Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.
Cilt 31, No 2, 231-239, 2016
DOI: 10.17341/gummfd.40982

Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University
Vol 31, No 2, 231-239, 2016

SOĞUTMA SIVISINDA ÇÖZÜNEN OKSİJENİN ELEKTRO EROZYONLA DELİNEN DELİKLERİN PERFORMANS PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Kürşad GÖV
Gaziantep Üniversitesi, Uçak ve Uzay Mühendisliği Bölümü, 27310, Gaziantep
gov@gantep.edu.tr

(Geliş/Received: 27.10.2015; Kabul/Accepted: 16.01.2016)

ÖZET

Bu çalışmada, DIN 1,2379 kalıp çeliğine, tek delikli pirinç elektrotla, içerisinde farklı miktarlarda oksijen çözünmüş soğutma sıvısı kullanılarak elektro erozyon ile delik delme (EEDD) işlemi uygulanmıştır. Çalışmada elektro erozyon parametreleri sabit tutulmuş ve çözünmüş oksijenin EEDD performans parametreleri; işleme hızı, elektrot aşınması, yüzey pürüzlülüğü, beyaz katman tabakası, çap büyümesi ve çıkışta konikleşme üzerine etkileri incelenmiştir. Soğutma sıvısındaki çözünen oksijen miktarının artışı, elektro erozyon işleminin performansını arttırmıştır. İşleme zamanını % 20 iyileşme ile hızlanmış, yüzey pürüzlülük değeri R_a 4,5 μm seviyelerinden 2,4 μm seviyelerine düşmüş, elektro erozyon ile işlemenin en olumsuz sonucu olarak bilinen beyaz katman tabakası kalınlığı yarıya düşürülmüş ve geometrik toleranslarda da önemli oranlarda iyileşmeler sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektro erozyon ile delik delme, elektro erozyon işleme, oksijen çözünümü

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE DISSOLVED OXYGEN IN THE COOLANT ON THE HOLE GEOMETRIES DRILLED BY ELECTRO EROSION

ABSTRACT

In this study, electro discharge hole drilling processes is applied to the DIN 1.2379 tool steel by using single channel brass electrode and coolant which possess various amount of dissolved oxygen. In the study the electro erosion parameters kept constant and the effect of the dissolved oxygen on the performance parameters such as machining speed, electrode wear, surface roughness, white layer thickness, overcut in diameter and taper at the tip was examined. The increase of dissolved oxygen in the coolant improved performance parameters. Machining time is improved in 20%, surface roughness value R_a is improved from 4.5 μm to 2.4 μm level, the unfavourable result of electro erosion machining, white layer thickness is decreased in half and some other improvement is obtained in dimensional tolerances.

Keywords: Electro discharge hole drilling, electro discharge machining, oxygen dissolution

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geleneksel yöntemlerle delinmesi zor hatta imkânsız olan; takım çeliği, karbür gibi sert malzemeler, süper alaşımlar ile makro ve mikro çaptaki deliklerin verimli bir şekilde delinmesinde elektro erozyon delik delme işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Elektro erozyon ile delik delme (EEDD) işlemi diğer elektro erozyon (dalma, tel) işlemlerinde olduğu gibi elektrik akımının döner bir elektrot üzerinden iş parçasına aktarılması ve bu süreçte geçen akımın oluşturduğu kıvılcımlar marifetiyle iş parçasından çok küçük parçacıkların koparılıp, yüksek basınçlı soğutma sıvısı yardımıyla tahliye edilmesi mantığı ile çalışmaktadır. Hızlı delik delme işlemi için özel tasarlanan EEDD tezgâhlarında döner bir mandrel ile tutturulan elektrotlar kullanılmaktadır. Pirinç ve bakır gibi iletkenliği yüksek aşınması az olan malzemelerden yapılan elektrotlar, 0,2-3,0 mm çaplarında, içlerinden basınçlı soğutma sıvısını aktaran tek veya çok kanallı olabilmektedir. EEDD işlem hızı elektriksel parametrelere bağlı olmakla birlikte 1 mm/sn mertebelerine ulaşabilmektedir. Derinlik çap oranı 5 katın üzerindeki işlemler derin

delik olarak adlandırılırken, EEDD işlemi ile elektrot çapının 150 katına kadar delikler delinebilmektedir. Elektrot ve iş parçası arasında gerçekleşen işlemde döner elektrot, iş parçasından kopartılan parçacıkların hızlı tahliyesini ve deliğin dairesel olmasını sağlamaktadır. Yüksek basınçla akan soğutma sıvısı, elektrotu güçlendirerek esnemesini ve yalpalanmasını önlemekte olup kullanılan seramik kılavuz elektrotun merkezlenmesini sağlamaktadır [2]. Elektro erozyon delik delme işleminde, iş parçası ile doğrudan temas olmadığı için kesici takımın kuvvet etkisinden doğan sorunlarıyla karşılaşılmamaktadır. Elektro erozyon ile delik delme (EEDD) işlemi türbin kanatlarının soğutma delikleri, dizel enjektörleri, tıbbi cihazlar, kesici takım soğutma kanalları ve kalıp menfezleri gibi değişik amaçlı deliklerin delinmesinde kullanılmaktadır [3]. Ayrıca tel erozyon kesme işleminin başlangıç deliklerinin delinmesi, karbür matkap uçları ve parmak frezelerin ortasına hava veya sıvı akış deliği açma gibi birçok işlemde de kullanılmaktadır. EEDD işleminde, iş parçasına temas olmadığından, eğimli veya açılı yüzeylerde, alüminyum ve bakır gibi yumuşak malzemelerin delinmesinde, derin küçük deliklerin delinmesinde de etkilidir. Bu çalışmada elektro erozyon işleme parametreleri; akım (I), ark süresi (T_{on}) ark bekleme süresi (T_{off}), ve kapasitans (C) sabit tutulmuştur. 1,2379 takım çeliğine EEDD işlemi ile delinen deliklerde, farklı oksijen miktarında hazırlanmış soğutma sıvısının, performans parametreleri; işleme hızı (İH), elektrot aşınma oranı (EAO), yüzey pürüzlülüğü (R_a), çapta büyüme (ÇB), çıkışta konikleşme ve beyaz katman tabakası kalınlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

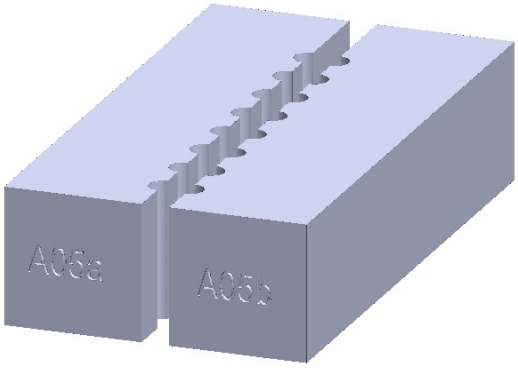
2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE SURVEY)

Elektro erozyonla küçük deliklerin delinmesi ilk olarak Jeswani tarafından 0,19-0,71 mm çaplarında bakır tel elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada elektro erozyon ile işleme (EEİ) parametreleri; boşalım gerilimi ve kapasitansın performans parametreleri; çapta büyüme, çıkışta konikleşme ve elektrot geometrisindeki değişiklikler üzerine etkileri incelenmiş ve EEİ parametrelerine göre performans parametrelerinin değişimleri formülüze edilmiştir [4]. Yüksek hız çeliklerinde kör deliklerin delinebilmesinde EEİ parametreleri ve elektrot tiplerinin performansa etkisi Jain [5] tarafından çalışılmıştır. EEİ yöntemi ile mikro deliklerin deline bilirliği, iş parçası geometrisi ve yüzeyine etkileri, toleransları, açık ve kör uçlu mikro deliklerin kıyaslamalı deneysel çalışmaları yapılmıştır [6-9]. Farklı ve işlenmesi zor malzemeler için elektro erozyon delik delme işlemi geleneksel delik delme yöntemlerine göre çok daha başarılıdır. Tek kristalli silikon malzemelerde elektro erozyon delik delme işlemi ile yüksek verimlilikte küçük çapta derin delikler delinebilmiştir [10]. Uzay ve havacılık sanayisinde yaygın kullanılan ve işlenmesi zor malzemeler olan nikel ve titanyum alaşımlarının tek ve çok oluklu elektrot kullanılarak elektro erozyon ile delik delme performanslarının kıyaslamalı deneysel çalışmaları Yılmaz ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [11, 12]. EEDD işleminin doğası gereği işlem ve performans parametrelerinin fazla olması, deney sayısını da arttırmaktadır. Bu nedenle EEDD işlemi matematiksel modelleme ve diğer yapay zekâ uygulamalarında da yaygın kullanılmaktadır. Süper alaşımların elektro erozyon ile hızlı delik delinmesinin matematiksel modeli [13], yapay zekâ kullanılarak EEDD parametrelerinin tahmini Yılmaz ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır [14]. Çakır ve arkadaşları elektro erozyon ile delik delme işleminde, bulanık mantık kullanarak istenilen performans parametreleri için işlem parametrelerini tahmin eden bir model geliştirmişlerdir [15]. Elektro erozyon ile işlemede iş parçası malzemesinin aşınmasının sonlu elemanlar yöntemi ile ısıl-elektriksel modellemesi Çoğun ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [16]. Elektro erozyon ile delik delme işleminde, performans çıktılarını elektrik parametreleri kadar soğutma sıvısı parametreleri de önemli oranda etkilemektedir. Elektro erozyon ile işlemede çelik iş parçasına bakır elektrot kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada soğutma sıvısı; saf su, çeşme suyu, tuzlu ve gliserinli suyun performans parametrelerine etkileri deneysel olarak çalışılmıştır [17]. EEDD işleminde; bakır elektrot ile gazyağı soğutma sıvısının [18], bakır ve pirinç elektrotlar ile saf su, çeşme suyu ve bu ikisinin karışımının [19], şeker, glikol, gliserin, polietilen glikol bileşiklerinin sudaki çözeltileri ve Shell K-60 yağının [20] performans parametrelerine etkileri çalışılmıştır. Geleneksel yöntem EEİ'de soğutma sıvısı olarak dielektrik su veya gaz yağı kullanılmaktadır. Ancak bazı çalışmalarda soğutma sıvısı olmaksızın basınçlı hava, basınçlı oksijen gibi tam kuru adlandırılan soğutma tiplerinin EEİ performansına etkileri incelenmiştir [21-23]. Yarı kuru veya yarı ıslak olarak adlandırılan soğutma sıvısına iş parçasıyla temas bölgesinde hava veya oksijen zerk ederek gerçekleştirilmektedir [24, 25]. Yapılan literatür taramasında, oksijenin soğutma sıvısında çözülerek uygulandığı bir elektro erozyon ile işleme çalışmasına rastlanılmamıştır. Elektro erozyonla delik delmede, performans parametrelerinden; işleme hızı, elektrot aşınma oranı ve yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra delikte çap değişimi, çıkışta konikliğinin değişimi ve beyaz katman tabakasının kalınlığı da oldukça önemli performans parametreleridir [26]. Bu çalışmada elektro erozyon işleme parametreleri sabit tutularak EEDD işleminde soğutma sıvısında çözünen oksijenin performans parametrelerine etkileri incelenmiştir.

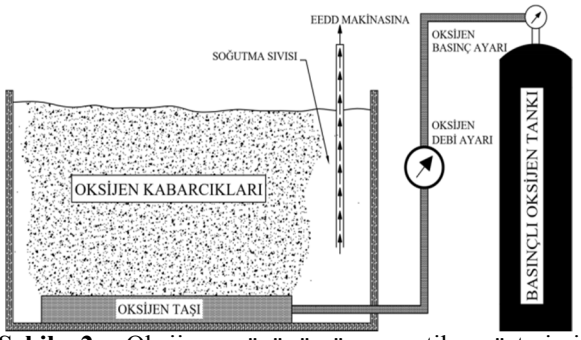
3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deneyler, Gaziantep üniversitesi makine mühendisliği bölümünde bulunan JS EDM AD-20 tipi elektro erozyon tezgâhında yapılmıştır. 10x10x40 mm

ölçülerinde DIN 1,2379 kalıp çeliği iş parçası olarak kullanılmıştır. Tel erozyon tezgâhında kesilen numuneler sırasıyla 320, 600, 1200, 2000 ve 3000 elek ölçüsünde zımparalar ile hazırlanmış ve 1 µm elmas süspansiyon kullanılarak parlatılmıştır. Deneylerde 2 mm çapında tek kanallı pirinç elektrot kullanılmıştır. Delikler, birleştirilen parlatılmış yüzeylere dik ve ortalayacak şekilde delinmiştir (Şekil 1). Deneyler 3'er tekrarlı yapılmış ve her delikten 3'er ölçüm alınarak ortalamaları performans değerleri olarak kullanılmıştır. Tüm deneylerde sabit sıcaklıkta (22 ^{o}C) dielektrik su soğutma sıvısı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada elektro erozyon parametreleri; akım (I), ark süresi (T_{on}) ark bekleme süresi (T_{off}), ve kapasitans (C) değerlerinin seçiminde Eyercioglu ve arkadaşlarının [26] çalışmasında ortaya koydukları en uygun performans çıktıları için verilen değerler kullanılmıştır. Basınçlı oksijen tüpüne bağlı gözenekli taşın yardımıyla soğutma sıvısında homojen oksijen çözünmesi sağlanmıştır (Şekil 2).

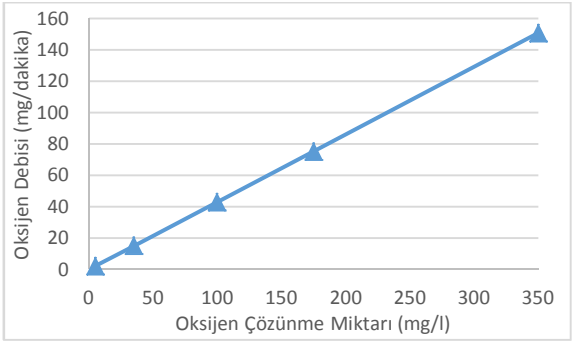


Şekil 1. İş parçası şematik gösterimi (Schematic view of the specimen)



Şekil 2. Oksijen çözünümü şematik gösterimi (Schematic view of oxygen dissolution)

Çalışmaya esas teşkil eden çözünmüş oksijen miktarının performansa etkilerini incelemek için bir gurup ön çalışma yapılmıştır. Oda sıcaklığında ve 1 bar basınç altında soğutma sıvısında maksimum oksijen çözünümü "HACH hq40d" cihazı kullanılarak 35 mg/l ölçülmüştür. Saf su içerisinde oksijen çözünme miktarı basınç ile doğru, sıcaklık ile ters orantılıdır [27]. 100 bar basınç için maksimum çözünen oksijen miktarı 350 mg/l olarak hesaplanmaktadır. EEDD tezgâhında yapılan ölçümde tek oluklu pirinç elektrot için soğutma sıvısı debisi 100 bar basınç için 430 mg/dk olarak ölçülmüştür. Bu veriler kullanılarak girişte oksijen debisinin ayarlanması ile çıkışta çözünen oksijen miktarı belirlenmiştir (Şekil 3). EEDD çalışmasında kullanılan sabit ve değişken parametreler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Dielektrik sıvıda oksijen çözünmesi (Dissolved oxygen in the dielectric fluid)

Tablo 1. Deney parametreleri (Experiment parameters)

Sabit Parametreler	Değer
Akım, I (Amper)	10
Ark süresi, T_{on} (µs)	27
Ark bekleme süresi, T_{off} (µs)	10
Kapasitans C (µF))	1422
Gerilim (volt)	30
Elektrot dönme hızı (dev/dak)	200
Soğutma sıvısı basıncı (bar)	100
Elektrot polarite	Negatif (-)
Değişken parametreler	
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	5, 35, 175, 350

Bu çalışmada, elektro erozyonla işlenen deliklerin geometrileri; çaptaki büyüme (ÇB) ve delikte meydana gelen koniklik açısı, işleme hızı (İH), ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değeri ve beyaz katman tabakası kalınlığı işleme performansı olarak alınmıştır.

3.1 İşleme Hızı (Machining Speed)

Elektro erozyon ile işlemede, iş parçasından birim zamanda kaldırılan malzeme miktarı işleme hızı (İH) olarak tanımlanır ve (1) formülü ile hesaplanır. EEİ, elektrot ile iş parçası arasında oluşan yüksek enerjili kıvılcımın iş parçasından ergitme ve buharlaştırma sonucunda parça koparma prensibine dayanmaktadır. EEİ'de yüksek işleme hızı (İH) amaçlanmakta ve çalışmalar bu doğrultuda gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada iş parçaları deney öncesi ve sonrası 0,1 mg hassasiyetinde Shimadzu AUX220 elektronik tartı ile tartılmış, işleme süresi elektronik süreölçer ile ölçülmüştür. Bu ölçümler kullanılarak iş parçası işleme hızı (İH) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{İH}\left(\frac{\text{gr}}{\text{dak}}\right) = \frac{\text{ilk ağırlık} - \text{son ağırlık}}{\text{işleme zamanı}} \quad (1)$$

3.2 Elektrot Aşınma Oranı (Electrode Wear Rate)

Elektro erozyon ile işlemede, yüksek ısı değerlerine sahip kıvılcımlar, iş parçasında malzeme kopartırken beraberinde elektrot malzemesinden de parça kopartırlar. EEİ parametreleri ve elektrot özelliğine bağlı olarak gerçekleşen bu olaya elektrot aşınması denilmektedir. EEDD işleminde düşük elektrot aşınması işlemin performansını arttırmaktadır bu sebeple düşük elektrot aşınması hedeflenmektedir. Bu çalışmada, elektrot aşınma oranı; kullanılan elektrotun işleme öncesinde ve sonrasında 0,1 mg hassasiyetinde terazi ile tartılarak (2) nolu formül ile hesaplanmıştır.

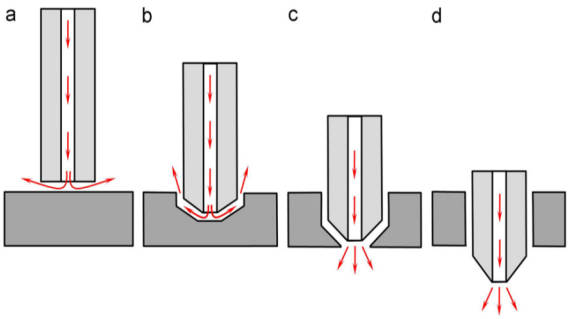
$$\text{EAO} = \frac{\text{ilk ağırlık} - \text{son ağırlık}}{\text{ilk ağırlık}} \text{ x } 100 \qquad (2)$$

3.3 Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) (Surface Roughness)

Elektro erozyon ile delik delme işleminde yüzey pürüzlülük değeri (R_a), elektriksel parametrelere bağlı olarak değişmektedir. [28]. Bu çalışmada elektriksel parametreler sabit tutularak, oksijen çözünmüş soğutma sıvısının etkileri incelenmiştir. İş parçası yüzey pürüzlülüğü (R_a) ölçümleri, Mitutoyo SJ 401 iğne uçlu yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ölçümlerde örnekleme uzunluğu standart tablolardan 0,8 mm ve ölçüm uzunluğu 4 mm olarak seçilmiştir. İş parçasına aynı işleme şartlarında delinen 3 delikten 3 er ayrı ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır.

3.4 Konikleşme ve Çapta Büyüme (Taper and Overcut)

Elektro erozyon ile hızlı delik delme işleminde elektriksel kıvılcımlar elektrotun uç kısmında yoğunlaşmaktadır. Bu kıvılcım yoğunlaşması elektrotun uç kısmının diğer bölgelere oranla daha hızlı aşınmasına ve uç kısmının konikleşmesine sebep olmaktadır [26]. Elektrot başlangıçta düz ve keskin kenarlıdır (Şekil 4a). Aşınmadan dolayı işleme sırasında ilerleme yönünde konikleşmeye başlar (Şekil 4b). Elektrotun bozulması deliğin sonuna doğru deliğin de konikleşmesine neden olur (Şekil 4c). Bu durum mermi çıkıntısı olarak da adlandırılır.

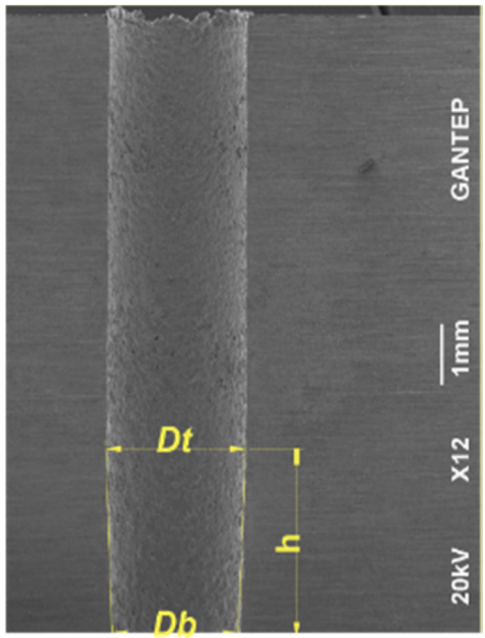


Şekil 4. Elektrot aşınması (a) iş parçasına yaklaşma (b) konikleşme başlangıcı (c) tam konikleşme (d) iş parçasından çıkış (Electrode wear (a) Access to workpiece (b) taper start (c) fully taper (d) leaving workpiece)

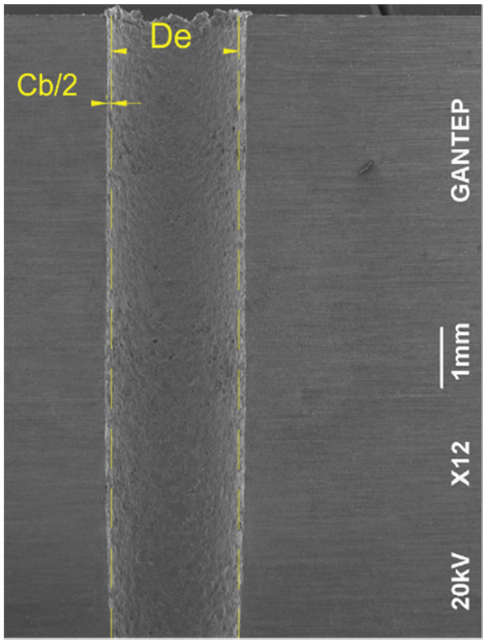
Elektrot ucunun iş parçasından çıkmasıyla elektrot ile iş parçası arasındaki soğutma ve tahliye ortadan kalktığı için Şekil 4d deki durum hiçbir zaman gerçekleşmeyecek, yüzey yanacak veya elektrot iş parçasına kaynak olacaktır. İş parçasında oluşan koniklik (Şekil 5) (3) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanır;

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{D_t - D_b}{2h}\right) \qquad (3)$$

Bu eşitlikte; θ : koniklik açısı; D_t: delik giriş çapı; D_b: delik çıkış çapı ve h: koniklik yüksekliği olarak alınmıştır.



Şekil 5. Koniklik (Taper)



Şekil 6. Çapta büyüme (Overcut)

Elektro erozyonla delik delme işleminde konikleşme oluşumu beraberinde iş parçası delik çapında büyüme de gerçekleşmektedir (Şekil 6). Delik çapında büyüme ($Ç_b$), ortalama çap (D_o) ile elektrot çapı (D_e) arasındaki farktan aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Delik çapında büyüme;

$$Ç_b = D_o - D_e \quad (4)$$

Ortalama çap, koniklik başlangıcına kadar olan kısımdan alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması olarak hesaplanır.

$$D_o = \frac{\sum_1^n D_a}{n} \quad (5)$$

3.5 Beyaz Katman Tabakası Kalınlığı (White Layer Thickness)

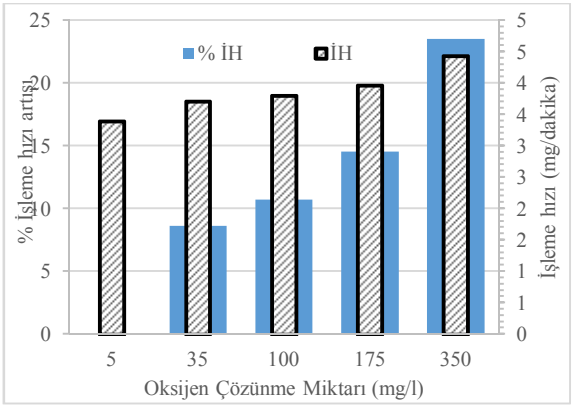
Tüm elektro erozyon ile işlemelerde, işlem sonrasında iş parçası yüzeylerinde yüksek elektriksel boşalım ve buna bağlı olarak oluşan yüksek sıcaklık, ani soğuma sebebiyle beyaz katman tabakası olarak adlandırılan sert ve kırılgan bir katman oluşmaktadır. Bu katmanda ani ısınma-soğuma sonrasında meydana gelen ısıl gerilmeler mikro çatlakların oluşmasına sebep olmaktadır [29]. Bu mikro çatlaklar hasar için başlangıç noktaları gibi davranmakta ve özellikle dinamik yüklemeler altında çalışan makine elemanlarında yorulma dayanımını düşürmektedir [29]. EEDD işlemi ile delinmiş delik kesitlerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak görüntüler alınmış ve bu görüntüler üzerinde beyaz katman tabakası kalınlıkları ölçülmüş ve yüzey incelemesi yapılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI (EXPERIMENTAL RESULTS)

Tüm deneylerde sabit sıcaklıkta (22 ^oC) ve farklı oksijen çözeltilerinde dielektrik su soğutma sıvısı olarak kullanılmıştır. Elektro erozyon parametreleri; akım (I), ark süresi (T_{on}) ark bekleme süresi (T_{off}), ve kapasitans (C), sabit tutulmuş ve soğutma sıvısında çözünmüş oksijen miktarının performans parametrelerine etkileri incelenerek yorumlanmıştır.

4.1 İşleme Hızı (Machining speed)

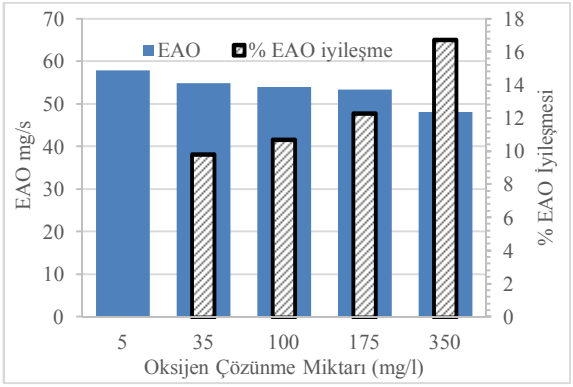
Soğutma sıvısında çözünmüş oksijen miktarının artması işleme hızını arttırmıştır (Şekil 7). Elektro erozyon ile işlemede elektriksel akımın boşalması ile oluşan kıvılcımlar, iş parçası yüzeyinde yüksek sıcaklıkta ergime ve buharlaşmaya neden olurlar. Bu işlem, bir tür yanma olarak da açıklanabilir. Yapılan deneysel çalışmada soğutma sıvısında çözünmüş oksijen miktarının artması yanma verimini dolayısıyla işlemin gerçekleşme hızını arttırmış ve işleme hızı oksijensiz işlemeye oranla yüzde 20-25 artmıştır.



Şekil 7. İşleme hızı oranı (Rate of machining time)

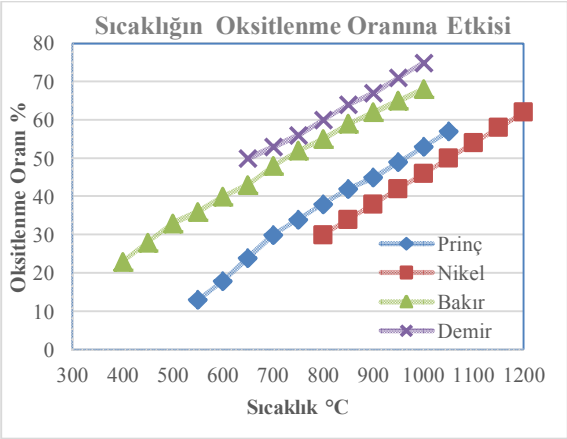
4.2 Elektrot Aşınma Oranı (Electrode Wear Rate)

Elektro erozyon işlemlerinde iş parçasından parçacık koparken aynı zamanda elektrottan da parçacık kopmaktadır. Bu aşınmanın miktarı elektrot malzemesine, elektriksel özelliklerine ve EEİ parametrelerine bağlıdır. Bu çalışmada EEİ parametreleri sabit tutulmuş ve soğutma sıvısında çözünmüş oksijen miktarının artmasıyla elektrot aşınma oranının azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 8 de elektrot aşınma oranı ve EAO'nının oksijen çözünmemiş duruma göre yüzde iyileşmesi verilmektedir. Elektrot aşınmasında yüzde 12-17 oranında azalma gerçekleşmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Elektrot aşınma oranı (Electrode wear rate)

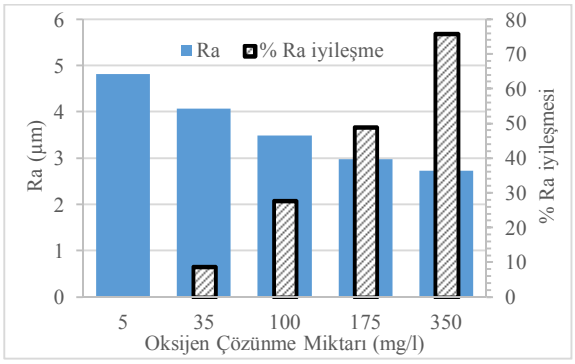
Elektrot ile iş parçası arasında oluşan kıvılcım atlaması esnasında soğutma sıvısında bulunan oksijen iş parçası ve elektrot ile tepkimeye girmektedir. Yüksek sıcaklıkta demir tabanlı malzemelerin oksitlenme eğilimi düşük sıcaklığa ve pirinç malzemeden yapılmış elektrota oranla çok daha fazladır [30]. Çeliğin bu hızlı oksitlenme karakterinin sonucunda, soğutma sıvısındaki çözünmüş oksijen miktarının artması iş parçasının hızlı oksitlenerek aşınmasını ve parçacık kopmasını elektrota oranla çok daha fazla arttırmıştır (Şekil 9). Bu oksitlenmeye yatkınlık farkından dolayı pirinç malzemeden üretilmiş elektrotun aşınma oranı işleme hızının artmasına da bağlı olarak düşmüştür.



Şekil 9. Sıcaklığın oksitlenmeye etkisi (Influence of temperature on the oxidation) [30]

4.3 Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

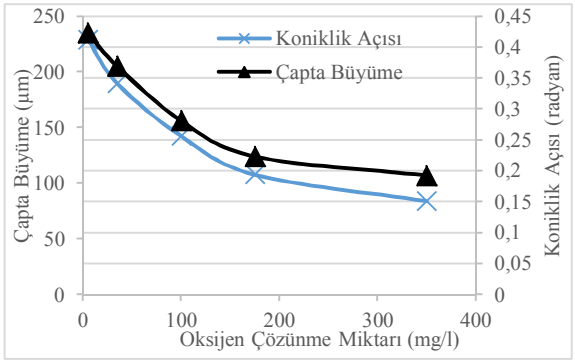
Elektro erozyon ile işlemede yüzey kalitesi, EEİ parametrelerine, elektrot-iş parçası etkileşimine ve kopan parçacıkların yeniden iş parçası yüzeyine yapışmasına bağlı olarak değişmektedir. Çözünmüş oksijen miktarının soğutma sıvısındaki artışı, yüzey pürüzlülük (R_a) değerini azaltmıştır. Artan çözünmüş oksijen miktarı elektrot ile iş parçası arasındaki yanma verimini arttırmış ve işlem hızını arttırarak iş parçasından kopan parçacıkların çok daha küçülmesini sağlamıştır. Küçülen parçacıklar basınçlı soğutma sıvısının yardımıyla işleme bölgesinden daha hızlı tahliye edilerek iş parçası yüzeyine yapışması azaltılmıştır. Bu küçük parçacıkların hızlı tahliyesi iş parçası yüzeyinin kalitesini arttırmıştır. Yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 4,5 µm seviyelerinden 2,5 µm seviyelerine düşmüştür (Şekil 10).



Şekil 10. Yüzey pürüzlülüğü (Surface roughness)

4.4 Konikleşme ve Çapta Büyüme (Taper and Overcut)

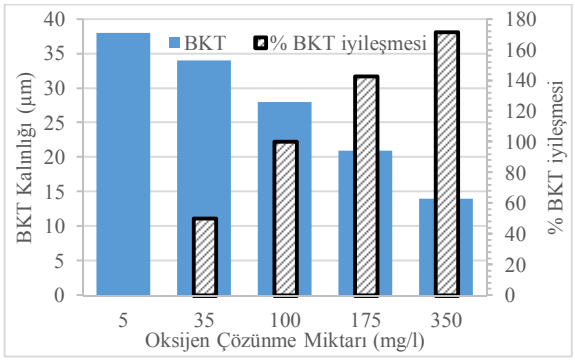
Elektro erozyon ile delik delme işleminde konikleşme ve çapta büyüme elektrot aşınması ile direk ilgilidir. Soğutma sıvısındaki oksijen miktarının artması elektrot aşınma oranını düşürmüştür. İşleme hızının artması ve elektrot aşınmasının azalması elektrotun konikleşmesini azaltmış, buda iş parçasındaki konikliği azaltarak delik çıkışının geometrisinin giriş geometrisine yaklaştırmıştır (Şekil 11). Elektrot ile iş parçası arasında gerçekleşen yanmanın daha hızlı ve verimli olması kopan parçacıkların boyutunu küçültmüş ve hızlı gerçekleşen delme işleminde elektrot ile iş parçasının etkileşim süresi ve iş parçasında çapta büyüme azalmıştır. Şekil 11'de görüleceği üzere yaklaşık yüzde 50 mertebesinde çapta büyüme düşürülmüştür.



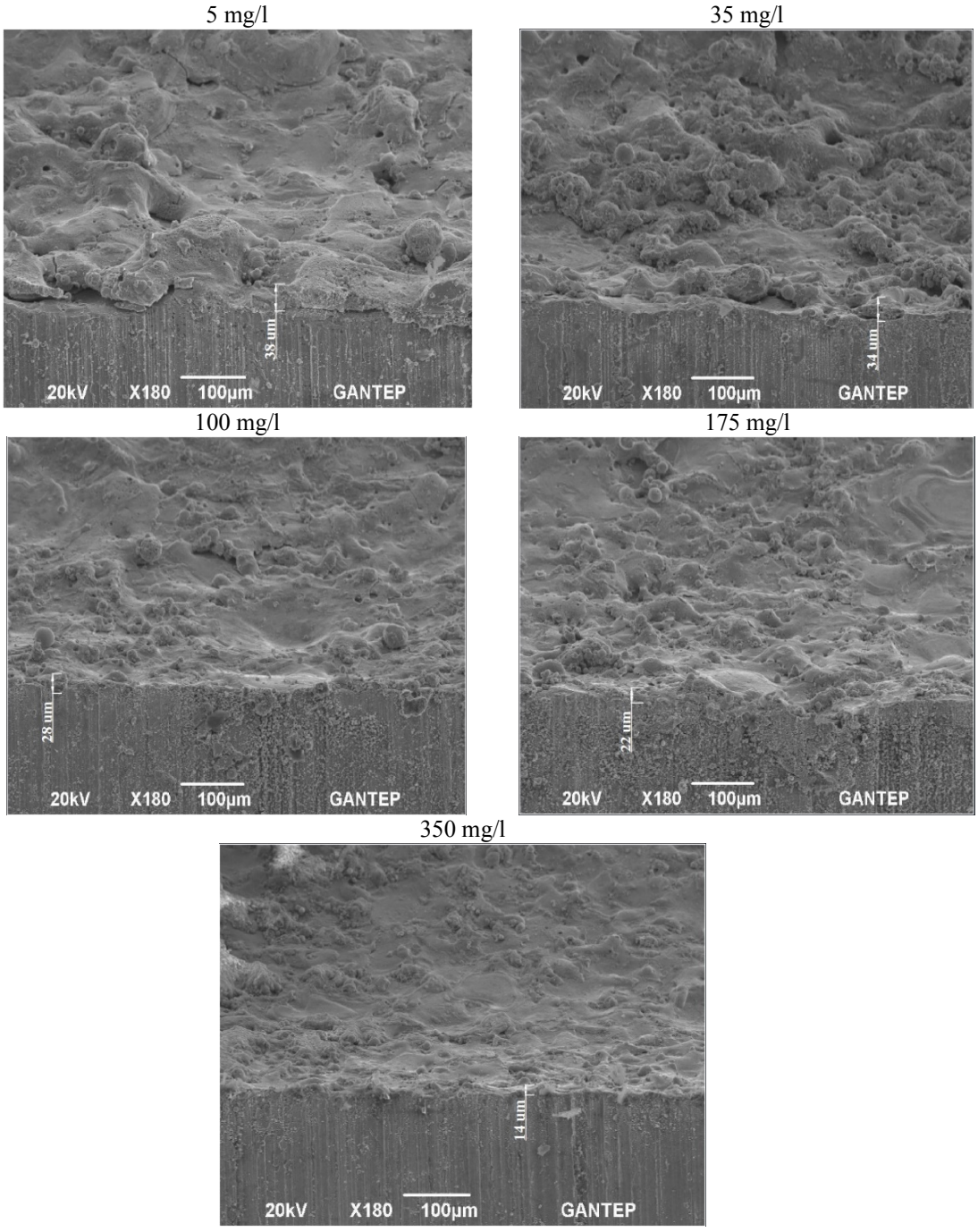
Şekil 11. Koniklik ve çapta büyüme (Taper and Overcut)

4.5 Beyaz Katman Tabakası (White Layer Thickness)

Çok sert ve gevrek bir yapıya sahip olan beyaz katman tabakası, elektro erozyon işlemlerinde oluşması istenilmeyen bir durumdur. Mikro çatlaklar barındırması sebebiyle ana malzemede kırılma başlangıç noktaları olarak davranırlar [29]. Aşırı ısınma–soğuma ve iş parçasından kopan parçacıkların tekrar iş parçası yüzeyine yapışıp kaynak olmasıyla oluşan beyaz katman tabakası soğutma sıvısındaki oksijenin artması ile azalmıştır (Şekil 12). Şekil 13'te verilen SEM görüntülerinde, koparak tekrar iş parçası yüzeyine yapışan küre şeklindeki artık parçacıkların çözünmüş oksijen miktarındaki artış ile neredeyse kalmadığı görülmektedir. Aynı şekilde yüzeydeki çukurcukların küçüldüğü ve yüzeyin düzeldiği görülmektedir. Çözünmüş oksijen miktarının 5gr/l değerinde belirgin ve kalın olarak görünen beyaz katman tabakası, 350 gr/l değeri için neredeyse fark edilememektedir. Beyaz katman tabakası kalınlığı 40 µm değerinden 15 µm değerine düşürülmüş ve beyaz katman tabakası kalınlığı yaklaşık üçte bire düşürülmüştür. Bu çalışma ile beyaz katman tabakası kalınlığının yaklaşık % 180 inceltilmesi sağlanmıştır.



Şekil 12. Beyaz katman tabakası kalınlığı (White layer thickness)



Şekil 13. Beyaz katman tabakası SEM görüntüleri (SEM images of the white layer thickness)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

EEDD işleminde soğutma sıvısında çözünmüş oksijen miktarının etkilerinin çalışıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

İşleme hızında (İH) yüzde 20-25 artış sağlanmıştır. Bu yöntemle derin deliklerin delinmesinde zamandan önemli bir oranda kazanç sağlamaktadır. Bu yöntemle elektrot aşınma oranında yaklaşık yüzde 12-17 oranında azalma sağlanmıştır, bu da elektrot maliyetini düşürmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değeri yarı yarıya düşürülerek 2,5 µm seviyelerine gelmiştir. Bu iyileşme delik içerisinde muhtemel hava ve sıvı akışındaki kayıpları azaltacaktır.

Çaptaki büyüme ($Ç_b$), minimum seviyelere düşmüş ve elektrot çapına yakın ölçüde delikler delinmiştir. İş parçası çıkışındaki konikleşme minimuma indirilmiş ve giriş çıkış çap farkı azaltılmıştır. Beyaz katman tabakası 40 µm seviyelerinden 15 µm seviyelerine düşürülmüştür. Bu beyaz katman tabakası inceltilmesi iş parçası kullanım ömrünü uzatacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kuppan, P., Rajadurai, A. ve Narayanan, S., "Influence of EDM process parameters in deep hole drilling of Inconel 718", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 38, No 1-2, 74-84, 2008.
2. Sommer, C., **Complete EDM Handbook**, 2005.
3. Benes, J., "Holemaking trends run deep. fast, and dry", **American Machinist(USA)**, Cilt 144, No 5, 97-98, 2000.
4. Jeswani, M.L., "Small hole drilling in EDM", **International Journal of Machine Tool Design and Research**, Cilt 19, No 3, 165-169, 1979.
5. Jain, V., "Analysis of electrical discharge drilling of a precision blind hole in HSS using bit type of tool", **Microtecnic**, Cilt 2, 34-40, 1989.
6. Yılmaz, V., Özdemir, M. ve Dilipak, H., "AISI 1040 Çeliğinin Elektro Erozyon ile İşleme Yöntemiyle Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Temel Performans Çıktıları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji** Cilt 3, No 1, 417-426, 2015.
7. Öpöz, T.T., Ekmekci, B. ve Erden, A., "An experimental study on the geometry of microholes in microelectric discharge machining", **Materials and Manufacturing Processes**, Cilt 24, No 12, 1236-1241, 2009.
8. Ekmekci, B., Sayar, A., Öpöz, T.T. ve Erden, A., "Geometry and surface damage in micro electrical discharge machining of micro-holes", **Journal of Micromechanics and Microengineering**, Cilt 19, No 10, 105030, 2009.
9. Bozdana, A., Yilmaz, O., Okka, M. ve Filiz, I., "A comparative experimental study on fast hole EDM of Inconel 718 and Ti-6Al-4V", **Proceeding of 5th International Conference and Exhibition on Design and Production of machines and dies/molds**, 2009.
10. Unoa, Y., Okada, A., Okamoto, Y., Yamazaki, K., Risbud, S.H. ve Yamada, Y., "High efficiency fine boring of monocrystalline silicon ingot by electrical discharge machining", **Precision engineering**, Cilt 23, No 2, 126-133, 1999.
11. Yilmaz, O. ve Okka, M.A., "Effect of single and multi-channel electrodes application on EDM fast hole drilling performance", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 51, No 1-4, 185-194, 2010.
12. Yılmaz, O., Bozdana, A.T., Okka, M.A. ve Filiz, İ.H., "Uzay ve Havacilik MalzemelerİndeElektrİksel Erozyon ile Hizli Delİk Delme Performansinin Deneysel İncelenmesi", **V. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, 2009.
13. Bozdana, A.T., Yilmaz, O., Okka, M.A. ve Filiz, I.H., "Mathematical modeling of EDM hole drilling using response surface methodology", 2010.
14. Yilmaz, O., Bozdana, A.T. ve Okka, M.A., "An intelligent and automated system for electrical discharge drilling of aerospace alloys: Inconel 718 and Ti-6Al-4V", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 74, No 9-12, 1323-1336, 2014.
15. Cakir, M., Eyercioglu, O., Gov, K., Sahin, M. ve Cakir, S., "Comparison of soft computing techniques for modelling of the EDM performance parameters", **Advances in Mechanical Engineering**, Cilt 5, 392531, 2013.
16. Sarıkavak, Y. ve Çoğun, C., "Elektro Erozyon ile İşlemede İşleme Mekanizmasının Isıl Modellenmesi", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 25, No 3, 517-531, 2010.
17. Erden, A. ve Temel, D."Investigation on the use of water as a dielectric liquid in EDM", in *Proceedings of the 22nd International Machine Tool Design and Research Conference*. 1981.
18. Wang, C.C., Yan, B.H., Chow, H.M. ve Suzuki, Y., "Cutting austempered ductile iron using an EDM sinker", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 88, No 1, 83-89, 1999.
19. Jilani, S.T. ve Pandey, P., "Experimetnal investigations into the performance of water as dielectric in EDM", **International Journal of Machine Tool Design and Research**, Cilt 24, No 1, 31-43, 1984.
20. Koenig, W. ve Joerres, L., "Aqueous solutions of organic compounds as dielectrics for EDM sinking", **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, Cilt 36, No 1, 105-109, 1987.
21. Coteaţă, M., Besliu, I., Schulze, H.P., Pop, N. ve Slătineanu, L."Experimental Investigation on Dry Electrical Discharge Drilling", in *Key Engineering Materials*. 2013. Trans Tech Publ.
22. Beşliu, I., Schulze, H.-P., Coteaţă, M. ve Amarandei, D., "Study on the dry electrical discharge machining", **International Journal of Material Forming**, Cilt 3, No 1, 1107-1110, 2010.
23. Kunieda, M., Furuoya, S. ve Taniguchi, N., "Improvement of EDM efficiency by supplying oxygen gas into gap", **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, Cilt 40, No 1, 215-218, 1991.
24. Li-Qing, L., Yong-Feng, G., Ji-Cheng, B. ve Yan-ling, G., "Comparative experimental study of machining characteristics of air-mixed EDM and conventional EDM", **Journal of Harbin Institute of Technology**, Cilt 14, No 2, 2007.
25. Dhakar, K., Pundir, H. ve Dvivedi, A., "Optimization and Comparison of Near-Dry EDM and Dry Edm of Inconel 718".
26. Eyercioglu, O., Cakir, M.V. ve Gov, K., "Influence of machining parameters on the surface integrity in small-hole electrical discharge

machining", **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, Cilt 228, No 1, 51–61, 2014.

27. Enns, T., Scholander, P. ve Bradstreet, E., "Effect of hydrostatic pressure on gases dissolved in water", **The Journal of physical chemistry**, Cilt 69, No 2, 389-391, 1965.

28. Çoğun, C., Kocabaş, B. ve Özgedik, A., "Elektro Erozyon ile İşlemede (EEİ) İşparçasi Yüzey Pürüzlülük Profilinin Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 19, No 1, 97-106, 2004.

29. Ergün, Z.E. ve Çoğun, C., "Elektro Erozyon ile İşleme (EEİ) İş Parçasi Yüzey Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 21, No 3, 427-441, 2006.

30. Dushman, S. ve Langmuir, I., "The diffusion coefficient in solids and its temperature coefficient", **Phys. Rev**, Cilt 20, 113, 1922.