

# AISI 1040 Çeliğinin Elektro Erozyon ile İşleme Yöntemiyle Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Temel Performans Çıktıları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Volkan YILMAZ<sup>1</sup>, Mustafa ÖZDEMİR<sup>2,\*</sup>, Hakan DİLİPAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, Beşevler, Ankara

<sup>2</sup>Bozok Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Yozgat

Başvuru: 05/12/2014 Kabul: 18/02/2015

## ÖZET

Bu çalışmada elektro erozyon ile işleme yöntemiyle (EEİ) mikro deliklerin delinebilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda üç farklı boşalım akımı (6, 12, 24 A), üç farklı elektrot devir sayısı (200, 400, 600 dev/dak), sabit vurum süresi (12 µs), sabit vurum aralığı (3 µs) ve üç farklı dielektrik sıvı uygulama basıncı (40, 80, 120 P) altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonrasında işleme parametrelerinin EEİ temel performans çıktıları üzerindeki (iş parçası işleme hızı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH) ve bağlı aşınma (BA)) etkileri araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile alınan veriler sayesinde EEİ temel performans çıktılarının doğrudan işleme parametrelerine bağlı olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** EEİ delik delme, mikro delik delme, hızlı delik delme

## ABSTRACT

In this study, micro-holes drillability is experimentally studied using electro-discharge machining method (EDM). Within the scope of work, experiments are performed using four different processing parameters like that; three different discharge current (6, 12, 24 A), three different electrode rotational speed (200, 400, 600 rev/min), fixed on time (12 µs), fixed off time (3 µs) and three different dielectric pressure (40, 80, 120 P). After experiments carried out, the EDM process parameters like as a workpiece processing rate (MRR), electrode wear rate (TWR) and the relative wear (RW) were investigated on key performance outcomes. Whereby experimental results, with the received data from EDM basic performance outputs, seemed to be linked directly to processing parameters.

**Key words:** Drilling with EDM, small hole drilling, fast hole drilling

## 1. GİRİŞ

Delik delme işlemi imalat sektöründeki çalışmaların yaklaşık 1/3'lük kısmını oluşturmaktadır. Mikro mekanik sistemlerin gelişmesi ile daha küçük çaptaki mikro deliklere olan ihtiyaç artmakta ve klasik işleme yöntemleri bu alanda yetersiz kalmaktadır. Araştırmacılar mikro deliklerin elde edilmesi için alışılmamış imalat yöntemlerine yönelmektedirler. Bu yöntemlerin içerisinde en çok uygulama alanı bulan ve ticari boyutta en fazla kullanılan yöntem elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemidir. Özellikle çok sert malzemelerin ve karmaşık geometrilerin kolaylıkla işlenebilmesi bu yöntemi en fazla tercih edilen alışılmamış imalat yöntemlerinden biri haline

getirmiştir. EEİ; dielektrik içerisine daldırılmış elektriksel iletken iş parçası ve elektrot arasında fiziksel temas olmadan (iş parçası elektrot arası mesafe yaklaşık olarak 10-40 µm aralığındadır) yüksek frekanslı elektriksel boşalım sayesinde iş parçasından küçük parçacıkların ergiyerek buharlaştırılması sonucu dielektrik sıvı aracılığıyla işleme bölgesinden uzaklaştırılması esasına dayanır [1-2]. EEİ ile işlenecek iş parçalarında olması gereken en önemli özellik elektriksel iletkenliktir. Geleneksel imalat yöntemleriyle işlemede etkili olan iş parçası sertliği ve tokluğu gibi özellikler EEİ açısından önemli değildir. Buna karşın işleme performansının iyi olması malzemenin ısı iletkenliğine bağlıdır. EEİ'nin kullanım alanının % 80'ini kalıp imalat endüstrisi oluşturmaktadır. Göreceli

\*İletişim yazarı, e-posta: [mustafaozdemir58@gmail.com](mailto:mustafaozdemir58@gmail.com)

olarak daha az oranda da çeşitli özel imalat işlerinde kullanılmaktadır. EEİ yöntemi, dalma elektro erozyon ve tel elektro erozyon olarak iki temel yöntem ayrışmış olup, her iki yöntem de elektrik iletken bütün metallerin, alaşımların ve birçok metal karbür malzemenin işlenmesinde kullanılmaktadır. Endüstride EEİ yöntemi yaygın olarak pres döküm kalıpları, soğuk şekillendirme kalıpları, dövme kalıpları, plastik enjeksiyon kalıpları, toz sıkıştırma kalıpları, kesme ve ezme kalıpları, civata başı şişirme kalıpları ve takım imalatında tercih edilmektedir [3-5]. EEİ ile ilgili çalışmalar incelendiğinde çalışmaların genellikle performans çıktıları üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. İmalat sanayinin düşük işleme zamanı, düşük maliyet ve yüksek kalite beklentilerine cevap vermeye yönelik çalışmalarda özellikle iş parçası işleme hızı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH) ve bağlı aşınma (BA) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) çıktılarının iyileştirilmesi üzerinde durulmuştur [6-9]. EEİ sistemi ile ilgili olarak yapılan bu çalışmaların yanı sıra yeni gelişen beklentiler doğrultusunda dalma ve tel erozyon tipi EEİ temel uygulamalarının yanında hızlı delik delme elektro erozyon tezgahları da geliştirilmiştir. Bu yeni elektro erozyon tezgahının kullanıldığı delik delme yöntemi sürekli gelişmelerin yaşandığı havacılık (uçak turbin kanatçıklarındaki soğutma delikleri), otomotiv (yakıt püskürtme enjektörleri) ve tıp (diş ve cerrahi implantlar) alanlarında, tıbbi cihazlarda, kesici takım soğutma kanallarında, sert, kırılğan ve klasik yöntemlerle işlenmesi güç olan malzemelere mikro boyutlu delik delme işlemlerinde sıkça tercih edilmektedir [2, 10-12]. Bu yöntemde belirli hızda döndürülen küçük çaplı boru tipi elektrot içerisinden istenilen basınç değerinde püskürtülen dielektrik sıvı ile işleme bölgesindeki çok küçük boyutlu işleme artıkları uzaklaştırılabilmektedir. Kullanılan elektrotun çapından biraz daha büyük delikler kolaylıkla işlenebilmektedir. Yöntemin en önemli avantajı elektriksel iletken olmak kaydıyla bütün metallerde delik delinebilmesidir. Bu doğrultuda yapılan bir çalışmada; mikro EEİ'nin özellikle küçük parçalar, mikro bileşenler ve mikro takımların üretimi için önemli bir işlem olduğu belirtilmiş, mikro EEİ'nin iyi yüzey kalitesi ve yüksek boyutsal tamlık verdiği vurgulanmıştır. Mikro EEİ ile mikro üretim teknolojisindeki bütün yeteneklerin geliştirilebileceğinin belirtildiği bu çalışma, mikro EEİ'nin çeşitli şekilleri (tel, delme vb) için son zamanlardaki gelişmeleri sunmakta ve ana araştırma konularını tartışmaktadır. Bu çalışma ayrıca, EEİ'nin sistemleri ve aşınma problemleri üzerine odaklanmış, elektrot taşlama ve EEİ esnasındaki yaklaşım pozisyonlarını da ele almıştır [13]. Boru tipi takımların yanı sıra boru tipi olmayan takımlar kullanılarak yapılan çalışmalar da artmaktadır ve bu yönde yapılan bir çalışmada [14] silindirik takıma yörüngesel hareket

verilerek paslanmaz çelik (316 SS) numunelere delikler delinmiştir. Bu yöntemde dönme hareketi verilmeyen takımla yapılan işlemlere göre daha düzgün delik geometrilerinin ve delik yüzeylerinde düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği belirtilmiştir. Çelik malzemenin delinebilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada [15] 0.17 mm çapında volfram karbür elektrotlarla değişik işleme parametrelerinde delikler delinmiştir. Araştırmada ters kutuplamanın (takım<sup>+</sup>, iş parçası<sup>-</sup>) İİH'yi artırdığı tespit edilmiştir. Ancak elektrot aşınmasının biraz daha arttığı ve döner takımlı işlemlerde daha derin ve hızlı işlemlerin yapılabildiği tespit edilmiştir. Takımın işleme tankına bağlanarak, değişik frekanslarda titreşimli ve titreşimsiz işlemler ile çelik plakalar kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada [16] titreşimli işlemlerde işleme süresinin kısalarak İİH'nin arttığı vurgulanmıştır. Benzer bir çalışmada [17] uygun işleme şartlarında titreşimli EEİ ile pirinç plaka üzerine kabul edilebilir geometri ve boyutlarda delikler delinmiştir. Titreşim hareketli işlemlerde İİH'nin arttığı çalışmanın önemli sonuçlarındandır. Ayrıca takıma verilen titreşim hareketi ile daha fazla kıvılcım boşalımının meydana geldiği ve işlemin kesintisiz aynı düzeyde devam ettiği vurgulanmıştır. Bu şekilde 200 µm çapındaki deliklerin paslanmaz çelik ve pirinç plakalar üzerine seri bir şekilde kolaylıkla açılabilirdiği görülmüştür.

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; sürekli gelişen EEİ yöntemi ile delik delme uygulamaları makro ve mikro boyutlarda üstün yüzey kalitesinde ve kabul edilebilir koniklikte delik delme işlemleri için alternatif bir yöntem olarak uygulama alanı bulmuştur. Yapılan çalışmalar bu tür delik delme üniteleri ile bütün metallerde istenilen boyut ve geometrilerde derin deliklerin delinebilmesini sağlayacaktır. Mikro delik delme uygulamalarında temel beklenti küçük çaptaki derin deliklerin yüksek İİH ile düşük EAH ve BA değerlerinin elde edilmesi yönündedir. Bu beklentilerin gerçekleştirilebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada boşalım akımı, elektrot devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncının temel performans çıktıları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Deney Malzemesi ve Ekipmanlar

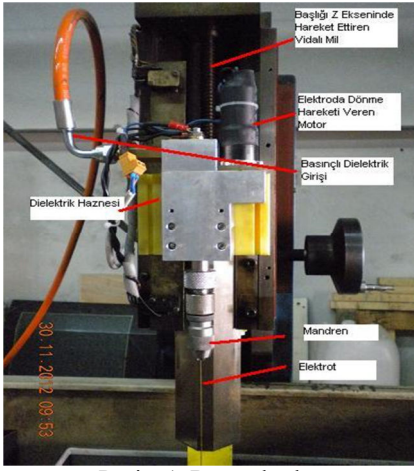
Deney numunesi olarak imalat sanayinde çok sık kullanılan ve klasik talaş kaldırma yöntemleri ile işlenmesi kolay olan AISI 1040 kullanılmıştır. Deney numuneleri 10x20x200 mm ebatlarında hazırlanmıştır. AISI 1040 malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. AISI 1040 malzemesi kimyasal bileşimi

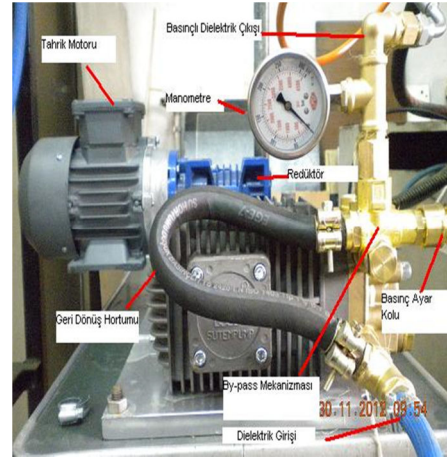
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,3754	0,208	0,744	0,0081	0,0269	0,0727	0,0148
Ni	Al	Co	Cu	V	Fe	
0,097	0,0183	0,0243	0,1495	0,0915	98,175	

Deneyisel çalışmalarda FURKAN marka “EEİ M50A” tip EEİ tezgahı kullanılmıştır. Elektro erozyon tezgahının hareketli başlık kısmına elektrotu değişik devirlerde döndürecek ve elektrodun içinden istenilen basınç değerinde işleme sıvısını (dielektrik sıvı) işleme

bölgesine püskürtecek bir başlık monte edilmiştir (Resim 1). Başlığa istenilen basınç değerlerinde dielektrik sıvıyı sağlayacak olan pistonlu basınç pompası ve elemanları Resim 2’de sunulmuştur.



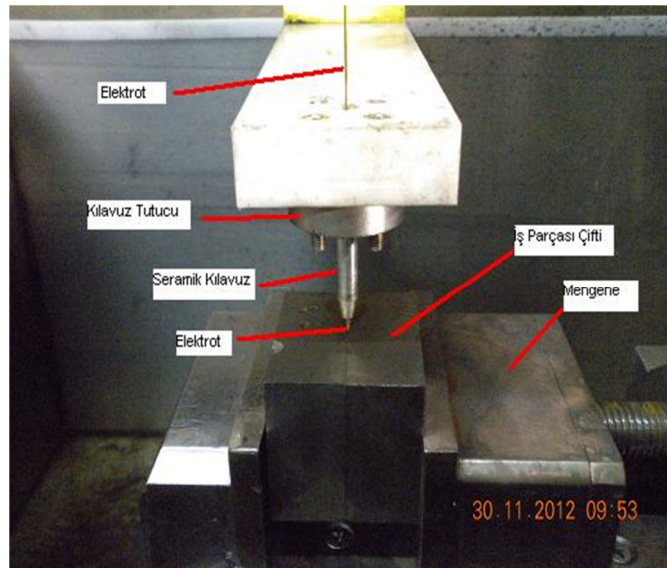
Resim 1. Basınç başlığı



Resim 2. Basınç pompası ve elemanları

Resim 2’de görülen sistemde by-pass mekanizmasının üzerine monte edilen manometre yardımı ile dielektrik sıvı basıncı gözlenmektedir. Basınç ayarı, by-pass mekanizması üzerinde yer alan basınç ayar kolu ile yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan pistonlu basınç pompası 1000 dev/dak değerinde bir alternatif akım

(a.a.) motoru ile tahrik edilmektedir. Pompa krank miline dönme hareketini bir redüktör yardımı ile sağlamaktadır. Tüm deneylerde boru tipi dış çapı 0.8 mm iç çapı 0.18 mm olan pirinç elektrod ve dielektrik sıvı olarak saf su kullanılmıştır. Sabitlenmiş elektrod ve deney numuneleri Resim 3’de sunulmuştur.

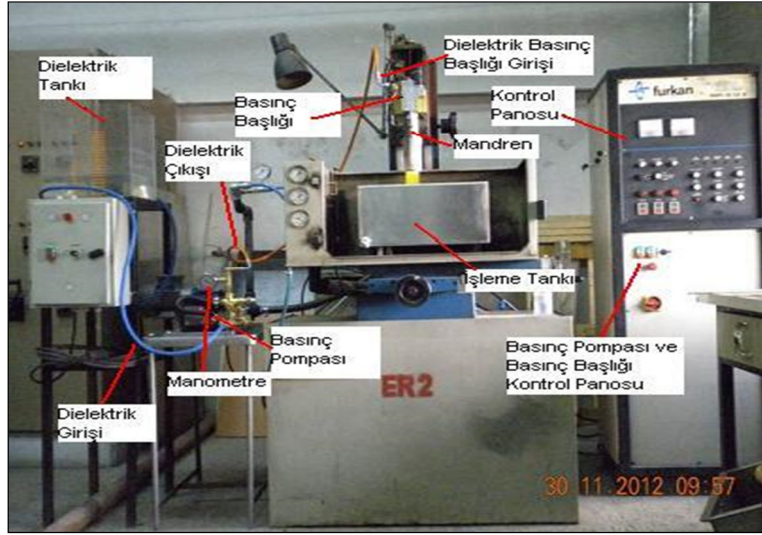


Resim 3. Elektrotun sabitlenmesi

Çalışmada elektrodun devir sayısını istenilen değerlere çıkartabilmek amacı ile GW INSTEK güç kaynağı kullanılmıştır.

## 2.2. Deneilerin Yapılışı

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere tasarlanan ve bu tasarıma uygun olarak kurulan EEİ ünitesi Resim 4'de sunulmuştur.



Resim 4. EEİ deney düzeneği

Resim 4'de görüldüğü üzere tasarlanan sistemde EEİ tezgahının Z ekseninde hareket yapan kısmı üzerine basınç başlığı monte edilmiştir. Basınç başlığını sayesinde elektroda hem dönme hareketi verilmiş ve hem de basınçlı dielektrik sıvının elektrodun içerisinden işleme bölgesine ulaşması sağlanmıştır. Elektroda dönme hareketi basınç başlığı üzerinde yer alan d.a. motoru ile sağlanmıştır. Sisteme ilave edilen güç kaynağı sayesinde de elektrotun devir sayısı da kontrol edilmiş ve istenilen dev/dak değerlerine ulaşılmıştır. Bu sistemde elektrotun dikey ekseninde hareketi EEİ tezgahında var olan diğer bir d.a. motoru ile sağlanmıştır.

Dielektrik sıvının basınç başlığına ulaşımı ise basınç pompası sayesinde olmuştur. Dielektrik sıvı basıncı bypass mekanizması üzerinde yer alan manometre ile her

an kontrol edilmiştir. Yine burada ki ayar vidası ile istenilen değerlerde dielektrik sıvı basıncı değerine ulaşılmıştır. Yüksek basınçlara dayanıklı hortum sayesinde 200 bar basınca kadar dielektrik sıvı, basınç başlığına ulaştırılmıştır. Dielektrik sıvı, basınç başlığına mandren vasıtasıyla sabitlenen elektrotun 0.18 mm'lik iç kısmından geçerek işleme ortamına ulaşmıştır. İşlemeler tezgahın işleme haznesi içerisine monte edilen ayrı bir işleme tankında gerçekleştirilmiştir. İşleme tankı içerisindeki iş parçası malzemeleri bir mengene yardımı ile sabitlenmiştir. Mengene ve işleme tankının paralellikleri hassas terazi ile kontrol edilmiş ve tezgah tablasına paralel, basınç başlığına dik olduğu doğrulanmıştır. Deneilerde kullanılan işleme parametreleri Çizelge 2'de, deney seti tasarımı ise Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Deneilerde Kullanılan İşleme Parametreleri

Boşalım Akımı ( $I_d$ ) [A]	6, 12, 24
Vurum süresi (On Time) ( $t_s$ ) [ $\mu$ s]	12
Vurum Aralığı (Off Time) [ $\mu$ s]	3
Takım Devir Sayısı	200, 400, 600
Dielektrik sıvı püskürtme basıncı (P)	40, 80, 120
Kutuplama	Elektrot (+) İş Parçası (-)
Dielektrik Sıvı	Saf Su
İş Parçası Malzemesi	AISI 1040
Elektrot Malzemesi	Elektrolitik Pirinç
İşleme Derinliği (mm)	20
Elektrot Çapı (mm)	0.8
Dielektrik Sıvı Uygulama Yönü	Takım içinden püskürtme

Çizelge 3. Deneysel Tasarımı

Akım, I, (Amper)	Vurum süresi, (On Time), $\mu$ sn	Ark Aralığı, (Off Time), $\mu$ sn	Dielektrik Püskürtme Basıncı, (Bar)	Takım Dönme Devir Sayısı, (dev/dak)
6	12	3	40	200
12			80	400
24			120	600

### 2.3. EEİ temel Performans Çıktılarının (İİH, EAH, BA) Tespit Edilmesi

Deneysel sonuçlarında İİH, EAH ve BA değerleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır.

$$\text{İİH (mm}^3/\text{dak)} = \frac{\text{İş parçası toplam aşınma hacmi (mm}^3\text{)}}{\text{Toplam işleme süresi (dak)}}$$

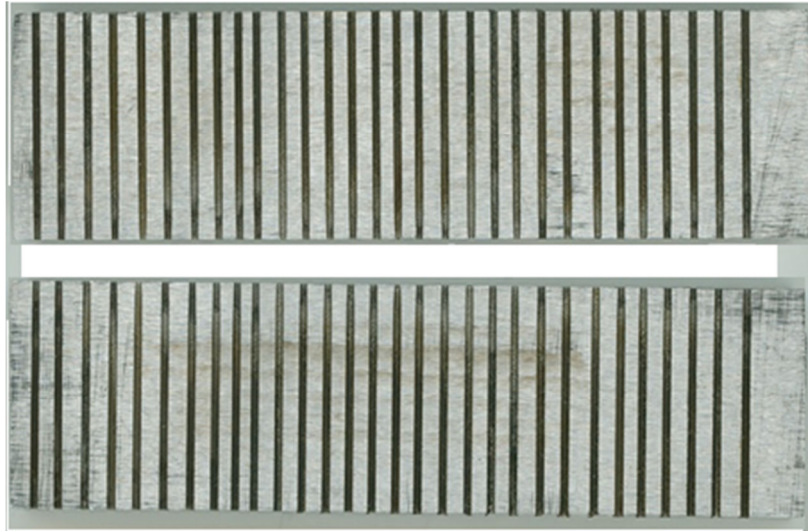
$$\text{EAH (mm}^3/\text{dak)} = \frac{\text{Elektrot toplam aşınma hacmi (mm}^3\text{)}}{\text{Toplam işleme süresi (dak)}}$$

$$\text{BA (\%)} = \frac{\text{EAH}}{\text{İİH}} * 100$$

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada EEİ yöntemiyle üç farklı boşalım akımı (6 A, 12 A, 24 A), üç farklı elektrot devir sayısı (200 dev/dak, 400 dev/dak, 600 dev/dak), sabit vurum süresi (12  $\mu$ s), sabit bekleme süresi (3  $\mu$ s) ve 3 farklı dielektrik

sıvı püskürtme basıncı (40 P, 80 P, 120 P) altında deneyler yapılmıştır. Deneylerde elde edilen deliklere ait örnek görünümü Resim 5’de sunulmuştur. Deneysel sonuçların değerlendirilmesine ait karakteristik performans çıktıları ise İİH ( $\text{mm}^3/\text{dak}$ ), EAH ( $\text{mm}^3/\text{dak}$ ) ve BA (%) olarak belirlenmiştir.

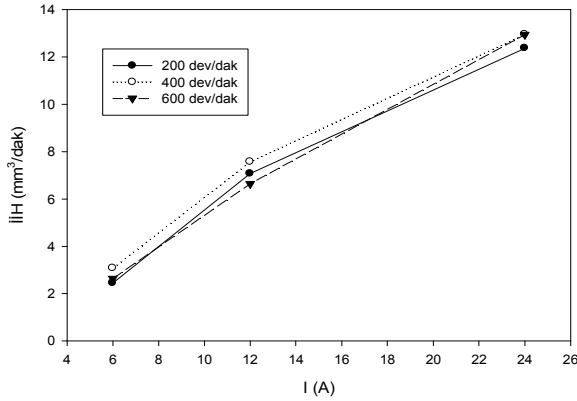


Resim 5. Deneysel sonuçlarında elde edilen örnek delikler

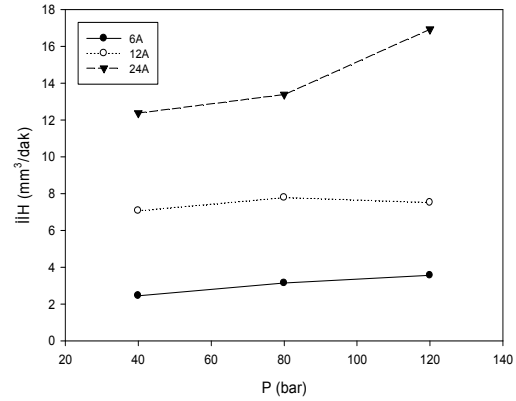
#### 3.1. İş Parçası İşleme Hızının (İİH) İşleme Parametreleri İle Değişimi

İş parçası işleme hızı (İİH) birim zamanda malzeme üzerinden kaldırılan talaş miktarı olarak ( $\text{mm}^3/\text{dak}$ )

ifade edilmektedir ve EEİ operasyonlarında en önemli çıktı parametrelerinden birisidir. EEİ operasyonlarında İİH değerlerinin yüksek olması temel beklentidir. Deneylerde elde edilen İİH değerlerinin boşalım akımı (I) ile değişimi Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. İİH-I (A) değişimi



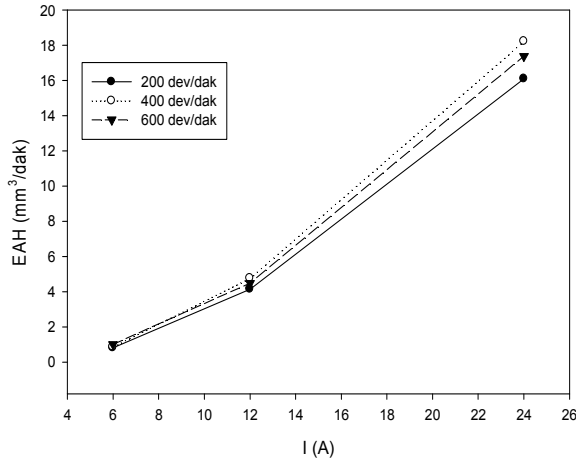
Şekil 2. İİH-P (bar) değişimi

Şekil 1'de işparçası işleme hızının (İİH) boşalım akımı değerleri ile değişimi incelendiğinde, akım değerlerinin artışına paralel olarak İİH'nin de artmakta olduğu görülmektedir. İşparçası yüzeyinde elektriksel boşalmalar sayesinde oluşan krater boyutlarının boşalım enerjisi ile doğru orantılı olarak artması elektro-erozyon ile işleme yönteminin genel prensibidir. Bunun nedeni, boşalım akımının artışı ile artan boşalım enerjisi sayesinde işparçası malzemesi yüzeyinden daha fazla malzemenin ergitilip buharlaştırılmasıdır. Yani; boşalım akımı değerinin artması ile her bir kıvılcım daha şiddetli hale gelmektedir ve şiddeti artan bu kıvılcımlar her defasında işparçası malzemesinden daha büyük bir hacmi koparmaktadır. Dolayısıyla boşalım akımının artması ile daha kısa sürede daha fazla malzeme ergitilip buharlaştırılmaktadır ve bu durumun neticesinde İİH değerleri yükselmektedir. Yapılan deneylerde 6 A'lık boşalım akımı ile İİH değerlerinin 2-4 mm<sup>3</sup>/dak aralığında olduğu, boşalım akımının 12 A olması ile İİH değerlerinin 5-8 mm<sup>3</sup>/dak aralığına yükseldiği ve boşalım akımının 24 A olması ile de İİH değerlerinin 12-14 mm<sup>3</sup>/dak aralığına yükseldiği görülmüştür. EEİ sistemi; elektrot ve iş parçası malzemesi arasında oluşan yüksek enerjili kıvılcımların iş parçası yüzeyinden eritme ve buharlaştırma sayesinde talaş kaldırması olarak düşünüldüğünde artan boşalım akımı değerleri ile İİH değerlerinin de artması literatürdeki çalışmalar ile paralellik arz etmiştir [2, 4-9]. Şekil 1 ve Şekil 2 irdelendiğinde, elektrot devir sayısı (n) sabit olarak alınıp akım artırıldıkça, İİH değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu durum tüm deneylerde boşalım akımı değerlerinin artması ile istisnasız olarak İİH değerlerinin de arttığını göstermektedir. Elektrot devir sayısının artışı ile İİH performans değerleri de artış eğilimine girmiştir. Takım devir sayısındaki artış dielektrik sıvının işleme bölgesine sürekli ve hızlı akışını sağlamış ve dolayısıyla işleme bölgesinde sürekli kıvılcım oluşumu sağlanarak işleme daha verimli ve kesintisiz hale gelmiştir. Deneysel sonuçlar göz önüne alındığında; devir sayısı ile birlikte dielektrik püskürtme basıncının artışı işleme bölgesinin etkin olarak yıkanması için önemli bir katkı

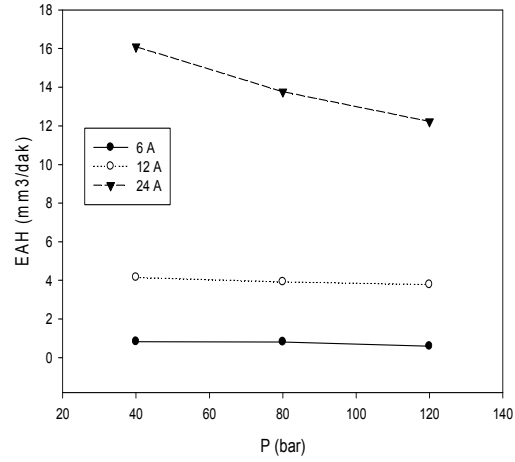
sağlamıştır. Bunun en temel sebebi takımın dönüşüyle birlikte o bölgedeki dielektrik sıvının daha hızlı hareket etmesindedir. Bu hızlı hareket ile dielektrik sıvı, elektrot ile işparçası malzemesi arasındaki yanıl boşluklardan daha hızlı uzaklaşmakta ve delik delme işlemi daha rahat yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre püskürtme tipi dielektrik uygulama yönteminin son derece etkili olduğu söylenebilir. Bu durum literatürde yer alan çalışmalar ile de paralellik göstermektedir [18-19]. Bu çalışmalarda püskürtme tipi dielektrik sıvı uygulamalarında yanıl püskürtme yöntemine göre daha yüksek İİH değerleri elde edileceği belirtilmiş bunun nedeni ise diğer yöntemlere göre daha düşük sıcaklık, daha az işleme bölgesi kirlenmesi ve işleme boşluğundaki gaz hacminin daha az olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Deneylerde uygulanan püskürtme tipi yıkama ile işleme ürünlerinin etkili bir şekilde temizlenmesi hızlanmıştır. Böylelikle sürekli temiz dielektrik sıvı kısa devre oluşumu azalmakta ve temiz işleme boşluğunda kıvılcımlar işparçasına daha etkili çarparak İİH'yi arttırmaktadır. Dolayısı ile EEİ operasyonlarında yüksek İİH değerleri için boşalım akımı, elektrot devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncının mümkün olduğunca yüksek değer aralıklarında seçilmesinin uygun olacağı tespit edilmiştir.

### 3.2. Elektrot Aşınma Hızının (EAH) İşleme Parametreleri İle Değişimi

EEİ uygulamalarında önemli performans karakteristiklerinden birisi de elektrot aşınma hızı (EAH) değerleridir. EEİ operasyonlarında iş parçası ve elektrot arasında meydana gelen kıvılcımlar sadece iş parçasında değil aynı zamanda elektrodta da belirli bir hacmi eritir ve buharlaştırır. Dolayısı ile meydana gelen aşınma EAH olarak ifade edilmektedir ve bu çalışmada EAH birim zamanda (mm<sup>3</sup>/dak) elektrot hacmindeki azalma olarak hesaplanmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen EAH değerleri ile boşalım akımı, elektrot devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncı değerleri arasındaki ilişki Şekil 3. Ve Şekil 4.'de verilmiştir.



Şekil 3. EAH-I (A) değişimi



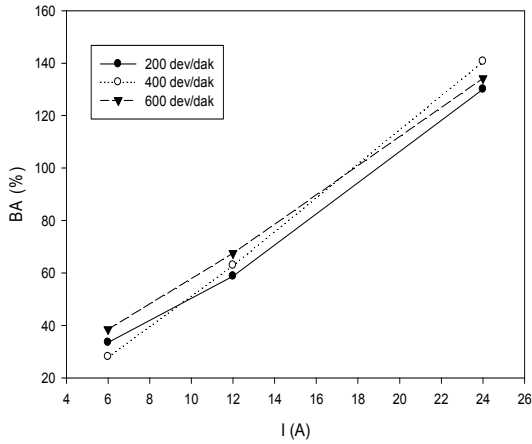
Şekil 4. EAH-P (bar) değişimi

Şekil 3'de kullanılan elektrotun (pirinç) EAH'nin boşalım akımı ile değişimi incelendiğinde; takım devir sayısının sabit olarak alınıp, akım değerinin artırılmasıyla, elektrot EAH'nin artmakta olduğu görülmektedir. Bu durum uygulanan boşalım enerjisinin büyük bir kısmı elektrot gövdesine ısı olarak iletilmediğinden (pirinç elektrotun iyi bir iletken olmasından dolayı) boşalım akımı ile orantılı olarak daha fazla malzemeyi ergitip buharlaştıran elektrotun da EAH'nin artması şeklinde yorumlanmıştır. Şekil 3'den de anlaşılacağı üzere boşalım akımı 6 A seçildiğinde EAH değerleri 0.2-2 mm<sup>3</sup>/dak aralığındadır ve boşalım akımının 12 A olması ile birlikte EAH değerleri artarak 3-4 mm<sup>3</sup>/dak aralığına yükselmiştir. Boşalım akımı değerlerinin 24 A olması ile birlikte EAH değerleri son derece hızlı bir şekilde artarak 15-18 mm<sup>3</sup>/dak aralığına yükselmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere boşalım akımının değerlerindeki artışlar pirinç takım EAH değerlerinde artışlara neden olmuştur. Boşalım akımının 24 A olması ile EAH değerleri 12 A'lık boşalım akımı değerlerine göre yaklaşık olarak %400 artmıştır. Bunun en önemli sebebi elektrotun çok ince yapıda ve içi boş olmasındandır. İnce yapıda olan takım boşalım akımı değerlerinin artmasıyla elektriksel direncini çok çabuk kaybederek ısınmaktadır. Özellikle 12 A ve 24 A'lık deneylerde EAH oldukça artmıştır. Bu akım değerleri işleme esnasında ince elektrot malzemesini çok kısa bir sürede ısıtarak kıvılcımın takımdan işparçasına doğru akması esnasında takımdan da büyük parçaların ergiyerek kopmasına yani EAH değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde dielektrik püskürtme basıncı ve akım sabit yapılan tüm deneylerde devir sayısının artışı da EAH değerlerini artırmıştır. Devir sayısının artışı

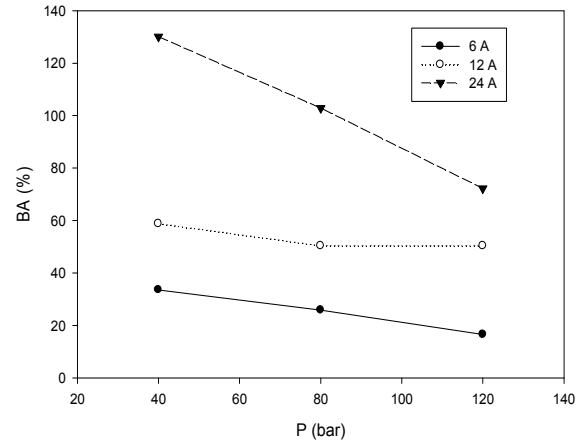
işleme bölgesinde sürekli temiz işleme sıvısının bulunmasını sağladığı için daha fazla kıvılcım boşalımının EAH'yi artırdığı bilinmektedir [4, 8, 10]. Dolayısıyla sürekli temiz olan işleme bölgesinde kıvılcım boşalımı daha etkili ve fazla olacağından ince takımdan daha fazla malzeme erimiş ve buharlaşmıştır. Bu durumda EAH doğal olarak artmıştır. Şekil 4'te EAH ve dielektrik püskürtme basıncı arasındaki ilişki incelendiğinde dielektrik püskürtme basıncının artması ile EAH değerlerinin azalma eğilimine girdiği görülmektedir. Bu durumun en önemli sebebi dielektrik püskürtme basıncının artması ile işleme ortamının daha hızlı temizlenmesi ve istenmeyen kıvılcım boşalımının ortadan kaldırılması ile yorumlanmıştır. Ayrıca literatürdeki çalışmalarda dielektriğin takım içinden püskürtülmesi ile işleme ürünlerinin işleme ortamından daha etkin uzaklaştırıldığı da bilinmektedir [20-24]. Dolayısıyla EAH'de dielektrik püskürtme basıncına bağlı olarak meydana gelen azalmalar elektro erozyon yöntemi ile delik delmede etkili püskürtmenin elektrotu daha hızlı soğutması işleme ortamını daha hızlı temizlenmesi ve daha yüksek enerjili kıvılcım boşalımı ile boru tipi takımdan daha az elektrot kopması şeklinde yorumlanmıştır.

### 3.3. Bağlı Aşınmanın (%) İşleme Parametreleri İle Değişimi

Bağlı aşınma (BA) EEİ operasyonlarında her bir işlem esnasında EAH ve İİH arasındaki bağlantıyı ifade eden önemli bir çıktı parametresidir. Deneyler sonrasında elde edilen veriler sayesinde hesaplanan BA değerlerinin grafiksel ifadesi Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 5. BA (%) - I (A) değişimi



Şekil 6. BA (%) - P (bar) değişimi

Şekil 5 incelendiğinde boşalım akımının artmasına paralel olarak BA değerlerinde de artışlar meydana gelmiştir. Bu durumun nedeni yüksek boşalım akımı değerlerinde EAH değerlerinin İİH değerlerine göre daha fazla artış göstermesi ile açıklanmıştır. 6 A'lik boşalım akımı ile gerçekleştirilen deneylerde BA değerleri %20-%40 aralığında boşalım akımı değerinin 12 A olması ile BA değerleri %50-%60 aralığına yükselmiştir. Bu durum boşalım akımı değerlerinin 6 A'den 12 A'ye yükselmesi esnasında hem EAH ve hem de İİH değerlerinin aynı ve düşük oranlarda arttığını göstermektedir. Boşalım akımı değerlerinin 24 A olması ile birlikte BA değerleri 6 A ve 12 A'lik boşalım akımı değerleri ile elde edilen sonuçlara nazaran önemli bir artış göstermiştir ve BA değerleri %120-%140 aralığına yükselmiştir. Bu artış ince ve içi boş elektrotun yüksek boşalım akımı değerlerinde İİH'ye göre daha fazla EAH'ye sahip olması ile açıklanmıştır. Çünkü içi boş ve ince yapıda olan elektrot yüksek boşalım akımı değerlerinde elektriksel direncini çok hızlı bir şekilde kaybederek EAH değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile BA'nın  $(EAH/İİH) \times 100$  formülü ile hesaplandığı göz önüne alındığında EAH değerlerinde İİH değerlerine göre daha fazla olan artışlar BA değerlerinin de artmasına neden olmaktadır. Şekil 5'de elektrota uygulanan devir sayısı ile BA değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum elektrot devir sayısının artışı ile EAH değerlerinin de artması ile açıklanmıştır. Şekil 6'da dielektrik püskürtme basıncı değerlerinin artması ile BA değerlerinin azalma eğilimine girdiği görülmektedir. Deneylerde uygulanan püskürtme tipi yıkama sayesinde işleme artıkları işleme bölgesinden çok rahat bir şekilde uzaklaştırılmaktadır [23-25] ve bu nedenle temiz olan işleme bölgesinde İİH değerleri de yükselmektedir. İİH değerlerinin EAH değerlerine göre daha fazla artışı BA değerlerinde azalmaya neden olmuştur.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada AISI 1040 işparçasına EEİ yöntemiyle mikro delik delme uygulamalarında işleme parametrelerinin (boşalım akımı, elektrot devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncı) işleme performansı çıktıları (EEİ, EAH, BA) üzerindeki etkileri deneysel

olarak incelenmiştir. Deneyler sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Kurulan sistem ile 0.8 mm çapında ve 20 mm boyunda delikler elde edilmiştir. Delik delme sürelerini etkileyen en önemli parametre boşalım akımı değerleri olmuştur. Elektrot devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncının artışı deliklerin daha rahat delinmesi için önemli bir katkı sağlamıştır.
- İİH sonuçları ele alındığında boşalım akımı değerlerini artması ile İİH değerlerinde önemli bir artış görülmüştür. Boşalım akımı değeri 6 A seçildiğinde yaklaşık olarak 2.5 mm<sup>3</sup>/dak olan İİH boşalım akımı değerinin 24 A olması ile yaklaşık %600 artmış ve 18 mm<sup>3</sup>/dak değerine yaklaşmıştır. Elektrot devir sayısının artması ile İİH değerleri artış eğilimine girmiştir. Artan dielektrik püskürtme basıncı değerleri sayesinde işleme ortamının sürekli temiz olması nedeni ile İİH değerleri de artma eğilimine girmiştir.
- EAH sonuçları değerlendirildiğinde boşalım akımı değerlerinin artması ile EAH değerleri de artmıştır. Boşalım akımı değerlerinin 6 A olması ile 0.8 mm<sup>3</sup>/dak olan EAH değerleri boşalım akımının 24 A olması ile yaklaşık olarak 18 mm<sup>3</sup>/dak olmuştur. EAH değerlerindeki bu artış elektrotun çok ince yapıda ve içi boş olması nedeni ile açıklanmıştır. EAH değerleri artan elektrot devir sayıları ile artış ve artan dielektrik püskürtme basıncı değerleri ile azalma eğilimine girmiştir.
- BA değerleri göz önüne alındığında boşalım akımı değerlerinin artışına bağlı olarak BA değerleri de artmıştır. Bu durum boşalım akımı değerlerinin yükselmesi ile EAH değerlerinin İİH değerlerine göre daha fazla artması ile açıklanmıştır. Elektrot devir sayılarının artması ile artış eğilimine giren BA değerleri dielektrik püskürtme basıncının artması ile azalma eğilimine girmiştir.



## KAYNAKÇA

1. Yılmaz, V., “Experimental Investigation Of Drillability Of Micro Holes Using Electro Discharge Machining”, Ph. D. Thesis., *Gazi University Graduate School Of Naturel And Applied Sciences*, Ankara (2013).
2. Yılmaz, V., Dilipak, H., “Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ) Yöntemi İle Mikro Delik Delme Sistemi Tasarımı”, **4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu.**, 7-9 Kasım, Aydın (2013).
3. Pandey, P.C., Shan, H.S., “Modern Machining Processes”, *Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited*, New Delhi, 84-114, (1980).
4. Springborn, R. K., “Non-Traditional Machining Processes”, *American Society of Tool and Manufacturing Engineers*, USA, (1967).
5. Chow, H.M., Yan, B.H., Huang, F.Y., Hung, J.C., “Study of added powder in kerosene for the micro-slit machining of titanium alloy using electro-discharge machining”, *Journal of Materials Processing Technology*, 101, 95-103, (2000).
6. Ergün,Z.E., Çoğun,C., “Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ) İş Parçası Yüzey Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 21, No 3, 427-441., (2006).
7. Özgedik, A., Çoğun, C., “Elektro-Erozyon İle İşlemede İşleme Haznesine Uygulanan Titresimlerin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt:8 No:3 s 13-25.,(2011).
8. Özgedik,A.,Çoğun,C., “Elektro Erozyon ile İşlemede Elektrot Ön Yüzey Aşınmasının Deneysel İncelenmesi”, *Mühendis ve Makina*, 521, (21-28),.(2003).
9. Çoğun,C.,Kocabaş,B., Özgedik,A., “Elektro Erozyon İle İşlemede (EDM) İşparçası Yüzey Pürüzlülük Profilinin Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 19, No 1, 97-106., (2004).
10. Leao, F.N., 2005, Optimisation of EDM fast holedrilling through evaluation of dielectric and electrode materials, Proceedings of COBEM 2005, *18th International Congress of Mechanical Engineering*, November 6-11, Ouro Preto, MG.
11. Kuppan, P., Rajadurai, A., Narayanan, S., 2008, Influence of EDM process parameters in deep hole drilling of Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38/1-2:74-84.
12. Asokan, T., Reddy, S.S., Costa, P.D.E., 2000, Electrical discharge drilling of titanium alloys for aerospace applications, *Proceedings of 19th AIMTDR conference, IIT Madras*, Chennai:161-165.
13. D.T. Pham, S.S. Dimov, S. Bigot, A. Ivanov, K. Popov., “Micro-EDM—recent developments and research issues”, *Journal of Materials Processing Technology* 149 (2004) 50–57
14. Bamberg, E., Heamawatanachai, S., “Orbital electrode actuation to improve efficiency of drilling micro-holes by micro-EDM”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1826–1834 (2009).
15. S. Bigot, J. Valentin, O. Blatnik, M . Junkar, “Micro EDM parameters optimisation”, *Multi-Material Micro Manufacture*, 195-198, (2006).
16. Endo, T., Tsujimoto, T., Mitsui, K., “Study of vibration-assisted micro-EDM—The effect of vibration on machining time and stability of discharge”, *Precision Engineering*, 32, 269–277 (2008).
17. Chern G-L., Chuang, Y., “Study on vibration-EDM and mass punching of micro-holes”, *Journal of Materials Processing Technology* 180 151–160 (2006).
18. 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 (1999), 107-111.
19. 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).
20. Yılmaz,O., Bozdana, A, T., Okka, M.A., Filiz, İ.H., “An intelligent and automated system for EDM hole drilling of super alloys”, *5th International Conference on Responsive Manufacturing- Green Manufacturing.*, Ningbo, China, 11-13 Jan., ISBN: 978-1-84919-199-9., (2010).
21. K.H. Ho, S.T. Newman., “State of the art electrical discharge machining (EDM)”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43 (2003) 1287–1300
22. 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 (1999), 107-111.
23. Mohri, N., Suzuki, M., Furuya, M., Saito, N., 1995, “Electrode wear process in electrical discharge machining”, *Annals of the CIRP*, 44, 1, 165-168

24. Znidarsic., M., Junkar., M., “ Deep Small Hole Drilling with EDM”, *Proceedings of 4th International Conference on Advanced Manufacturing Systems and Technology.*, 527-533., ISBN 3-211-82808-7., 1996., Udine.
25. Liu., H.S., Yan., B.H., Chen.,C.L., Huang., F.Y., “Application of micro-EDM combined with high-frequency dither grinding to micro-hole machining”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46, 80–87., (2006).