

# The Examining of Hole Profile for Drilling Micro-Size Deep Holes with Electro Discharge Machining

Volkan Yilmaz

Motor Vehicles and Transportation Technologies Department,  
Kazan Vocational High School, Gazi University, 06170, Ankara, Turkey  
E mail: mustafaozdemir58@gmail.com

Mustafa Ozdemir

Machine and Metal Technology Department, Bozok University,  
66100, Yozgat, Turkey

Hakan Dilipak

Manufacturing Engineering Department, Technology Faculty, Gazi University,  
06170, Ankara, Turkey

## Abstract

In the study, AISI 1040 materials are drilled with micro-size deep holes with electro discharge machining under different processing parameters. Within this scope, experiments are carried out with three different discharge current (6, 12, 24A), three different electrode rotational speed (200, 400, 600 r / min), three different dielectric spray pressures (40, 80, 120 bar) and stable pulse interval (3 microseconds ( $\mu$ s)) performed. It is ascertained that the hole profiles after the tests are directly related with the working parameters, and that the average radial overcut (ARO) with the increase of the discharge current, the electrode rotation speed and the dielectric injection pressure increases, the dimensional error (DE) values of the hole with the increase of the discharge current and the electrode rotational speed increases and decreases with the increase of the dielectric spray pressure.

**Keywords:** Micro hole drilling, Elektro discharge Machining, AISI 1040

## Elektro Erozyon İşleme ile Mikro Derin Deliklerin Delinmesinde Delik Profilinin İncelenmesi

### Özet

Bu çalışmada, EEİ (elektro erozyon ile işleme) yöntemiyle farklı işleme parametreleri altında AISI 1040 çeliği malzemelere delikler delinmiştir. Bu kapsamda 3 farklı boşalım akımı (6, 12, 24 A), 3 farklı elektrot takım devir sayısı (200, 400, 600 dev/dak), 3 farklı dielektrik püskürtme basıncı (40, 80, 120 bar) ve sabit vuruş süresi (3  $\mu$ s) altında deneyler yapılmıştır. Deneyler sonrasında oluşan delik profillerinin doğrudan işleme parametrelerine bağlı olduğu, delik ortalama radyal açıklığının (ORA) boşalım akımı, elektrot takım devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncının artması ile arttığı, delik boyutsal hata değerinin (BH) ise boşalım akımı ve elektrot takım devir sayısının artması ile arttığı, dielektrik püskürtme basıncının artması ile azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Mikro delik delme, Elektro erozyon tekniği, AISI 1040

### 1.Giriş

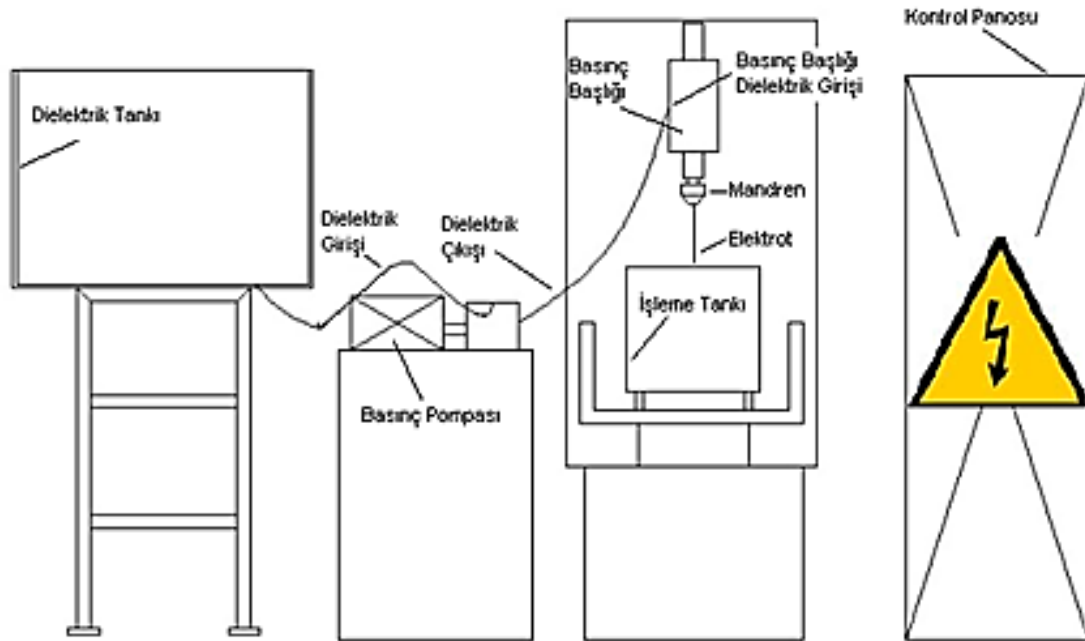
Talaşlı imalat işlemleri arasında delik delmenin önemli bir yeri vardır ve talaşlı imalat işlemlerinin yaklaşık olarak 1/3'lük kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca mekanik sistemlerin birleştirme, püskürtme, hava akımı, vb alanlarda karşılaşılan unsurlardan bir tanesi de mikro deliklerdir. Mikro delik delme işlemlerinde temel beklenti en küçük delik çapı ve en uzun delik boyudur (yüksek en/boy oranı). Delik çaplarının küçülmesi ile talaşın delik kanalından uzaklaştırılması, yüksek derinliğe inilmesi ve etkili soğutmanın yapılabilmesi zorlaşmaktadır. Dolayısıyla klasik talaş kaldırma yöntemleri mikro deliklerin elde edilebilmesi için yetersiz kalmakta ve sektör çalışanları ile bilim insanları alışılmamış imal

yöntemlerine yönelmektedir. Alışılmamış imalat yöntemleri içerisinde mikro deliklerin elde edilmesi için en etkili yöntemlerden bir tanesi elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemidir. EEİ yöntemi enerjinin belli bir alana odaklanarak o bölgede ergime ve buharlaşma yardımı ile iş parçasından o alanın koparılması esasına dayanır. Kullanılan bu yeni yöntemde iş parçası ile elektrot takım arasında doğrudan fiziksel bir temas olmaması nedeni ile birçok avantaj sağlanmaktadır [1]. Bu yöntemde belirlenen hızda döndürülen küçük çaplı boru tipi elektrot içerisinde istenilen basınç değerinde püskürtülen dielektrik sıvı ile işleme bölgesindeki çok küçük boyutlu işleme artıkları uzaklaştırılmaktadır. Kullanılan elektrot takımın çapından biraz daha büyük delikler kolaylıkla üretilmektedir. Yöntemin en önemli avantajı elektriksel iletken olmak kaydıyla bütün metallere delik delinebilmesidir. Bu yöntem, makro ve mikro boyutlarda, üstün yüzey kalitesinde ve kabul edilebilir koniklikte delik delme işlemleri için alternatif bir yöntem olarak uygulama alanı bulmuştur [2-8]. Bu yöntemde boru tipi olmayan elektrotlar ile de düzgün delik geometrileri elde edilmektedir [9]. Yönteme ilave edilen diğer işleme teknikleri ile de delik giriş ve çıkış çapları arasındaki fark  $2 \mu\text{m}$ 'ye kadar düşürülmektedir [10]. Lazer ile EEİ tekniğinin birlikte kullanılması ile delik kalitesi ve diğer konularda önemli iyileşmeler sağlanmıştır [11]. Vurum jeneratörlerinin değiştirilmesi ile de küçük delik, iyi boyutsal doğruluk, iyi yüzey kalitesi ve iyi dairesellik için önemli bir iyileştirme yapılmıştır [12]. EEİ yönteminde dielektrik sıvı püskürtme şartlarının delik en/boy oranı ve kalitesinde önemli bir yeri vardır ve optimum püskürtme şartlarının belirlenmesi istenilen delik özellikleri açısından son derece önemlidir [13]. Ayrıca dielektrik sıvının cinsi de işleme performansı ve delik geometrisine etki etmektedir [14]. Elektrot takıma dönme hareketi verilmesiyle ve etkili bir püskürtme ile 18 en boy oranlı mikro delikler delinebilmektedir [15]. Elektrotta verilen dönme hareketi ile elektrot takımın daha iyi dalma hareketi gerçekleştirdiği ve elektrotun aşınma direncinin yükseldiği de yapılan çalışmalardan bilinmektedir [16]. EEİ yöntemi ile delik delme çalışmalarında karşılaşılan önemli sorunlardan bir tanesi kullanılan elektrot takım çapına yakın çapta ve kabul edilebilir koniklikte deliklerin elde edilmesidir ve bu sorun elektrot takım malzemesi üzerine yapılan bir kaplama ile aşılmakta ve elektrot aşınmasında da önemli iyileşmeler sağlanmaktadır [17]. EEİ yöntemi ile delik delme uygulamalarında oluşan bu konikliğin bazı durumlarda fayda yaratabileceği, ya da yeni bir sistem ile ters koniğin elde edilebileceği de yapılan çalışmalardan bilinmektedir [18].

Bu çalışmada EEİ yöntemiyle delik delme uygulamalarında işleme parametrelerine bağlı olarak delik geometrisinde meydana gelen bozulmalar en aza indirilmiş ve optimum işleme parametreleri belirlenmiştir. Bu kapsamda farklı işleme parametreleri altında yapılan deneyler sonucunda delikler üzerinden alınan ölçümler sayesinde çeşitli değerlendirmeler yapılmış ve EEİ yöntemi ile delik delme uygulamalarında işleme parametrelerinin delik geometrisine etkileri tespit edilmiştir.

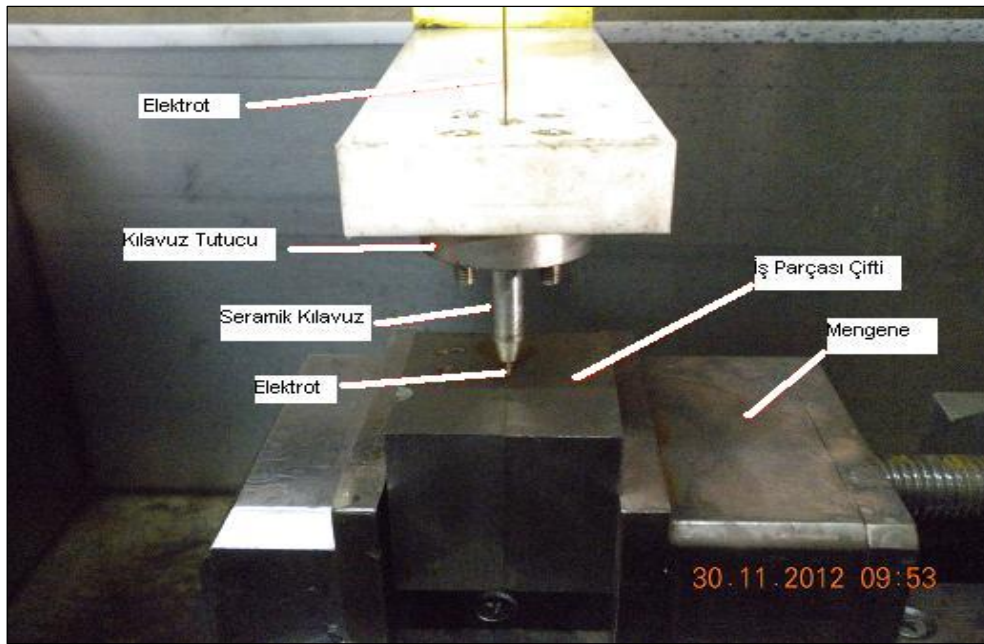
## 2. Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalarda FURKAN marka EEİ M50A tip endüstriyel elektro erozyon tezgahı kullanılmıştır. Kurulan sistem Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Deney düzeneği

Sisteme ilave edilen güç kaynağı sayesinde de elektrotun devir sayısı da kontrol edilmiş ve istenilen dev/dak değerlerine ulaşılmıştır. Dielektrik sıvının basınç başlığına ulaşımı ise basınç pompası sayesinde olmuştur. Dielektrik sıvı basıncı by-pass mekanizması üzerinde yer alan manometre ile her an kontrol edilmiştir. Yine burada yer alan ayar vidası ile istenilen değerlerde dielektrik sıvı basıncı değerine ulaşılmıştır. İşlemeler tezgâhın 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. Elektrot takım salgılı dönmemesi için seramik kılavuz içerisinden geçirilerek deney numunelerine yaklaştırılmıştır (Resim 1). Deneylerde elektrot takım olarak boyu 400 mm, iç çapı 0,18 mm ve dış çapı 0,8 mm olan pirinç elektrotlar, deney numunesi olarak ise imalat sanayinde geniş kullanım alanı olan AISI 1040 kullanılmıştır. Deney numuneleri 10x20x200 mm ebatlarında hazırlanmıştır. AISI 1040 malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de verilmiştir.



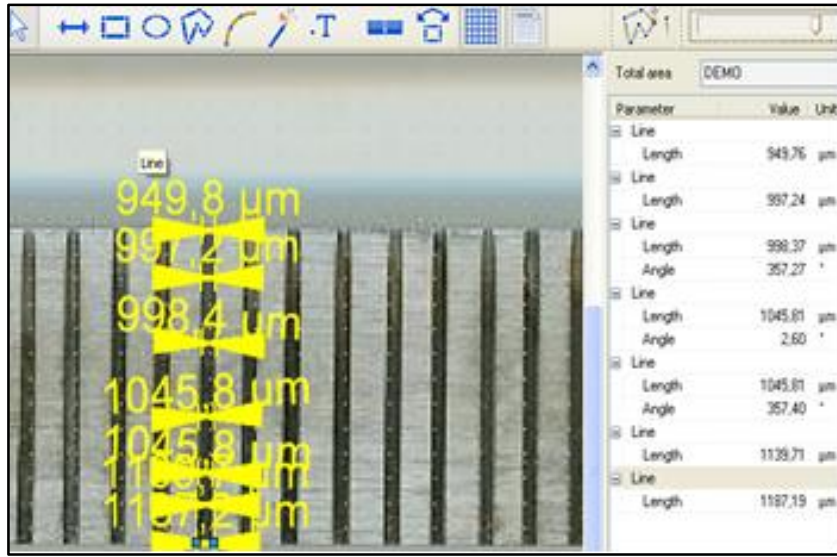
Resim 1. Elektrotun sabitlenmesi

| 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 |        |

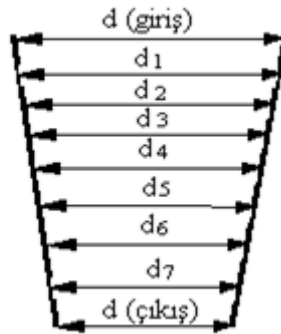
Çizelge 1. AISI 1040 malzemesi kimyasal bileşimi

## 2.1. Delik geometrisinin belirlenmesi

Delik geometrisi ve boyutlarının tespiti ve delik geometrisinin incelenmesi amacıyla işlenmiş numuneler kurutulup temizlendikten sonra çözünürlüğü yüksek tarayıcıda (HP scanjet 8200) taranmıştır. Daha sonra bu görüntüler kullanılarak Datinf Measure görüntü analizi ve ölçüm paket programıyla her delik için üzerinden çap ölçümleri yapılmıştır. Bu programla yapılmış örnek bir delik ölçümü Şekil 2 ve Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 2. Numune kesitleri üzerinden delik çaplarının ölçülmesi örneği



Şekil 3. Delik kesiti üzerinden alınan ölçümler

*Ortalama Radyal Açıklık (ORA): Ortalama radyal açıklık değeri delik boyunca alınan çap ölçümlerinin ortalamasının takım çapından çıkarılarak bulunan değerin yarısının alınması şeklinde hesaplanmıştır.*

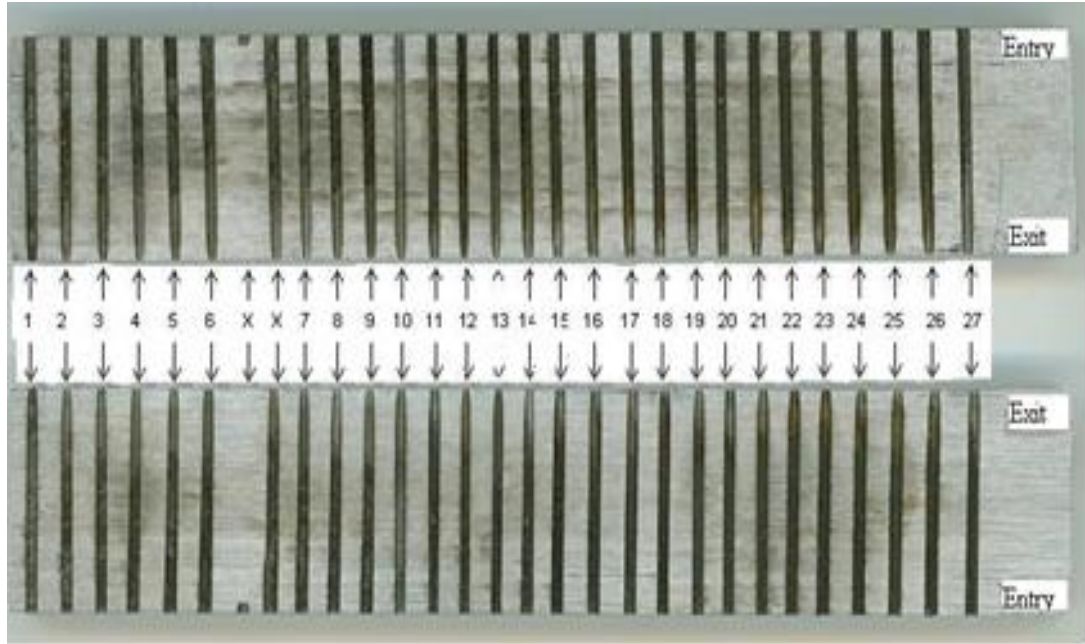
$$ORA(\mu m) = ((d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6 + d7) / 7 - \text{elektrot çapı}) / 2$$

*Boyutsal Hata (BH): Deliğin konikliği hakkında bilgi veren bu değer bir delik boyunca en büyük çap ve en küçük çap değeri arasındaki farkın delik boyuna bölünmesiyle hesaplanmıştır.*

$$BH(\%) = (d(\text{giriş}) - d(\text{çıkış})) / \text{delik boyu}$$

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

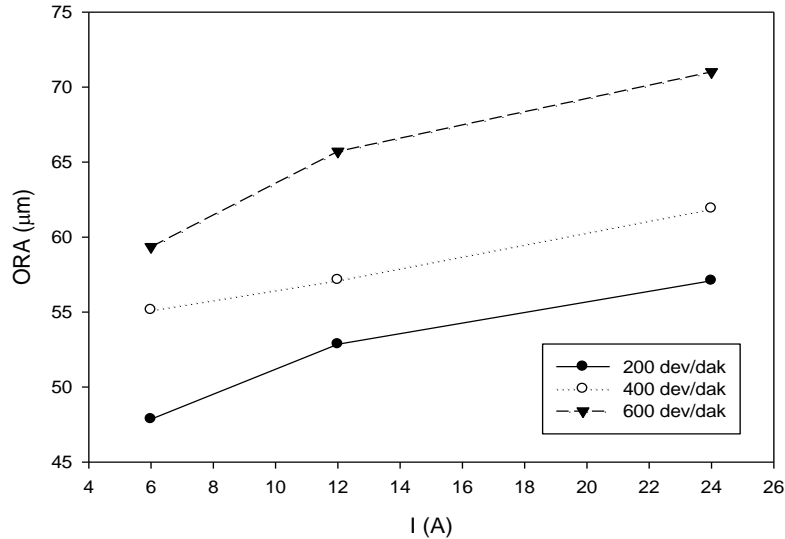
Bu çalışmada EEİ yöntemiyle 3 farklı boşalım akımı (6, 12, 24 A), 3 farklı elektrot takım devir sayısı (200, 400, 600 dev/dak), 3 farklı dielektrik püskürtme basıncı (40, 80, 120 bar) ve sabit vurum süresi (12 µs) ile sabit vurum aralığı (3 µs) altında deneyler yapılmıştır. Deneyler sonrasında elde edilen örnek delik görüntüleri Resim 2'de sunulmuştur. Deney sonuçlarının daha kolay ve karşılaştırmalı olarak tartışılabilmesi için sonuçlar grafiksel olarak ifade edilmiştir.



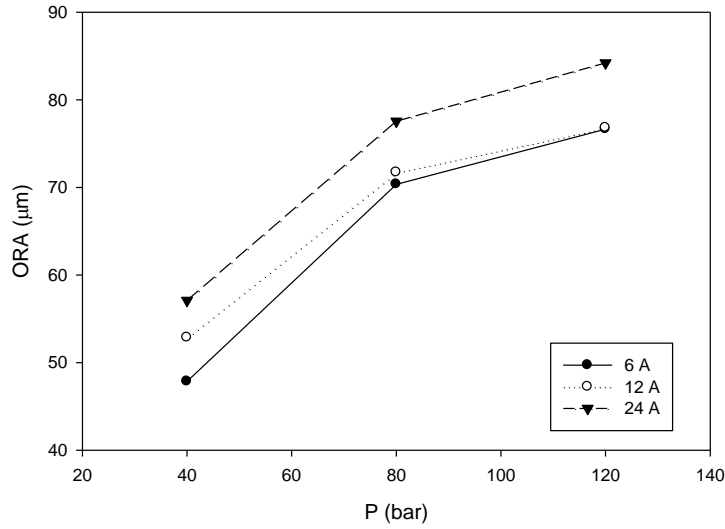
Resim 2. Deneysel olarak elde edilen delik görüntüleri

### 3.1. ORA değerlerinin işleme parametreleri ile değişimi

Ortalama radyal açıklık değeri (ORA) EEİ yöntemiyle delik delme işlemleri esnasında elektrot takım çapından sapma olarak da ifade edilebilir ve delik geometrisi hakkında bilgi veren önemli bir çıktı parametresidir. Deneysel olarak uygulanan farklı boşalım akımı, elektrot takım devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncına bağlı olarak değişen ORA değerleri Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. Boşalım akımı (I)-ORA (µm) değişimi

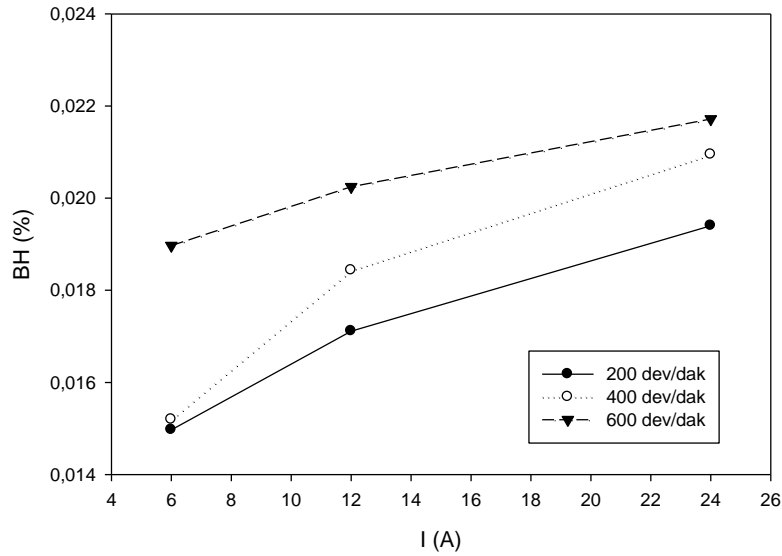


Şekil 5. Püskürtme basıncı (P)-ORA (µm) değişimi

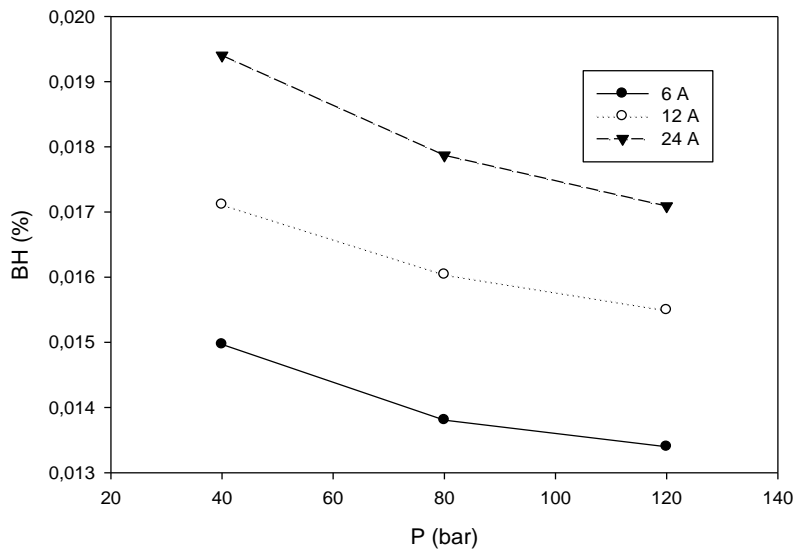
Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde artan boşalım akımı değerlerine bağlı olarak ORA değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu durum; boşalım akımı arttırıldığında, takımın delik boyunca aynı konumlardan aynı zaman diliminde daha fazla boşalım enerjisi ile kıvılcım oluşturması ve dolayısı ile daha fazla malzemenin işlenmesini sağlayarak delik çapını arttırması şeklinde yorumlanmıştır. Sabit basınç ve devir sayısında boşalım akımının artışı ile de delik çapı genişlemiş ancak bu durum düşük akım değerlerinde fazla bir belirginlik göstermemiştir. 200 dev/dak elektrot takım devir sayısı sabit işlemlerde ORA değerleri, boşalım akımının 6 A'den 12 A'ye yükselmesi ile, 40 bar dielektrik sıvı basıncında %10, 80 bar dielektrik sıvı basıncında %2, 120 bar dielektrik sıvı basıncında %1, boşalım akımının 12 A'den 24 A'ye yükselmesi ile 40 ve 80 bar dielektrik sıvı basıncında yaklaşık %8, 120 bar dielektrik sıvı basıncında ise %9 artmıştır. ORA değerleri dielektrik sıvı basıncının artması ile de artış göstermiştir. 200 dev/dak elektrot takım devir sayısı sabit yapılan deneylerde 6, 12 ve 24 A'lik boşalım akımı değerlerinde dielektrik sıvı basıncının 40 bardan 80 bara yükselmesi ile ORA değerleri sırasıyla %47, %35 ve %35, dielektrik sıvı basıncının 80 bardan 120 bara yükselmesi ile de ORA değerleri %9, %7 ve %8 artış göstermiştir. Çünkü püskürtme basıncındaki artış, işleme ürünlerinin daha etkili uzaklaştırılmasını sağlamış ve bu nedenle de dielektrik sıvı sirkülasyonu hızlanarak kıvılcım boşalım sayısı artmıştır. Böylelikle, artan püskürtme basıncı ile daha fazla malzeme kaldırılarak büyük çaplı işlemler elde edilmiştir. Bu duruma paralel olarak artan elektrot takım devir sayısı ile de ORA değerleri artmaktadır. 6 A'lik boşalım akımı deneylerinde 40, 80 ve 120 bar dielektrik sıvı basınçlarında ORA değerleri elektrot takım devir sayısının 200 dev/dak'dan 400 dev/dak'ya yükselmesi ile sırasıyla %15, %3 ve %8, elektrot takım devir sayısının 400 dev/dak'dan 600 dev/dak'ya yükselmesi ile de sırasıyla %8, %12 ve %5 artmıştır. Elektrot takım devir sayısının artması temiz dielektriği işleme bölgesine kesintisiz olarak sağladığından kıvılcım boşalımlarını daha etkili yapmıştır ve böylelikle ORA değerleri yükselmiştir.

### 3.2. BH değerlerinin işleme parametrelerine bağlı olarak değişimi

Deneyler sonrasında delikler üzerinden alınana ölçümler ile belirlenen boyutsal hata (BH) değeri delik duvarlarının birbirine paralellığı, yani delik kesitinin koniklik durumunda bilgi vermiştir. Delik kalitesi açısından elektro erozyonla hızlı delik delme işlemlerinde en önemli işleme performansı çıktılarından birisi olan bu değer, deliğin istenilen boyut ve toleranslarda elde edilip edilmediğinin göstergesidir. BH değerinin küçük olması endüstriyel alanda çok sık kullanılan bu çelik malzemenin EEİ yöntemiyle şekillendirilmesi açısından son derece önemlidir. Deneyler sonrasında elde edilen BH değerlerinin işleme parametrelerine bağlı olarak değişimi Şekil 6 ve Şekil 7'de ifade edilmektedir.



Şekil 6. Boşalım akımı (I)-BH (%) değişimi



Şekil 7. Püskürtme basıncı (P)-BH (%) değişimi

Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde artan boşalım akımı değerleri ile birlikte BH değerlerinin de arttığı görülmektedir. Boşalım akımının artışı ile oluşan her bir kıvılcım bir defada iş parçasından daha büyük bir alanı koparmaktadır. Bu duruma paralel olarak BH değeri artmaktadır. 200 dev/dak elektrot takım devir sayısı ve 40 bar dielektrik sıvı basıncı sabit yapılan deneylerde elde edile BH değerleri boşalım akımının 6 A'den 12 A'ye yükselmesi ile %14 ve boşalım akımının 12 A'den 24 A'ye yükselmesi ile %13 artış göstermiştir. Deneysel sonuçlar delik delme uygulamalarında küçük boşalım akımı değerleri ile daha düzgün yapıda delik profillerinin elde edileceğini doğrulamıştır [1, 4, 9, 13]. Yine bazı çalışmalarda, BH değerlerini azaltmak amacı ile tüp takımın delik içerisinde kalan kısımlarının yalıtıldığı da bilinmektedir [9, 10, 17, 19]. Ancak, kıvılcım boşalımı esnasında takım ucunun boşalım enerjisinin sıcaklığından dolayı aşınması, genellikle bu yalıtım yöntemlerinin kimyasal yapısını bozmaktadır ve deliklerde çok az da olsa % BH değerlerinin oluşması önlenememektedir. BH değerlerinin dielektrik püskürtme basıncının artışıyla azaldığı görülmektedir. 200 dev/dak elektrot takım devir sayısı sabit işlemlerde 6 A'lik boşalım akımı deneylerinde dielektrik püskürtme basıncının 40 bardan 80 bara

yükselmesi ile BH değeri %8, 80 bardan 120 bar değerine yükselmesi ile de %3 azalmıştır. Bu azalma 12 A boşalım akımı deneylerinde %7 ve %4, 24 A boşalım akımı deneylerinde ise %8 ve %5 olarak tespit edilmiştir. Takım içerisinde püskürtülen dielektrik sıvı sayesinde işleme bölgesinde sürekli temiz dielektrik sıvı bulunmaktadır. Böylelikle işleme atıkları ve kirli dielektrik sıvı bu bölgeden etkili ve hızlı bir şekilde sürekli olarak uzaklaştırılmaktadır. Bu sayede işleme boşluğunda bazı noktalarda işleme atıklarının yoğunluğundan kaynaklanan iletken köprülerin oluşumu engellenmektedir. İletken köprülerin engellenmesi ile anormal, rastgele ve dağınık kıvılcımların oluşmaması sağlanarak delik geometrisinin bozulması önlenmektedir. Burada bahsi geçen bu tür rastgele kıvılcımlar ark oluşturarak elektrot ve iş parçası malzemelerinde istenmeyen tahribatlara da yol açmakta ve beklenen performans değerlerine olumsuz yönde etki etmektedirler [13-15, 20, 21]. Deneysel çalışmada kullanılan püskürtme tipi dielektrik yöntemi sayesinde bu tür olumsuzluklar giderilmiştir. Ayrıca çalışmada elektrot takım devir sayılarındaki artış da BH değerlerini arttırmıştır. 6 A boşalım akımı ile yapılan deneylerde 40 bar dielektrik sıvı püskürtme basıncında elektrot takım devir sayısının 400 dev/dak olması ile BH değeri %2, 600 dev/dak olması ile BH değeri %24 artmıştır. Bu artış 80 bar dielektrik sıvı püskürtme basıncında %8 ve %11, 120 bar dielektrik püskürtme basıncında ise %9 ve %10 olarak tespit edilmiştir. 12 ve 24 A boşalım akımı ile yapılan deneylerde de bu duruma paralel sonuçlar elde edilmiştir ve elektrot takım devir sayısındaki artışlar istisnasız tüm deneylerde BH değerini arttırmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Boşalım akımındaki artış işleme boşluğunda daha büyük kıvılcımlar oluşturmuş ve daha fazla malzemenin buharlaşmış iş parçasından koparılmasına neden olmuş ve bu duruma paralel olarak ortalama radyal açıklık (ORA) ve boyutsal hata (BH) değerleri artmıştır. EEİ yöntemiyle delik delme uygulamalarında elektrot takım çapına yakın çapta deliklerin elde edilmesi için düşük boşalım akımlarının tercih edilmesi gerekmektedir. Elektrot takım devir sayısının artması ile elektrot takım çapından büyük deliklerin elde edildiği ve delik çapında sapmaların arttığı tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan püskürtme tipi dielektrik yöntemi sayesinde delik delme işlemlerinde meydana gelebilecek tıkanmaların ve kısa devre oluşumlarının önüne geçilmiştir. Elektro erozyon ile delik delmede temel prensip mümkün olduğu kadar takım çapına yakın işlemlerin elde edilmesidir. Dolayısıyla ideal çalışma şartları belirlenirken püskürtme basıncının çok fazla artırılması pek faydalı olmayacaktır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde düşük püskürtme basınçlarının istenilen boyutlara uygun çapların elde edilmesi için faydalı olacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [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] Leao, F. N., "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, (2005).
- [4] Kuppam, P., Rajadurai, A., Narayanan, S., "Influence of EDM process parameters in deep hole drilling of Inconel 718", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 38/1-2: 74-84 (2008).
- [5] Asokan, T., Reddy, S. S., Costa, P. D. E., "Electrical discharge drilling of titanium alloys for aerospace applications", Proceedings of 19th AIMTDR conference, IIT Madras, Chennai: 161-165 (2000).
- [6] Yılmaz, V., Dilipak, H., Özdemir, M., Uzun, G. "Examining The Surface Roughness While Drilling Micro-Size Deep Holes with Electro Discharge Technique on Hadfield Steel". International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 2014, p. 156-164.





- [7] Yılmaz, V., Özdemir, M., Sarıkaya, M., Yılmaz, C.Y., Dilipak, H.” Effect to Hole Profile of Elektrode Selection in the Micro Deep Holes Processing Drilling With Elektro Discharge Method”. International Iron and Steel Symposium, 2015, p. 776-780.
- [8] Yılmaz, V., Özdemir, M., Dilipak, H. Examining Efectivly to Hole Profile of Processing Parameters While Drilling Micro-Size Deep Holes With Electro Discharge Technique on X10CrAlSi7 Materials, 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 2014, p. 83-89, Bursa, Ekim 2014, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
- [9] 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).
- [10] B.H. Yan., A.C. Wang., C.Y. Huang., F.Y. Huang., “Study of precision micro-holes in borosilicate glass using micro EDM combined with micro ultrasonic vibration machining”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42: 1105–1112 (2002).
- [11] Lin Li., C. Diver., J. Atkinson, R., Giedl-Wagner., H. J. Helml., “Sequential Laser and EDM Micro-drilling for Next Generation Fuel Injection Nozzle Manufacture”, Annals of the CIRP (2006).
- [12] Jahan., M. P., Wong., Y. S., Rahman., M., “A study on the quality micro-hole machining of tungsten carbide by micro-EDM process using transistor and RC-type pulse generator”, Journal of Materials Processing Technology 209, 1706-1716 (2009).
- [13] Znidarsic., M., Junkar., M., “Deep Small Hole Drilling with EDM”, Proceedigs of 4th International Coferece on Advenced manufacturing Systems and Technology, ISBN 3-211-82808-7, Udine, 527-533 (1996).
- [14] Ekmekci., B., Sayar., A., Öpöz. T.T., Erden., A., “Geometry and surface damage in micro electrical discharge machining of micro-holes”, Journal of Micromechanics and Microengineering, 19, 105030, 16 (2009).
- [15] Rajurkar.,K.P., Shen.,H., “High Aspect Ratio and Complex Shaped Blind Micro Holes by Micro EDM”, Annals of the CIRP, 51 (1): 359-362 (2002).
- [16] Egashira, K., Tanuguchi, T., Hanajima, S., Tsuchiya, H., Miyazaki, M., “Plenatary EDM of Micro Holes”, Kyoto Instiute of Technology, Sakyo, Kyoto, Japan, 606, 8585 (2005).
- [17] Yuangang, W., Fuling, Z., Jin, W., “Wear-resist Electrodes for Micro-EDM”, Chinese Journal of Aeronautics, 22: 339-342 (2009).
- [18] C. Diver., J. Atkinson., H. J. Helml., L. Li., “Micro-EDM drilling of tapered holes for industrial applications”, Journal of Materials Processing Technology, 149: 296–303 (2004).
- [19] K.H. Ho, S.T. Newman., “State of the art electrical discharge machining (EDM)”. International Journal of Machine Tools & Manufacture 43:1287–1300 (2003).
- [20] Schumacher, B. M., “About the role of debris in the gap during electrical discharge machining”, Annals of the CIRP, 39, 1, 197-199 (1990).
- [21] 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).