin 2 mm'ye göre ortalama %15,42 yüksek olduğu tespit edilmiştir.

İşleme derinliğinin her değerdeki artışına karşılık 25 A-200  $\mu$ s deney grubunda ise bütün deneylerde İİH değerleri azalmıştır (Şekil 5.74).

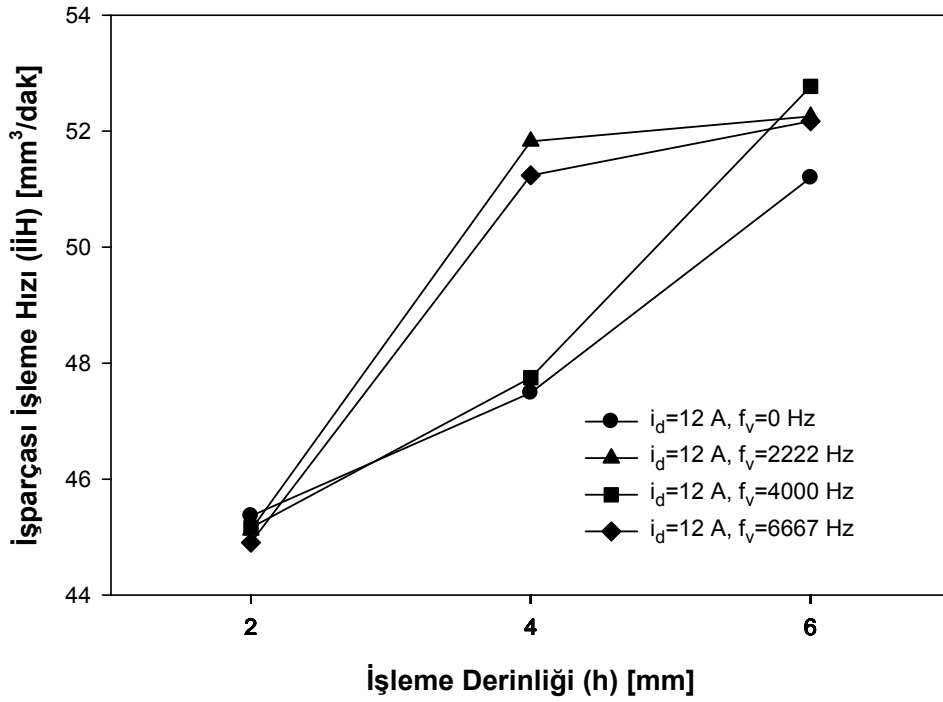
İşleme derinliğinin 2 mm'den 4 mm'ye artışı ile 25 A-200  $\mu$ s deney grubunda İİH değerlerinde ortalama %5,61 azalma görülürken 4 mm'den 6 mm'ye olan artış sonucu ortalama %3,48 azalma elde edilmiştir. İşleme derinliği 2 mm'den 6 mm'ye arttığında İİH değerleri %8,90 azalmıştır.

İşleme derinliğinin artışı İİH değerlerini 12 A-200  $\mu$ s deney grubunda arttırırken 25 A-200  $\mu$ s deney grubunda azaltmıştır. Küçük değerlerden başlayan işleme derinliği artışları İİH'yi değerlerini daha fazla etkilemektedir.

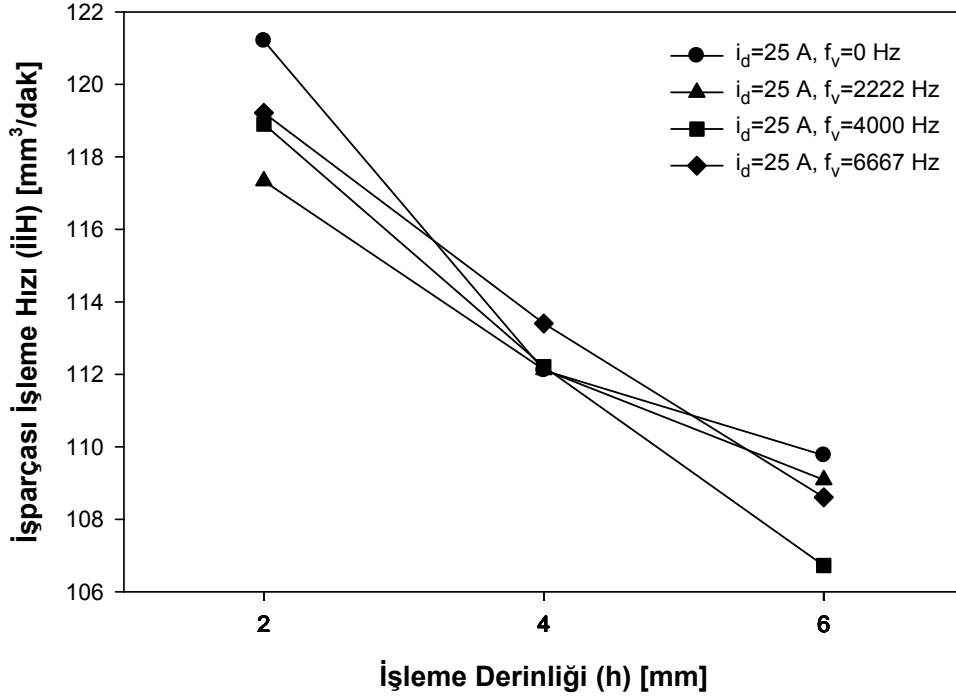
İşparçası titreşimli 12 A-200  $\mu$ s deney grubunda 2 mm işleme derinliği için İİH değerlerinde titreşimsiz koşula göre ortalama %0,66 azalma elde edilirken (Şekil 5.75), 4 mm ve 6 mm'de sırası ile ortalama %5,86 ve %2,35 artış elde edilmiştir.

25 A-200  $\mu$ s deney grubunda 2 mm ve 4 mm işleme derinliğinde işparçasına uygulanan titreşimler İİH değerlerinde titreşimsiz koşula göre sırası ile ortalama %2,24 ve %1,48 azalmaya sebep olmuştur (Şekil 5.76). Aynı grupta 4 mm işleme derinliğinde ortalama %0,42 artış elde edilmiştir.

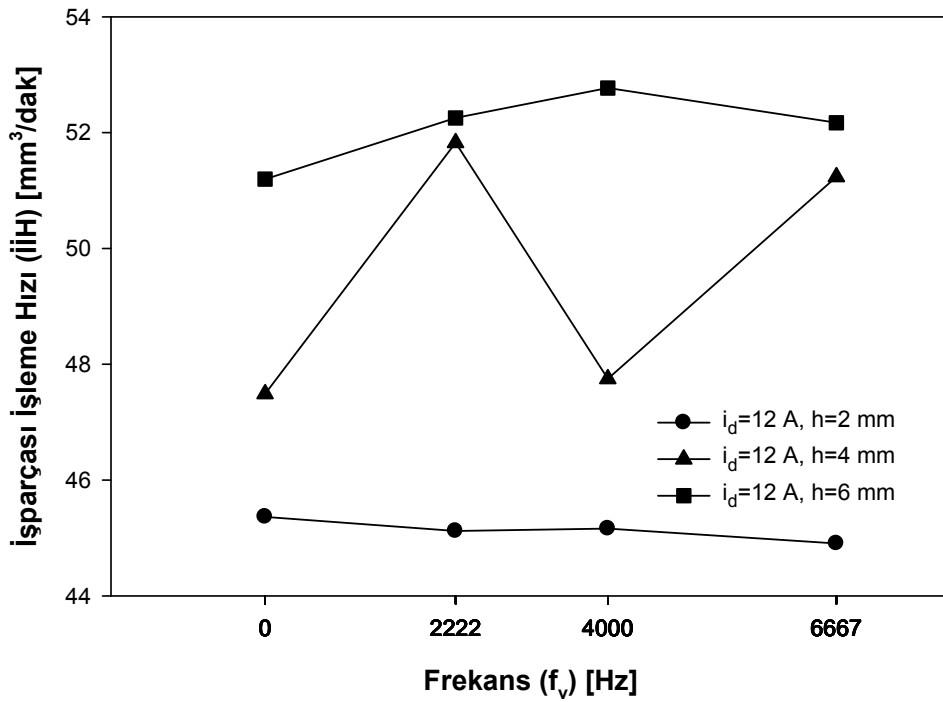
İşparçasına uygulanan titreşimlerin 12 A-200  $\mu$ s deney grubunda ve 4 mm ve 6mm işleme derinliğinde İİH artışı sağladığı anlaşılmıştır. Yüksek akıma göre küçük akım deneylerindeki titreşimin İİH değerlerinde daha iyi artış etkisi sağlamasının sebebi büyük hacimli ergimiş işparçası malzemesinin uygulanan titreşimler ile daha zor uzaklaştırılması ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 5.73. İT-EEİ'de işleme derinliğinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)

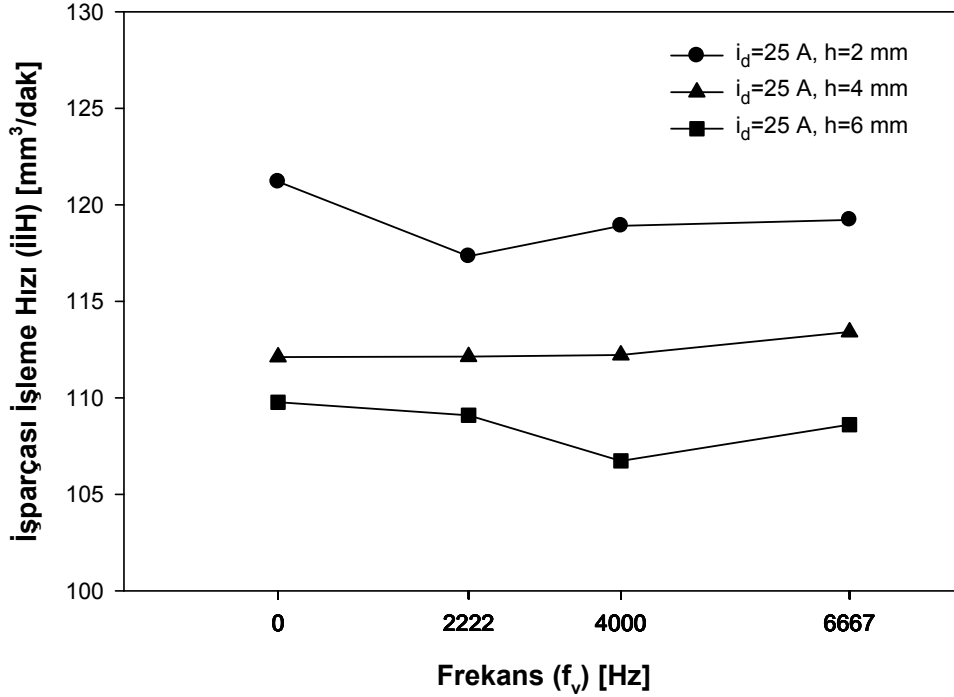


Şekil 5.74. İT-EEİ'de işleme derinliğinin İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.75. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)





Şekil 5.76. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için İİH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)

#### İT-EEİ'de İD deneylerinde işleme derinliğinin EAH üzerindeki etkisi

İşleme derinliğinin artışı ile EAH değerleri 12 A-200  $\mu$ s ve 25 A-200  $\mu$ s deney gruplarında azalmıştır.

İşleme derinliğinin 4 mm'ye artışı ile EAH değerlerinin 2 mm'ye göre 12 A-200  $\mu$ s deney grubunda yalnız titreşimsiz koşulda ve 4000 Hz'de sırası ile %12,92 ve %13,42 azalırken diğer iki parametrede değişmemiştir (Şekil 5.77).

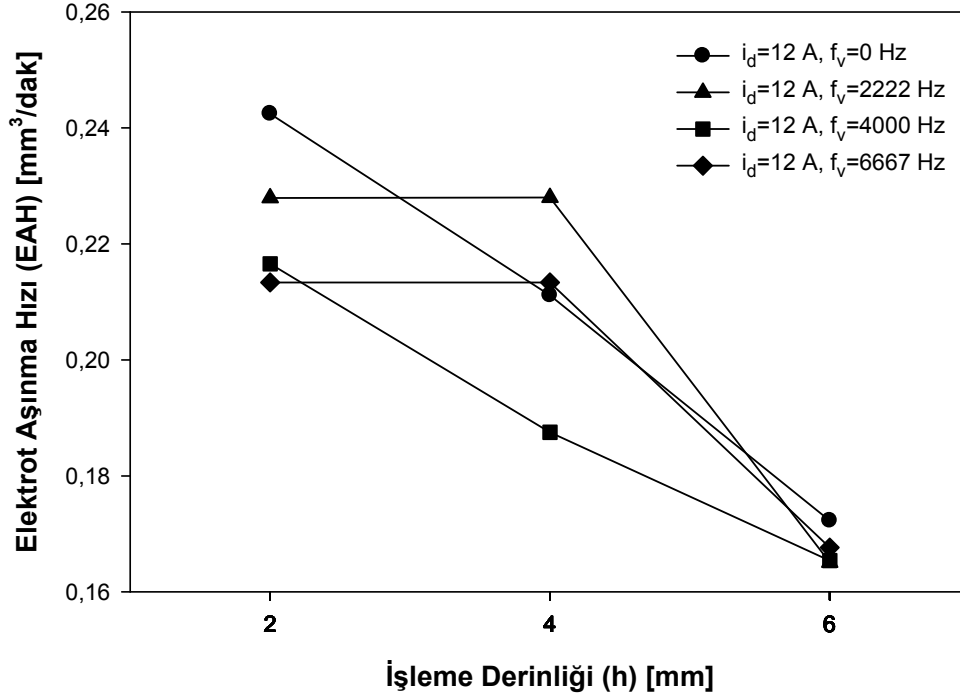
İşleme derinliğinin 4mm'den 6 mm'ye artışı ile 12 A-200  $\mu$ s grubunda EAH değerleri ortalama %19,81 azalırken 6 mm'de 2 mm'ye göre ortalama %25,40 azalma tespit edilmiştir.

25 A-200  $\mu$ s deney grubunda işleme derinliğinin 2 mm'den 4 mm'ye artışı ile EAH değerleri ortalama %9,50 azalırken 4 mm'den 6 mm'ye artışta ortalama %43,62 azalma tespit edilmiştir (Şekil 5.78). Aynı deney grubunun 6 mm'deki EAH değerleri 2 mm'ye göre ortalama %49,16 azalmıştır. İşparçasına uygulanan titreşimler ile EAH değerleri titreşimsiz koşullara göre tüm işleme derinliklerinde genelde azalmıştır.

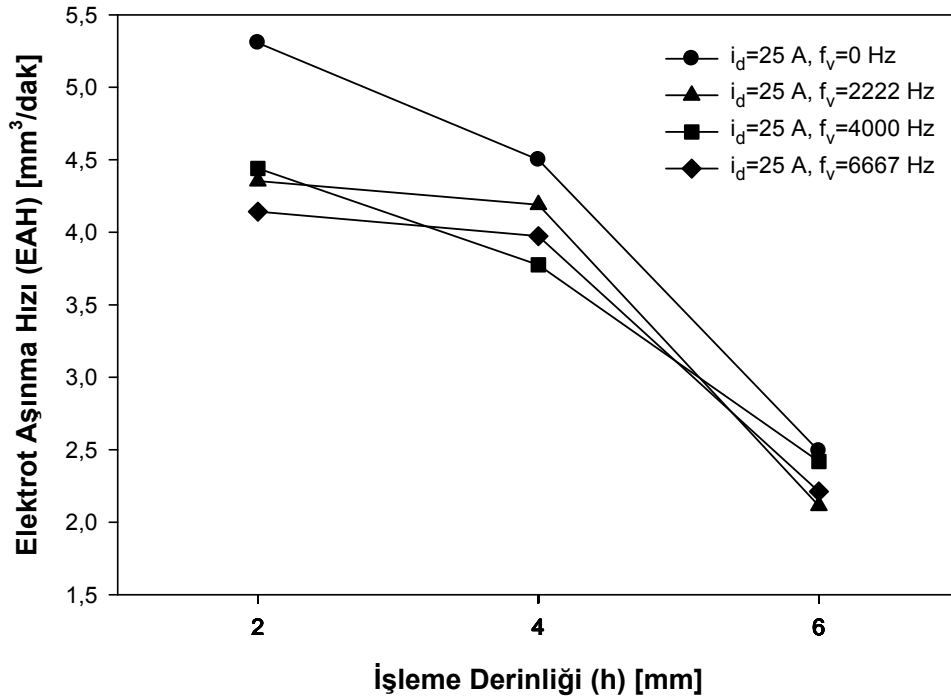
2 mm işleme derinliğinde 12 A-200  $\mu$ s deney grubunda uygulanan titreşimler ile EAH değerleri titreşimsiz koşula göre ortalama %9,56 azalırken (Şekil 5.79), 4 mm'de yalnız 4000 Hz'de %11,97 azalma tespit edilmiştir. Aynı grubun 6 mm işleme derinliğinde titreşimsiz koşullara göre EAH değerleri ortalama %3,61 azalmıştır.

25 A-200  $\mu$ s deney grubunun 2 mm, 4 mm ve 6 mm işleme derinliğinde yapılan titreşimli deneylerde sırası ile ortalama %18,74, %11,56 ve %9,78 azalmıştır (Şekil 5.80).

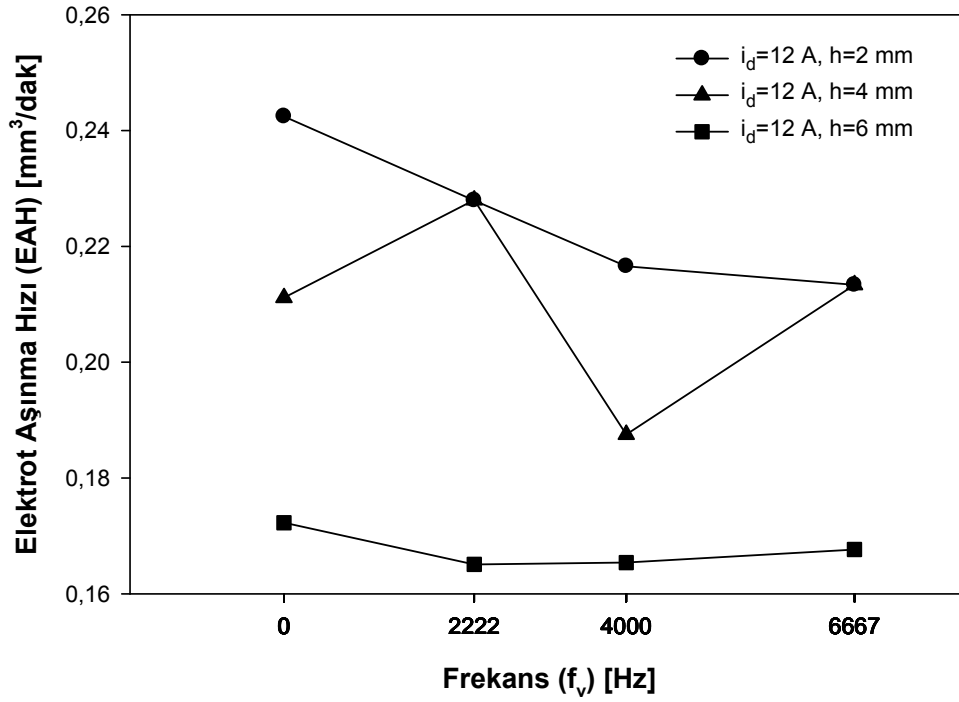
İşleme sırasında dielektrik sıvının bozunması ve işparçası malzemesinin ergimesi ile ortaya çıkan işleme artıkları elektrot yüzeyine oluşan ısı nedeni ile yapışarak koruyucu bir tabaka oluşturmakta ve bu tabaka elektrot ana malzemesine göre daha yüksek ergime sıcaklığına sahip olduğundan EAH değerini azaltmaktadır.



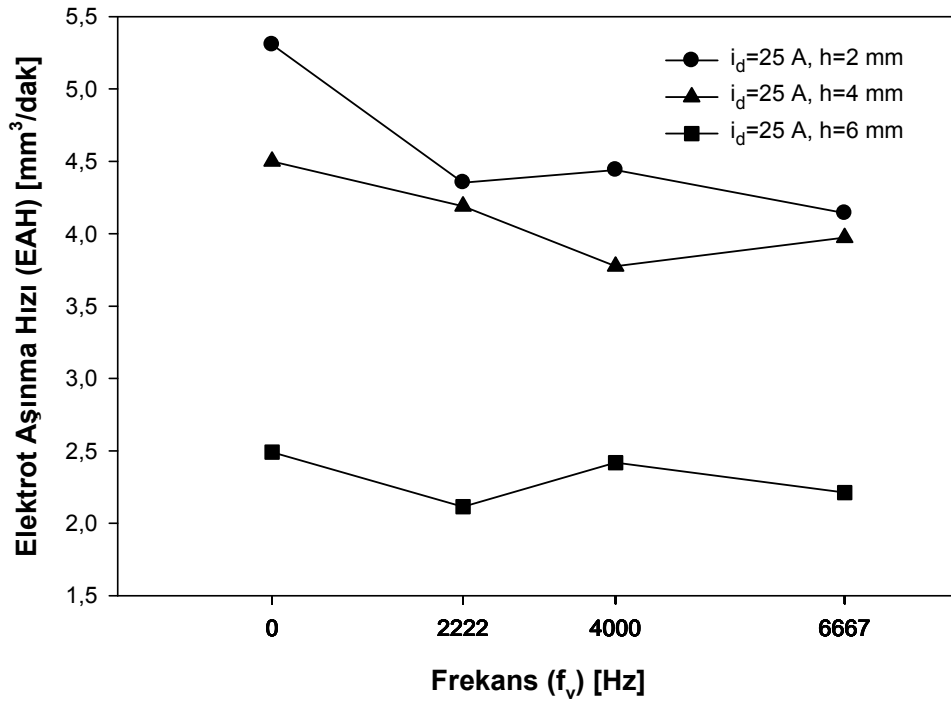
Şekil 5.77. İT-EEİ'de işleme derinliğinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.78. İT-EEİ'de işleme derinliğinin EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.79. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.80. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için EAH üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)

### İT-EEİ'de İD deneylerinde işleme derinliğinin BA üzerindeki etkisi

İşleme derinliğinin artışı ile deneylerin tamamında BA değerleri azalmıştır.

12 A-200  $\mu$ s deney grubunda işleme derinliğinin 2 mm'den 4 mm'ye artışı ile BA değerleri ortalama %15,13 azalırken 4 mm'den 6 mm'ye artışta ortalama % 23,81 azalma tespit edilmiştir (Şekil 5.81). Aynı deney grubunun 6 mm'deki BA değerleri 2 mm'ye göre ortalama %35,38 azalmıştır.

25 A-100  $\mu$ s deney grubunda işleme derinliğinin 4 mm'deki BA değerleri 2 mm'ye göre ortalama %4,19 azalırken derinliğin 4 mm'den 6 mm'ye çıkması %41,52 ortalama azalma sağlamıştır (Şekil 5.82). 25 A-200  $\mu$ s deneylerinin 6 mm işleme derinliğinin BA değerleri 2 mm'ye göre %44,16 azalmıştır.

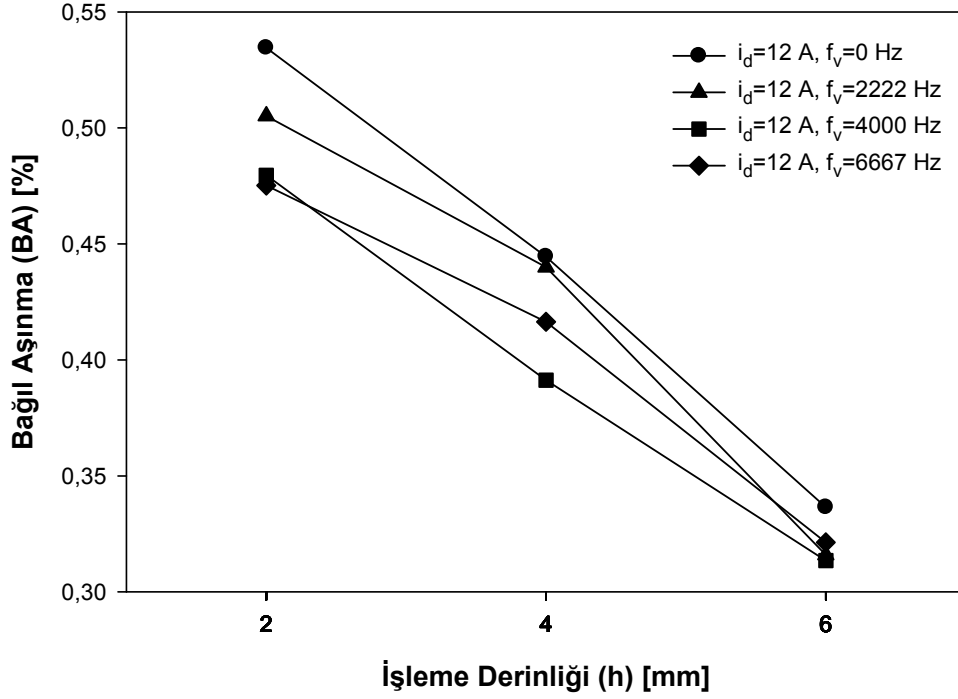
Artan işleme derinliği ile BA değerlerindeki azalmanın nedeni EAH değerlerinde oluşan yüksek azalma değerleridir.

İşparçasına uygulanan titreşimler işleme derinliğinin bütün değerlerinde BA'nın azalmasına neden olmuştur.

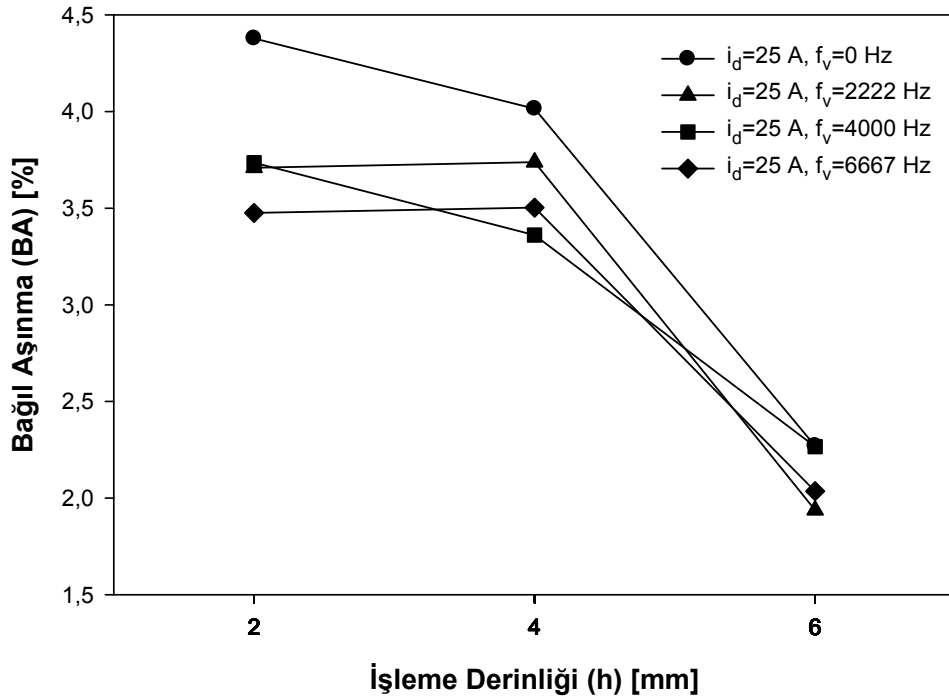
12 A-200  $\mu$ s deney grubunda uygulanan titreşimler BA değerleri titreşimsiz koşullara göre 2 mm'de %8,95, 4 mm'de %6,43 ve 6 mm'de %4,63 azalmıştır (Şekil 5.83).

25 A-200  $\mu$ s deney grubunda titreşimsiz koşullara göre BA değerleri 2 mm'de ortalama %16,87 azalırken 4 mm ve 6 mm'de sırası ile ortalama %11,97 ve %8,36 azalmıştır (Şekil 5.84).

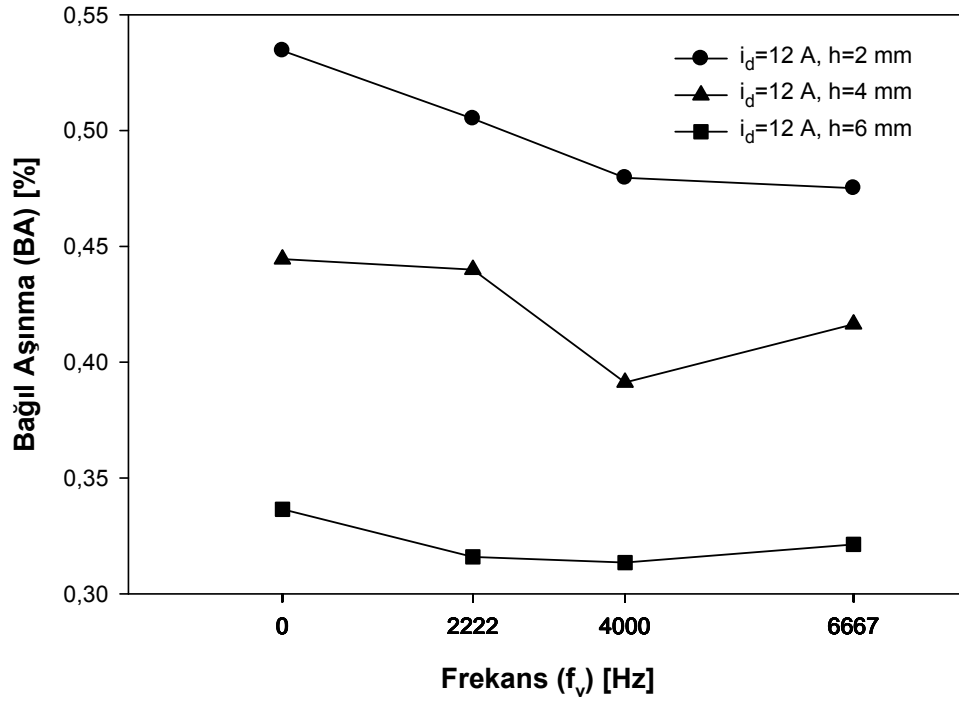
BA değerleri incelendiğinde işparçasına uygulanan titreşimlerin en çok 2mm işleme derinliğinde etkili olduğu, bunu 4 mm ve 6 mm'nin takip ettiği anlaşılmıştır.



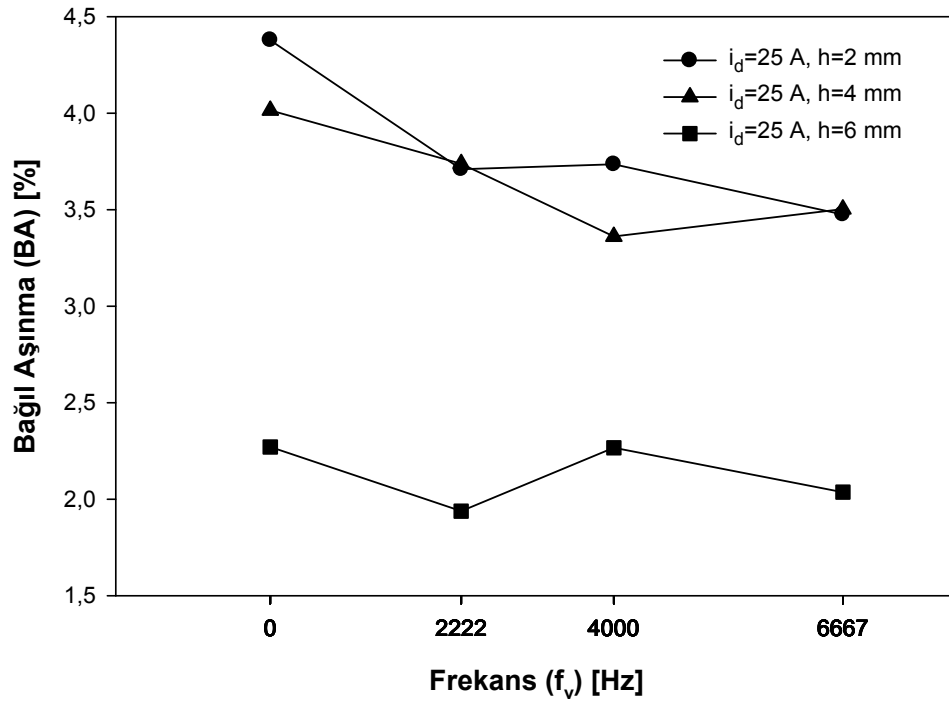
Şekil 5.81. İT-EEİ'de işleme derinliğinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.82. İT-EEİ'de işleme derinliğinin BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.83. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için BA üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.84. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için BA üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)

### İT-EEİ'de İD deneylerinde işleme derinliğinin $R_a$ üzerindeki etkisi

İşleme derinliğinin artışı 12 A-200  $\mu$ s ve 25 A-200  $\mu$ s deney gruplarının bütün deneylerinde  $R_a$  değerlerini arttırmıştır.

12 A-200  $\mu$ s deney grubunda işleme derinliğinin 2 mm'den 4 mm'ye artışı ile  $R_a$  değerleri ortalama %6,28 artarken, 4 mm'den 6 mm'ye artış ile %7,82 artmıştır (Şekil 5.85). İşleme derinliğinin 2 mm'den 6 mm'ye artışı ile  $R_a$  değerlerinin ortalama %14,61 arttığı tespit edilmiştir.

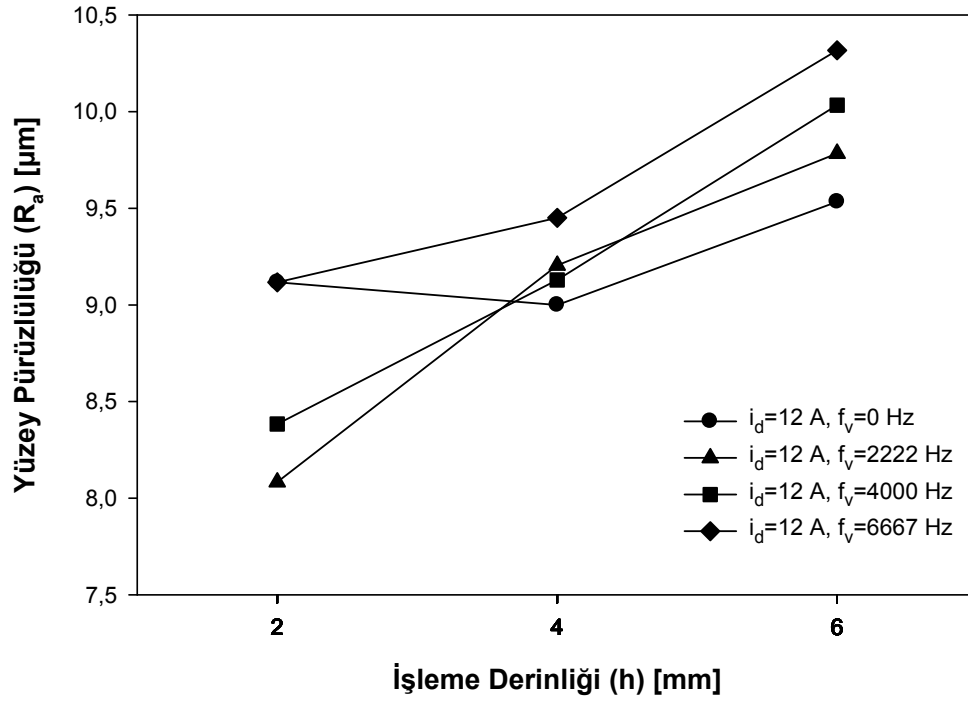
25 A-200  $\mu$ s deney grubunda işleme derinliğinin 2 mm'den 4 mm'ye artışı  $R_a$  değerlerini ortalama %18,22 arttırmıştır (Şekil 5.86). Aynı deney grubunda 6 mm'deki  $R_a$  değerleri 4 mm ve 2mm'ye göre sırası ile ortalama %10,36 ve %30,41 artmıştır.

12 A-200  $\mu$ s deney grubunda 2 mm işleme derinliğinde uygulanan titreşimler ile  $R_a$  değerleri titreşimsiz koşula göre ortalama %6,46 azalırken, 4 mm ve 6 mm işleme derinliğinde sırası ile ortalama %2,9 ve %5,36 artmıştır (Şekil 5.87).

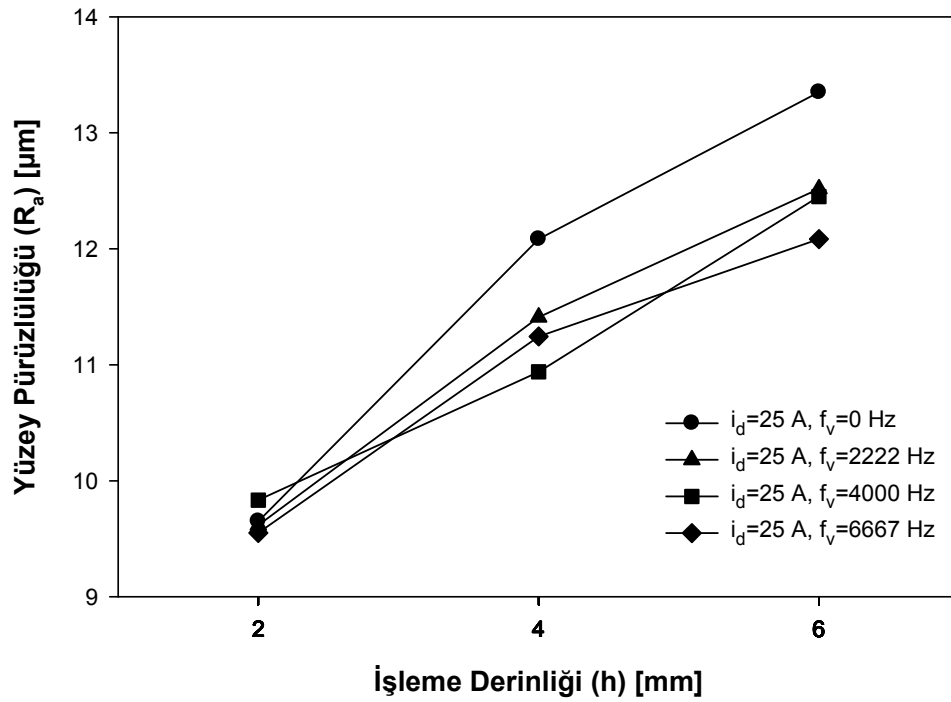
25 A-200  $\mu$ s deney grubunda 2 mm işleme derinliğinde  $R_a$  değerleri titreşimsiz koşula göre ihmal edilebilir değişim sergilerken, 4 mm ve 6 mm'de ortalama %7,33 ve %7,49 azalma tespit edilmiştir (Şekil 5.88).

Titreşimlerin İİH ve  $R_a$  değerlerini aynı işleme derinliklerinde arttırdığı bunun da kraterlerin daha fazla boşaltılması sonucu oluşabileceği düşünülmüştür. Uygulanan titreşimlerin İİH değerlerinde çok etkili olmadığı derin işlemlerde  $R_a$  değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir.

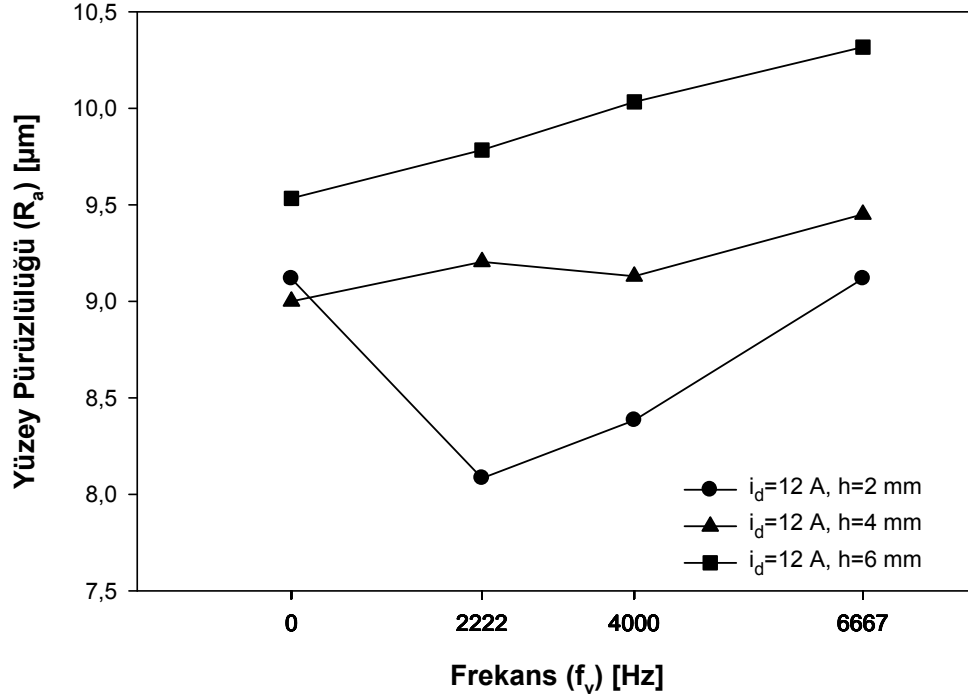




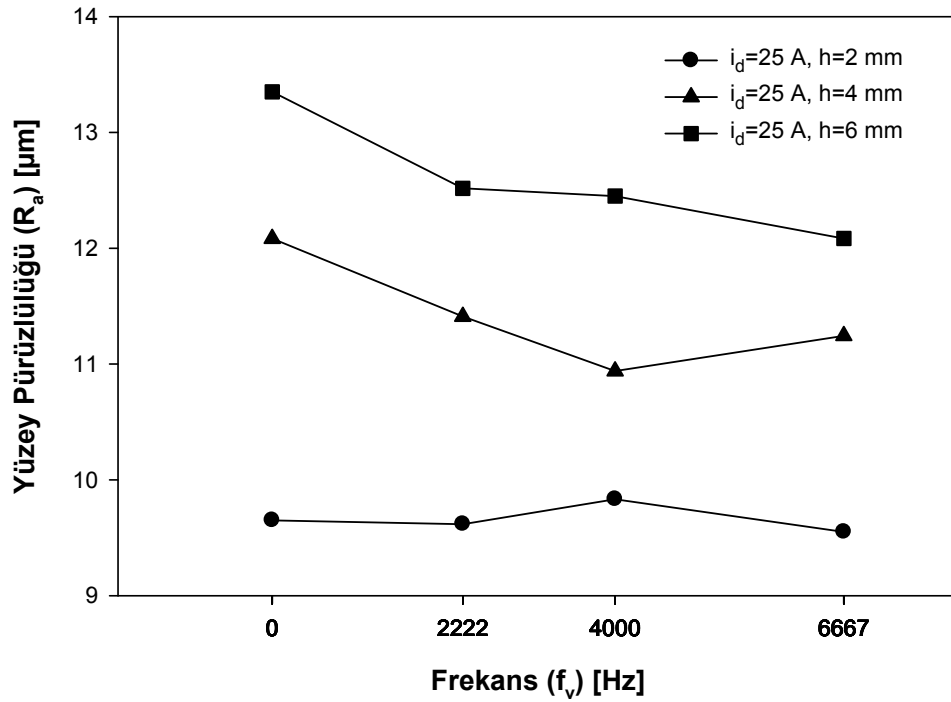
Şekil 5.85. İT-EEİ'de işleme derinliğinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.86. İT-EEİ'de işleme derinliğinin  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.87. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=12$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)



Şekil 5.88. İT-EEİ'de titreşim frekansının farklı işleme derinlikleri için  $R_a$  üzerindeki etkisi ( $i_d=25$  A,  $t_s=200$   $\mu$ s)

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

EEİ'de dielektrik sıvı sirkülasyonunu kolaylaştırmak, aşınmış partiküllerin işleme ortamından daha etkin bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamak ve boşalım sonrası ergimiş işparçası malzemesinin tekrar katılaşmadan kraterden daha fazla atılmasını sağlayarak işleme hızını arttırmak amacı ile işparçasının bağlı olduğu işleme haznesine (İHT-EEİ) ve doğrudan işparçasına (İT-EEİ) uygulanan farklı frekanstaki titreşimler ve değişik işleme koşullarında deneyler yapılmıştır.

İHT-EEİ'de yapılan deneylerde boşalım akımının artışı titreşimli ve titreşimsiz bütün koşullarda İİH, EAH, BA ve  $R_a$  değerlerinin artmasına neden olmuştur. İHT-EEİ'de vurum süresinin artışı bütün deney koşullarında İİH değerlerinde azalmaya neden olmuştur. İHT-EEİ'de vurum süresindeki artış ile EAH değerlerinde önemli azalmalar elde edilmiştir. EAH değerlerindeki yüksek orandaki azalmaya karşılık İİH değerlerindeki düşük orandaki azalmaların neticesinde artan vurum süresi BA değerlerinde de azalmaya neden olmuştur. İHT-EEİ'de vurum süresinin artışı ile  $R_a$  değerlerinde küçük de olsa bir azalma gözlenmiştir. İHT-EEİ deneylerinde işleme haznesine uygulanan 500 Hz ve 1000 Hz frekanstaki titreşimler düşük akımlı deneylerde İİH değerlerinin titreşimsiz koşullara göre artışına neden olurken yüksek akım değerlerinde azalmaya neden olmuştur. İHT-EEİ deneylerinde titreşim uygulaması titreşimsiz koşullara göre 6A deneylerinde daha yüksek, 12 A deneylerinde ise daha düşük EAH değerleri vermiştir. 12 A deneylerinde titreşimin uygulanması ile elde edilen EAH değerlerindeki azalma İHT-EEİ'de elde edilen diğer olumlu gelişmelerden birisi olmuştur. İşleme haznesine titreşimin uygulanması ile titreşimsiz koşullara göre 6 A deneylerinde BA değerlerindeki küçük artışlar 12 A'de elde edilen daha büyük azalma ile

karşılaştırıldığında önemsizdir. 12 A İHT deneylerinde  $R_a$  değerlerinde küçük azalmalar elde edilmiştir.

İT-EEİ'de TTFD deneylerinde boşalım akımının artışı bütün deney koşullarında İİH ve EAH değerlerinin artışına neden olmuştur. Boşalım akımının artışı ile EAH değerlerinin İİH değerlerine göre daha büyük oranlarda artmış olması neticesinde BA değerleri de genel olarak artış göstermiştir. Bütün işleme koşullarında  $R_a$  değerleri boşalım akımının artışıyla artmıştır. Vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 200  $\mu$ s'ye artışı ile İİH değerleri bütün deneylerde artış gösterirken, vurum süresinin 200  $\mu$ s-400  $\mu$ s ve 100  $\mu$ s-400  $\mu$ s değişimlerinde ise bütün deney parametreleri için İİH değerlerinde azalma elde edilmiştir. Vurum süresinin artışına karşılık bütün deney koşulları için EAH ve BA değerlerinde orta ve yüksek oranlarda azalma meydana gelmiştir. İT-EEİ'de 6 A deneylerinde vurum süresinin artışı  $R_a$  değerlerinde azalma sağlamıştır. 12 A'de vurum süresinin 100  $\mu$ s'den 200  $\mu$ s'e artışı ile  $R_a$  artarken, 100  $\mu$ s ve 200  $\mu$ s'den 400  $\mu$ s değerine olan artışlara karşılık  $R_a$  değerlerinde azalma elde edilmiştir. 25 A deneylerinin genelinde vurum süresinin artışına karşılık  $R_a$  değerlerinde artış elde edilmiştir.

İşparçasına uygulanan 2222 Hz, 4000 Hz ve 6667 Hz frekanslı titreşimlerde İİH değerlerinde artışlar sağlanmıştır. İşparçasına uygulanan titreşimler İİH değerlerinin 6 A ve 12 A'de 100 $\mu$ s ve 200 $\mu$ s vurum süreleri ile 25 A'de tüm vurum süresi değerlerinde artışını sağlamıştır. Bu sonuçlar ışığında küçük ve orta boşalım akımı ve vurum süresi değerlerinde uygulanan titreşimlerin İİH değerlerinde belirgin artışlara neden olduğu, İİH değerlerindeki küçük artışların ise vurum süresinden bağımsız olarak yüksek akım değerlerinde elde edildiği tespit edilmiştir. Düşük ve orta seviyedeki titreşim frekanslarının kısa ve orta seviyedeki vurum sürelerinde İİH'nin artmasını sağladığı, yüksek frekans değerinin ise orta ve uzun vurum sürelerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. İşparçasına uygulanan titreşimler boşalım akımının bütün değerlerinde titreşimsiz koşullara göre EAH'da azalma sağladığı fakat düşük frekans değerinin kısa süreli vurumlarda EAH değerleri üzerinde olumlu etki

sağlayamadığı tespit edilmiştir. İT-EEİ'de işparçasına uygulanan 2222 Hz frekans değeri herhangi bir vuruş süresi grubunda EAH değerlerinde genel bir azalma sağlayamamıştır. 4000 Hz frekans değeri 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s vuruş süreli bütün akım değerleri için EAH değerlerinde azalma sağlarken 6667 Hz frekans değeri 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s vuruş süreli deneylerde EAH değerlerini azaltmıştır. Ayrıca uygulanan titreşimler neticesinde EAH değerleri açısından en olumlu sonuçların elde edildiği deney parametreleri 25 A boşalım akımına sahip 200  $\mu$ s ve 400  $\mu$ s deney gruplarındaki parametreler olmuştur. EAH değerlerinde titreşimin uygulanması ile meydana gelen belirgin azalma çalışmanın genelinde tespit edilmiş en olumlu sonuçlardan biridir. İT-EEİ deneyleri neticesinde elde edilen BA değerlerinin tamamına yakınında titreşimsiz koşullara göre azalma gözlenmiştir. 4000 Hz ve 6667 Hz frekans değerlerinin bütün boşalım akımı ve vuruş süresi değerleri için BA değerlerinde yüksek oranlarda azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. 2222 Hz frekans değerinin ise BA değerleri üzerinde diğer frekans değerleri kadar etki oluşturmadığı tespit edilmiştir. İşparçasına uygulanan titreşimlerin 6 A ve 25 A deneylerinin çoğunda  $R_a$  değerlerini azalttığı, 12 A deneylerinde ise  $R_a$ 'da önemsiz artışların olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak 2222 Hz ve 4000 Hz frekans değerlerinde 6 A ve 25 A boşalım akımı için  $R_a$  değerlerinin azaldığı, 6667 Hz frekans değerinde ise sadece 25 A boşalım akımı için azaldığı görülmüştür.

12 A ve 25 A boşalım akımlarının 200  $\mu$ s vuruş süresi için yapılan TFAD titreşimli deneylerde İİH değerlerinin titreşimsiz koşullara göre artış gösterdiği, deneylerin genelinde EAH değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. TFAD grubu titreşimli deneylerde titreşimsiz koşullara göre BA değerleri azalmıştır. 12 A-200  $\mu$ s titreşimli deneylerde  $R_a$  değerleri titreşimsiz koşula göre artarken 25 A-200  $\mu$ s'de azalmıştır. Temel frekans değerlerine ek olarak kullanılan 1100 Hz, 3100 Hz ve 5300 Hz frekans değerlerinde İİH, EAH, BA ve  $R_a$  değerleri TFAD ve TTFD deney gruplarındaki 0'dan 2222 Hz'e, 2222 Hz'den 4000 Hz'e ve 4000 Hz'den 6667 Hz'e geçişteki değişim özellikleri ile uyum sağlamıştır.

İşleme derinliğinin artışı ile 12 A-200  $\mu$ s deneylerinde İH artarken 25 A-200  $\mu$ s deneylerinde azalmıştır. İşleme derinliğinin artışı EAH değerlerinin azalmasını sağlamıştır. İşparçasına uygulanan titreşimler tüm işleme derinliklerinde EAH değerlerini titreşimsiz koşullara göre azaltmıştır. Uygulanan titreşimlerin EAH'nın azalmasını sağlayan olumlu etkisi işleme derinliğinin artışı ile zayıflamıştır. İşleme derinliğinin artışı BA değerlerini azaltmıştır. İşleme derinliğinin tüm değerlerinde uygulanan titreşimler ile BA azalmıştır. İşleme derinliğinin artışı ile tüm deney koşullarında  $R_a$  değerleri artış göstermiştir. İşleme derinliğinden bağımsız olarak yüksek akım değerinde uygulanan titreşimler  $R_a$ 'yı azaltmıştır.

Bu çalışma sonrasında işleme haznesi aracılığı ile veya doğrudan işparçasına uygulanan titreşimlerin özellikle EAH ve BA değerlerini belirgin bir şekilde azalttığı, İH değerlerini küçük miktarlarda arttırırken ve  $R_a$  değerlerini aynı şekilde azalttığı ortaya çıkmıştır. EEİ'de elektrot tasarım ve üretiminin toplam işleme maliyetinin büyük bir kısmını oluşturduğu düşünüldüğünde EAH değerlerinin azalmasını sağlayan işparçası veya işleme haznesi titreşiminin önemi açıkça görülebilir.

İHT-EEİ tekniği, işleme haznesinin ve içerisindeki dielektrik sıvının ağırlığından dolayı İT-EEİ tekniğine göre daha düşük frekanslı ve genlikli titreşimler sağlayabilmektedir. Bu da İH ve EAH açılarından beklenen iyileşmelerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Halbuki İT-EEİ tekniğinde titreştirilen sadece işparçası olduğundan yüksek frekans ve genlikli titreşimler elde edilebilmektedir. Bu nedenle İT-EEİ tekniğinin uygun titreşim parametrelerinin seçilmesi halinde İHT-EEİ'ye göre daha etkin bir sistem olduğu anlaşılmıştır.

## 6.2. Öneriler

Bu çalışmada kullanılmış boşalım akımlarının ve vurum sürelerinin ara değerleri ile yapılacak deneysel çalışmalar işparçası titreşiminin işleme parametreleri ile olan ilişkisini daha açık gösterecektir. Bunun yanı sıra elektrot dönme hareketinin de ilave edileceği makro boyutlu işparçası titreşimli delik delme çalışmaları İT-EEİ tekniğinin gelişmesi açısından son derece önemli katkılar sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Pandey, P.C., Shan, H.S., "Modern Machining Processes", **Tata McGraw Hill Publishing Company Limited**, New Delhi, 84-114 (1980).
2. McGeough, J.A., "Advanced Methods of Machining", **Chapman and Hall**, London New York, 128-147 (1988).
3. Springborn, R.K., "Non-Traditional Machining Processes", **American Society of Tool and Manufacturing Engineers**, Dearborn Michigan, 105-133 (1967).
4. Her, M.-G., Weng, F.-T., "Micro-hole machining of copper using the electro-discharge machining process with a tungsten carbide electrode compared with a copper electrode", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 17 (10): 715-719 (2001).
5. Mohri, N., Saito, N., Suzuki, M., Takawashi, T., "Surface modification by EDM-an innovation in EDM with semi-conductive electrodes", **The American Society of Mechanical Engineers, Research and Technological Developments in Nontraditional Machining**, 34: 21-30 (1988).
6. Mohri, N., Saito, N., Tsunekawa, Y., "Metal surface modification by electrical discharge machining with composite electrode", **Annals of the CIRP**, 42 (1): 219-222 (1993).
7. Saito, K., Kishinami, T., Konno, H., Sato, M., "Development of numerical contouring control electric discharge machining (NCC-EDM)", **Annals of the CIRP**, 35 (1): 117-120 (1986).
8. Chen, S.L., Yan, B.H., Huang, F.Y., "Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti-6Al-4V", **Journal of Materials Processing Technology**, 87 (1-3): 107-111 (1999).
9. Bayramoğlu, M., "Dalma elektro erozyon tezgahları ve nümerik kontrol", **Makina ve Metal Teknolojisi**, 45: 157-160 (1995).
10. Masuzawa, T., Heuvelman, C.J., "A self flushing method with spark erosion machining", **Annals of the CIRP**, 32 (1): 109-111 (1983).
11. Bayramoğlu, M., "Elektro erozyon tezgahlarında işlenen parçaların yüzey kalitesi", **6. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Denizli, 320-326 (1995).



12. Kruth, J.-P., Stevens, L., Froyen, L., Lauwers, B., "Study of the white layer of a surface machined by die-sinking electro-discharge machining", ***Annals of the CIRP***, 44 (1): 169-172 (1995).
13. Çoğun, C., "Keeping electric discharge machining under control", ***Machine Design***, 62 (8): 105-108 (1990).
14. Schumacher, B. M., "About the role of debris in the gap during electrical discharge machining", ***Annals of the CIRP***, 39 (1): 197-199 (1990).
15. Özgedik, A., Çoğun, C., An experimental investigation of tool wear in electric discharge machining, ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 27 (5-6): 488-500 (2006).
16. Toren, M., Zvirin, Y., Winograd, Y., "Melting and evaporation phenomena during electrical erosion", ***Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer***, 576-581 (1975).
17. Koenig, W., Weill, R., Wertheim, R., Jutzler, W.I., "The flow fields in the working gap with electro-discharge-machining", ***Annals of the CIRP***, 25 (1): 71-76 (1977).
18. "Electrode materials for EDM", ***The Tool and Manufacturing Engineer***, 60-62 (1967).
19. Longfellow, J., Wood, J.D., Palme, R.B., "The effects of electrode material properties on the wear ratio in spark-machining", ***Journal of the Institute of Metals***, 96: 43-48 (1968).
20. Singh, S., Maheshwari, S., Pandey, P.C., "Some investigations into the electric discharge machining of hardened tool steel using different electrode materials", ***Journal of Materials Processing Technology***, 149 (1-3): 272-277 (2004).
21. Singh, A., Ghosh, A., "A Thermo-electric model of material removal during electric discharge machining", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 39 (4): 669-682 (1999).
22. Lim, L.C., Lee, L.C., Wong, Y.S., Lu, H.H., "Solidification microstructure of electrodischarge machined surfaces of tool steels", ***Materials Science and Technology***, 7 (3): 239-248 (1991).
23. Çoğun, C., Erden, A., "Effect of pause time on properties of pulse trains in electric discharge machining", ***METU Journal of Pure and Applied Sciences***, 17 (3): 191-208 (1984).

24. Erden, A., "Effect of materials on the mechanism of electric discharge machining (E.D.M)", *Journal of Engineering Materials and Technology*, 105: 132-138 (1983).
25. Keskin, Y., Halkacı, H.S., Kizil, M., "An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surface roughness in electrical discharge machining (EDM)", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (11-12): 1118-1121 (2006).
26. Çoğun, C., Akaslan, Ş., "The effect of machining parameters on tool electrode wear and machining performance in electric discharge machining", *KSME International Journal*, 16 (1): 46-59 (2002).
27. Mohri, N., Suzuki, M., Furuya, M., Saito, N., "Electrode wear process in electrical discharge machining", *Annals of the CIRP*, 44 (1): 165-168 (1995).
28. Wong, Y.S., Lim, L.C., Lee, L.C., "Effects of flushing on electro-discharge machined surfaces", *Journal of Materials Processing Technology*, 48 (1-4): 299-305 (1995).
29. Lonardo, P.M., Bruzzone, A.A., "Effect of flushing and electrode material on die sinking EDM", *Annals of the CIRP*, 48 (1): 123-126 (1999).
30. Lee, S.H., Li, X.P., "Study of the effect of machining parameters on the machining characteristics in electrical discharge machining of tungsten carbide", *Journal of Materials Processing Technology*, 115 (3): 344-358.
31. Chen, Y., Mahdavian, S.M., "Parametric study into erosion wear in a computer numerical controlled electro-discharge machining process", *Wear*, 236 (1-2): 350-354 (1999).
32. Hocheng, H., Lei, W.T., Hsu, H.S., "Preliminary study of material removal in electrical-discharge machining of SiC/Al", *Journal of Materials Processing Technology*, 63 (1-3): 813-818 (1997).
33. Mohan, B., Rajadurai, A., Satyanarayana, K.G., "Effect of SiC and rotation of electrode on electric discharge machining of Al-SiC composite", *Journal of Materials Processing Technology*, 124 (3): 297-304 (2002).
34. Yu, Z., Jun, T., Masanori, K., "Dry electrical discharge machining of cemented carbide", *Journal of Materials Processing Technology*, 149 (1-3): 353-357 (2004).

35. Guu, Y.H., Hocheng, H., "Effects of workpiece rotation on machinability during electrical-discharge machining", ***Materials and Manufacturing Processes***, 16 (1): 91-101 (2001).
36. Kunieda, M., Yoshida, M., Taniguchi, N., "Electrical discharge machining in gas", ***Annals of the CIRP***, 46 (1): 143-146 (1997).
37. Yan, B.H., Wang, C.C., Chow, H.M., Lin, Y.C., "Feasibility study of rotary electrical discharge machining with ball burnishing for Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/6061Al composite", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 40 (10): 1403-1421 (2000).
38. Çoğun, C., Özerkan, B., Karaçay, T., "An experimental investigation on the effect of powder mixed dielectric on machining performance in electric discharge machining", ***Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture***, 220 (7): 1035-1050 (2006).
39. Gillot, F., Mognol, P., Furet, B., "Dimensional accuracy studies of copper shells used for electro-discharge machining electrodes made with rapid prototyping and the electroforming process", ***Journal of Materials Processing Technology***, 159 (1): 33-39 (2005).
40. Monzon, M., Benitez, A.N., Marrero, M.D., Hernandez, N., Hernandez, P., Aisa, J., "Validation of electrical discharge machining electrodes made with rapid tooling technologies", ***Journal of Materials Processing Technology***, 196 (1-3): 109-114 (2008).
41. Han, F., Wang, Y., Zhou, M., "High-speed EDM milling with moving electric arcs", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 49 (1): 20-24 (2009).
42. Yan, B.H., Wang, C.C., "The machining characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/6061Al composite using rotary electro-discharge machining with a tube electrode", ***Journal of Materials Processing Technology***, 95 (1-3): 222-231 (1999).
43. Küçüktürk, G., "Elektro erozyon ile iletken olmayan seramiklerin işlenmesi için yöntem geliştirilmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2008).
44. Samuel, M.P., Philip, P.K., "Power metallurgy tool electrodes for electrical discharge machining", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 37 (11): 1625-1633 (1997).

45. Tzeng , Y.-F., Lee, C.-Y., "Effects of powder characteristics on electro discharge machining efficiency", ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 17 (8): 586-592 (2001).
46. Ishida, T., Takeuchi, Y., "L-Shaped curved hole creation by means of electrical discharge machining and an electrode curved motion generator", ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 19 (4): 260-265 (2002).
47. Kim, D.J., Yi, S.M., Lee, Y.S., Chu, C.N., "Straight hole micro EDM with a cylindrical tool using a variable capacitance method accompanied by ultrasonic vibration", ***Journal of Micromechanics and Microengineering***, 16 (5): 1092-1097 (2006).
48. Yeo, S.H., Goh, K.M., "The effect of ultrasound in micro electro discharge machining on surface roughness", ***Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture***, 215 (2): 271-276 (2001).
49. Changshui Gao, C., Liu, Z., "A study of ultrasonically aided micro-electrical-discharge machining by the application of workpiece vibration", ***Journal of Materials Processing Technology***, 139 (1-3): 226-228 (2003).
50. Yu, Z., Rajurkar, K.P., "Study of dielectric flow in micro hole drilling by EDM", ***Transactions of the North American Manufacturing Research Institute of SME***, 33: 81-88 (2005).
51. Zhixin, J., Jianhua, Z., Xing, A., "Study on a new kind of combined machining technology of ultrasonic machining and electrical discharge machining", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 37 (2): 193-199 (1997).
52. Zhixin, J., Jianhua, Z., Xing, A., "Ultrasonic vibration pulse electro-discharge machining of holes in engineering ceramics", ***Journal of Materials Processing Technology***, 53 (3-4): 811-816 (1995).
53. Zhixin, J., Xing, A., Jianhua, Z., Zhaoliang, A., "Combined machining of USM and EDM for advanced ceramics", ***Journal of Advanced Materials***, 26 (3): 16-20 (1995).
54. Thoe, T.B., Aspinwall, D.K., Killey, N., "Combined ultrasonic and electrical discharge machining of ceramic coated nickel alloy", ***Journal of Materials Processing Technology***, 92-93: 323-328 (1999).

55. Pham, D.T., Ivanov, A., Bigot, S., Popov, K., Dimov, S., "An investigation of tube and rod electrode wear in micro EDM drilling", ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 33 (1-2): 103-109 (2007).
56. Abdullah, A., Shabgard, M.R., "Effect of ultrasonic vibration of tool on electrical discharge machining of cemented tungsten carbide (WC-Co)", ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 38 (11-12): 1137-1147 (2008).
57. Wansheng, Z., Zhenlong, W., Shichun, D., Guanxin, C., Hongyu, W., "Ultrasonic and electric discharge machining to deep and small hole on titanium alloy", ***Journal of Materials Processing Technology***, 120 (1-3): 101-106 (2002).
58. Huang, H., Zhang, H., Zhou, L., Zheng, H.Y., "Ultrasonic vibration assisted electro-discharge machining of microholes in Nitinol", ***Journal of Micromechanics and Microengineering***, 13 (5): 693-700 (2003).
59. Ghoreishi, M., Atkinson, J., "A comparative experimental study of machining characteristics in vibratory, rotary and vibro-rotary electro-discharge machining", ***Journal of Materials Processing Technology***, 120 (1-3): 374-384 (2002).
60. Kremer, D., Lhiaubet, C., Moisan, A., "A study of the effect of synchronizing ultrasonic vibrations with pulses in EDM", ***Annals of the CIRP***, 40 (1): 211-214 (1991).
61. Kremer, D., Lebrun, J.L., Hosari, B., Moisan, A., "Effects of ultrasonic vibrations on the performances in EDM", ***Annals of the CIRP***, 38 (1): 199-202 (1989).
62. Zhang, Q. H., Zhang, J. H., Deng, J. X., Qin, Y., Niu, Z. W., "Ultrasonic vibration electrical discharge machining in gas", ***Journal of Materials Processing Technology***, 129 (1-3): 135-138 (2002).
63. Zhang, Q.H., Zhang, J.H., Ren, S.F., Deng, J.X., Ai, X., "Study on technology of ultrasonic vibration aided electrical discharge machining in gas", ***Journal of Materials Processing Technology***, 149 (1-3): 640-644 (2004).
64. Zhang, Q.H., Zhang, J.H., Ren, S.F., Niu, Z.W., Ai, X., "A theoretical model of surface roughness in ultrasonic vibration assisted electrical discharge machining in gas", ***International Journal of Manufacturing Technology and Management***, 7 (2/3/4): 381-390 (2005).

65. Zhang, Q.H., Du, R., Zhang, J.H., Zhang, Q.B., "An investigation of ultrasonic-assisted electrical discharge machining in gas", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 46 (12-13): 1582-1588 (2006).
66. Tong, H., Li, Y., Wang, Y., "Experimental research on vibration assisted EDM of micro-structures with non-circular cross-section", ***Journal of Materials Processing Technology***, 208 (1-3): 289-298.
67. Hao, T., Yang, W., Yong, L., "Vibration-assisted servo scanning 3D micro EDM", ***Journal of Micromechanics and Microengineering***, 18 (2): 1-8 (2008).
68. Murthy, V.S.R., Philip, P.K., "Pulse train analysis in ultrasonic assisted EDM", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 27 (4): 469-477 (1987).
69. Murti, V.S.R., Philip, P.K., "An analysis of the debris in ultrasonic-assisted electrical discharge machining", ***Wear***, 117 (2): 241-250 (1987).
70. Sundaram, M.M., Pavalarajan, G.B., Rajurkar, K.P., "A study on process parameters of ultrasonic assisted micro EDM based on taguchi method", ***Journal of Materials Engineering and Performance***, 17 (2): 210-215 (2008).
71. Petrofes, N. F., Gadalla, A.M., "Processing aspects of shaping advanced materials by electrical discharge machining", ***Materials and Manufacturing Processes***, 3 (1): 127-153 (1988).
72. DiBitonto, D.D., Eubank, P.T., Barrufet, M.A., "Theoretical models of the electrical discharge machining process. I. A simple cathode erosion model", ***Journal of Applied Physics***, 66 (9): 4095-4103 (1989).
73. "CIRP unified terminology", ***CIRP***, (1986).
74. Çoğun, C., Erden, A., "Elektro erozyon ile işleme (EDM) performansının bilgisayarlı denetiminin gerçekleştirilmesi", ***2. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi***, Ankara, 105-112 (1986).
75. Erden, A., Temel, D., "Investigation on the use of water as a dielectric liquid in E.D.M.", ***Proceedings of the 22nd Machine Tool Design and Research Conference***, Manchester, 437-440 (1981).
76. König, W., Jörres, L., "Aqueous solutions of organic compounds as dielectrics for EDM sinking", ***Annals of the CIRP***, 36 (1): 105-109 (1987).

77. Bojorquez, B., Marloth, R.T., Es-Said, O. S., "Formation of a crater in the workpiece on an electrical discharge machine", ***Engineering Failure Analysis***, 9 (1): 93-97 (2002).
78. Wells, P.W., Willey, P.C.T., "The effects of variation in dielectric flow rate in the gap on wear ratio and surface finish during electro-discharges", ***Conf. of Elect. Meth. of Mach., IEEE Publ.***, 133: 110-117 (1975).
79. Patel, M.R., Barrufet, M.A., Eubank, P.T., DiBitonto, D.D., "Theoretical models of the electrical discharge machining process. II. A simple anode erosion model", ***Journal of Applied Physics***, 66 (9): 4104-4111 (1989).
80. Jose Marafona, J., Wykes, C., "A new method of optimising material removal rate using EDM with copper-tungsten electrodes", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 40 (2): 153-164 (2000).
81. Lin, J.L., Lin, C.L., "The use of the orthogonal array with grey relational analysis to optimize the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 42 (2): 237-244 (2002).

**EKLER**



## EK-1 Sarsıcı Teknik Özellikleri

Çizelge 1.1. LDS V406/8 model sarsıcı teknik özellikleri

|  |   |
|--|---|
| Armature diameter                          | 38 mm                                     |
| System sine force peak - naturally cooled  | 98 N                                      |
| System sine force peak - forced air cooled | 98 N                                      |
| Shaker sine force peak - forced air cooled | 196 N                                     |
| System random force rms (ISO5344)          | 38 N                                      |
| Shaker max random force rms                | 89 N                                      |
| Armature resonance frequency               | 13000 Hz                                  |
| Useful frequency range                     | 5-9000 Hz                                 |
| Effective mass of moving element           | 0.200 kg                                  |
| System velocity sine peak                  | 1.52 m/s                                  |
| Shaker velocity sine peak                  | 1.78 m/s                                  |
| Max acceleration sine peak                 | 981 m/s <sup>2</sup>                      |
| Amplifier rating                           | 0.147 kVA                                 |
| LDS amplifier                              | PA 100E                                   |
| Suspension axial stiffness                 | 12.3 N/mm                                 |
| Aux. suspension axial stiffness            | 22.8 N/mm                                 |
| System displacement (continuous) pk-pk     | 14.0 mm                                   |
| Shaker displacement (continuous) pk-pk     | 17.6 mm                                   |
| Vibrator mass-optional trunnion mounted    | 22.7 kg                                   |
| Cooling air flow rate                      | 0.014 m <sup>3</sup> /s                   |
| Shaker mass base mounted                   | 14.1 kg                                   |
| Max. working ambient temperature           | Shaker: 30°C<br>Amplifier: 35°C           |
| Heat rejected to air                       | Shaker cooling fan:-<br>Amplifier:0.15 kW |
| Electrical requirement                     | Amplifier: 0.27 kVA                       |
| Acoustic noise at 2m                       | Shaker: 105 dBA<br>Amplifier: silent      |

## EK-2 Yükseltici Teknik Özellikleri

Çizelge 2.1. LDS PA 100E model yükseltici teknik özellikleri

|  |                 |
|--|-----------------|
| Rated sinusoidal power output                            | 147 W           |
| Maximum continuous sinusoidal VA output, 0.5pf           | 147 VA          |
| Frequency range at rated power                           | 10Hz - 10 kHz   |
| Total harmonic distortion at rated output 20 Hz - 10 kHz | Typically 0.5 % |
| Maximum output voltage                                   | 20V rms         |
| Maximum no load voltage                                  | 32V rms         |
| Voltage regulation                                       | 3%              |
| Output current at rated VA                               | 7A rms          |
| Maximum output current                                   | 7A rms          |
| Random output current                                    | 14A pk          |
| Overcurrent trip level                                   | 10A rms         |
| Input sensitivity for maximum output (400 Hz)            | 1.0V rms        |
| Signal to noise ratio                                    | > 75 dB         |
| Amplifier efficiency                                     | 58 %            |

## EK-3 İvmeölçer Teknik Özellikleri

Çizelge 3.1. PCB 352C22 model mini ivmeölçer teknik özellikleri

| <b>PERFORMANCE</b>                       | <b>ENGLISH</b>              | <b>SI</b>                      |
|--|-----------------------------|--------------------------------|
| Sensitivity( $\pm 15\%$ )                | 10 mV/g                     | 1.0 mV/(m/s <sup>2</sup> )     |
| Measurement Range                        | $\pm 500$ g pk              | $\pm 4900$ m/s <sup>2</sup> pk |
| Frequency Range( $\pm 5\%$ )             | 1.0 to 10,000 Hz            | 1.0 to 10,000 Hz               |
| ( $\pm 10\%$ )                           | 0.7 to 13,000 Hz            | 0.7 to 13,000 Hz               |
| ( $\pm 3$ dB)                            | 0.3 to 20,000 Hz            | 0.3 to 20,000 Hz               |
| Resonant Frequency                       | $\geq 50$ kHz               | $\geq 50$ kHz                  |
| Broadband Resolution<br>(1 to 10,000 Hz) | 0.002 g rms                 | 0.02 m/s <sup>2</sup> rms      |
| Non-Linearity                            | $\leq 1\%$                  | $\leq 1\%$                     |
| Transverse Sensitivity                   | $\leq 5\%$                  | $\leq 5\%$                     |
| <b>ELECTRICAL</b>                        | <b>ENGLISH</b>              | <b>SI</b>                      |
| Excitation Voltage                       | 18 to 30 VDC                | 18 to 30 VDC                   |
| Constant Current Excitation              | 2 to 20 mA                  | 2 to 20 mA                     |
| Output Impedance                         | $\leq 300$ ohm              | $\leq 300$ ohm                 |
| Output Bias Voltage                      | 7 to 11 VDC                 | 7 to 11 VDC                    |
| Discharge Time Constant                  | 1.0 to 3.5 sec              | 1.0 to 3.5 sec                 |
| Settling Time<br>(within 10% of bias)    | <3 sec                      | <3 sec                         |
| <b>PHYSICAL</b>                          | <b>ENGLISH</b>              | <b>SI</b>                      |
| Sensing Element                          | Ceramic                     | Ceramic                        |
| Sensing Geometry                         | Shear                       | Shear                          |
| Housing Material                         | Anodized Aluminum           | Anodized Aluminum              |
| Sealing                                  | Epoxy                       | Epoxy                          |
| Size<br>(Height x Length x Width)        | 0.14 in x 0.45 in x 0.25 in | 3.6 mm x 11.4 mm x 6.4 mm      |
| Weight                                   | 0.017 oz                    | 0.5 gm                         |
| Electrical Connector                     | 3-56 Coaxial Jack           | 3-56 Coaxial Jack              |
| Electrical Connection Position           | Side                        | Side                           |
| Mounting                                 | Adhesive                    | Adhesive                       |

## EK-4 İHT-EEİ Deney Düzenegini Oluşturan Parçaların Kütelleri

Çizelge 4.1. Sarsıcıya bağlı parçaların kütelleri (İHT-EEİ)

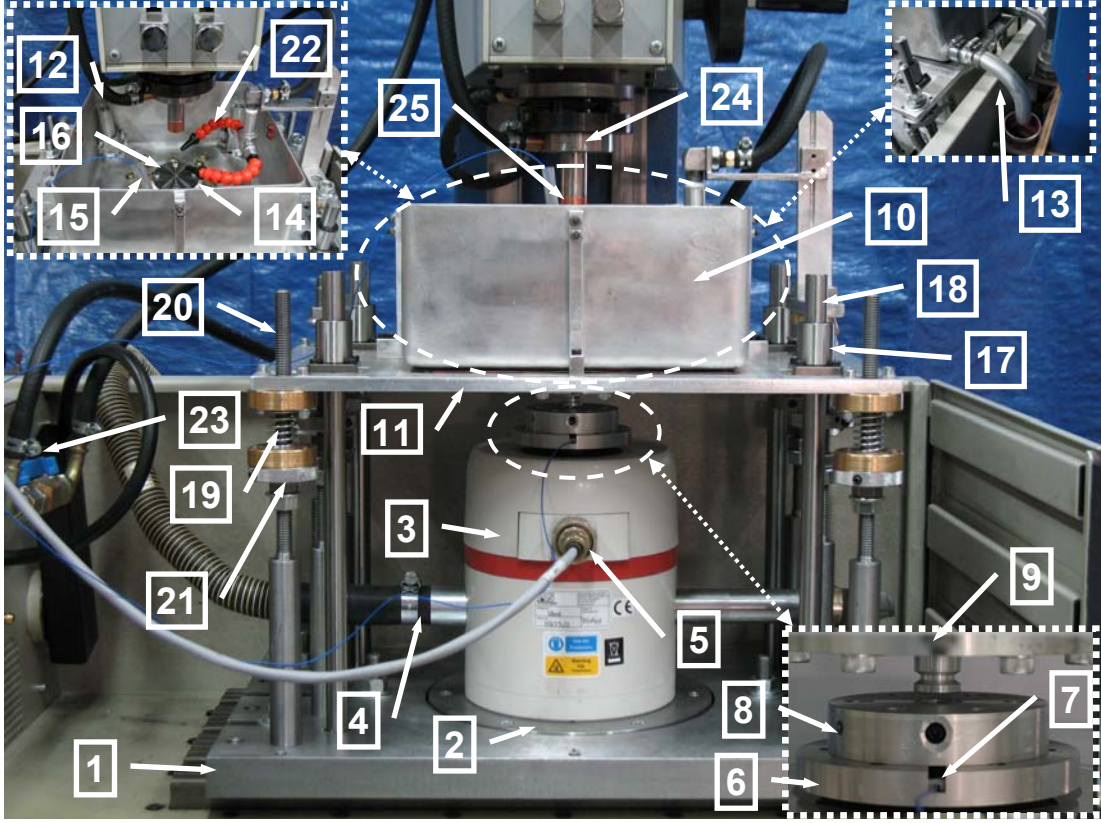
| PARÇA ADI                              | BİRİM KÜTLE<br>(gram) | ADEDİ | TOPLAM KÜTLE<br>(gram) |
|--|-----------------------|-------|------------------------|
| Sarsıcı başlığı                        | 155,827               | 1     | 155,827                |
| M5 imbus civata L=12 mm                | 1,476                 | 6     | 8,853                  |
| İvmeölçer                              | 1,500                 | 1     | 1,500                  |
| Sarsıcı-işleme haznesi bağlantı yatağı | 133,375               | 1     | 133,375                |
| M5 imbus civata L=21 mm                | 3,519                 | 6     | 21,116                 |
| M5 setskur civata L=16 mm              | 1,634                 | 3     | 4,901                  |
| TOPLAM KÜTLE (gram)                    |                       |       | 325,572                |

## EK-4 (Devam) İHT-EEİ Deney Düzeneğini Oluşturan Parçaların Kütleleri

Çizelge 4.2. İşleme haznesi ve üzerinde bağlı parçaların kütleleri (İHT-EEİ)

| PARÇA ADI                       | BİRİM KÜTLE (gram)     | ADEDİ | TOPLAM KÜTLE (gram) |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------------|
| İşparçası                       | 113,000                | 1     | 113,000             |
| İşparçası bağlama aparatı       | 127,447                | 1     | 127,447             |
| Al boru                         | 1,260                  | 1     | 1,260               |
| Al kapak, o-ring                | 15,260                 | 1     | 15,260              |
| M3 imbus cıvata L=13 mm         | 0,829                  | 4     | 3,315               |
| M4 kelebek somun                | 0,705                  | 4     | 2,820               |
| M4 setskur cıvata L=18 mm       | 1,131                  | 4     | 4,523               |
| M3 setskur cıvata L=6 mm        | 0,193                  | 4     | 0,773               |
| M4 imbus cıvata L=18 mm         | 1,911                  | 4     | 7,643               |
| Plastik hortum                  | 9,068                  | 1     | 9,068               |
| İvmeölçer                       | 1,500                  | 1     | 1,500               |
| İşleme haznesi alt tablası      | 3300,000               | 1     | 3300,000            |
| İşleme haznesi                  | 850,000                | 1     | 850,000             |
| Hazne destekleri                | 35,400                 | 4     | 141,600             |
| M4 imbus cıvata L=20 mm         | 2,300                  | 8     | 18,400              |
| M4 imbus cıvata L=26 mm         | 2,700                  | 8     | 21,600              |
| M4 somun                        | 0,705                  | 16    | 11,276              |
| M4 pul                          | 0,310                  | 16    | 4,960               |
| Arka tahliye yolluk boruları    | 19,552                 | 2     | 39,103              |
| Lineer rulman                   | 134,000                | 4     | 536,000             |
| M4 imbus cıvata L=14 mm         | 1,700                  | 16    | 27,200              |
| İşleme haznesi alt kılavuz pimi | 312,327                | 1     | 312,327             |
| M6 imbus cıvata L=26 mm         | 6,044                  | 6     | 36,264              |
| Statik yük dengeleyici yay      |                        |       |                     |
| M5 pul                          | 0,425                  | 16    | 6,794               |
| M5 cıvata L=35mm                | 5,260                  | 8     | 42,080              |
| M5 somun L=35mm                 | 1,030                  | 8     | 8,240               |
| Gazyağı                         | 0,81 g/cm <sup>3</sup> | 4 lt  | 3240,000            |
| TOPLAM KÜTLE (gram)             |                        |       | 8882,453            |

## EK-5 İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 5.1. İHT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları

### 1. Düzenek alt tablası (Resim 5.2)

Konumu: Tezgahın alt tablasına özel üretilmiş T-kanala uygun 6 adet M12 civata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: St52 Platina levha

Görevi: Yüzeyine BSD dik işleme merkezinde işlenmiş delikler sayesinde lineer rulmanlar ile kullanılan kılavuz millere, statik yük dengeleyici vidalı kılavuz millere ve sarsıcı alt plakasına eş eksenli yataklama yapmak.

## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 5.2. Düzenek alt tablası

### 2. Sarsıcı alt plakası (Resim 5.3)

Konumu: Sarsıcı ünite altına 3 adet havşa başlı M10 civata ile sabitlenmiş olan plaka, düzenek alt tablasında BSD dik işleme merkezinde işlenmiş dairesel yuvaya 6 adet M6 civata ile bağlanmıştır.

Malzeme: St52 Platina levha

Görevi: Sarsıcı üniteyi düzenek alt tablasına kılavuz miller ile eş eksenli olarak sabitlemek.



Resim 5.3. Sarsıcı alt plakası

## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 3. Sarsıcı (Resim 5.3)

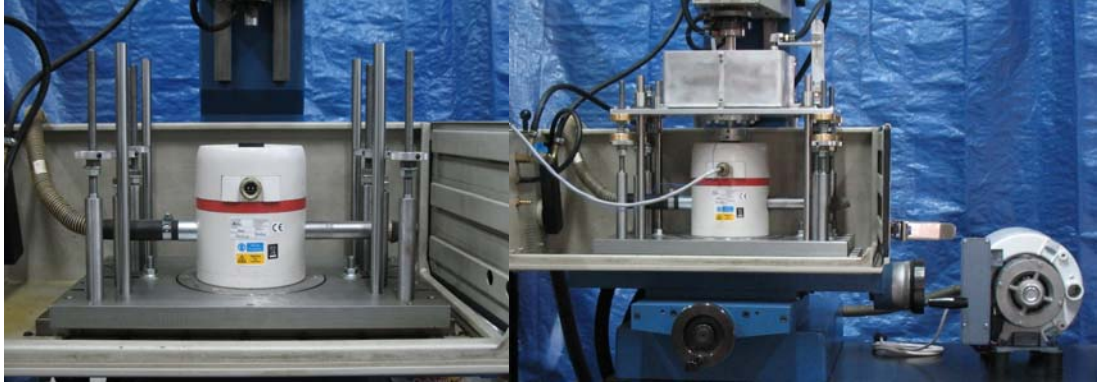
Konumu: Sarsıcı alt plakasına 3 adet havşa başlı M10 cıvata ile sabitlenmiştir.

Görevi: İşleme haznesine uygulanacak titreşimlerin üretilmesi.

### 4. Soğutucu fan bağlantısı (Resim 5.4)

Konumu: Sarsıcı ünitenin iki yanında bir emme ve bir tahliye bağlantısı

Görevi: Sarsıcı ünitenin hava emişi ile soğutulması.



Resim 5.4. Soğutucu fan bağlantısı

### 5. Sarsıcı-yükseltici bağlantı kablosu

Konumu: Sarsıcı ünitenin ön yüzeyinde

Görevi: Sarsıcı ünite ile yükseltici arasındaki bağlantının sağlanması.



## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 6. Sarsıcı başlığı (Resim 5.5)

Konumu: Sarsıcı ünitenin armatürü üzerine 6 adet M4 cıvata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: 6000 serisi Alüminyum

Görevi: İvmeölçer için yataklık yapmak ve sarsıcı üniteye sarsıcı-işleme haznesi bağlantı yatağının bağlanabilmesini sağlamak.

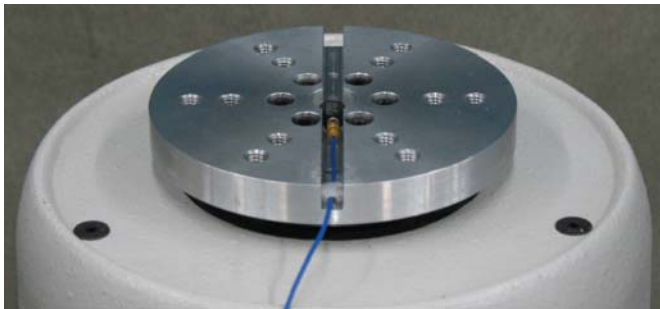
### 7. İvmeölçer (titreşim sinyalinin kontrolü için) (Resim 5.6)

Konumu: Sarsıcı başlığı üzerine özel bir yapıştırıcı ile sabitlenmiştir.

Görevi: Sarsıcı ünite tarafından üretilen titreşimlerin profillerinin ölçülerek sürücü sinyal profili ile kıyaslanmasını sağlamak.



Resim 5.5. Sarsıcı başlığı



Resim 5.6. İvmeölçer (titreşim sinyalinin kontrolü için)

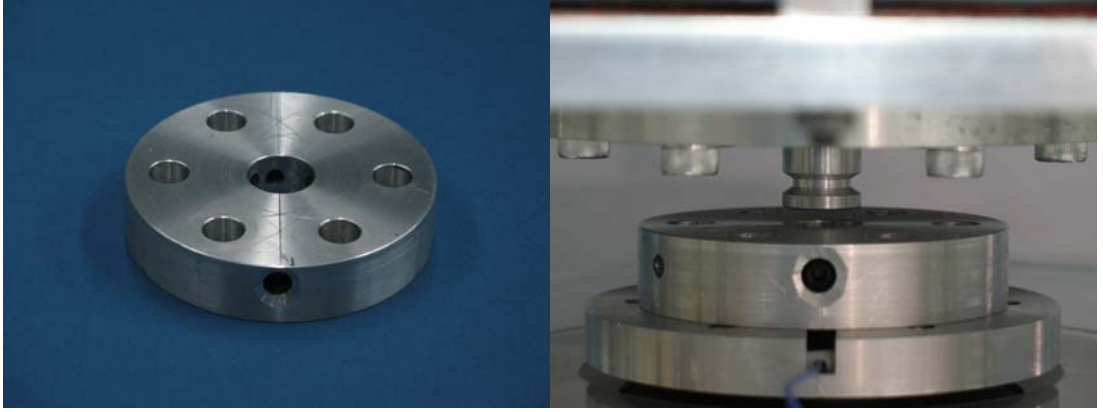
## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 8. Sarsıcı-işleme haznesi bağlantı yatağı (Resim 5.7)

Konumu: Sarsıcı başlığı üzerine 6 adet M5 cıvata ile sabitlenmiştir. Ayrıca titreşimli işleme deneyleri sırasında titreşim eksenine dik eksende içerisine işlenmiş olan 3 adet M5 diş kanalı kullanılarak işleme haznesi alt kılavuz pimine setskur cıvata ile bağlanmaktadır.

Malzeme: 6000 serisi Alüminyum

Görevi: Titreşimli işleme deneyleri sırasında Sarsıcı ile işleme haznesi arasında çözülebilir bağlantı için kullanılan işleme haznesi alt kılavuz pimine yataklık yapmak ve çözülebilir bağlantıyı sağlamak.



Resim 5.7. Sarsıcı-işleme haznesi bağlantı yatağı

### 9. İşleme haznesi alt kılavuz pimi (Resim 5.8)

Konumu: İşleme haznesi alt tablası alt yüzeyine 6 adet M6 cıvata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: 7000 serisi Alüminyum

Görevi: İşleme haznesi ile sarsıcı arasında çözülebilir bağlantı sağlamak.

## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



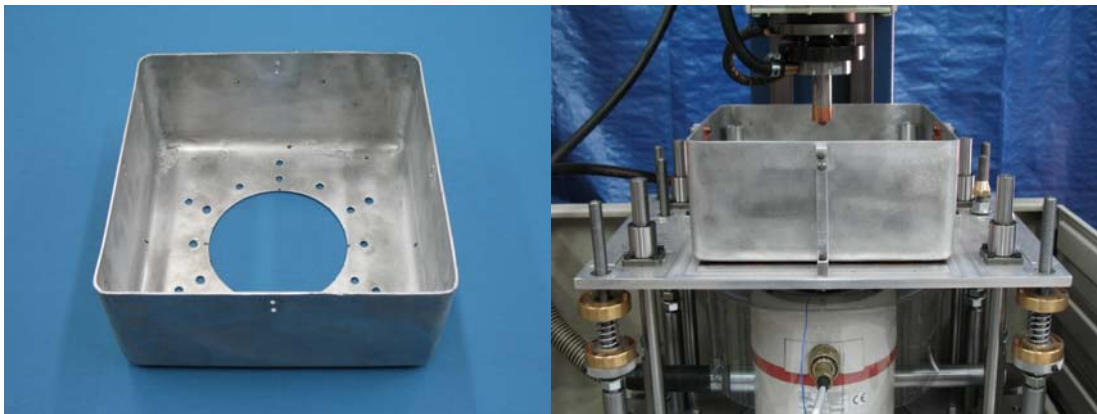
Resim 5.8. İşleme haznesi alt kılavuz pimi

### 10. İşleme haznesi (Resim 5.9)

Konumu: İşleme haznesi alt tablası üzerine sabitlenmiştir.

Malzeme: Alüminyum

Görevi: İşleme ortamındaki dielektrik sıvı havuzunu oluşturmak.



Resim 5.9. İşleme haznesi

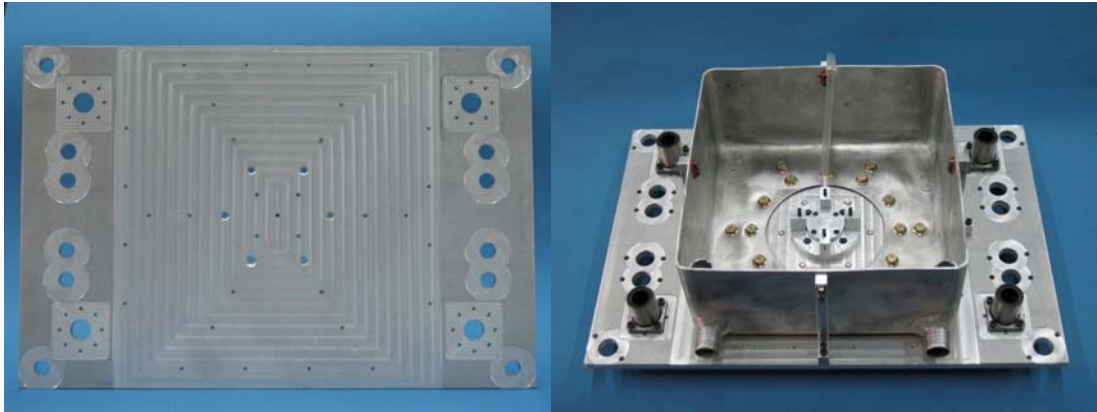
## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 11. İşleme haznesi alt tablası (Resim 5.10)

Konumu: Dielektrik sızdırmazlığı sağlamak amacı ile işleme haznesi alt yüzeyine 1 mm kalınlığında nitril conta ve kırmızı sıvı silikon conta kullanılarak 18 adet M6 civata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: 5000 serisi Alüminyum

Görevi: Lineer rulmanları, işleme haznesini ve işparçası bağlama aparatını taşımak, sarsıcı ünite ile olan bağlantıda kullanılan kılavuz pimini taşımak, titreşimsiz işleme deneyleri sırasında vidalı kılavuz miller ile işleme haznesinin hareketsiz bağlantısını sağlamak.



Resim 5.10. İşleme haznesi alt tablası

### 12. Dielektrik sıvı seviye kontrol borusu (Resim 5.11)

Konumu: İşleme haznesi

Malzeme: Alüminyum

Görevi: Dielektrik sıvının belirli bir seviyede kalmasını sağlamak.

## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 13. Dielektrik sıvı tahliye borusu ve kanalı (Resim 5.11)

Konumu: İşleme haznesi

Malzeme: Alüminyum

Görevi: Dielektrik sıvının tezgah tankına boşaltılmasını sağlamak.



Resim 5.11. Dielektrik sıvı seviye kontrol ve tahliye borusu

### 14. İşparçası bağlama aparatı (Resim 5.12)

Konumu: İşleme haznesi alt tablası üzerine 4 adet M4 civata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: 6000 serisi Alüminyum

Görevi: İşparçasının her deneyde aynı konumda bağlanabilmesini sağlamak ve ivmeölçer için yataklık yapmak.

## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 15. İvmeölçer (işparçasına yansıyan titreşimlerin izlenmesi için) (Resim 5.12)

Konumu: İşparçası bağlama aparatı içerisindeki kanala özel bir yapıştırıcı ile sabitlenmiştir.

Görevi: Sarsıcı ünite tarafından üretilen ve işparçasına iletilen titreşimlerin izlenebilmesini sağlamak.

### 16. İşparçası (Resim 5.12)

Konumu: İşparçası bağlama aparatı üzerinde M4 setskur civata-somun bağlantısı ile sabitlenmiştir.

### 17. Lineer rulman (Resim 5.13)

Konumu: İşleme haznesi alt tablası üzerinde 4 adet M4 civata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: Ürün standardı (SAMICK LMK16UU)

Görevi: İşleme haznesi alt tablasının kılavuz mil üzerinde hassas ve kolay şekilde hareket etmesini sağlamak.

### 18. Kılavuz mil (Resim 5.13)

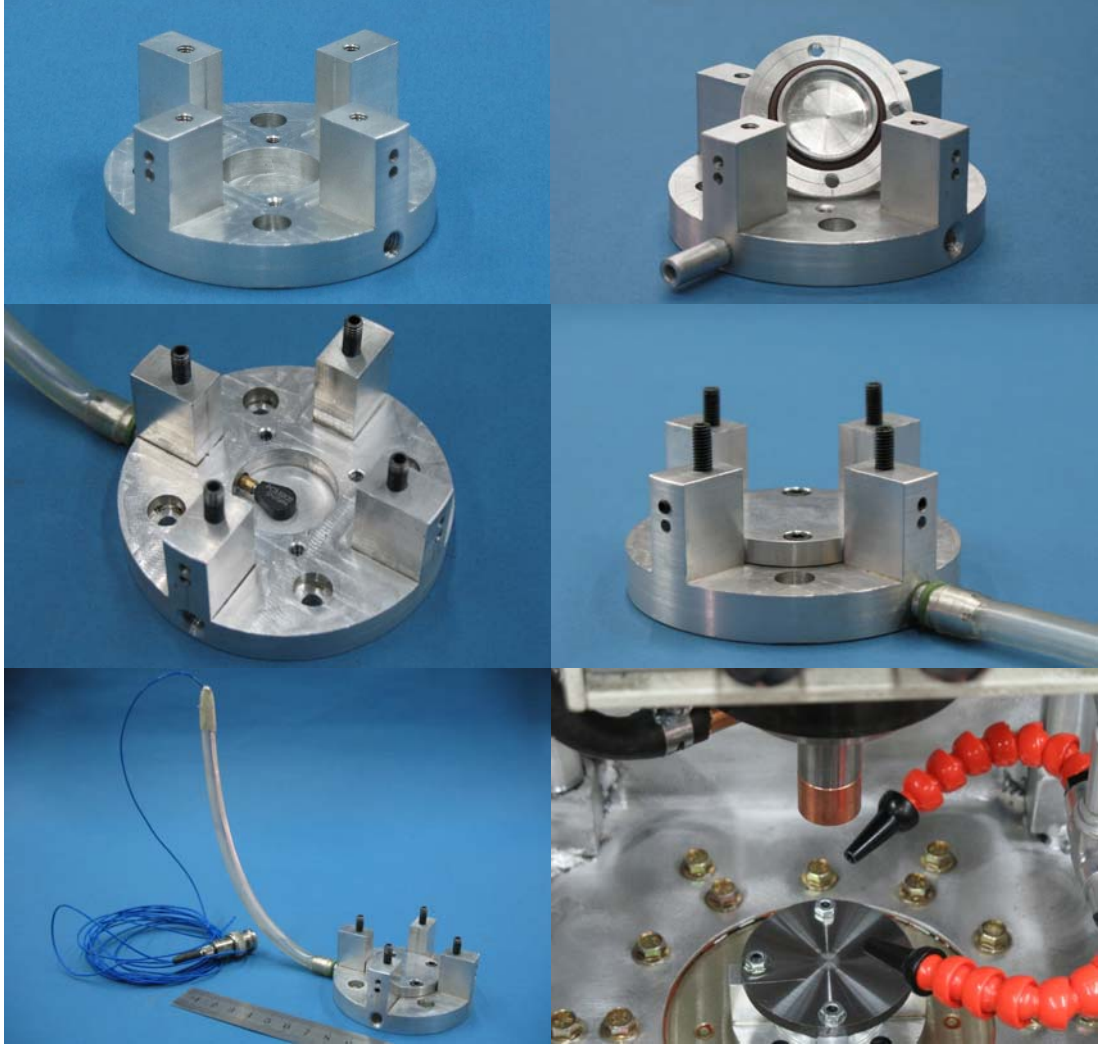
Konumu: Düzenek alt tablasına 1 adet M4 civata kullanılarak sabitlenmiştir.

Malzeme: Yüzeyi sertleştirilmiş ve taşlanmış çelik

Görevi: İşleme haznesinin ve işparçasının bağlı olduğu işleme haznesi alt tablasının titreşim eksenini ile paralel doğrultuda hassas bir şekilde hareket etmesini sağlamak amacı ile kullanılan lineer rulmanlara kılavuzluk yapmak.



### EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 5.12. İşparçası bağlama aparatı



Resim 5.13. Lineer rulman ve kılavuz mil

## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 19. Statik yük dengeleyici yay (Resim 5.14)

Konumu: Vidalı kılavuz mil üzerindeki yükseklik ayar somunu ile işleme haznesi alt tablasına 4 adet M5 cıvata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: Paslanmaz yay çeliği

Görevi: İşleme haznesi alt tablasına bağlı bütün parçaların ve dielektrik sıvının ağırlığını dengeleyerek sarsıcıya statik yük bindirmemek.

### 20. Vidalı kılavuz mil (Resim 5.14)

Konumu: Düzenek alt tablasına vidalanarak sabitlenmiştir.

Malzeme: Otomat çeliği

Görevi: İşleme haznesi yükseklik pozisyonunun ayarlanmasını ve titreşimsiz işleme deneyleri sırasında işleme haznesinin hareketsiz bağlantısını sağlamak.

### 21. Yükseklik ayar somunu (Resim 5.14)

Konumu: Vidalı kılavuz mil üzerindedir.

Malzeme: Ç1040

Görevi: İşleme haznesi yükseklik pozisyonunun ayarlanmasını ve titreşimsiz işleme deneyleri sırasında işleme haznesinin hareketsiz bağlantısını sağlamak.

### 22. Dielektrik uygulama borusu (Resim 5.15)

Konumu: İşleme haznesi içerisindedir.

Malzeme: Plastik

Görevi: İşleme sırasında ortama yanal dielektrik uygulaması yapmak.



## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 23. Dielektrik sıvı hortumu ve vanası

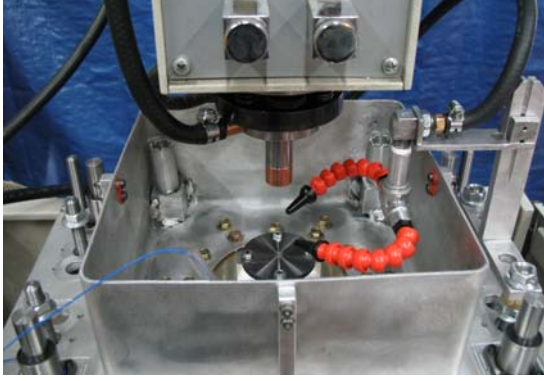
Konumu: Tezgah işleme haznesi içerisinde dir.

Görevi: Dielektrik sıvı debisini ayarlamak ve işleme ortamına iletmek.



Resim 5.14. Statik yük dengeleyici yay ve vidalı kılavuz mil

## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 5.15. Dielektrik uygulama borusu

### 24. Elektrot bağlama aparatı (Resim 5.16)

Konumu: Tezgah başlığına sabitlenmiştir.

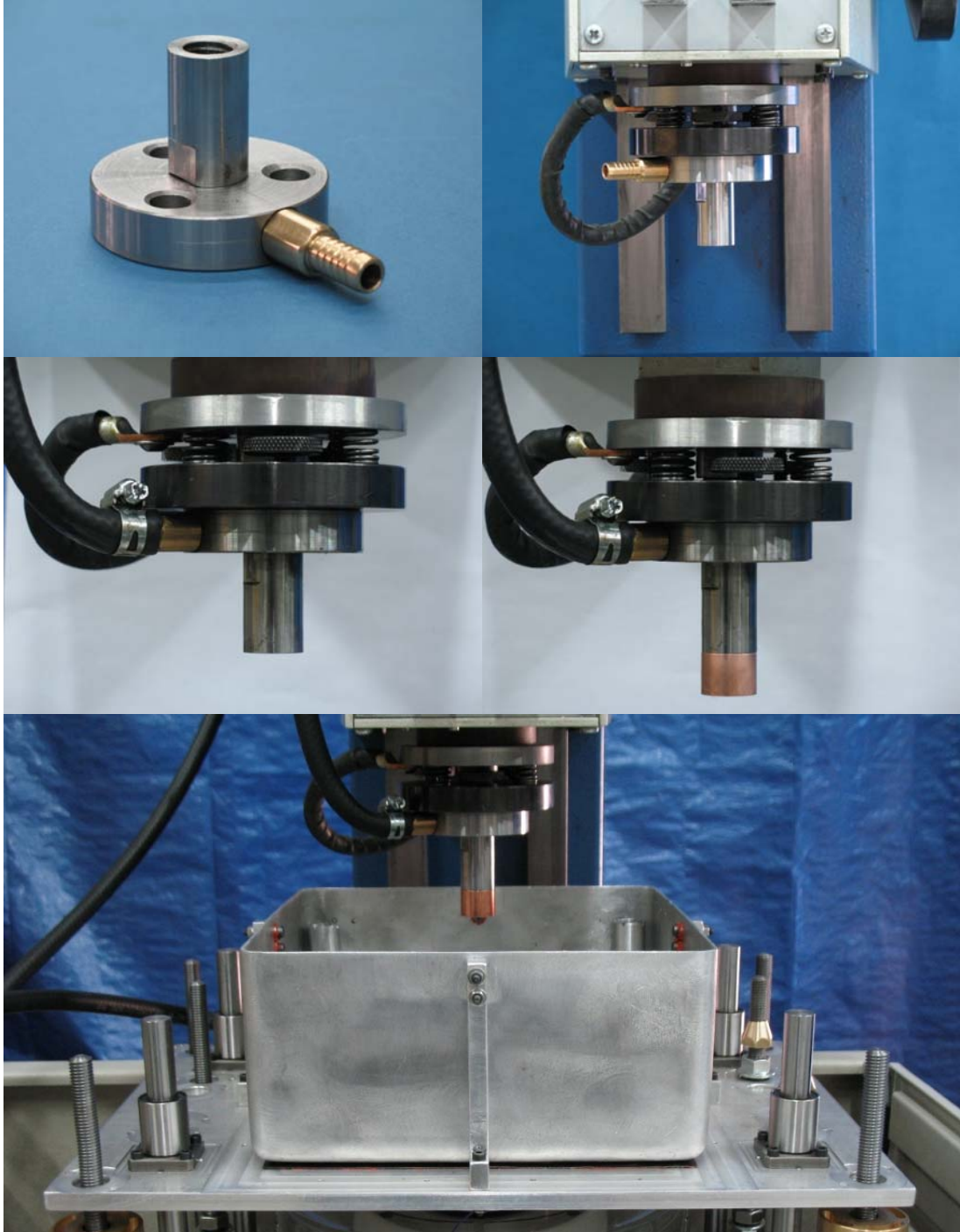
Malzeme: Ç1040

Görevi: Elektrotların deneylerde aynı konumda bağlanabilmesini sağlamak.

### 25. Elektrot (Resim 5.16)

Konumu: Elektrot bağlama aparatı ucundaki yuvaya vidalanmıştır.

## EK-5 (Devam) İHT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 5.16. Elektrot bağlama aparatı

## EK-6 İT-EEİ Deney Düzenegini Oluşturan Parçaların Kütelleri

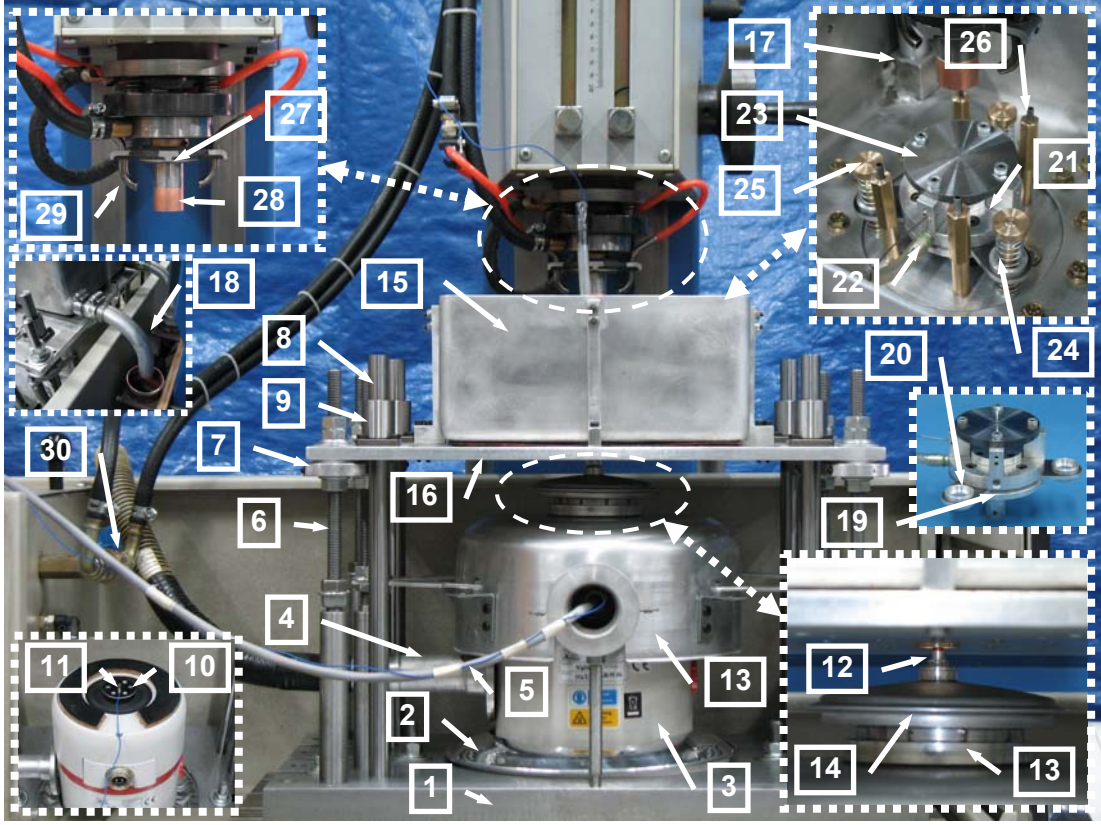
Çizelge 6.1. Sarsıcıya bağlı parçaların kütelleri (İT-EEİ)

| PARÇA ADI               | BİRİM KÜTLE (gram) | ADEDİ | TOPLAM KÜTLE (gram) |
|-------------------------|--------------------|-------|---------------------|
| Sarsıcı Başlığı         | 33,176             | 1     | 33,176              |
| O-ring                  | 0,418              | 1     | 0,418               |
| Sarsıcı Başlığı somunu  | 2,222              | 1     | 2,222               |
| Koruyucu kapak          | 40,967             | 1     | 40,967              |
| İvmeölçer alt plakası   | 4,666              | 1     | 4,666               |
| İvmeölçer               | 1,500              | 1     | 1,500               |
| M4 imbus civata L=18 mm | 1,961              | 6     | 11,763              |
| İzolasyon somunu        | 0,810              | 1     | 0,810               |
| TOPLAM KÜTLE (gram)     |                    |       | 95,522              |

Çizelge 6.2. İşparçası bağlama aparatı ve buna bağlı parçaların kütelleri (İT-EEİ)

| PARÇA ADI                                 | BİRİM KÜTLE (gram) | ADEDİ | TOPLAM KÜTLE (gram) |
|---|--------------------|-------|---------------------|
| İşparçası                                 | 113,000            | 1     | 113,000             |
| İşparçası bağlama aparatı                 | 127,447            | 1     | 127,447             |
| Al boru                                   | 1,260              | 1     | 1,260               |
| Al kapak, o-ring                          | 15,260             | 1     | 15,260              |
| M3 imbus civata L=13 mm                   | 0,829              | 4     | 3,315               |
| M4 somun                                  | 0,705              | 4     | 2,820               |
| M4 setskur civata L=18 mm                 | 1,131              | 4     | 4,523               |
| M3 setskur civata L=6 mm                  | 0,193              | 4     | 0,773               |
| M4 imbus civata L=17 mm                   | 1,879              | 4     | 7,516               |
| Plastik hortum                            | 9,068              | 1     | 9,068               |
| İvmeölçer                                 | 1,500              | 1     | 1,500               |
| Yay destek plakası                        | 25,547             | 1     | 25,547              |
| Yay kılavuz yuvası                        | 3,503              | 3     | 10,510              |
| İş Bağlama-Sarsıcı Başlığı Bağlantı Diski | 66,339             | 1     | 66,339              |
| M3 setskur civata L=4 mm                  | 0,154              | 3     | 0,463               |
| TOPLAM KÜTLE (gram)                       |                    |       | 561,323             |

## EK-7 İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 7.1. İT-EEİ tekniği deney düzeneği parçaları

### 1. Düzenek alt tablası (Resim 7.2)

**Konumu:** Tezgahın alt tablasına özel üretilmiş T-kanala uygun 6 adet M12 civata ile sabitlenmiştir.

**Malzeme:** St52 Platina levha

**Görevi:** Yüzeyine BSD dik işleme merkezinde işlenmiş delikler sayesinde lineer rulmanlar ile kullanılan kılavuz millere, statik yük dengeleyici vidalı kılavuz millere ve sarsıcı alt plakasına eş eksenli yataklama yapmak.



## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 7. 2. Düzeneğek alt tablası

### 2. Sarsıcı alt plakası (Resim 7.3)

Konumu: Sarsıcı ünite altına 3 adet havşa bağlı M10 civata ile sabitlenmiş olan plaka, düzeneğek alt tablasında BSD dik işleme merkezinde işlenmiş dairesel yuvaya 6 adet M6 civata ile bağlanmıştır.

Malzeme: St52 Platina levha

Görevi: Sarsıcı üniteyi düzeneğek alt tablasına kılavuz miller ile eş eksenli olarak sabitlemek.



Resim 7.3. Sarsıcı alt plakası

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 3. Sarsıcı (Resim 7.3)

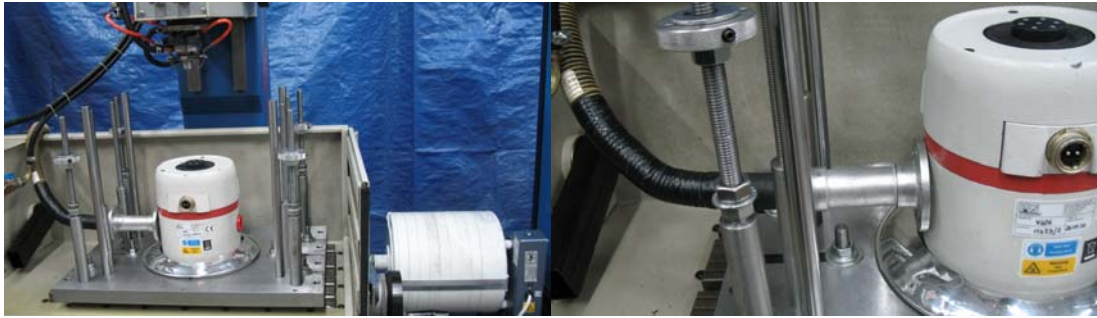
Konumu: Sarsıcı alt plakasına 3 adet havşa başlı M10 cıvata ile sabitlenmiştir.

Görevi: İşparçasına uygulanacak titreşimlerin üretilmesi.

### 4. Soğutucu fan bağlantısı (Resim 7.4)

Konumu: Sarsıcı ünitenin iki yanında bir emme ve bir tahliye bağlantısı

Görevi: Sarsıcı ünitenin hava emişi ile soğutulması.



Resim 7.4. Soğutucu fan bağlantısı

### 5. Sarsıcı-yükseltici bağlantı kablosu

Konumu: Sarsıcı ünitenin ön yüzeyinde

Görevi: Sarsıcı ünite ile yükseltici arasındaki bağlantının sağlanması.

### 6. Vidalı kılavuz mil (Resim 7.5)

Konumu: Düzenek alt tablasına vidalanarak sabitlenmiştir.

Malzeme: Otomat çeliği

Görevi: İşleme haznesinin belirli bir konumda sabit olarak durmasını sağlamak, sarsıcı muhafaza elemanını sabitlemek.

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 7. Yükseklik ayar somunu (Resim 7.5)

Konumu: Vidalı kılavuz mil üzerindedir.

Malzeme: Ç1040

Görevi: İşleme haznesi yükseklik pozisyonunun ayarlanmasını sağlamak.



Resim 7.5. Vidalı kılavuz mil ve yükseklik ayar somunu



## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 8. Kılavuz mil (Resim 7.6)

Konumu: Düzenek alt tablasına 1 adet M4 cıvata kullanılarak sabitlenmiştir.

Malzeme: Yüzeyi sertleştirilmiş ve taşlanmış çelik

Görevi: İşleme haznesinin ve bağlı olduğu işleme haznesi alt tablasının dikey doğrultuda titreşim eksenini ile paralel olarak hassas bir şekilde konumlandırılmasını sağlamak için lineer rulmanlara kılavuzluk yapmak.

### 9. Lineer rulman (Resim 7.6)

Konumu: İşleme haznesi alt tablası üzerinde 4 adet M4 cıvata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: Ürün standardı (SAMICK LMK16UU)

Görevi: İşleme haznesinin ve bağlı olduğu işleme haznesi alt tablasının dikey doğrultuda titreşim eksenini ile paralel olarak hassas ve kolay şekilde konumlandırılmasını sağlamak.

### 10. İvmeölçer alt plakası (Resim 7.7)

Konumu: Sarsıcı ünitenin armatürü ile sarsıcı başlığı arasında sabitlenmiştir.

Malzeme: 6000 serisi Alüminyum

Görevi: İvmeölçerin sarsıcı ünitenin armatürü üzerine bağlanabilmesini sağlamak.

### 11. İvmeölçer (titreşim sinyalinin kontrolü için) (Resim 7.8)

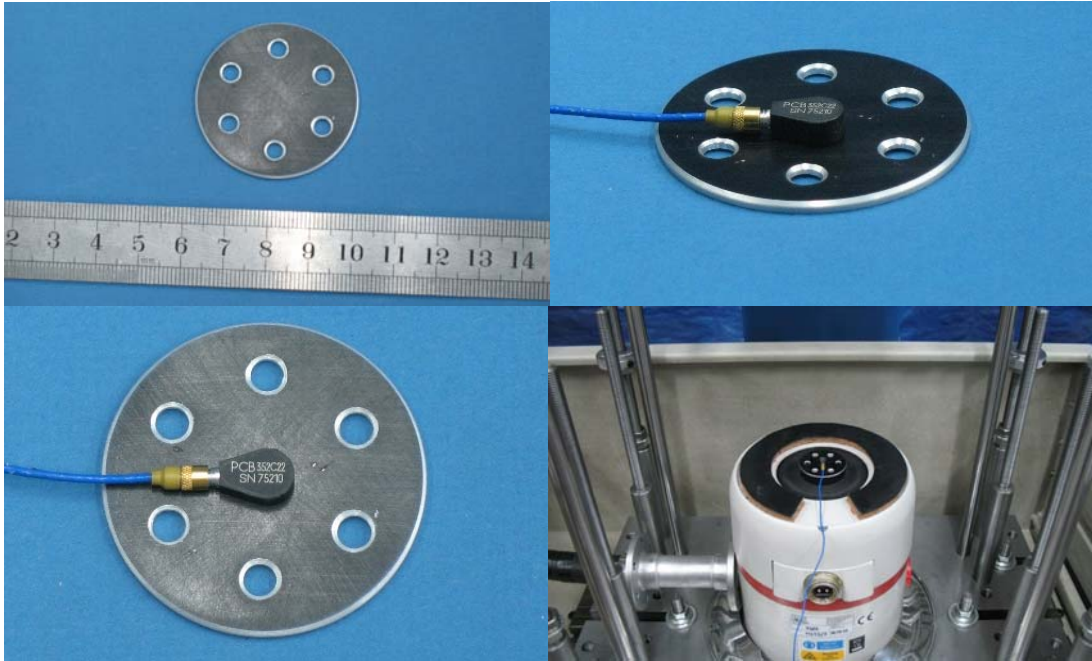
Konumu: İvmeölçer alt plakasına özel bir yapıştırıcı ile sabitlenmiştir.

Görevi: Sarsıcı ünite tarafından üretilen titreşimlerin profillerinin ölçülerek sürücü sinyal profili ile kıyaslanmasını sağlamak.

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

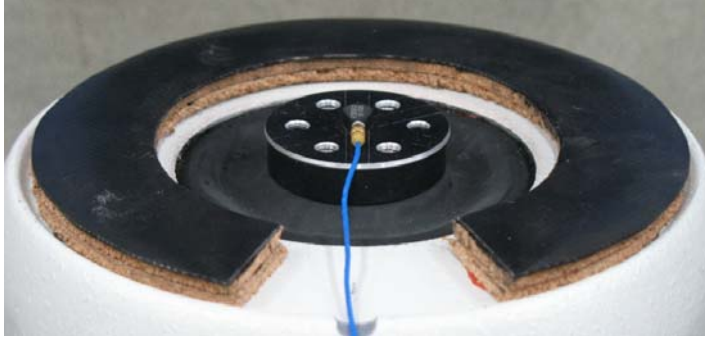


Resim 7.6. Lineer rulman ve kılavuz mil



Resim 7.7. Mini ivmeölçer alt plakası

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 7.8. İvmeölçer (titreşim sinyalinin kontrolü için)

### 12. Sarsıcı başlığı (Resim 7.9)

Konumu: Sarsıcı ünitenin armatürüne ivmeölçer alt plakası üzerinde 6 adet M4 cıvata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: 6000 serisi Alüminyum

Görevi: Sarsıcı ünite ile işparçası bağlama aparatı ve dolayısı ile işparçası arasındaki mekanik bağlantıyı sağlamak.



Resim 7.9. Sarsıcı başlığı

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 13. Sarsıcı muhafaza elemanı (Resim 7.10)

Konumu: Vidalı kılavuz millere alüminyum bağlantı elemanları kullanılarak sarsıcı ünite üzerine oturacak pozisyonda sabitlenmiştir.

Malzeme: Alüminyum

Görevi: Sarsıcı üniteyi işleme haznesi alt tablasının ortasındaki delikten akan dielektrik sıvıdan korumak.



Resim 7.10. Sarsıcı muhafaza elemanı



## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 14. Koruyucu kapak (Resim 7.11)

Konumu: Sarsıcı başlığı üzerine vidalanarak sabitlenmiştir.

Malzeme: Alüminyum

Görevi: İşleme haznesi alt tablasının ortasındaki delikten akan dielektrik sıvıyı sarsıcı ünitenin armatürüne ulaşmadan sarsıcı muhafaza elemanı üzerine aktarmak.



Resim 7.11. Koruyucu kapak

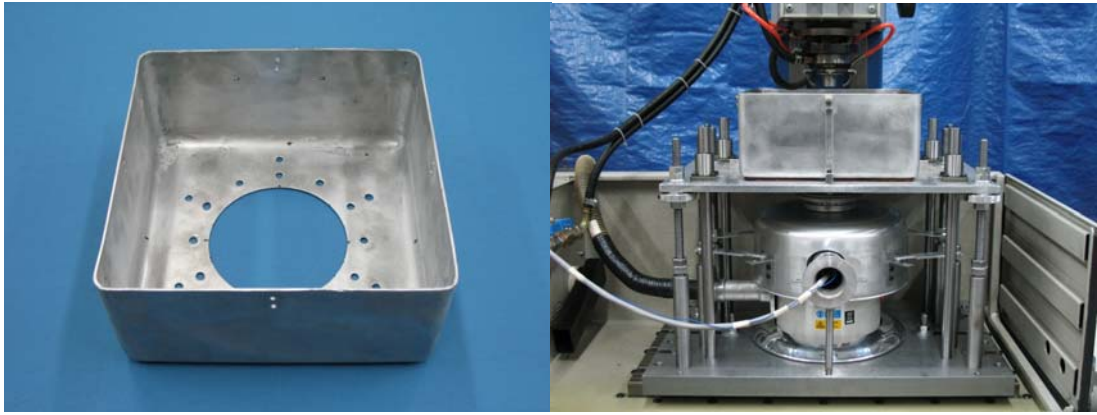
## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 15. İşleme haznesi (Resim 7.12)

Konumu: İşleme haznesi alt tablası üzerine sabitlenmiştir.

Malzeme: Alüminyum

Görevi: İşleme ortamındaki dielektrik sıvı havuzunu oluşturmak.



Resim 7.12. İşleme haznesi

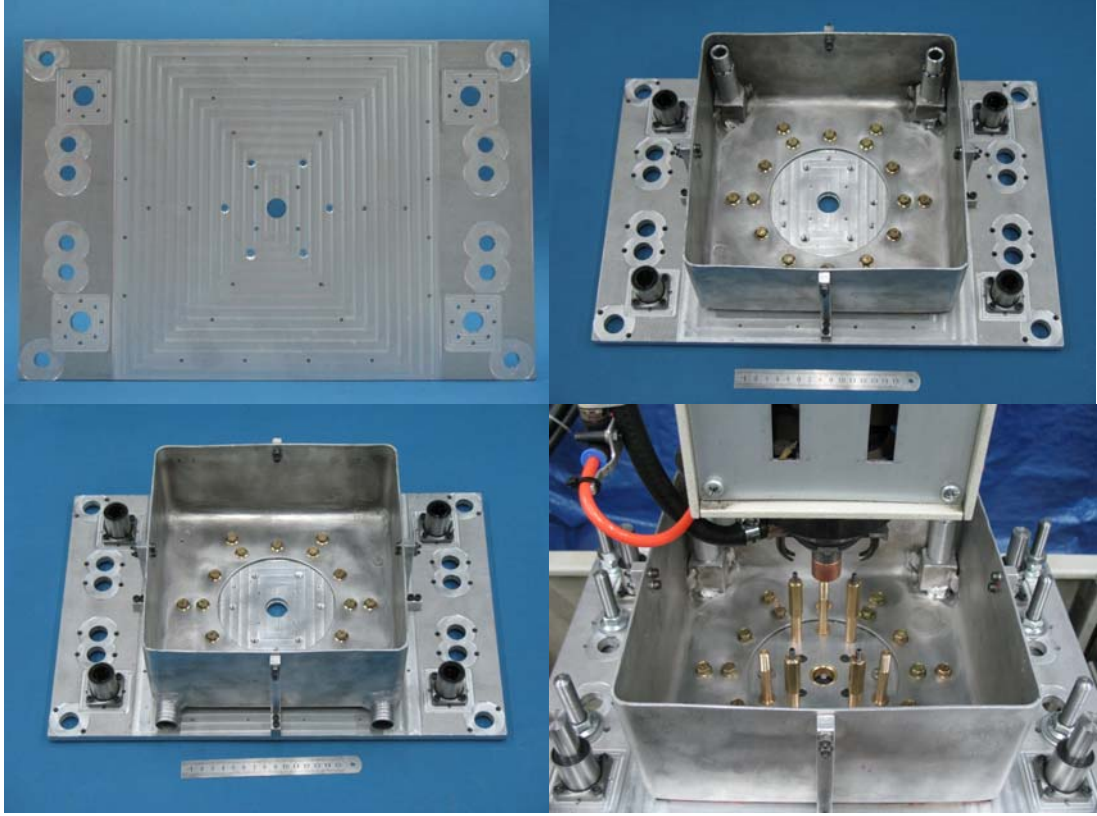
### 16. İşleme haznesi alt tablası (Resim 7.13)

Konumu: Dielektrik sızdırmazlığı sağlamak amacı ile işleme haznesi alt yüzeyine 1 mm kalınlığında nitril conta ve kırmızı sıvı silikon conta kullanılarak 18 adet M6 civata ile sabitlenmiştir.

Malzeme: 5000 serisi Alüminyum

Görevi: Lineer rulmanları, işleme haznesini, yay kılavuz millerini ve işparçası bağlama plakası destek millerini taşımak.

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 7.13. İşleme haznesi alt tablası

### 17. Dielektrik sıvı seviye kontrol borusu (Resim 7.14)

Konumu: İşleme haznesi

Malzeme: Alüminyum

Görevi: Dielektrik sıvının belirli bir seviyede kalmasını sağlamak.

### 18. Dielektrik sıvı tahliye borusu ve kanalı (Resim 7.14)

Konumu: İşleme haznesi

Malzeme: Alüminyum

Görevi: Dielektrik sıvının tezgah tankına boşaltılmasını sağlamak.

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



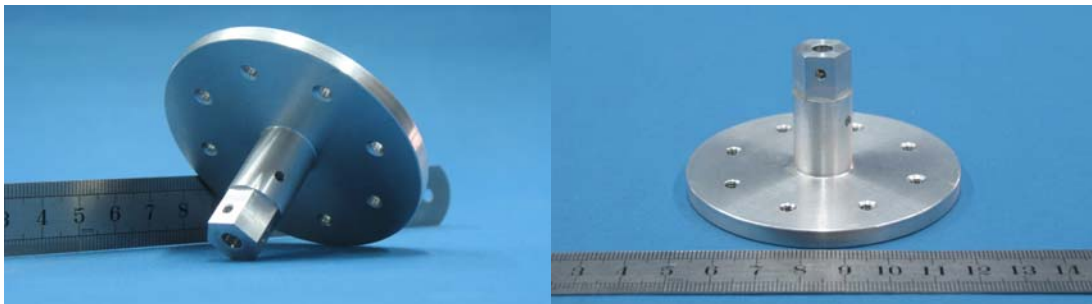
Resim 7.14. Dielektrik sıvı seviye kontrol ve tahliye borusu

### 19. İşparçası bağlama aparatı-sarsıcı başlığı bağlantı diskı (Resim 7.15)

Konumu: İşparçası bağlama aparatına yay destek plakasının altında M4 imbus civata ile sabitlenmiştir (Resim 7.19).

Malzeme: 6000 serisi Alüminyum

Görevi: İşparçası bağlama aparatı ile sarsıcı başlığı bağlantısını sağlamak.



Resim 7.15. İşparçası bağlama aparatı-sarsıcı başlığı bağlantı diskı



## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 20. Yay destek plakası (Resim 7.16)

Konumu: İşparçası bağlama aparatı ile bağlantı diski arasında sabitlenmiştir (Resim 7.19).

Malzeme: Alüminyum

Görevi: Yay destek yatakları ve yay kılavuz milleri yardımı ile sarsıcı üniteye etkileyen statik yükü statik yük dengeleyici yaylarla dengelemek.



Resim 7.16. Yay destek plakası

### 21. İşparçası bağlama aparatı (Resim 7.17)

Konumu: İşparçası bağlama aparatı-sarsıcı başlığı bağlantı diski üzerine yay destek plakası altında kalacak şekilde 4 adet M4 civata ile sabitlenmiştir (Resim 7.19).

Malzeme: 6000 serisi Alüminyum

Görevi: İşparçasının her deneyde aynı konumda bağlanabilmesini sağlamak ve ivmeölçer için yataklık yapmak.

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 22.İvmeölçer (işparçasına yansıyan titreşimlerin izlenmesi için) (Resim 7.17)

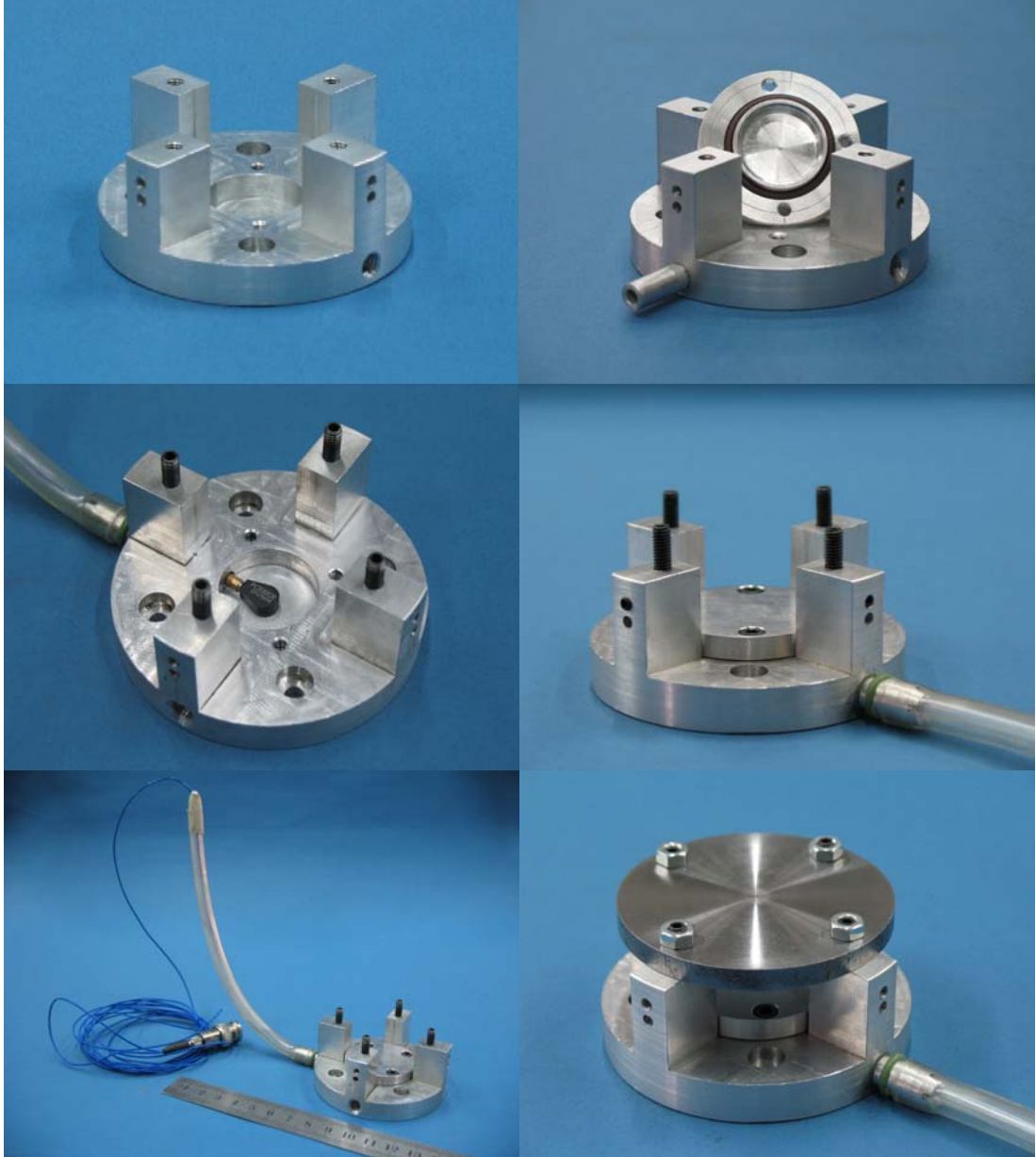
Konumu: İşparçası bağlama aparatı içerisindeki kanala özel bir yapıştırıcı ile sabitlenmiştir.

Görevi: Sarsıcı ünite tarafından üretilen ve işparçasına iletilen titreşimlerin izlenebilmesini sağlamak.

### 23.İşparçası (Resim 7.17)

Konumu: İşparçası bağlama aparatı üzerinde M4 setskur civata-somun bağlantısı ile sabitlenmiştir.

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 7.17. İşparçası bağlama aparatı, ivmeölçer, işparçası

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 24. Statik yük dengeleyici yay (Resim 7.18)

Konumu: Yay kılavuz mili üzerindeki ayar somunu ile yay destek plakası arasında ve yay destek plakası ile işleme haznesi alt tablası arasında sabitlenmiştir.

Malzeme: Paslanmaz yay çeliği

Görevi: İşparçası bağlama aparatı, yay destek plakası, bağlantı diski ve dielektrik sıvıdan kaynaklanacak ağırlığını dengeleyerek sarsıcı üniteye statik yük bindirmemek.

### 25. Yay kılavuz mili (Resim 7.18)

Konumu: İşleme haznesi alt tablası üzerine sabitlenmiştir.

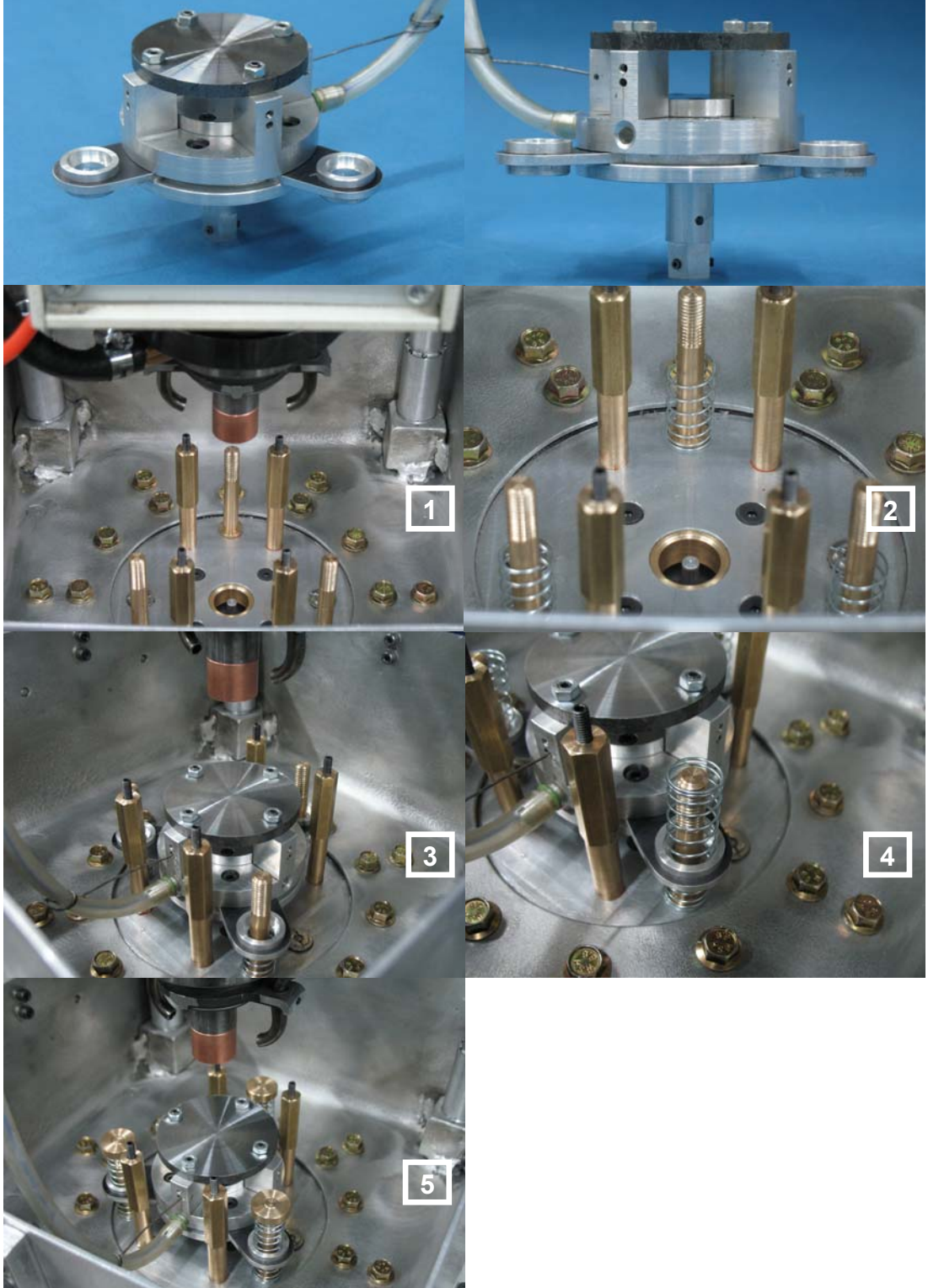
Malzeme: Pirinç

Görevi: Statik yük dengeleyici yaylara kılavuzluk etmek.



Resim 7.18. Statik yük dengeleyici yay ve kılavuz mili

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları



Resim 7.19. İşparçası-sarsıcı ünite bağlantısını sağlayan parçaların montajı



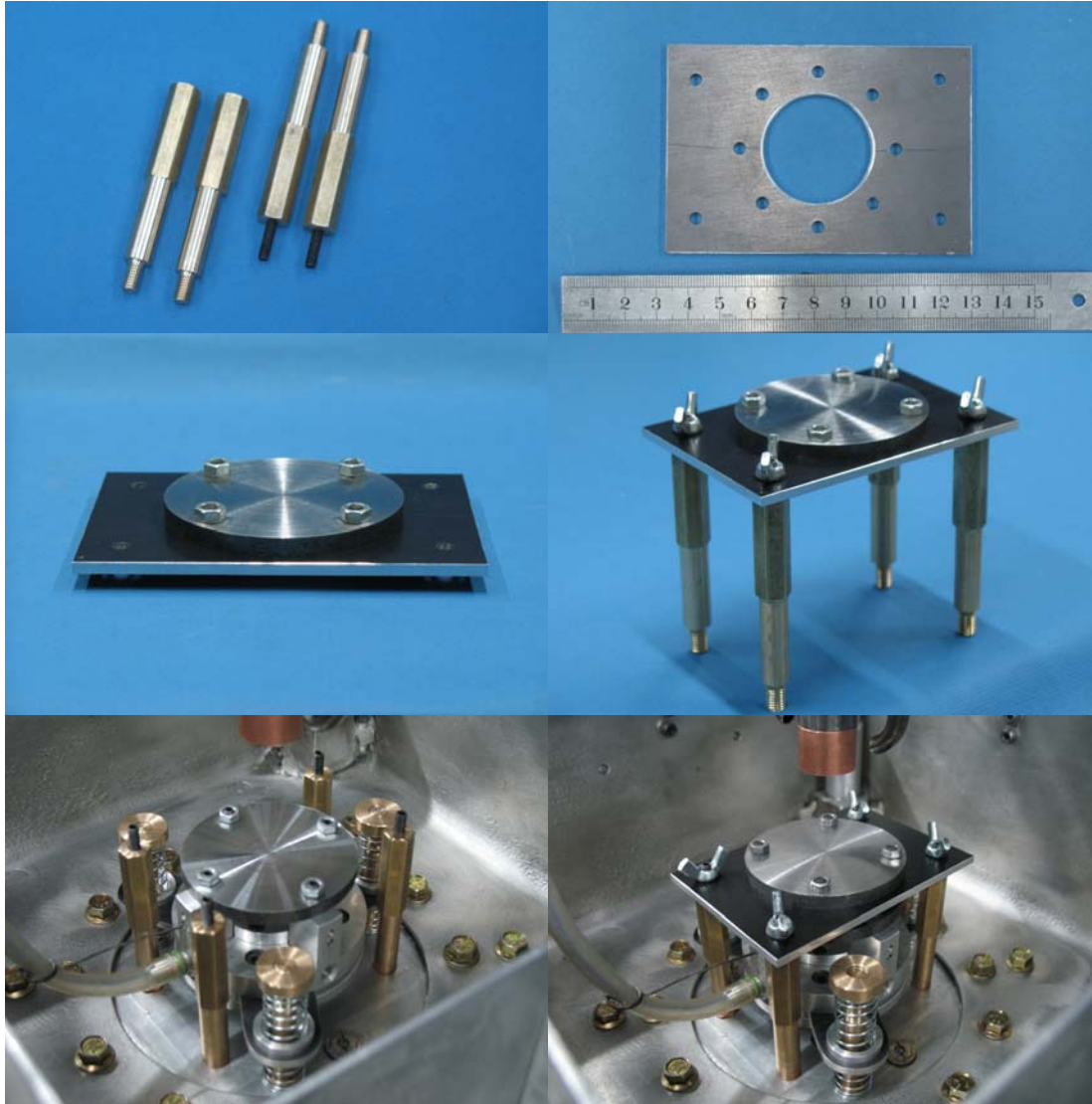
## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 26. İşparçası bağlama plakası destek mili (Resim 7.20)

Konumu: İşleme haznesi alt tablası üzerine vidalanmıştır.

Malzeme: Pirinç

Görevi: Titreşimsiz koşullarda yapılacak deneylerde işparçasının her deneyde aynı konumda bağlanabilmesi için kullanılan işparçası bağlama plakasını desteklemek.



Resim 7.20. İşparçası bağlama plakası destek mili

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 27. Elektrot bağlama aparatı (Resim 7.21)

Konumu: Tezgah başlığına sabitlenmiştir.

Malzeme: Ç1040

Görevi: Elektrotların deneylerde aynı konumda bağlanabilmesini sağlamak.

### 28. Elektrot (Resim 7.21)

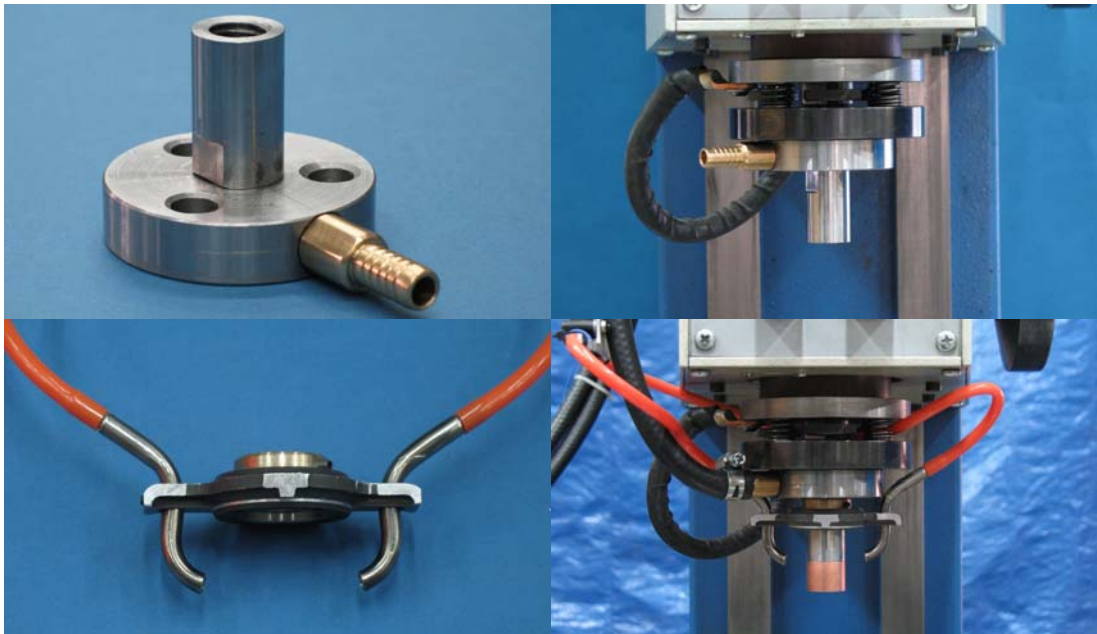
Konumu: Elektrot bağlama aparatı ucundaki yuvaya vidalanmıştır.

### 29. Yanal dielektrik uygulama borusu (Resim 7.21)

Konumu: Elektrot bağlama aparatına çevresel olarak sabitlenmiştir.

Malzeme: Paslanmaz çelik boru

Görevi: Dielektrik sıvının her deneyde yanal olarak aynı konumda uygulanabilmesini sağlamak.



Resim 7.21. Elektrot bağlama aparatı, elektrot, dielektrik uygulama borusu

## EK-7 (Devam) İT-EEİ Tekniği Deney Düzeneği Parçaları

### 30. Dielektrik sıvı hortumu ve vanası

Konumu: Tezgah işleme haznesi içeresindedir.

Görevi: Dielektrik sıvı debisini ayarlamak ve işleme ortamına iletmek.



## EK-8 Deney Sistematiği

### Titreşimsiz deneylerin yapılışı:

İHT-EEİ tekniği deney düzeneğinde titreşimsiz deneylerin yapılabilmesi için aşığıdaki listede verilmiş olan işlemler sırası ile gerçekleştirilir.

1. İşleme haznesinin ve işparçası bağlama aparatının bağlı olduğu işleme haznesi alt tablasının setskur civatalar aracılığı ile sarsıcı üniteye yapılmış olan bağlantısı çözülür.
2. İşleme haznesi alt tablası vidalı kılavuz millere somunlar aracılığı ile sabitlenir.
3. İşparçasının bağlama aparatına bağlanması ile gerekli tezgah ayarları yapılarak deneyler yapılır (Resim 8.1).

İT-EEİ tekniği deney düzeneğinde titreşimsiz deneylerin yapılabilmesi için aşığıdaki listede verilmiş olan işlemler sırası ile gerçekleştirilir.

1. İşparçası bağlama plakası üzerine civata somun bağlama elemanları ile işparçası bağlanır.
2. İşleme haznesi alt tablası üzerindeki işparçası bağlama plakası destek millerine işparçasının bağlı olduğu plaka bağlanır.
3. Gerekli tezgah ayarları yapılarak deneyler yapılır (Resim 8.2).

## EK-8 (Devam) Deneý Sistematiđi



Resim 8.1. İHT-EEİ tekniğinde kullanılan titreşimsiz işleme koşulları



Resim 8.2. İT-EEİ tekniğinde kullanılan titreşimsiz işleme koşulları

## EK-8 (Devam) Deney Sistematiği

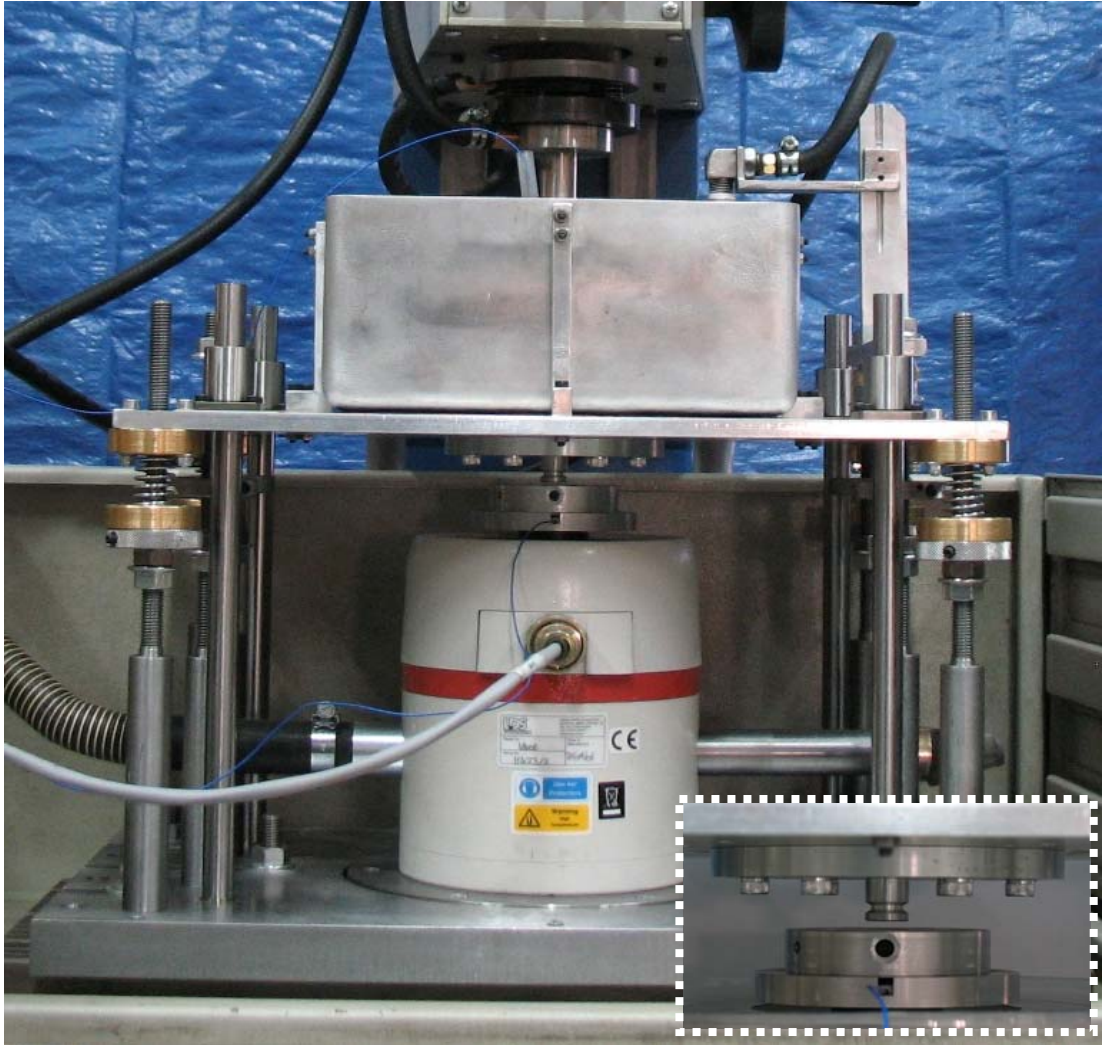
### Titreşimli deneylerin yapılışı:

İHT-EEİ ve İT-EEİ teknikleri deney dūzeneklerinde titreşimin uygulandığı deneylerde öncelikle sarsıcı ünite ile işleme haznesi veya işparçası arasında bulunan ve titreşim hareketini iletecek olan ara elemanların setskur civatalar kullanılarak bağlantısı gerçekteştirilir (Resim 8.3 ve Resim 8.4). Sarsıcı ünite ile ilgili bağlantılar gerçekteştirildikten sonra ikinci aşama olarak ivmeölçer, kontrolcü, bilgisayar, yükseltici ve soğutucu fan üniteleri arasındaki kablo bağlantıları yapılarak bu ünitelerin güç kaynakları aktif hale getirilerek çalışmaları sağlanır. Deney dūzeneđindeki bütün cihazlar çalışır duruma getirildikten sonra aşağıdaki listede verilmiş olan işlemler sırası ile gerçekteştirilerek titreşimli deneyler yapılıır.

1. İşparçası ve elektrot numuneleri bağlanır.
2. Deney dūzeneđine bađlı bilgisayarda yüklü olan LDS-Dactron Shaker Control System 6.1 programı açılır.
3. Açılan program ekranından yeni bir sinüs dalga tipi titreşim profili oluşturulması için "Create New Project and Default Settings" başlığı altındaki "Value Swept Sine" kısayolu tuşlanır (Şekil 8.1).
4. Açılan yeni bir sinyal profili tanımlama ekranınının (Şekil 8.2) sol tarafında bulunan kısayol tuşları kullanılarak sırası ile aşağıdaki parametreler tanımlanır.
  - i) sarsıcı ünite genel parametreleri (Şekil 8.3)
  - ii) veri toplama kanalları parametreleri (Şekil 8.4)
  - iii) sinyal kontrol parametreleri (Şekil 8.5)
  - iv) sinyal profil parametreleri (Şekil 8.6)
  - v) sinyal sürücü parametreleri (Şekil 8.7)
5. Kontrolcü ünite parametreleri tanımlandıktan sonra tezgah işleme parametreleri de ayarlanır.

### EK-8 (Devam) Deney Sistematiği

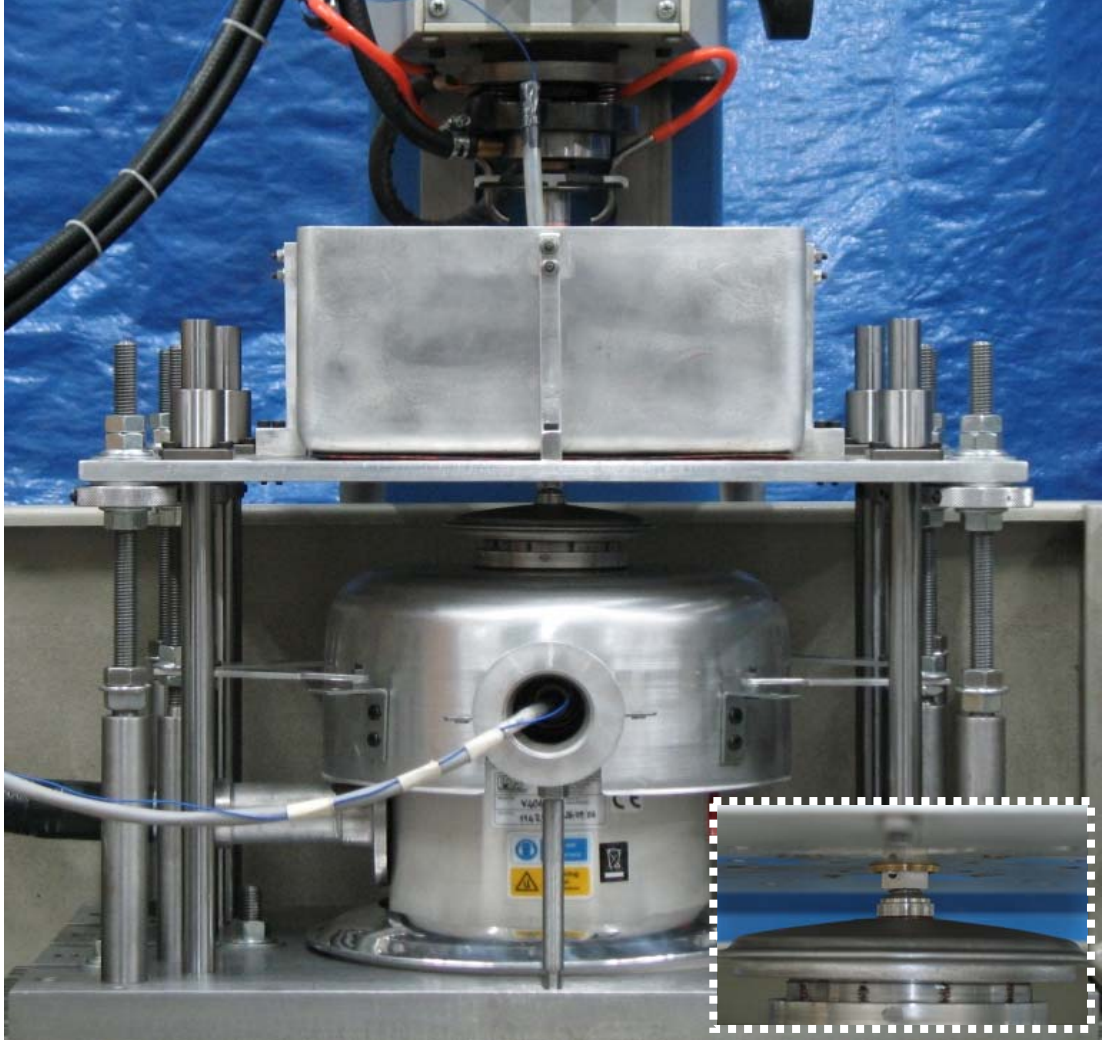
6. Tanımlanmış sinyal profili kontrolcü bilgisayar programı aracılığı ile sarsıcı üniteyi sürmesi için çalıştırılır.
7. Titreşimin üretilmeye başlaması ile tezgah işleme konumuna alınarak titreşimli deneyler başlatılmış olur.
8. Deneylerin başlatılması ile kontrolcü program periyodik olarak sinyal karakteristik verilerini kaydederken operatör tarafından da anlık titreşim verileri kaydedilir (Şekil 8.8 ve Şekil 8.9).



Resim 8.3. Sarsıcı ünite ile işleme haznesi arasındaki bağlantı (İHT-EEİ)



## EK-8 (Devam) Deney Sistematiği

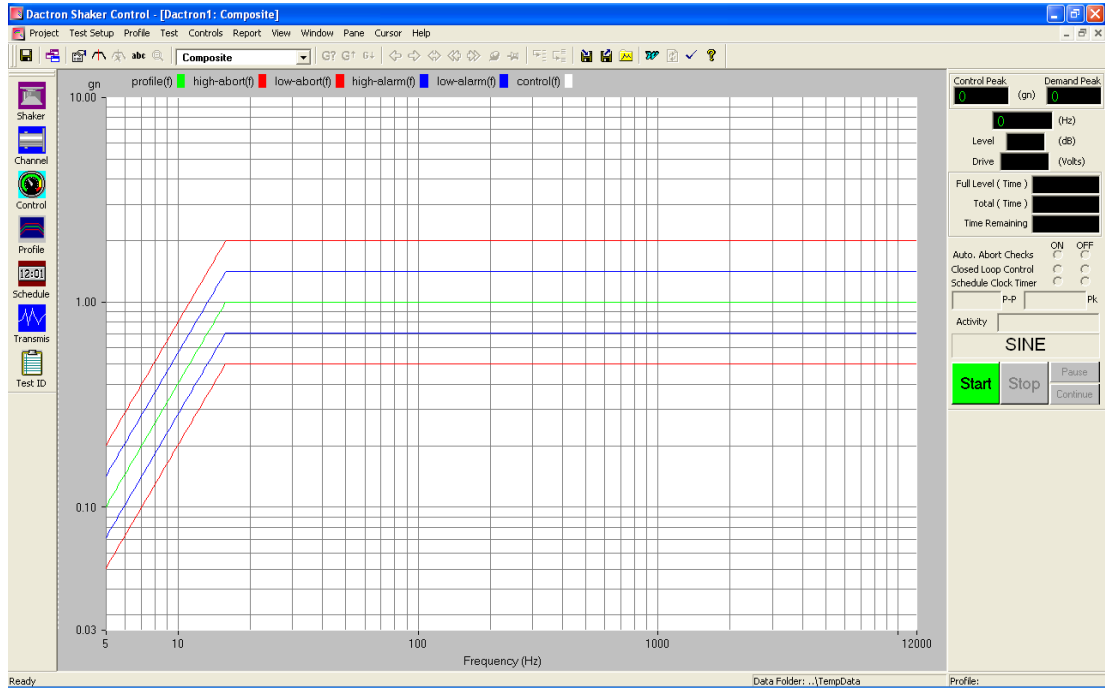


Resim 8.4. Sarsıcı ünite ile işparçası arasındaki bağlantı (İT-EEİ)

## EK-8 (Devam) DeneY Sistematiği

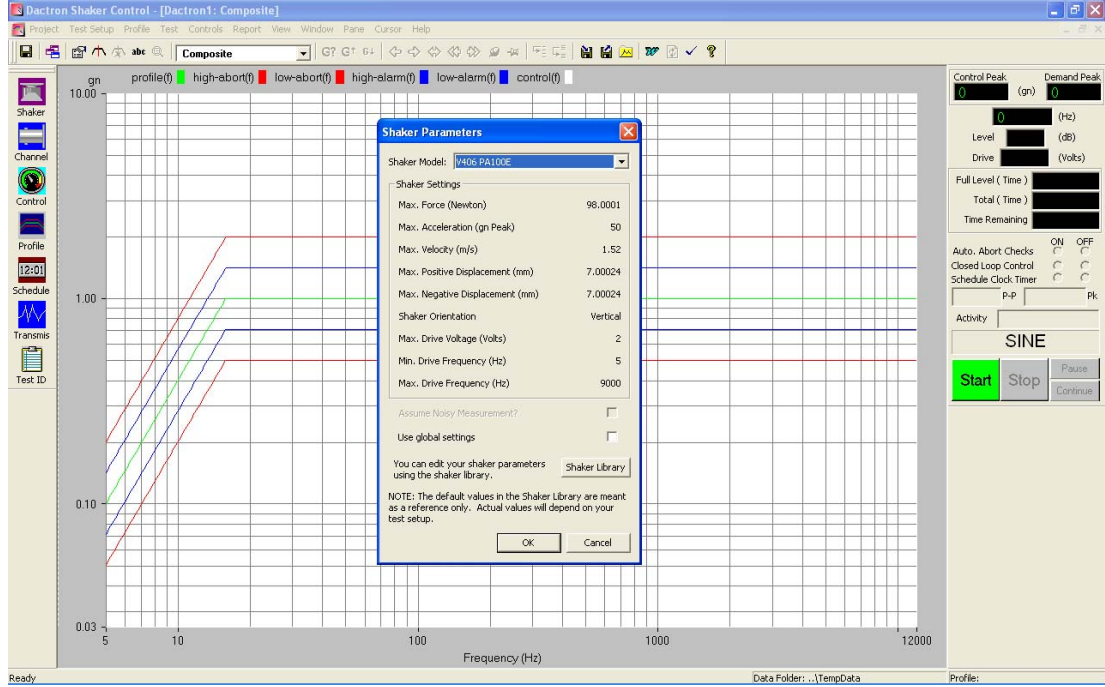


Şekil 8.1. LDS-Dactron Shaker Control System 6.1 program açılış ekranı

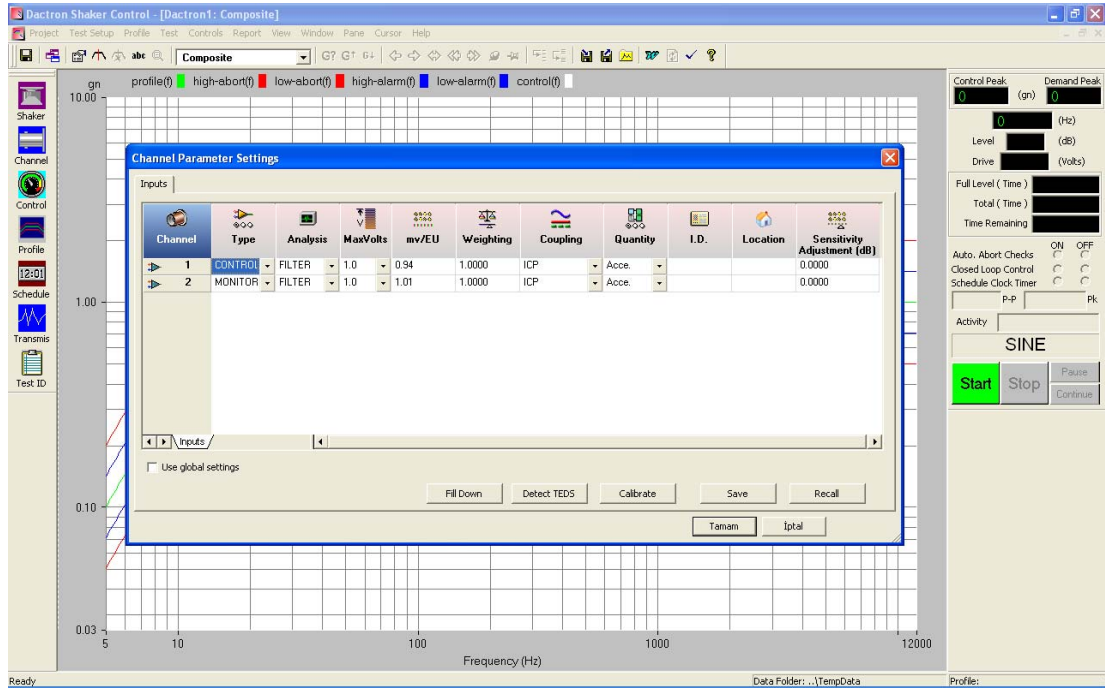


Şekil 8.2. Yeni bir sinyal profili tanımlama ekranı

## EK-8 (Devam) DeneY Sistematiği

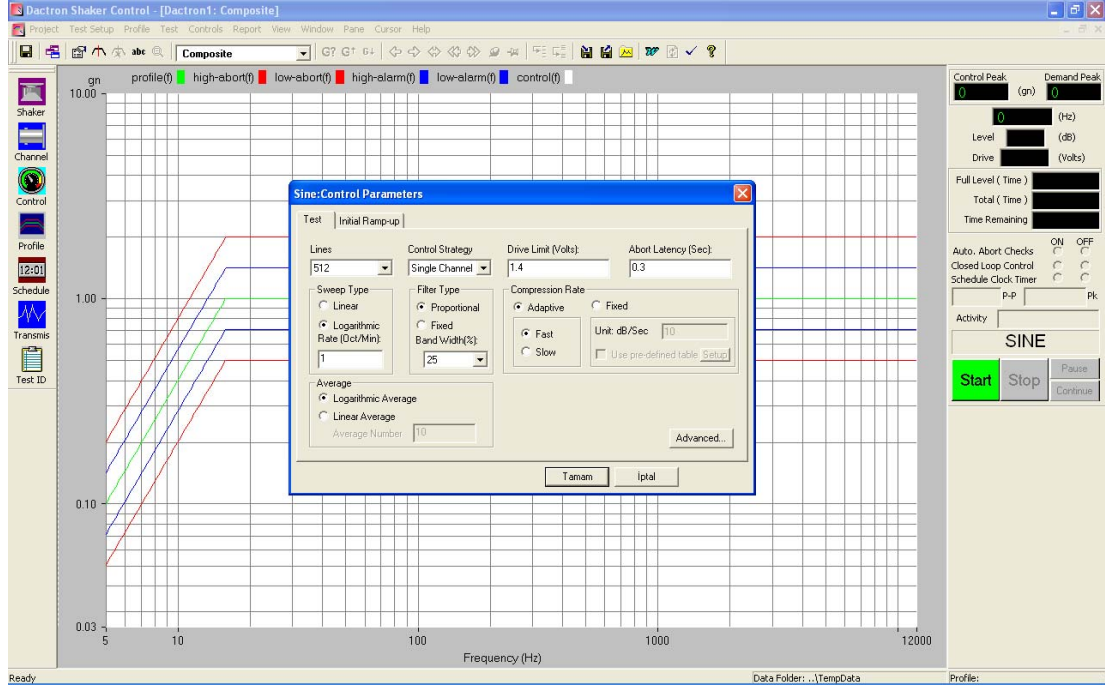


Şekil 8.3. Sarsıcı ünite genel parametreleri ekranı

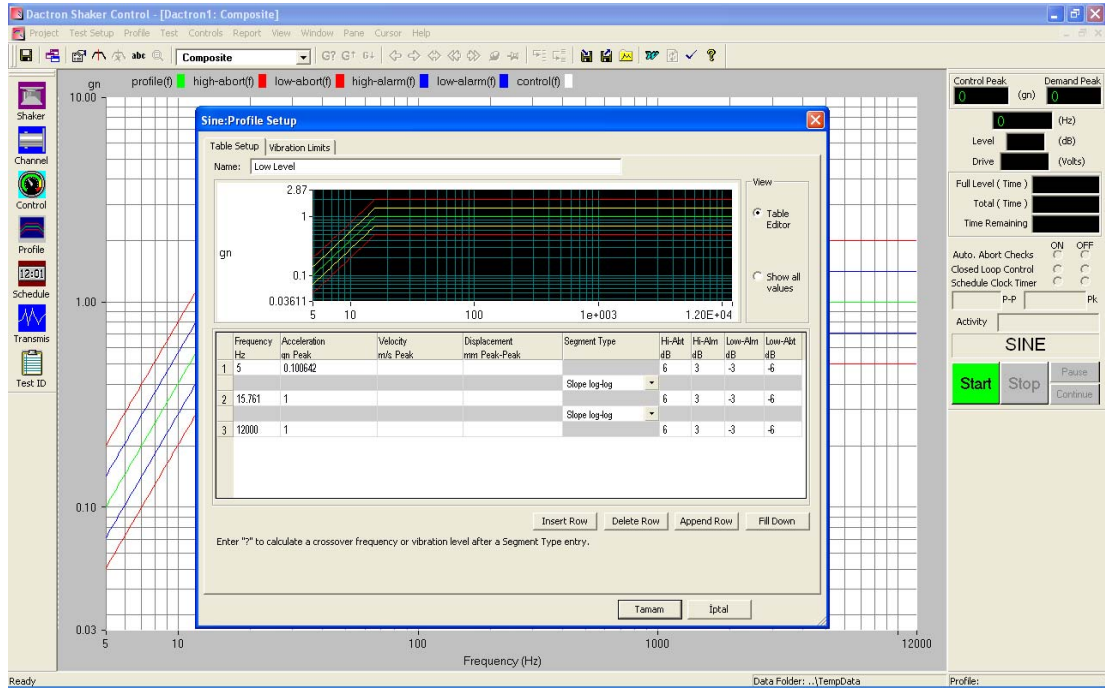


Şekil 8.4. Veri toplama kanalları parametreleri ekranı

## EK-8 (Devam) Deneysel Sistematiği



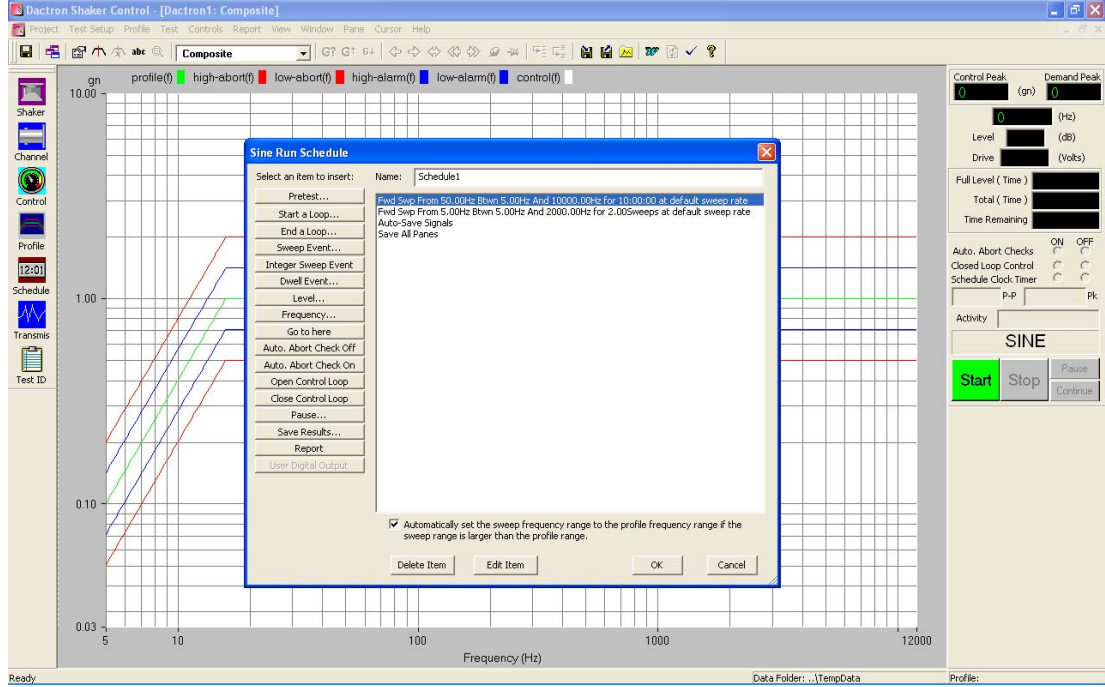
Şekil 8.5. Sinyal kontrol parametreleri ekranı



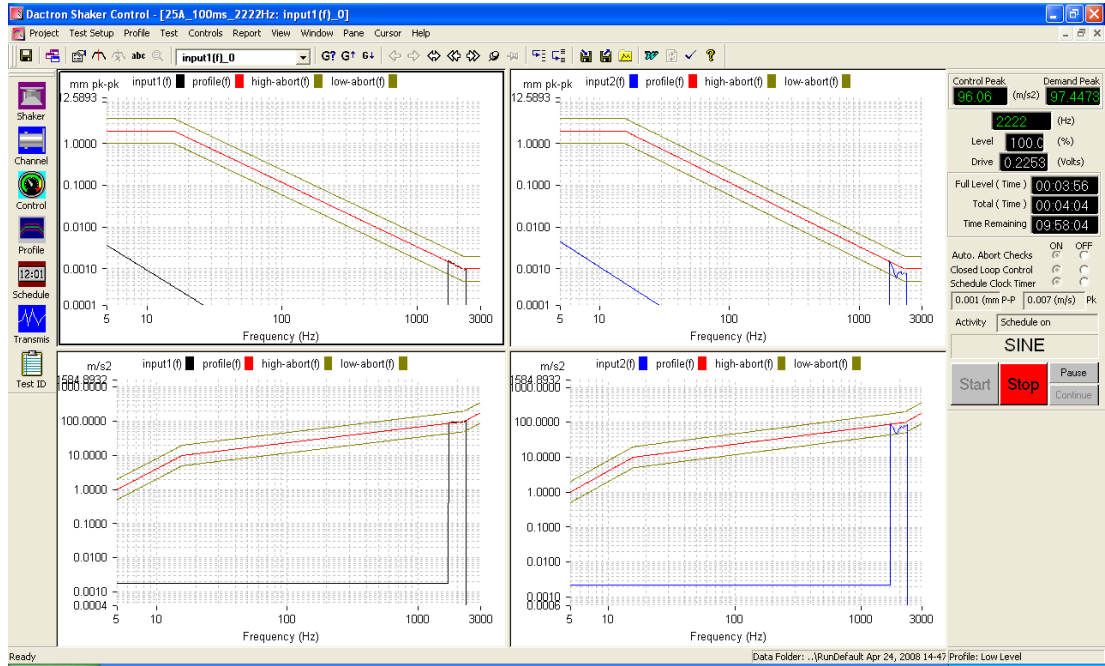
Şekil 8.6. Sinyal profil parametreleri ekranı



## EK-8 (Devam) Deneş Sistematiği

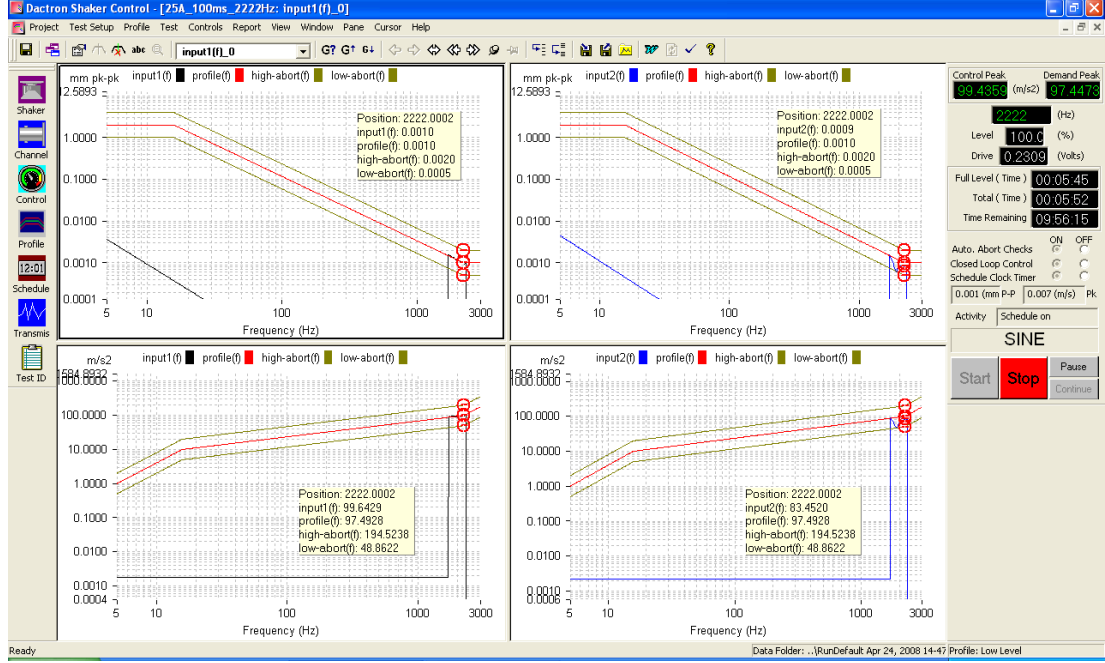


Şekil 8.7. Sinyal sürücü parametreleri ekranı



Şekil 8.8. Örnek bir titreşim sinyali profili

## EK-8 (Devam) Denev Sistematiği



Şekil 8.9. Karakteristik değerleri belirtilmiş örnek bir titreşim sinyali profili

## EK-9 İHT-EEİ Tekniği Deney Verileri

Çizelge 9.1. İHT-EEİ tekniği deney verileri tezgah parametreleri

| Boşalım Akımı<br>( $i_d$ )<br>[A] | Vurum Süresi<br>( $t_s$ )<br>[ $\mu$ s] | Titreşim Frekansı<br>( $f_v$ )<br>[Hz] | İİH<br>[mm <sup>3</sup> /dak] | EAH<br>[mm <sup>3</sup> /dak] | BA<br>[%] | R <sub>a</sub><br>[ $\mu$ m] | İşleme Süresi<br>( $t_m$ )<br>[dak] | Bekleme Süresi<br>( $t_p$ )<br>[ $\mu$ s] | Dielektrik Sıvı Pompa Basıncı<br>(P)<br>[bar] |
|-----------------------------------|---|--|-------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 6                                 | 100                                     | 0                                      | 9,349                         | 0,079                         | 0,847     | 5,73                         | 30                                  | 50  | 0,5   |
| 6                                 | 100                                     | 500                                    | 10,083                        | 0,088                         | 0,875     | 5,96                         | 30                                  | 50  | 0,5   |
| 6                                 | 100                                     | 1000                                   | 9,764                         | 0,081                         | 0,830     | 5,73                         | 30                                  | 50  | 0,5   |
| 6                                 | 200                                     | 0                                      | 8,273                         | 0,026                         | 0,319     | 5,51                         | 30                                  | 50  | 0,5   |
| 6                                 | 200                                     | 500                                    | 8,451                         | 0,026                         | 0,313     | 5,74                         | 30                                  | 50  | 0,5   |
| 6                                 | 200                                     | 1000                                   | 8,355                         | 0,029                         | 0,344     | 5,48                         | 30                                  | 50  | 0,5   |
| 12                                | 200                                     | 0                                      | 39,663                        | 0,282                         | 0,712     | 9,62                         | 30                                  | 50  | 0,5   |
| 12                                | 200                                     | 500                                    | 37,742                        | 0,228                         | 0,606     | 9,47                         | 30                                  | 50  | 0,5   |
| 12                                | 200                                     | 1000                                   | 38,107                        | 0,226                         | 0,592     | 9,43                         | 30                                  | 50  | 0,5   |

Çizelge 9.2. İHT-EEİ tekniği deney verileri titreşim parametreleri

| Boşalım Akımı<br>( $i_d$ )<br>[A] | Vurum Süresi<br>( $t_s$ )<br>[ $\mu$ s] | Titreşim Frekansı<br>( $f_v$ )<br>[Hz] | Genlik (Profil)<br>( $\mu$ m peak) | Genlik (Kontrol)<br>( $\mu$ m peak) | İvme (Profil)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | İvme (Kontrol)<br>(m/s <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------|---|--|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 6                                 | 100                                     | 0                                      | 0,000                              | 0,000                               | 0,00                                 | 0,00                                  |
| 6                                 | 100                                     | 500                                    | 0,100                              | 0,100                               | 1,00                                 | 1,00                                  |
| 6                                 | 100                                     | 1000                                   | 0,200                              | 0,200                               | 7,19                                 | 7,36                                  |
| 6                                 | 200                                     | 0                                      | 0,000                              | 0,000                               | 0,00                                 | 0,00                                  |
| 6                                 | 200                                     | 500                                    | 0,100                              | 0,100                               | 1,00                                 | 1,01                                  |
| 6                                 | 200                                     | 1000                                   | 0,200                              | 0,200                               | 7,19                                 | 7,52                                  |
| 12                                | 200                                     | 0                                      | 0,000                              | 0,000                               | 0,00                                 | 0,00                                  |
| 12                                | 200                                     | 500                                    | 0,833                              | 0,667                               | 8,26                                 | 6,55                                  |
| 12                                | 200                                     | 1000                                   | 0,333                              | 0,177                               | 13,27                                | 6,81                                  |

## EK-10 İHT-EEİ Tekniği TTFD Grubu Deney Verileri

Çizelge 10.1. TTFD grubu deney verileri tezgah parametreleri

| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [A] | Vurum Süresi ( $t_s$ ) [µs] | Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [Hz] | İİH [mm <sup>3</sup> /dak] | EAH [mm <sup>3</sup> /dak] | BA [%] | R <sub>a</sub> [µm] | İşleme Süresi ( $t_m$ ) [dak] | İşleme Derinliği ( h ) [mm] | Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [µs] | Dielektrik Sıvı Pompa Basıncı ( P ) [ bar ] |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 6                           | 100                         | 0                                | 5,058                      | 0,034                      | 0,665  | 5,93                | 253,88                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 100                         | 2222                             | 7,492                      | 0,044                      | 0,581  | 5,73                | 165,12                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 100                         | 4000                             | 5,443                      | 0,034                      | 0,620  | 5,72                | 226,23                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 100                         | 6667                             | 6,399                      | 0,038                      | 0,588  | 6,13                | 193,98                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 200                         | 0                                | 6,751                      | 0,012                      | 0,184  | 5,63                | 189,68                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 200                         | 2222                             | 7,782                      | 0,012                      | 0,149  | 5,57                | 164,73                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 200                         | 4000                             | 6,462                      | 0,010                      | 0,160  | 5,61                | 195,45                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 200                         | 6667                             | 7,364                      | 0,010                      | 0,134  | 5,77                | 170,83                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 400                         | 0                                | 3,453                      | 0,009                      | 0,254  | 4,55                | 370,90                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 400                         | 2222                             | 3,316                      | 0,009                      | 0,268  | 4,35                | 392,28                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 400                         | 4000                             | 3,236                      | 0,008                      | 0,243  | 5,03                | 385,05                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 6                           | 400                         | 6667                             | 2,744                      | 0,005                      | 0,164  | 3,50                | 448,10                        | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 100                         | 0                                | 48,068                     | 0,763                      | 1,588  | 7,97                | 25,89                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 100                         | 2222                             | 48,684                     | 0,723                      | 1,485  | 8,37                | 25,48                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 100                         | 4000                             | 49,119                     | 0,734                      | 1,494  | 8,35                | 25,10                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 100                         | 6667                             | 48,036                     | 0,689                      | 1,435  | 8,42                | 25,74                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 0                                | 46,111                     | 0,206                      | 0,446  | 8,87                | 25,61                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 2222                             | 50,321                     | 0,222                      | 0,442  | 9,07                | 24,81                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 4000                             | 46,364                     | 0,183                      | 0,394  | 8,99                | 24,66                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 6667                             | 49,750                     | 0,208                      | 0,418  | 9,31                | 24,77                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 400                         | 0                                | 35,748                     | 0,0677                     | 0,189  | 8,18                | 36,52                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 400                         | 2222                             | 34,734                     | 0,0678                     | 0,195  | 7,53                | 36,43                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 400                         | 4000                             | 34,964                     | 0,0587                     | 0,168  | 7,97                | 36,35                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 400                         | 6667                             | 34,719                     | 0,0611                     | 0,176  | 8,53                | 36,75                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 100                         | 0                                | 104,370                    | 8,651                      | 8,289  | 11,37               | 11,37                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 100                         | 2222                             | 108,265                    | 9,606                      | 8,872  | 10,85               | 10,51                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 100                         | 4000                             | 107,802                    | 9,582                      | 8,888  | 11,62               | 10,89                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 100                         | 6667                             | 103,897                    | 7,132                      | 6,864  | 11,47               | 11,50                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 0                                | 108,855                    | 4,387                      | 4,030  | 11,90               | 11,81                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 2222                             | 108,879                    | 4,086                      | 3,753  | 11,24               | 10,69                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 4000                             | 108,956                    | 3,681                      | 3,378  | 10,77               | 11,38                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 6667                             | 110,114                    | 3,873                      | 3,518  | 11,08               | 11,12                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 400                         | 0                                | 99,089                     | 0,577                      | 0,583  | 12,32               | 13,42                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 400                         | 2222                             | 101,819                    | 0,515                      | 0,505  | 13,20               | 12,87                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 400                         | 4000                             | 100,168                    | 0,559                      | 0,558  | 12,15               | 13,07                         | 4                           | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 400                         | 6667                             | 105,303                    | 0,538                      | 0,511  | 11,60               | 12,53                         | 4                           | 50                            | 0,5   |

## EK-10 (Devam) İHT-EEİ Tekniği TTFD Grubu Deney Verileri

Çizelge 10.2. TTFD grubu deney verileri titreşim parametreleri

| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [A] | Vurum Süresi ( $t_s$ ) [μs] | Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [Hz] | Genlik (Profil) (μm peak-peak) | Genlik (Kontrol) (μm peak-peak) | Genlik (Monitor) (μm peak-peak) | İvme (Profil) (m/s <sup>2</sup> ) | İvme (Kontrol) (m/s <sup>2</sup> ) | İvme (Monitor) (m/s <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 6                           | 100                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 6                           | 100                         | 2222                             | 1,000                          | 1,025                           | 1,000                           | 97,49                             | 101,23                             | 98,04                              |
| 6                           | 100                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,098                           | 221,07                            | 218,93                             | 30,97                              |
| 6                           | 100                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,029                           | 232,27                            | 231,83                             | 25,53                              |
| 6                           | 200                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 6                           | 200                         | 2222                             | 3,000                          | 3,000                           | 2,100                           | 292,48                            | 299,35                             | 217,22                             |
| 6                           | 200                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,092                           | 221,07                            | 219,50                             | 29,07                              |
| 6                           | 200                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,033                           | 232,27                            | 231,89                             | 29,12                              |
| 6                           | 400                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 6                           | 400                         | 2222                             | 1,000                          | 1,100                           | 0,900                           | 97,49                             | 97,08                              | 88,91                              |
| 6                           | 400                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,084                           | 221,07                            | 219,26                             | 26,41                              |
| 6                           | 400                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,023                           | 232,27                            | 232,01                             | 20,18                              |
| 12                          | 100                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 12                          | 100                         | 2222                             | 1,000                          | 1,000                           | 1,000                           | 97,49                             | 97,59                              | 96,19                              |
| 12                          | 100                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,090                           | 221,07                            | 218,53                             | 28,53                              |
| 12                          | 100                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,028                           | 232,27                            | 232,11                             | 24,35                              |
| 12                          | 200                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 12                          | 200                         | 2222                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,933                           | 97,49                             | 97,91                              | 91,15                              |
| 12                          | 200                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,086                           | 221,07                            | 220,44                             | 27,23                              |
| 12                          | 200                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,033                           | 232,27                            | 232,03                             | 28,50                              |
| 12                          | 400                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 12                          | 400                         | 2222                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,767                           | 97,49                             | 98,67                              | 76,50                              |
| 12                          | 400                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,095                           | 221,07                            | 220,57                             | 30,07                              |
| 12                          | 400                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,015                           | 232,27                            | 232,00                             | 13,03                              |
| 25                          | 100                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 25                          | 100                         | 2222                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,833                           | 97,49                             | 97,27                              | 79,93                              |
| 25                          | 100                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,094                           | 221,07                            | 219,50                             | 29,50                              |
| 25                          | 100                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,037                           | 232,27                            | 232,00                             | 32,80                              |
| 25                          | 200                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 25                          | 200                         | 2222                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,867                           | 97,49                             | 97,93                              | 83,00                              |
| 25                          | 200                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,077                           | 221,07                            | 219,00                             | 24,13                              |
| 25                          | 200                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,034                           | 232,27                            | 232,00                             | 29,70                              |
| 25                          | 400                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 25                          | 400                         | 2222                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,867                           | 97,49                             | 98,93                              | 87,03                              |
| 25                          | 400                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,079                           | 221,07                            | 220,30                             | 24,90                              |
| 25                          | 400                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,016                           | 232,27                            | 232,00                             | 13,87                              |

## EK-11 İHT-EEİ Tekniği TFAD Grubu Deney Verileri

Çizelge 11.1. TFAD grubu deney verileri tezgah parametreleri

| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [A] | Vurum Süresi ( $t_s$ ) [µs] | Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [Hz] | İİH [mm <sup>3</sup> /dak] | EAH [mm <sup>3</sup> /dak] | BA [%] | R <sub>a</sub> [µm] | İşleme Süresi ( $t_m$ ) [dak] | İşleme Derinliği ( $h$ ) [mm] | Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [µs] | Dielektrik Sıvı Pompa Basıncı ( $P$ ) [ bar ] |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| 12                          | 200                         | 0                                | 47,488                     | 0,211                      | 0,444  | 9,00                | 27,51                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 1100                             | 49,724                     | 0,205                      | 0,412  | 9,05                | 25,24                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 2222                             | 51,824                     | 0,228                      | 0,440  | 9,20                | 24,14                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 3100                             | 48,360                     | 0,197                      | 0,406  | 9,31                | 26,19                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 4000                             | 47,748                     | 0,188                      | 0,391  | 9,13                | 26,64                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 5300                             | 49,833                     | 0,205                      | 0,411  | 9,15                | 25,49                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 6667                             | 51,235                     | 0,2134                     | 0,416  | 9,450               | 24,74                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 0                                | 112,106                    | 4,499                      | 4,014  | 12,08               | 11,06                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 1100                             | 113,812                    | 4,159                      | 3,654  | 11,74               | 11,00                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 2222                             | 112,131                    | 4,191                      | 3,737  | 11,41               | 11,41                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 3100                             | 112,321                    | 3,899                      | 3,471  | 10,89               | 11,56                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 4000                             | 112,210                    | 3,775                      | 3,360  | 10,94               | 11,37                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 5300                             | 111,549                    | 3,886                      | 3,484  | 11,10               | 11,42                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 6667                             | 113,402                    | 3,9727                     | 3,503  | 11,244              | 11,21                         | 4                             | 50                            | 0,5   |

Çizelge 11.2. TFAD grubu deney verileri titreşim parametreleri

| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [A] | Vurum Süresi ( $t_s$ ) [µs] | Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [Hz] | Genlik (Profil) (µm peak-peak) | Genlik (Kontrol) (µm peak-peak) | Genlik (Monitor) (µm peak-peak) | İvme (Profil) (m/s <sup>2</sup> ) | İvme (Kontrol) (m/s <sup>2</sup> ) | İvme (Monitor) (m/s <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 12                          | 200                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 12                          | 200                         | 1100                             | 1,000                          | 1,100                           | 2,667                           | 23,89                             | 24,33                              | 63,33                              |
| 12                          | 200                         | 2222                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,800                           | 97,49                             | 95,97                              | 74,73                              |
| 12                          | 200                         | 3100                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,300                           | 190,58                            | 190,47                             | 55,27                              |
| 12                          | 200                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,096                           | 221,07                            | 220,13                             | 30,53                              |
| 12                          | 200                         | 5300                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,013                           | 166,33                            | 166,20                             | 7,24                               |
| 12                          | 200                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,047                           | 232,27                            | 231,87                             | 41,03                              |
| 25                          | 200                         | 0                                | 0,000                          | 0,000                           | 0,000                           | 0,00                              | 0,00                               | 0,00                               |
| 25                          | 200                         | 1100                             | 1,000                          | 1,000                           | 2,400                           | 23,89                             | 24,03                              | 57,60                              |
| 25                          | 200                         | 2222                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,867                           | 97,49                             | 98,23                              | 83,10                              |
| 25                          | 200                         | 3100                             | 1,000                          | 1,000                           | 0,300                           | 190,58                            | 191,03                             | 52,73                              |
| 25                          | 200                         | 4000                             | 0,700                          | 0,700                           | 0,094                           | 221,07                            | 219,32                             | 29,70                              |
| 25                          | 200                         | 5300                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,014                           | 166,33                            | 166,23                             | 7,90                               |
| 25                          | 200                         | 6667                             | 0,300                          | 0,300                           | 0,044                           | 232,27                            | 232,13                             | 38,67                              |

## EK-12 İHT-EEİ Tekniği İD Grubu Deney Verileri

Çizelge 12.1. İD grubu deney verileri tezgah parametreleri

| Boşalım Akımı ( $i_d$ ) [A] | Vurum Süresi ( $t_s$ ) [µs] | Titreşim Frekansı ( $f_v$ ) [Hz] | İİH [mm <sup>3</sup> /dak] | EAH [mm <sup>3</sup> /dak] | BA [%] | R <sub>a</sub> [µm] | İşleme Süresi ( $t_m$ ) [dak] | İşleme Derinliği ( $h$ ) [mm] | Bekleme Süresi ( $t_p$ ) [µs] | Dielektrik Sıvı Pompa Basıncı ( $P$ ) [ bar ] |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| 12                          | 200                         | 0                                | 45,363                     | 0,242                      | 0,534  | 9,12                | 14,36                         | 2                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 0                                | 50,761                     | 0,175                      | 0,346  | 8,48                | 27,51                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 0                                | 51,195                     | 0,172                      | 0,336  | 9,53                | 38,47                         | 6                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 2222                             | 45,120                     | 0,228                      | 0,505  | 8,08                | 13,30                         | 2                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 2222                             | 51,824                     | 0,228                      | 0,440  | 9,20                | 24,14                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 2222                             | 52,253                     | 0,165                      | 0,316  | 9,78                | 38,10                         | 6                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 4000                             | 45,161                     | 0,217                      | 0,480  | 8,38                | 14,52                         | 2                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 4000                             | 47,748                     | 0,188                      | 0,391  | 9,13                | 26,64                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 4000                             | 52,769                     | 0,165                      | 0,313  | 10,03               | 36,67                         | 6                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 6667                             | 44,904                     | 0,213                      | 0,475  | 9,12                | 14,74                         | 2                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 6667                             | 51,235                     | 0,2134                     | 0,416  | 9,45                | 24,74                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 12                          | 200                         | 6667                             | 52,171                     | 0,168                      | 0,321  | 10,32               | 36,85                         | 6                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 0                                | 121,199                    | 5,306                      | 4,378  | 9,65                | 5,29                          | 2                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 0                                | 112,106                    | 4,499                      | 4,014  | 12,08               | 11,06                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 0                                | 109,766                    | 2,491                      | 2,270  | 13,35               | 17,63                         | 6                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 2222                             | 117,332                    | 4,352                      | 3,709  | 9,62                | 5,29                          | 2                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 2222                             | 112,131                    | 4,191                      | 3,737  | 11,41               | 11,41                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 2222                             | 109,090                    | 2,113                      | 1,937  | 12,52               | 17,48                         | 6                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 4000                             | 118,907                    | 4,441                      | 3,735  | 9,83                | 5,36                          | 2                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 4000                             | 112,210                    | 3,775                      | 3,360  | 10,94               | 11,37                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 4000                             | 106,725                    | 2,418                      | 2,266  | 12,45               | 18,11                         | 6                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 6667                             | 119,216                    | 4,142                      | 3,474  | 9,55                | 5,48                          | 2                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 6667                             | 113,402                    | 3,9727                     | 3,503  | 11,244              | 11,21                         | 4                             | 50                            | 0,5   |
| 25                          | 200                         | 6667                             | 108,609                    | 2,211                      | 2,036  | 12,08               | 17,83                         | 6                             | 50                            | 0,5   |

## EK-12 (Devam) İHT-EEİ Tekniği İD Grubu Deney Verileri

Çizelge 12.1. İD grubu deney verileri titreşim parametreleri

| Boşalım<br>Akımı<br>( $i_d$ )<br>[A] | Vurum<br>Süresi<br>( $t_s$ )<br>[µs] | Titreşim<br>Frekansı<br>( $f_v$ )<br>[Hz] | Genlik<br>(Profil)<br>(µm peak-peak) | Genlik<br>(Kontrol)<br>(µm peak-peak) | Genlik<br>(Monitor)<br>(µm peak-peak) | İvme<br>(Profil)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | İvme<br>(Kontrol)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | İvme<br>(Monitor)<br>(m/s <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|--|
| 12                                   | 200                                  | 0   | 0,000                                | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,00                                    | 0,00                                     | 0,00                                     |
| 12                                   | 200                                  | 0   | 0,000                                | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,00                                    | 0,00                                     | 0,00                                     |
| 12                                   | 200                                  | 0   | 0,000                                | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,00                                    | 0,00                                     | 0,00                                     |
| 12                                   | 200                                  | 2222                                      | 1,000                                | 1,000                                 | 0,900                                 | 97,49                                   | 96,00                                    | 88,33                                    |
| 12                                   | 200                                  | 2222                                      | 1,000                                | 1,000                                 | 0,800                                 | 97,49                                   | 95,97                                    | 74,73                                    |
| 12                                   | 200                                  | 2222                                      | 1,000                                | 1,000                                 | 0,800                                 | 97,49                                   | 96,61                                    | 74,05                                    |
| 12                                   | 200                                  | 4000                                      | 0,700                                | 0,700                                 | 0,091                                 | 221,07                                  | 219,90                                   | 28,60                                    |
| 12                                   | 200                                  | 4000                                      | 0,700                                | 0,700                                 | 0,096                                 | 221,07                                  | 220,13                                   | 30,53                                    |
| 12                                   | 200                                  | 4000                                      | 0,700                                | 0,700                                 | 0,085                                 | 221,07                                  | 219,77                                   | 26,80                                    |
| 12                                   | 200                                  | 6667                                      | 0,300                                | 0,300                                 | 0,036                                 | 232,27                                  | 231,77                                   | 31,30                                    |
| 12                                   | 200                                  | 6667                                      | 0,300                                | 0,300                                 | 0,047                                 | 232,27                                  | 231,87                                   | 41,03                                    |
| 12                                   | 200                                  | 6667                                      | 0,300                                | 0,300                                 | 0,058                                 | 232,27                                  | 232,00                                   | 5,00                                     |
| 25                                   | 200                                  | 0   | 0,000                                | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,00                                    | 0,00                                     | 0,00                                     |
| 25                                   | 200                                  | 0   | 0,000                                | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,00                                    | 0,00                                     | 0,00                                     |
| 25                                   | 200                                  | 0   | 0,000                                | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,00                                    | 0,00                                     | 0,00                                     |
| 25                                   | 200                                  | 2222                                      | 1,000                                | 1,000                                 | 0,867                                 | 97,49                                   | 96,87                                    | 85,07                                    |
| 25                                   | 200                                  | 2222                                      | 1,000                                | 1,000                                 | 0,867                                 | 97,49                                   | 98,23                                    | 83,10                                    |
| 25                                   | 200                                  | 2222                                      | 1,000                                | 1,000                                 | 0,800                                 | 97,49                                   | 98,97                                    | 79,17                                    |
| 25                                   | 200                                  | 4000                                      | 0,700                                | 0,700                                 | 0,086                                 | 221,07                                  | 219,50                                   | 27,17                                    |
| 25                                   | 200                                  | 4000                                      | 0,700                                | 0,700                                 | 0,094                                 | 221,07                                  | 219,32                                   | 29,70                                    |
| 25                                   | 200                                  | 4000                                      | 0,700                                | 0,700                                 | 0,096                                 | 221,07                                  | 219,53                                   | 30,40                                    |
| 25                                   | 200                                  | 6667                                      | 0,300                                | 0,300                                 | 0,051                                 | 232,27                                  | 231,53                                   | 44,97                                    |
| 25                                   | 200                                  | 6667                                      | 0,300                                | 0,300                                 | 0,044                                 | 232,27                                  | 232,13                                   | 38,67                                    |
| 25                                   | 200                                  | 6667                                      | 0,300                                | 0,300                                 | 0,070                                 | 232,27                                  | 232,00                                   | 6,16                                     |



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZGEDİK, Ali  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 19.10.1977 Çankırı  
 Medeni hali : Evli ( İki çocuk babası: Ahmet Eren, Ayşe İrem)  
 Telefon : 0 (312) 582 34 04  
 Faks : 0 (312) 231 98 10  
 e-mail : [ozgedik@gazi.edu.tr](mailto:ozgedik@gazi.edu.tr), [aliozgedik@hotmail.com](mailto:aliozgedik@hotmail.com)

### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                               | Mezuniyet tarihi |
|---------------|---|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi,<br>Makina Müh. Bölümü    | 2003             |
| Lisans        | Erciyes Üniversitesi,<br>Makina Müh. Bölümü | 1999             |
| Lise          | Ankara Lisesi                               | 1995             |

### İş Deneyimi

| Yıl             | Yer  | Görev   |
|-----------------|--|---|
| 06.2008-....    | G.Ü. Müh. Mim. Fakültesi<br>(2547 / 35 görevlendirme)    | Araştırma Görevlisi                             |
| 10.2000-06.2008 | G.Ü. Müh. Mim. Fakültesi<br>(2547 / 13b-4 görevlendirme) | Araştırma Görevlisi                             |
| 06.2000-10.2000 | Gazi Üniversitesi<br>Çorum Mühendislik Fakültesi         | Araştırma Görevlisi                             |
| 09.1999-04.2000 | TOFAŞ Yetkili Servisi                                    | AİTM Yetki Belgeli<br>LPG Dönüşüm<br>Kontrolörü |

**Yabancı Dil**

İngilizce

TOEFL (CBT) - 207

ÜDS - 81,25

KPDS - 81

**Yayınlar**

1. Özgedik, A., Çoğun, C., "An experimental investigation of tool wear in electric discharge machining", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27 (5-6), 488-500, 2006.
2. Deniz, T.Ç., Çoğun, C., Özgedik, A., "Elektro erozyon ile işlemede işleme parametrelerinin matematiksel modellenmesi", Makina Tasarım Ve İmalat Dergisi, 7 (1), Mayıs 2005.
3. Çoğun, C., Kocabaş, B., Özgedik, A., "Elektro erozyon ile işlemede (EEİ) işparçası yüzey pürüzlülük profilinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19 (1), 97-106, 2004.
4. Özgedik, A., Çoğun, C., "Elektro erozyon ile işlemede elektrot ön yüzey aşınmasının deneysel incelenmesi", 44 (521), 21-28, Mühendis ve Makina, 2003.
5. Özgedik, A., Çoğun, C., "Elektro-erozyon ile işleme performansının işleme parametreleri ile değişimi", 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildiri Kitabı c.2, 308-316, 2003, ANKARA

**Hobiler**

Amatör olta balıkçılığı, doğa gezileri