

ELEKTRO EROZYON İle İŞLEMEDE ELEKTROT ÖN YÜZEY AŞINMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Ali ÖZGEDİK, Can ÇOĞUN *

* Gazi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü

Bu çalışmada, elektro-erozyon ile işlemede elektrot aşınma hızı ve elektrot ön yüzey aşınmasının işleme parametreleri ile değişimi incelenmiştir. Çelik işparçası, silindirik bakır elektrot ve gazyağı dielektrik kullanılarak değişik dielektrik uygulama yöntemleri (püskürtme, emme ve statik), boşalım akımları ve vuruş sürelerinde deneyler yapılmıştır. Deneyler neticesinde, işleme parametrelerinin ve dielektrik uygulama yöntemlerinin, elektrot aşınma hızı ve elektrot ön yüzey aşınması üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler : Elektro-erozyon ile işleme (EEİ), elektrot aşınması, ön yüzey aşınması

In this study, the variations of electrode wear rate and electrode front surface wear were investigated with the varying machining parameters. The experiments were conducted by using steel workpieces and cylindrical copper tool electrodes with kerosene dielectric under different dielectric application conditions (injection, suction and static), discharge currents and pulse durations. The experiments have shown that machining parameters and dielectric application conditions were effective on electrode wear rate and front surface wear.

Keywords: Electric discharge machining (EDM), electrode wear, front wear

GİRİŞ

Elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemi, dielektrik sıvı içerisinde daldırılmış elektrik iletken elektrot ile işparçası arasında vuruş üretici tarafından oluşturulan elektriksel boşalımın işparçası yüzeyinden küçük bir bölgeyi eritmesi ve buharlaştırması esasına dayanır. EEİ yöntemi özellikle çok sert, yüksek mukavemetli ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemelerin işlenmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Elektrot ile işparçası arasında dokunma olmadan karmaşık yapıya sahip kalıp boşluklarının, küçük ve narin işparçalarının işlenebilmesi bu yöntemi aranan işleme metotlarından biri haline getirmiştir. Günümüzde bu yöntem pres döküm, plastik enjeksiyon, dövme, ekstrüzyon, baş şişirme ve toz sıkıştırma kalıplarının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

EEİ teknolojisinde işparçası işlenirken doğal olarak elektrotta da aşınma meydana gelmektedir. Vuruş jeneratörlerindeki son teknolojik gelişmeler ve işleme parametrelerinin ayarlanması üzerine yapılan çalışmalar elektrot aşınmasını çok küçük değerlere düşürmesine rağmen tamamen ortadan kaldıramamıştır. İşleme sırasında elektrotta oluşan aşınma, işparçası kalıp boşluğunu doğrudan etkileyerek şekil bozulmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, EEİ'nin maliyetini kullanılacak olan elektrotların üretim maliyeti, malzeme maliyeti ve sayısı belirlemektedir. Elektrot üretim maliyeti birçok EEİ operasyonunda toplam maliyetin %70'inden fazlasını oluşturmaktadır. Aşınma karakteristikleri göz önüne alınarak tasarlanan elektrotlar hataları en az seviyeye düşürerek EEİ yönteminin daha hassas ve düşük maliyetli parçalar üretmesini sağlayacaktır.

Elektrot aşınmasının tanımlanmasında kullanılan elektrot aşınma hızı (EAH) terimi

$$EAH [mm^3/dak]=\text{elektrottan aşınan hacim} / \text{işleme süresi} \quad (1)$$

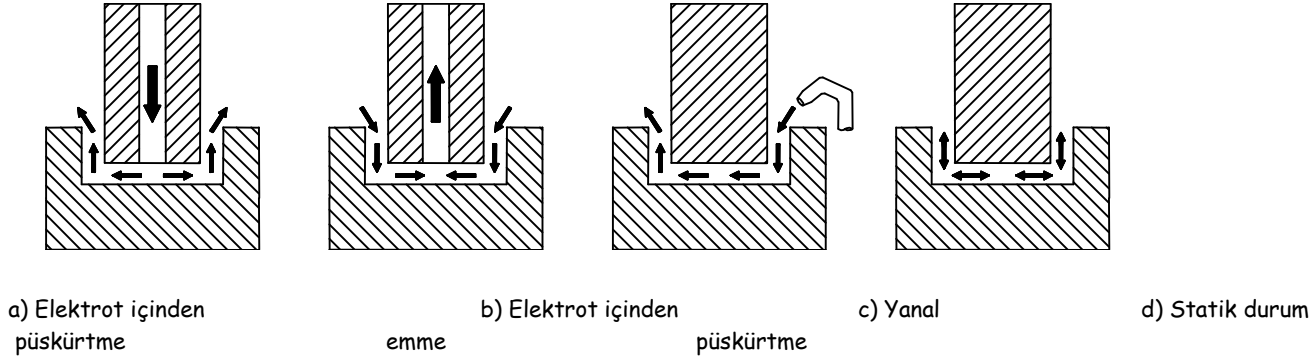
şeklinde ifade edilir. Elektrottaki geometrik aşınma, farklı bölgelerde farklı geometrik bozulmalar (değişimler) şeklinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 1). Elektrot yan yüzeylerindeki, köşelerindeki, kenarlarındaki ve ön yüzeylerindeki aşınmaların farklı karakterde olduğu bilinmektedir [2-4]. EEİ işleminin ana problemlerinden biri olan elektrot aşınmasının tam olarak anlaşılabilmesi için, işleme parametrelerinin değişimiyle elektrot aşınma hızının ve ön yüzey aşınmasının değişiminin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekir.

a) İşleme öncesi

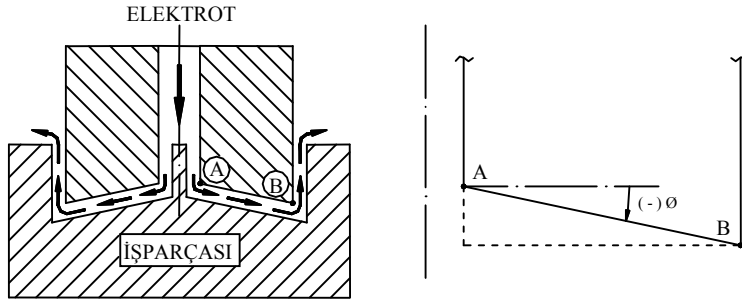
b) İşleme sonrası

Şekil 1. Geometrik Aşınma Bileşenleri

EEİ'de akımdaki artış boşalım enerjisini arttıracığından elektrot yüzeyinde oluşacak kraterden daha fazla malzeme ergimesine ve buharlaşmasına neden olur. Bu da EAH değerini arttırır [4, 5]. Vurum süresinin düşük değerlerindeki artışlar boşalım enerjisini arttırdığından dolayı EAH değerini de arttırır [6]. Uzun vurum sürelerinde EAH değerinin artmadığı, hatta birçok işleme koşulunda azaldığı görülür. Bunun nedeni boşalım kanalında akım yoğunluğunun azalması ve elektrottaki ısı transferi süresinin artmasıyla vurum süresine oranla kraterlerden daha az malzemenin buharlaşabilmesi ve ergimesidir. Güncel bazı çalışmalarda uzun süreli vurumlarda çelik işparçasının ve hidro-karbon esaslı dielektriğin boşalım sırasında bozunmasından dolayı oluşan karbonun elektrot yüzeyine yapıştığı ve aşınmayı azalttığı belirtilmiştir [6, 7]. Elektrot aşınması üzerine yapılan çalışmalarda dielektrik olarak gaz yağı kullanımı yaygındır. Bazı deneysel çalışmalarda dielektrik olarak saf suyun yanı sıra şeker, glükol, gliserin, polietilen glükol gibi maddelerin sulu çözeltileri de kullanılmıştır. Gaz yağında akımın artışı ile EAH artarken diğer sıvılarda EAH azalmıştır [8, 9]. Dielektriğin elektrot içinden püskürtme veya emme tipinde uygulanması (Şekil 2), yanal püskürtme uygulamasına göre daha düşük EAH vermektedir. Dielektrik uygulaması yapılmadığında, işleme artıklarının işleme aralığında birikmesinden dolayı işlemin düzensiz hale geldiği bilinmektedir. Statik durumdan başlayarak dielektrik basıncında yapılan küçük artışlar EAH değerini hızla arttırır [4, 5, 10, 11]. Yapılan deneysel bir çalışmada, dielektrik akış debisindeki artışın EAH'nı arttırdığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada, elektrot çapındaki azalma ve dielektrik debisindeki artış ile elektrot ön yüzey açısının (θ) arttığı gözlenmiştir (Şekil 3). Bu durumun, dielektrik akışının yönü ve dielektrik debisinin farklılığından kaynaklanan gaz hacmi, bölgesel kirlilik ve sıcaklıktaki değişimlerden oluşabileceği ileri sürülmüştür [10].



Şekil 2. Dielektrik Uygulama Yöntemleri



Şekil 3. Püskürtme Tipi Dielektrik Sıvı Uygulamasında Oluşan Eğim Açısı (\varnothing) [10]

İşparçasında oluşturulacak boşluğun şekli elektrot aşınma geometrisinden doğrudan etkilendiğinden elektrot aşınmasında etkili parametrelerin aşınmayı hangi yönde etkilediği önemlidir. Yapılan detaylı literatür araştırması geometrik elektrot aşınmasını inceleyen çok az sayıda çalışma bulunduğunu ve bu çalışmaların yeterince kapsamlı olmadıklarını göstermiştir. Bu konuda yapılacak deneysel ve teorik çalışmaların alana büyük katkıda bulunacağı açıktır. Bu nedenle, bu çalışmada, farklı dielektrik uygulama yöntemlerinin (püskürtme, emme, statik), boşalım akımlarının ve vurum sürelerinin geometrik elektrot aşınma karakteristiklerinin en önemlisi olan ön yüzey aşınması ve elektrot aşınma hızı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

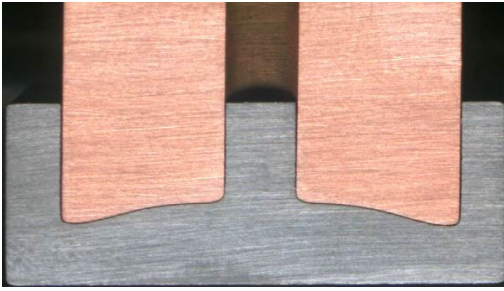
DENEYLER

Deneylerde, FURKAN EDM M25A tipi dalma EEİ tezgahı kullanılmıştır. Deneylerde işparçası malzemesi olarak SAE 1040 çeliği kullanılmıştır. Lama formundaki çelik malzeme frezelenerek 45x50x9,5 mm ölçülerine getirilmiş ve paralel geniş iki yüzeyi taşlanmıştır. Elektrot olarak silindirik elektrolitik bakır çapı 20 mm, boyu 31,5 mm olacak şekilde tornalanmıştır. Dielektrik sıvı uygulamaları için merkezine boydan 4 mm çapında delik delinmiştir. Deneylerde dielektrik sıvı olarak gaz yağı kullanılmıştır. 21 farklı deney koşulu için ikişer adet olmak üzere toplam 42 adet deney yapılmıştır. Boşalım akımı (i_s) 3, 6, 12, 25 A, vurum süresi (t_s) 12, 25, 50, 100 ms, dielektrik püskürtme basıncı (P_s) 0,5 bar, emme basıncı (P_e) 0,2 bar olarak uygulanmıştır (Şekil 2). Bekleme süresi (t_e) 50 μ s, işleme derinliği 6.5 mm ve kutuplama elektrot + (pozitif

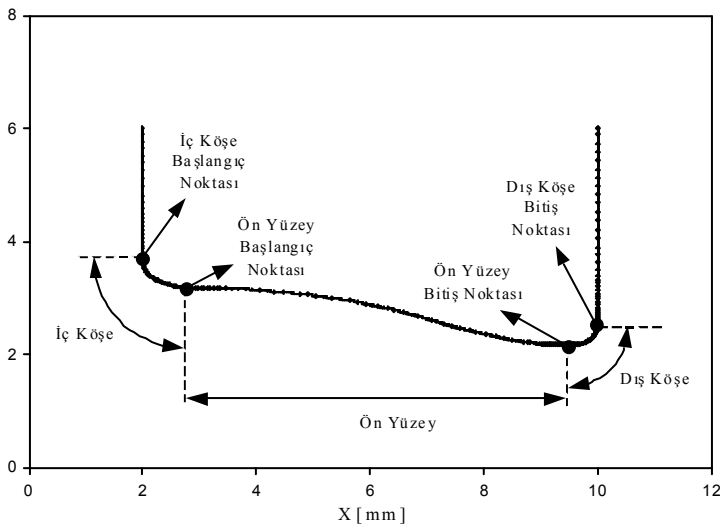
kutuplama) olarak sabit tutulmuştur. Statik durumda, işleme aralığına dielektrik püskürtmesi veya emmesi uygulanmamıştır. Deneylerde statik dielektrik durumunun kullanılmasıyla elektrot aşınma hızı ve elektrot ön yüzey aşınma sonuçlarının daha sağlıklı anlamlandırılması yapılabilmektedir.

Elektrotlar işleme öncesinde ve sonrasında 0,001 gr hassasiyetinde BEL 330 marka dijital terazi ile tartılmıştır. Yoğunluk değerleri kullanılarak her elektrot için hacimsel malzeme kaybı tespit edilmiştir. Hacimsel malzeme kaybı işleme sürelerine ($t_{işl}$) bölünerek EAH değerleri hesaplanmıştır.

0,01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas kullanılarak her elektroda ait deney öncesi ve sonrası boy ölçümleri alınmıştır. Boy ölçümlerinin farkları alınarak elektrotlara ait boy kaybı (aşınma) hesaplanmıştır. Daha sonra, SODICK A320 D AWT tipi tel erozyon tezgahı ile her elektrot-işparçası çifti işleme eksenleri sabitlenerek elektrot merkezinden kesilmiştir (Şekil 4). Kesilmiş elektrotların sağ ve sol kesitlerinin simetrikliğinden dolayı çalışmada sadece sağ bölüm kullanılmıştır. Taranarak kaydedilen kesit görüntüleri Sigma Scan Pro 5 Image Analysis programı yardımıyla büyütülmüş ve aşınmış yüzey profili üzerinde 250 adet nokta işaretlenerek bu noktaların x ve y koordinatları kaydedilmiştir. Ön yüzey başlangıç ve bitiş noktaları belirlendikten sonra her elektrot için aşınma grafiği (Şekil 5) oluşturulmuştur.



Şekil 4. Tel Erozyon İle Kesilmiş Elektrot-İşparçası Çifti

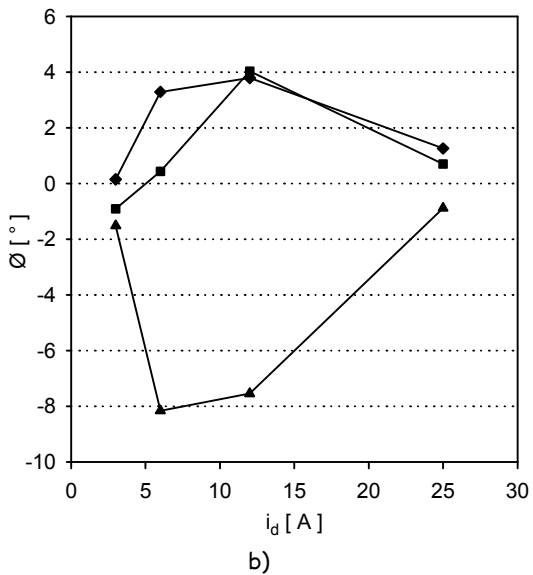
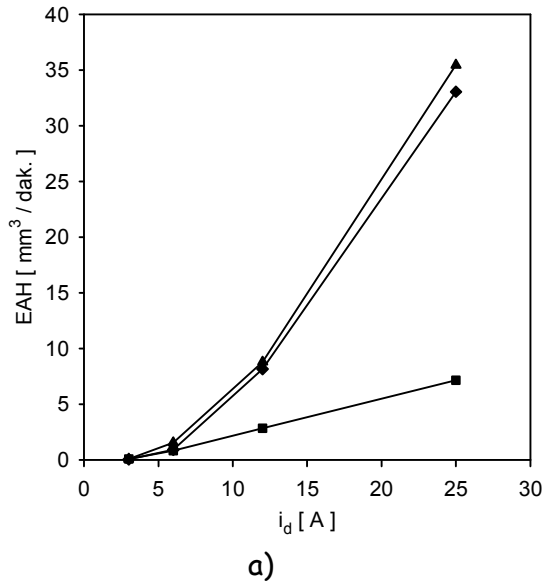


Şekil 5. Elektrot Aşınma Profili (sağ kesit)

DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Boşalım Akımının Etkisi

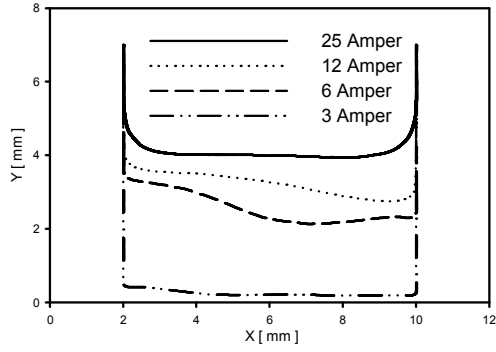
Şekil 6.a'dan görüldüğü gibi boşalım akımı arttırıldığında EAH artmıştır. Bunun sebebi, boşalım akımının artışı ile artan boşalım enerjisinin işparçası ve elektrot yüzeyinden daha fazla malzeme eritmesi ve buharlaştırmasıdır [12, 13]. Şekil 6.b'de, \emptyset 'nin düşük ve orta boşalım akım aralığında mutlak değer olarak büyük artış gösterdiği görülmektedir. Elektrotta görülen malzeme kaybı doğal olarak \emptyset değerlerindeki artışlara yansımıştır. Ancak, akımın yüksek değerlerinde \emptyset mutlak değerce küçülmüştür. Boşalım akımı ile elektrot ön yüzey geometrisindeki değişim Şekil 7'de görülmektedir.



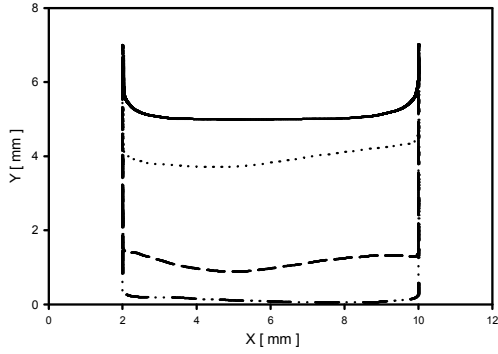
Şekil 6. EAH ve \emptyset 'nin Boşalım Akımı İle Değişimi

Vurum Süresinin Etkisi

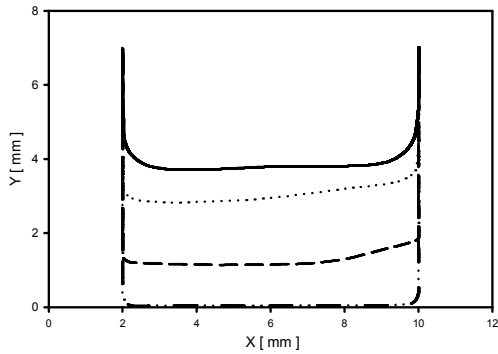
EAH, artan vurum süresi ile önce artmış, ancak uzun vurum süresi aralığında (50-100 μ s) tüm dielektrik uygulama koşulları için artan vurum süresi ile azalmıştır (Şekil 8.a). Vurum süresinin artışı ile mutlak \emptyset değerinde düzenli bir artış gözlenmiştir (Şekil 8.b). Vurum süresi ile elektrot ön yüzey geometrisindeki değişim Şekil 9'da görülmektedir.



a) a) Püskürtme dielektrik uygulaması



b) b) Statik dielektrik uygulaması



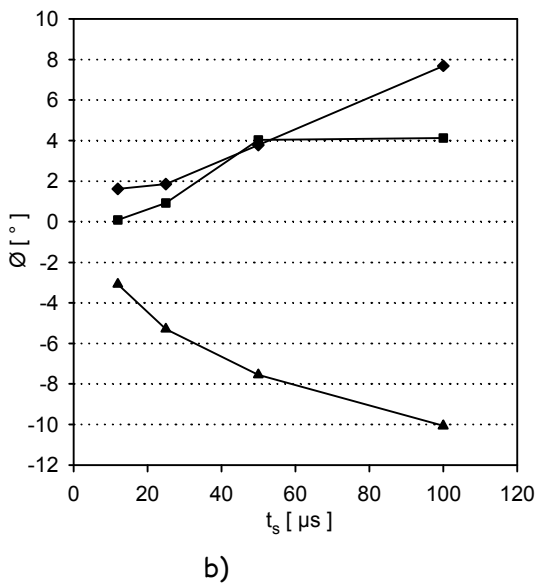
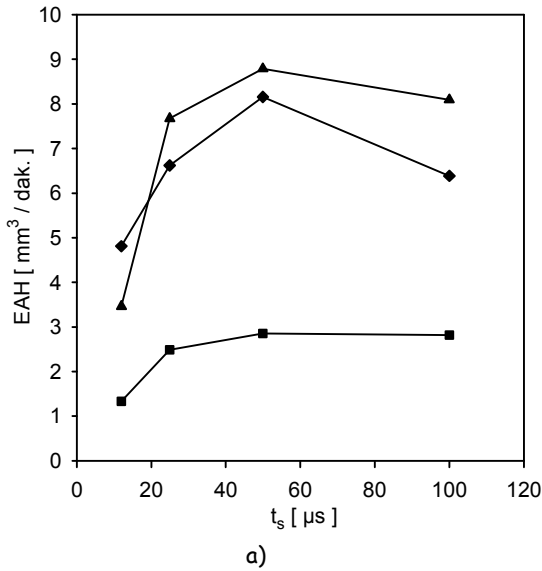
c) c) Emme dielektrik uygulaması

Şekil 7. Elektrot Yüzey Geometrisinin Boşalım Akımı İle Değişimi ($t_r = 50 \mu$ s)

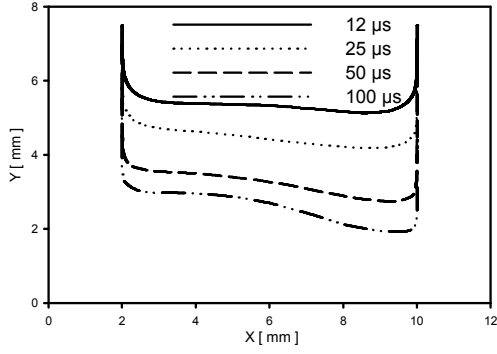
Dielektrik Uygulama Yönteminin Etkisi

Deneylerde, püskürtme ve emme uygulamaları statik durumdan daha yüksek EAH değerleri vermiştir (Şekil 10.a). Emme ve püskürtmede işleme boşluğundaki gaz hacminin, dielektrik sıvı ısınmasının ve bölgesel kirlenmelerin statik şarta göre daha az olmasından dolayı daha düzenli ve etkili boşalımın sebebi ile daha yüksek EAH gerçekleşmiştir [10].

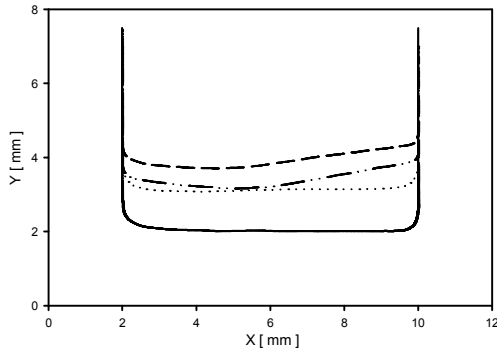
Statik koşulun düşük EAH vermesine rağmen kullanılmama sebepleri, i) çok düşük işparçası işleme hızı, ii) oluşan ark ve kısa devre vurumlarından dolayı işlemenin sıkça kesilmesi [14] sonucu işleme zamanı kaybı, ve iii) işparçası ve elektrot yüzeyinde oluşan yanma izleridir [15]. Farklı dielektrik uygulama yöntemlerinin geometrik elektrot aşınması üzerinde görülen en belirgin etkisi \emptyset 'nın değişimidir (Şekil 10.b). Emme ve statik durumda elde edilen \emptyset değerleri pozitif, püskürtme de ise negatiftir. Mutlak değer olarak en büyük \emptyset değerleri püskürtmede, en küçük \emptyset değerleri ise statik durumda elde edilmiştir. Bu çalışmada, EAH'nın yüksek olduğu dielektrik uygulama yönteminde \emptyset değerinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir. Statik durumda elde edilen \emptyset değerleri ve ön yüzey geometrileri, emmedekilerle benzerlik göstermiştir. Püskürtmede elde edilen mutlak \emptyset değerleri, emme tipinden 1,7 ile 3,5 kat arasında daha yüksek bulunmuştur. Emme ve püskürtmede elde edilen \emptyset değerlerinin pozitif veya negatif olması, daha önceden de belirtildiği üzere dielektrik sıvının işleme aralığına giriş yönü ile ilgilidir. Farklı dielektrik uygulama yöntemleri için elektrot ön yüzey aşınmasındaki değişim Şekil 11'de görülmektedir.



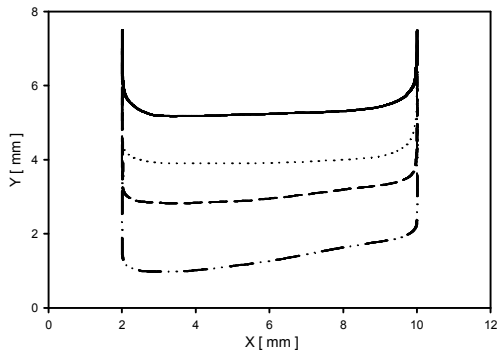
Şekil 8. EAH ve Ø'nin Vurum Süresi İle Değişimi



a) Püskürtme dielektrik uygulaması

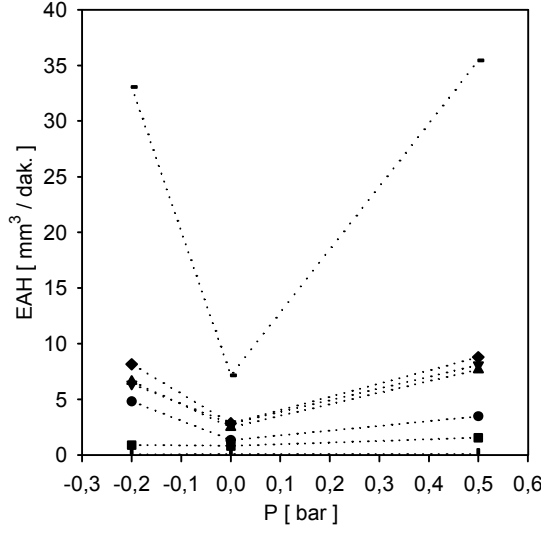


b) Statik dielektrik uygulaması

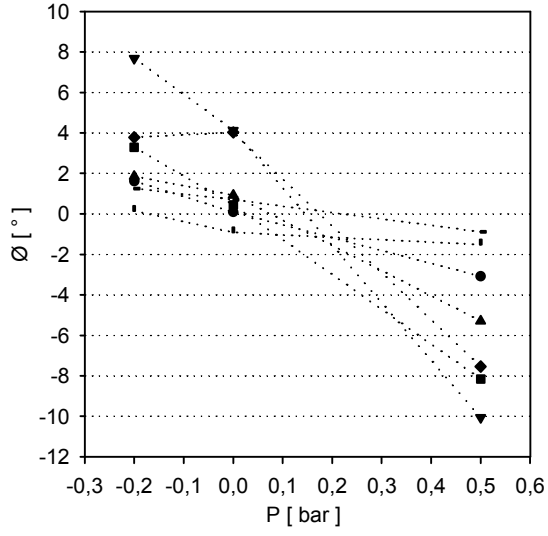


c) Emme dielektrik uygulaması

Şekil 9. Elektrot Yüzey Geometrisinin Vurum Süresi ile Değişimi ($i_s=12 A$)

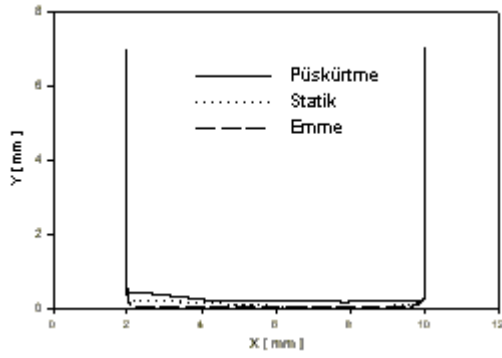


a)

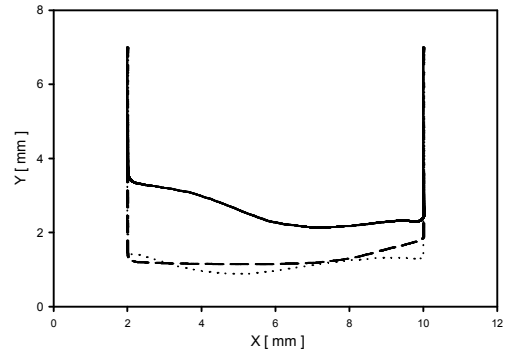


b)

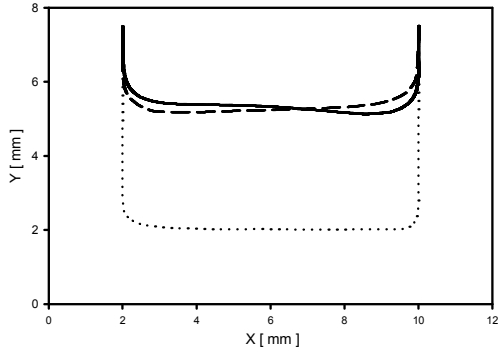
Şekil 10. EAH ve Ø'nin Dielektrik Sıvı Uygulama Yöntemi İle Değişimi



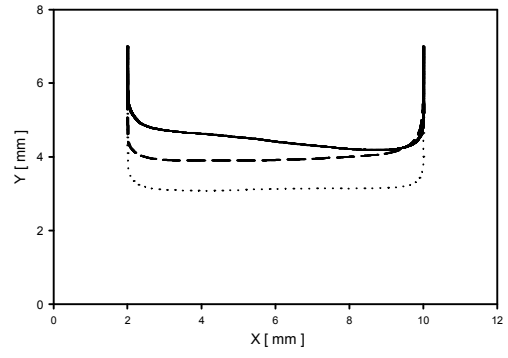
a) $i_s = 3 \text{ A}$ ve $t_s = 50 \mu\text{s}$



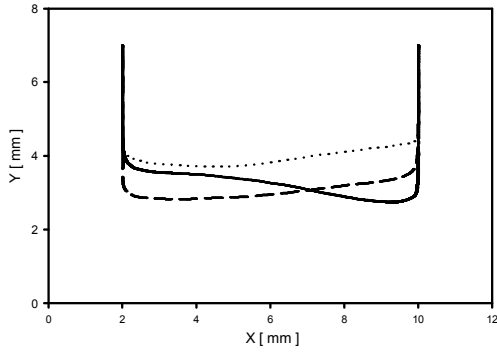
b) $i_s = 6 \text{ A}$ ve $t_s = 50 \mu\text{s}$



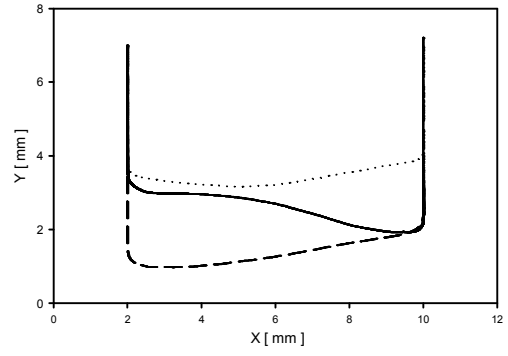
c) $i_d = 12 \text{ A}$ ve $t_s = 12 \mu\text{s}$



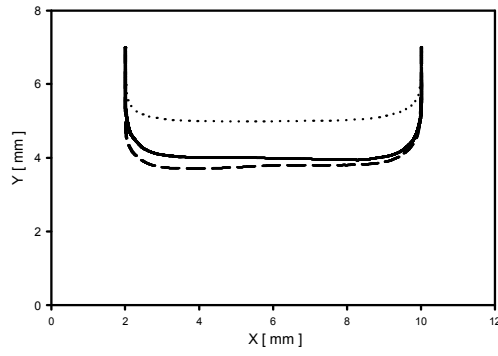
d) $i_d = 12 \text{ A}$ ve $t_s = 25 \mu\text{s}$



e) $i_s = 12 \text{ A}$ ve $t_s = 50 \mu\text{s}$



f) $i_s = 12 \text{ A}$ ve $t_s = 100 \mu\text{s}$



g) $i_s = 12 \text{ A}$ ve $t_s = 100 \mu\text{s}$

Şekil 11. Elektrot Yüzey Geometrisinin Dielektrik Sıvı Uygulaması İle Değişimi

SONUÇ

Bu çalışmada, EEI'de silindirik bakır elektrotta oluşan ön yüzey aşınması yanında elektrot aşınma hızının farklı dielektrik uygulama yöntemleri, boşalım akımı ve vurum süresi ile gösterdiği değişim incelenmiştir.

Artan boşalım akımı elektrot aşınma hızını arttırmıştır. Elektrot şekil bozulmasının belirgin göstergelerinden olan ön yüzey açısı akımın artışı ile önce artmış daha sonra yüksek akım değerlerine ulaşıldığında küçülmüştür. Vurum süresinin 50 μ s'ye kadar artışı ile elektrot aşınma hızı artmış, bu değerden sonra azalmıştır. Vurum süresinin artışı elektrot ön yüzey açısını arttırmıştır. Elektrot ön yüzey açısının, dielektrik sıvının işleme aralığına giriş yönü ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Deneylerde ön yüzey açıları püskürtmede daima negatif, emmede ise daima pozitif değerler almıştır. Büyük açı değerleri püskürtmede, küçük açı değerleri ise statik durumda görülmüştür. Deneyler, elektrot aşınmasının yüksek olduğu dielektrik uygulamasında açı değerlerinin de büyük olduğunu göstermiştir.

KAYNAKÇA

1. **Benedict, G.F.**, 1987, *Nontraditional Machining Processes*, New York and Basel Marcel Dekker, Inc, 207-229.
2. **Tricarico, C., Delpretti, R., Dauw, D.F.**, 1988, *Geometrical Simulation of the EDM Die-Sinking Process*, *Annals of the CIRP*, 37, 1, 191-196.
3. **Crookall, J.R.**, 1979, *A Theory of Planar Electrode Face Wear in EDM*, *Annals of the CIRP*, 28, 1, 125-129.
4. **Çoğun, C., Akaslan, Ş.**, 2002, *The Effect of Machining Parameters on Tool Electrode Wear and Machining Performance in Electric Discharge Machining*, *KSME International Journal*, 16, 1, 46-59.
5. **Çoğun, C., Poyrazoğlu, O.**, 2001, *The Variation of Machining Performance With Machining Parameters in EDM*, *2nd International Conference on Design and Production of Dies and Molds*, Kuşadası.
6. **Chen, Y., Mahdavian, S.M.**, 1999, *Parametric Study Into Erosion Wear in a Computer Numerical Controlled Electro-discharge Machining Process*, *Wear*, 236, 350-354.
7. **Mohri, N., Suzuki, M., Furuya, M., Saito, N.**, 1995, *Electrode Wear Process in Electrical Discharge Machining*, *Annals of the CIRP*, 44, 1, 165-168.
8. **Chen, S.L., Yan, B.H., Huang, F.Y.**, 1999, *Influence of Kerosene and Distilled Water as Dielectrics on the Electric discharge Machining Characteristics of Ti-6Al-4V*, *Journal of Materials Processing Technology*, 87, 107-111.
9. **König, W., Jörres, L.**, 1987, *Aqueous Solutions of Organic Compounds as Dielectrics for EDM Sinking*, *Annals of the CIRP*, 36, 1, 105-109.
10. **Koenig, W., Weill, R., Wertheim, R., Jutzler, W.I.**, 1977, *The Flow Fields in the Working Gap With Electro-Discharge-machining*, *Annals of the CIRP*, 25, 1, 71-76.
11. **Yan, B.H., Wang, C.C.**, 1999, *The Machining Characteristics of Al₂O₃/6061Al Composite Using Rotary Electro-Discharge Machining With a Tube Electrode*, *Journal of Materials Processing Technology*, 95, 107-111.

12. **Lee, S.H., Li, X.P.**, 2001, Study of the Effect of Machining Parameters on the Machining Characteristics in Electrical Discharge Machining of Tungsten Carbide, *Journal of Materials Processing Technology*, 115, 344-358.
13. **Hocheng, H., Lei, W.T., Hsu, H.S.**, 1997, Preliminary Study of Material Removal in Electrical-Discharge Machining of SiC/Al, *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 813-818.
14. **Çoğun, C.**, 1990, A Technique and its Application for Evaluation of Materials Contributions in Electric Discharge Machining, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 30, 1, 19-31.
15. **Çoğun, C.**, 1990, Rules for Avoiding the Scrap Workpieces in Electric Discharge Machining, *Mechanical Incorporated Engineer*, 2, 2, 31-33