

Hasan Demirtaş
Öğr. Gör.

Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Meslek Yüksek Okulu
Kilis

Oğuzhan Yılmaz
Doç. Dr.

Gazi Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
Ankara

Bahattin Kanber
Prof. Dr.

Bursa Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
Bursa

Makro ve Mikro Boyutlarda Üretim Yapabilen Elektrokimyasal İşleme Tezgâhında İşlem Parametreleri Etkilerinin İncelenmesi

Son yıllarda gelişen teknoloji ile işlenmesi zor malzemelerin kullanımı gittikçe artmaktadır. Bu kapsamda bu malzemelerin hassas ve kolay bir şekilde imal edilebilmesi için kullanılan yöntemlerden biri de Elektrokimyasal İşleme (EKİ) yöntemidir. Bu çalışmada makro ve mikro boyutlarda işleme yapabilecek şekilde tasarlanmış bir masaüstü EKİ tezgâhı sunulmuştur. Ayrıca voltaj, anot-katot arası boşluk ve adım oranı gibi bazı EKİ parametrelerinin, malzeme işleme hızı (MİH) ve kesme boşluğu üzerindeki etkileri deneyler yapılarak incelenmiş ve sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak EKİ tezgâhının kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu deneyler sonucunda, voltajın diğer EKİ parametrelerine göre daha etkin bir role sahip olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokimyasal İşleme (EKİ) Tezgâhı, Adım Oranı, Malzeme İşleme Hızı (MİH), Kesme boşluğu

GİRİŞ

Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden biri olan Elektrokimyasal İşleme (EKİ), teoride Faraday ve elektroliz kanunlarına dayanmaktadır. Bu kanunlara göre doğru akım güç kaynağına bağlı iki elektrot arasında elektron transferi, elektrik iletkenliğine sahip bir sıvı (elektrolit) yardımıyla gerçekleşmektedir. EKİ yönteminde ise iş parçası ve takım, doğru akım güç kaynağının pozitif ve negatif kutbuna bağlı elektrotlar olup, sırasıyla anot ve katot olarak adlandırılmaktadırlar. İşlem sırasında bir pompa yardımıyla elektrolit anot ve katot arasındaki boşluktan belli bir hızla iletilmekte; böylece düşük voltaj yüksek akım değerlerinde anottan atomik boyutlarda malzeme kaldırılabilir. Bu kapsamda elektrik iletkenliğine sahip tüm malzemeler, mekanik özelliklerine bakılmaksızın, EKİ yöntemi ile üretilebilmektedir. Ayrıca takım aşınması ve iş parçası üzerinde artık gerilme oluşumu gibi bazı olumsuz faktörler EKİ yönteminde en aza indirgenmektedir. Bununla birlikte, EKİ ile parlak yüzeyli parçaların elde edilmesi, işlenmesi zor malzemelerin imalatı ve karmaşık yüzeyli parçaların üretimi mümkün hale gelmektedir [1]. Bu özelliklerinden dolayı EKİ, işlenmesi zor ve serbest şekilli 'freeform' parçaların üretiminde tercih edilmektedir. Buna rağmen EKİ yöntemi sonrası işleme hassasiyetinin tahmin edilememesi gibi zorluklardan dolayı bu yöntem, elektro erezyon işleme yöntemlerinin gerisinde kalmıştır.

EKİ yönteminin uygulanabilirliğini arttırmak için literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Bhattacharyya, vd. [2] eksenlerde takım hareketini vidalı mil ve somun ile yapan bir elektrokimyasal mikro işleme (EMİ) tezgâhı tasarlanmıştır ve motor olarak adım tip motorlar tercih edilmiştir. Yapılan deneyler ile elektrolit konsantrasyonu ve voltajın kesme boşluğu ve Malzeme İşleme Hızı (MİH) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Li vd. [3] darbe (pulse) frekansı, adım oranı, voltaj ve elektrolit konsantrasyonunun paslanmaz çelikte mikro delik delme üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, katot hareketi adım motorlar ile gerçekleştirmişlerdir. Başka bir çalışmada Vanderauwera vd. [4], bir elektro erezyon işleme tezgâhını EKİ kabiliyeti olan bir tezgâha dönüştürmüş olup, devamlı doğru akım (DA) ve darbeli doğru akım (DDA) işleme yöntemlerinin frezeleme üzerindeki etkilerini incelemiştir. Özerkan ve Çoğun [5] küçük boyutlarda bir elektrokimyasal delme (EKD) tezgâhı tasarlamışlardır. Düşey yönde hareketini vidalı mil yardımı ile yapan bu tezgâhta katot hareketi ise anot katot arasındaki akım sabit olacak şekilde kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca takım içinden elektrolit püskürtme, farklı hızlarda katodun dönmesi gibi özellikleri bulunan bu tezgâhta Hadfield ve AISI 1040 karbon çeliğinde, işleme gerilimi, elektrolit konsantrasyonu, püskürtme basıncı ve takım dönüş hızı gibi parametrelerin EKD işlemi

üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Önel [6] yaptığı çalışmada ise anot ve katot arasındaki mesafeyi bir servo motor ile kontrolünü sağlarken X, Y ve Z yönlerindeki hareketi ise adım motorlar kullanarak gerçekleştirmiştir. Adım motorları ile tek eksenli hareketin mikro kontrolcü kullanılarak yapıldığı çalışmada Thanigaivelan vd. [7], asitli sodyum nitrat çözeltisinin paslanmaz çeliğin işlenmesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bir diğer çalışmada ise hareketli gantri tip X-Y-Z hareketi yapabilen bir EMİ tezgahı tasarlanmış olup, hareket adım motorlar ile sağlanmıştır. Bu çalışmada anot olarak bakır, katot olarak tungsten kullanılmıştır [8]. Neto vd. [9] yaptıkları çalışmada EKİ için NaCl tipte elektrolit kullanıldığında adım oranının voltaj ve elektrolit debisinden daha etkili bir parametre olduğunu göstermiştir. Mukherjee vd. [10] yaptıkları çalışmada MİH'yi, aşırı gerilim ile modellemiş ve deneysel sonuçlar ile matematiksel modeli karşılaştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda seçilen parametreler ise, boşluk miktarı, adım oranı voltaj ve akım yoğunluğu olmuştur. Ayrıca anot ve katot arasındaki boşluk miktarının düşürülüp, akış debisinin artırılması ile MİH değerlerinin artırılabilirdiği tespit edilmiştir [11-12]. Thanigaivelan ve Arunachalam [13] çalışmalarında katot uç şeklinin MİH ve kesme boşluğu üzerindeki etkilerini incelemişler ve konik şekilli katot ile daha iyi MİH ve kesme boşluğu değerlerinin elde edildiği tespit edilmişlerdir. Titreşimli takım hareketi yaparak mikro boyutlarda delik delinebilen bir diğer çalışmada anot malzemesi olarak bakır, katot malzemesi olarak paslanmaz çelik kullanılmıştır [14]. Bir diğer çalışmada ise voltaj, elektrolit konsantrasyonu, darbe periyodu ve frekansın bakır iş parçasının mikro boyutlarda işlenmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir [15]. Munda vd. [16] yaptıkları çalışmada ise bakırın mikro boyutlarda işlenmesi sırasında kıvılcım oluşumunun engellenmesi için uygun voltaj ve frekans aralıklarını tespit ederek işleme bölgesinden artıkların uzaklaştırmışlardır.

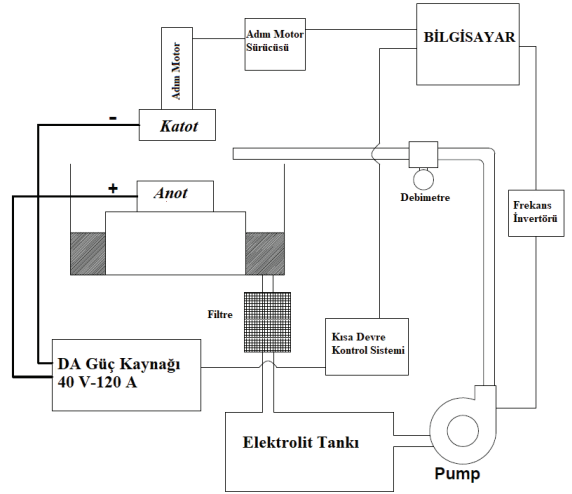
Bu çalışmada, makro ve mikro boyutlarda işleme kabiliyeti olacak şekilde tasarlanıp geliştirilen masaüstü boyutlarda bir EKİ tezgahı anlatılmış ve bu tezgahta gerçekleştirilen bazı deneylerle, EKİ parametrelerinin MİH ve kesme boşluğu üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmış ve tezgahın kullanılabilirliği tartışılmıştır. Kullanılan malzemeler işparçası için bakır, takım ise pirinç malzemeden imal edilmiştir. Kullanılan EKİ parametreleri ise adım oranı, voltaj ve başlangıç boşluk miktarıdır. Bu çalışmada sıcaklık ve elektrolit debisi sabit tutulmuştur.

EKİ TEZGÂHI

Şekil 1'de gösterilen EKİ tezgâhı, çok amaçlı bir takım tezgâhından yola çıkılarak tasarlanmıştır. EKİ tezgâhı üç ana başlıkta tasarlanmış olup bunlar; (1) Makine gövdesi, (2) Elektrolit kontrol ünitesi, (3) Doğru akım (DA) güç kaynağı şeklinde belirtilebilir.



Şekil 1. EKİ tezgâhı



Şekil 2. EKİ tezgâhı şematiği

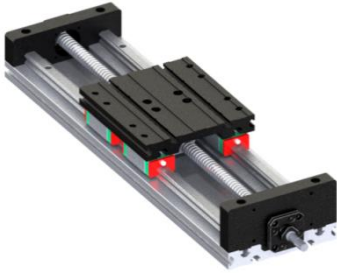
EKİ Tezgâhı Makine Gövdesi

Makine gövdesi, elektrolitin korozif etkilerine karşı dirençli olması için alüminyumdan imal edilmiş olup, üreticiden hazır şekilde temin edilmiştir. Ayrıca lineer ray ve vidalı mil ve somunların korozyona uğramaması için, tabla 10 mm kalınlığında pleksiglass levha ile kaplanmıştır. Üç eksenli katot hareketi ise G kodları kullanılarak Mach3® yazılımı ile gerçekleştirilmektedir. X, Y ve Z eksenleri adım motorlar ve vidalı mil mekanizması yardımı ile hareket ettirilmektedir ve 25 µm hareket hassasiyetine sahiptir. Katot ise 10 mm kalınlığında 3 boyutlu yazıcı kullanılarak imal edilmiş olan özel bir bağlantı elemanı yardımıyla Z eksenine monte edilmiştir. EKİ tezgâhı makine gövdesinin bazı mekanik özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. EKİ tezgâhı makine gövdesi mekanik özellikleri

Çalışma Alanı (mm)	350 x 350 x 100
X-Y-Z hareket tipi	Lineer ray
Maks. Hareket hızı (m/min)	4
Motor tipi	Adım
Hareket iletimi	16/5 vidalı mil
Tabla	22.5 mm T-kanallı Alüminyum
Gövde Malzemesi	Alüminyum

Hassas pozisyonlama, başlama, durma ve geri harekete hassas cevap verme gibi bazı avantajlarından dolayı EKİ tezgâhında hareket kontrolü için adım motorlar tercih edilmiştir. Ayrıca kare tip ray kullanarak yüksek yük taşıma ve hareket hassasiyeti sağlanmıştır [17]. Dairesel hareketin doğrusal harekete dönüştürülmesi için vidalı mil kullanılmıştır.

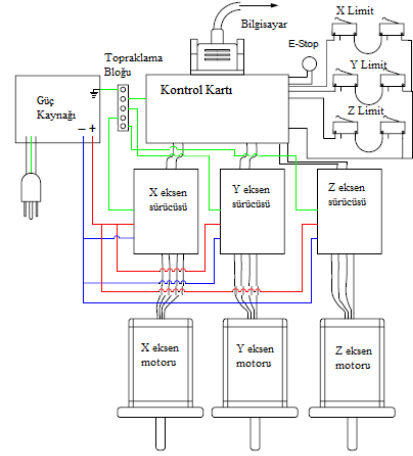


Şekil 3. Doğrusal hareket sistemi

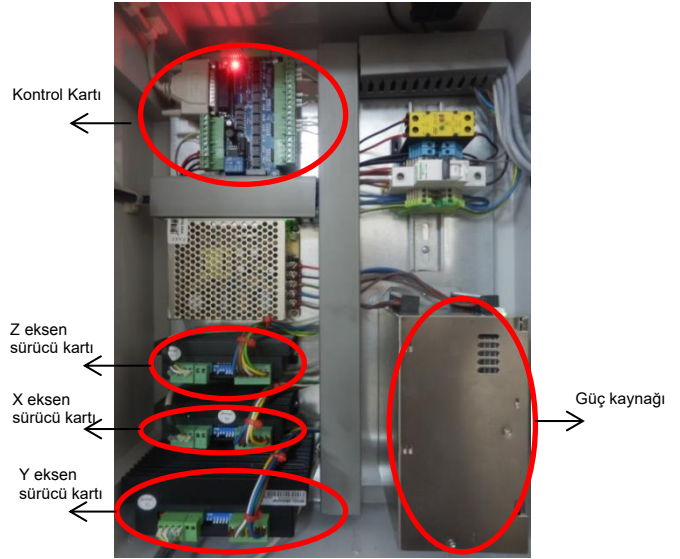
EKİ ve bilgisayar arasındaki bilgi alışverişi ise paralel bağlantı kablosu (LPT) ile yapılmaktadır. Bilgi alışverişi için en kolay yollardan biri olan LPT, sadece tezgâhların bilgisayar ile bağlantısı için değil; aynı zamanda yazıcı bağlantıları, bilgisayarlar arası bilgi alışverişi, tarayıcı bağlantıları gibi birçok alanda kullanılabilir.

Programlama sonucu oluşan hataların giderilmesi ve makine gövdesine zarar vermemesi için silindirik tipte fotoelektrik limit sensörleri kullanılmıştır.

EKİ tezgâhta her eksen için motor sürücüsü kullanılmış olup, eksen kontrol şeması Şekil 4'te kontrol panosu ise Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. EKİ eksen kontrol şematığı



Şekil 5. EKİ eksen kontrol panosu

Doğru Akım (DA) Güç Kaynağı

EKİ tezgâhında bir diğer önemli başlık ise doğru akım (DA) güç kaynağıdır. Elektroliz kanunlarına göre güç kaynağı anot ve katot arasındaki boşluktan yüksek akımı geçirebilecek kapasitede olmalıdır. Akım ve voltajın hassas bir şekilde kontrol edilmesi EKİ sırasında önemli faktörlerden biri olup, elektroliz kanunlarına göre malzeme yüzeyinden parça kaldırma işlemi düşük voltaj ve yüksek akım değerlerinde gerçekleşmektedir.- Bu yüzden EKİ tezgâhında, 2400

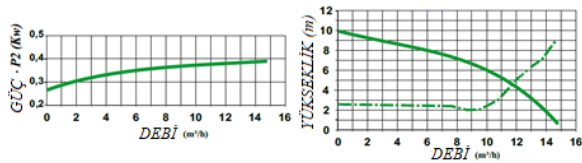
W gücünde ve programlanabilen bir DA güç kaynağı kullanılmıştır. Voltaj referans alındığında güç kaynağının maksimum çalışma aralığı 40V – 60A iken, akım referans alındığında bu aralık 20V-120A'dır. Programlanabilen özelliği yardımıyla güç kaynağını darbeleri (pulse) olarak kullanmak mümkündür. Ayrıca voltaj ve akım değerlerinin analog ve dijital sinyale dönüştürülerek, bir mikro işlemci veya PLC kart yardımıyla EKİ tezgâhında kısa devre oluşumu engellenmektedir. EKİ tezgâhında kullanılan DA güç kaynağının özellikleri Tablo 2 de gösterilmiştir.

Tablo 2. DA güç kaynağı teknik özellikleri

Voltaj Çıkış Aralığı	0 – 40 V
Akım Çıkış Aralığı	0 – 120 A
Güç Çıkış Aralığı	1200 – 2400 W
Voltaj Ölçümü	
Aralık	8 – 40 V
Hassasiyet	% 0.05 + % 0.05 F.S.
Akım Ölçümü	
Aralık	24 – 120 A
Hassasiyet	% 0.1 + % 0.1 F.S.

Elektrolit Kontrol Ünitesi

Konsatrasyon, debi ve sıcaklık gibi elektrolit özellikleri EKİ için önemli unsurlardır. Bu yüzden elektrolit transferini sağlayan pompanın dikkatle seçilmesi gerekmektedir. Sorunsuz çalışma ve hassas kontrol edilebilirliğinden dolayı, EKİ tezgâhında üç fazlı bir elektrolit pompa tercih edilmiştir. Pompanın salyangoz kısmı ise korozyona karşı dirençli olması için polipropilen malzemeden üretilmiştir. Bu pompanın teknik özellikleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere pompa debisi tesisat yüksekliği ve pompa gücü ile değişmektedir. Tesisat yüksekliği tasarımdan dolayı değiştirilemeyeceğinden dolayı, debi kontrolü pompa gücünün kontrolü ile gerçekleştirilmelidir. EKİ tezgâhında güç kontrolü dolayısıyla debi kontrolü için bir frekans invertörü kullanılmıştır.



Şekil 6. Elektrolit pompası teknik özellikleri

Frekans invertörü yardımı ile elektrolit debisi 0.1-14 m³/h arasında istenilen bir aralıkta ayarlanabilmektedir. Pompa ile frekans invertörü arasındaki bilgi alışverişi ise tesisata bağlanmış olan debimetre ile yapılmaktadır. Frekans invertörü teknik

özellikleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Debinin okunması için kullanılan debimetre türbin tipte olup, bağlantı çapı 32 mm'dir.

Tablo 3. Frekans invertörü teknik özellikleri

Faz Tipi	P _N (kW)	P _N (hp)	R _{max} (Ohm)
Üç	0.55	0.75	390

DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan deneysel çalışmaların amacı, EKİ de delik delme işlemi için voltaj, adım oranı ve anot-katod arası boşluk miktarı gibi bazı parametre etkileri inceleyerek, EKİ tezgâhının kullanılabilirliğini araştırmaktır. Deney sırasında kullanılan elektrolit tipi NaNO₃, sıcaklığı 25°C, debisi 2 lt/dk. ve konsantrasyonu ise 30 g/lt olarak alınmıştır. Deneylerde takım (katot) parçası olarak 3 mm çapında pirinç, iş parçası (anot) olarak ise 40x40x5mm ölçülere sahip saf bakır malzeme kullanılmıştır. Takımın (katodun) iki ucu da CNC torna tezgâhında işlenmiş olup, M8 diş açılarak takımın (katot) EKİ tezgâhına montajı sağlanmıştır. Takım (katot) ve iş parçası (anot) Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Pirinç katot ve bakır anot

MİH ve kesme boşluğu, EKİ performansını belirleyen en önemli sonuç parametreleridir. EKİ tezgâhının kullanılabilirliğinin tespiti için deneylerde, literatürde en çok kullanılan EKİ parametreleri olan voltaj, adım oranı ve başlangıç boşluk miktarı kullanılmıştır. Tablo 4 deneyler için kullanılan EKİ parametrelerini göstermektedir. Burada V_f adım oranını (mm/dk), Δb başlangıç boşluk miktarını (mm), V ise voltajı (Volt) göstermektedir. Deneysel sonuçlarda elde edilecek olan MİH (mm³/dk.) (1) numaralı denklem, kesme boşluğu (mm) ise (2) numaralı denklem yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerlerin doğruluğu için her deney 3 kez tekrar edilmiş olup elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

$$MİH = \frac{m_{uw} - m_{mw}}{\rho_w \cdot t_m} \quad (1)$$

Burada m_{uw} (gr) deney öncesi iş parçası (anot) kütlelerini, m_{mw} (gr) deney sonrası işlenmiş iş parçası (anot) kütlelerini, ρ_w (gr/mm³) iş parçası (anot) yoğunluğunu ve t_m (dk.) ise işleme süresini ifade etmektedir.

$$\text{Kesme boşluğu} = \frac{D_h - D_c}{2} \quad (2)$$

Burada D_h (mm) deney sonrası malzeme üzerinde üretilen delik çapını, D_c (mm) ise takım (katot) parçasının çapını ifade etmektedir.

Tablo 4. EKİ parametreleri

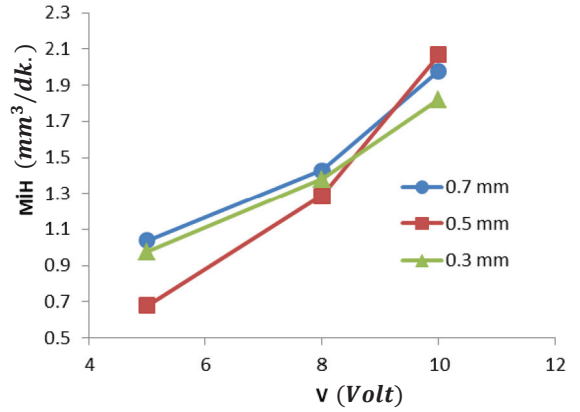
Deney Koşulu	Δb (mm)	V_f (mm/dk)	V (Volt)
1	0.3	3	5
2	0.3	3	8
3	0.3	3	10
4	0.5	3	5
5	0.5	3	8
6	0.5	3	10
7	0.7	3	5
8	0.7	3	8
9	0.7	3	10
10	0.3	5	5
11	0.3	5	8
12	0.3	5	10
13	0.5	5	5
14	0.5	5	8
15	0.5	5	10
16	0.7	5	5
17	0.7	5	8
18	0.7	5	10

İşleme öncesi ve sonrası iş parçası anot kütlesi 0.01 gr hassasiyetinde bir terazi yardımı ile ölçülmüştür. Ayrıca kısa devre etkisinin incelenmesi için işleme süresi, deneyin başlangıcından sonuna kadar bir süreölçer yardımıyla ölçülmüştür.

DeneySEL Sonuçlar ve Tartışma

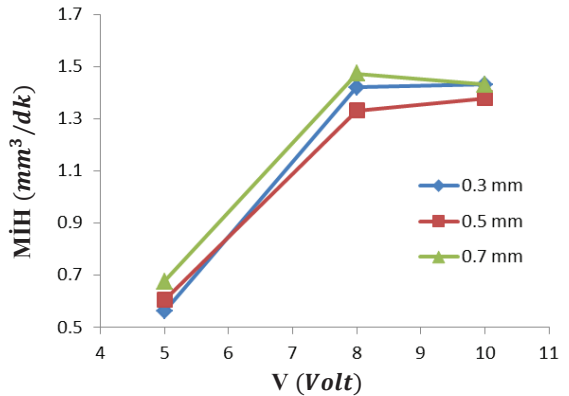
Voltajın Etkisi

DeneySEL sonuçlar, EKİ işlem parametrelerinin kesme boşluğu ve MİH üzerindeki etkilerinin daha kolay bir şekilde anlaşılabilmesi için grafikler şeklinde gösterilmiştir. Şekil 8. 5 mm/dk. adım oranı için artan voltaj ile MİH' nun arttığını göstermektedir. Faraday kanunlarına göre MİH ile akım doğru orantılı olarak değişmektedir. Ohm kanunları incelendiğinde artan voltaj ile akım değerinin artacağı düşünüldüğünde, aşağıdaki şeklin bu ifadeyi doğrular nitelikte olduğu görülmektedir. Ayrıca bu sonuçlar literatürde yapılan bazı çalışmaları [2,4,5,10] doğrular niteliktedir.



Şekil 8. Voltajın $V_f=5\text{mm/dk.}$ için MİH üzerindeki etkisi

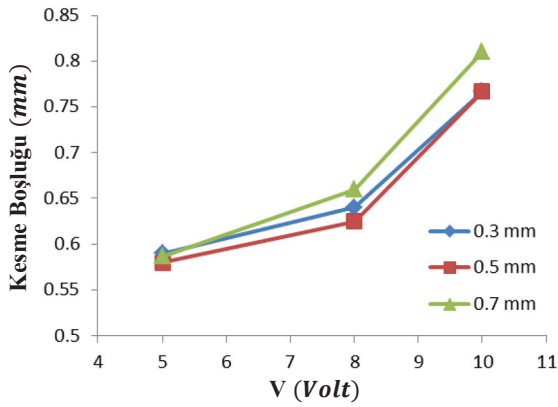
Fakat Şekil 9 incelendiğinde 3 mm/dk. adım oranı için, 8 volt değerinden sonra MİH' da önemli bir değişim olmadığı gözlenmektedir. Bunun nedeni ise düşük adım oranlarında ve yüksek voltaj değerlerinde kısa devre oluşumunun azalmasıdır ki; bu da anot katot arasındaki kimyasal reaksiyonların oluşumu için gerekli sürenin elde edildiğini ve parçaların birbirine temas etmeden ya da kısa devre oluşumu gerçekleşmeden birbirine yakın sürelerde (t_m) delik delme işleminin gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 9. Voltajın $V_f=3\text{mm/dk.}$ için MİH (MRR) üzerindeki etkisi

Ayrıca Şekil 10'da görüldü üzere yükselen voltaj miktarı ile kesme boşluğu miktarı artmaktadır. Bunun nedeni ise yukarıda belirtildiği üzere artan akım değerlerinin, takım (katot) üzerinde oluşturduğu H₂ gaz baloncuklarından kaynaklanmaktadır. Bu gaz baloncuklarının işlem sırasında sürekli olarak hacim değiştirmesi, iş parçası (anot) ve takım (katot) arasındaki oluşan elektriksel alanın mesafesini sürekli değiştirmektedir. Bu ise mikro boyutlarda kıvılcımlara neden olmaktadır. Böylece delik delme

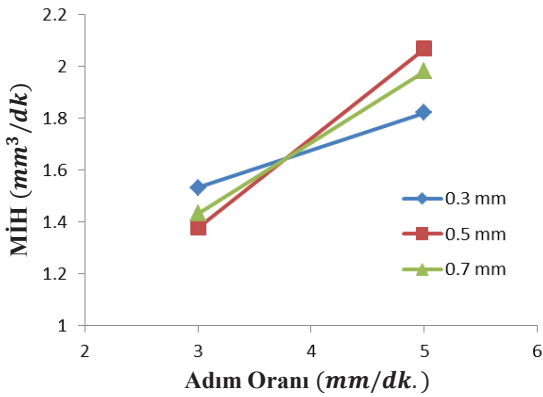
işlemi kontrolsüz bir şekilde gerçekleştiğinden yüksek voltaj değerleri kesme boşluğu değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu sonuçlar ise literatür [2,3,15] ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 10. Voltajın $V_f=5\text{mm/dk.}$ için kesme boşluğu üzerindeki etkisi

Adım Oranının Etkisi

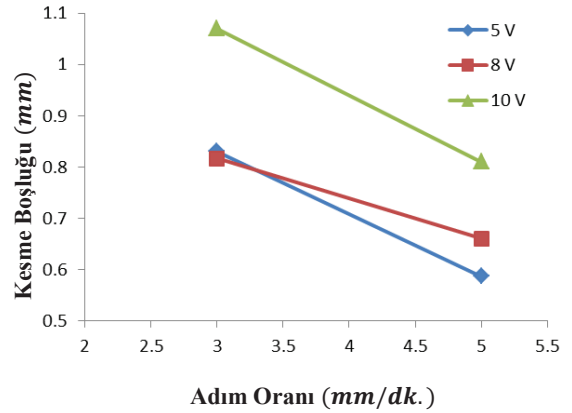
Şekil 11 ise adım oranlarına göre MİH değerlerindeki değişimi 10 V için göstermektedir. Görüldüğü üzere artan adım oranı ile takımın z eksenindeki hareketi artacağından, işleme süresi t_m düşerek MİH' yi arttıracaktır. Ayrıca Klocke F. vd. [18] yaptıkları deneysel çalışma incelendiğinde artan adım oranı ile akım yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiş olup, Şekil 11 de elde edilen sonuçları destekler niteliktedir.



Şekil 11. Adım oranının MİH üzerindeki etkisi ($V=10\text{V}$)

Şekil 12 0.5 mm başlangıç boşluk miktarı için, tüm voltaj değerlerinde adım oranı ile kesme boşluğu arasındaki değişimi göstermektedir. Bu durumda artan adım oranı ile kesme boşluğu miktarı ters orantılı olarak değişmektedir. Dolayısıyla sistemin delik delme hassasiyetinin artırıldığı görülmüştür. Artan adım oranı ile işlem sırasındaki boşluk miktarı düşmekte olup, parça çözünmesi kısıtlı bir bölgede gerçekleşerek kesme boşluğu miktarı azalmıştır.

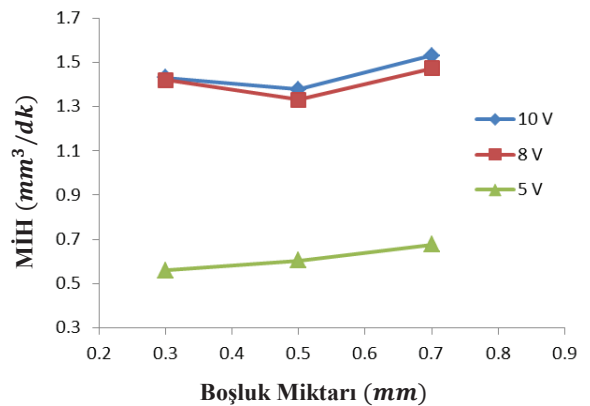
Böylece NaNO_3 kullanılarak elde edilen Neto vd. [9] yapmış oldukları çalışmalar ile benzer sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.



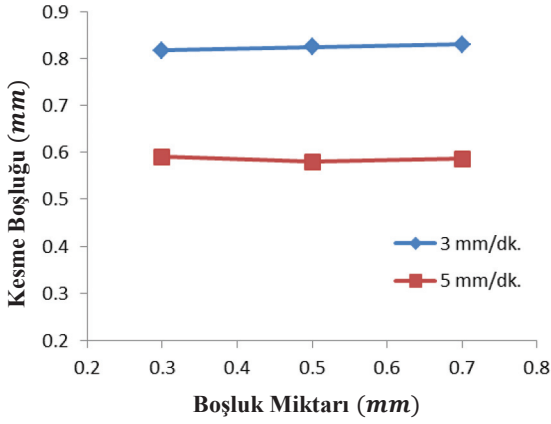
Şekil 12. Adım oranının kesme boşluğu üzerindeki etkisi ($\Delta b=0.5\text{ mm}$)

Anot-Katod Arası Boşluk Miktarının Etkisi

Şekil 13, MİH ve anot-katod arası boşluk miktarı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil incelendiğinde boşluk miktarının MİH üzerinde önemli bir etkisi olmadığı gözlenmektedir. Fakat deney sonuçları göstermiştir ki; 5V üzerindeki değerlerde boşluk miktarının kesme boşluğu üzerindeki etkisi artmaktadır. Şekil 14, 5V için farklı adım oranlarında boşluk miktarının, kesme boşluğu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Bunun nedeni ise 5V için seçilen boşluk miktarlarının, anot katod arasında kimyasal reaksiyonların oluşumu için gerekli akım değerlerini oluşturamamasıdır. Eğer boşluk miktarı 0.3 mm altına indirilirse, 5V için kesme boşluğu değerlerinde değişimler gözlemlenmek mümkün hale gelecektir.

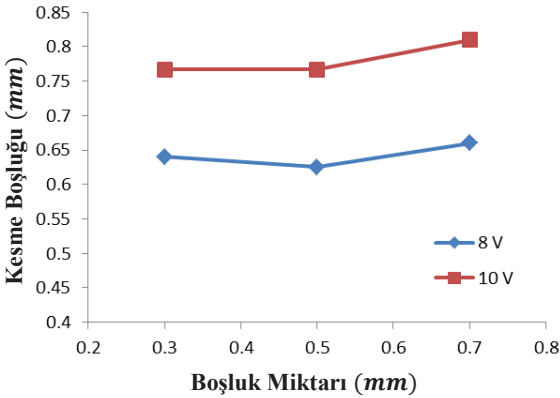


Şekil 13. Boşluk miktarının MİH üzerindeki etkisi ($V_f=3\text{mm/dk.}$)



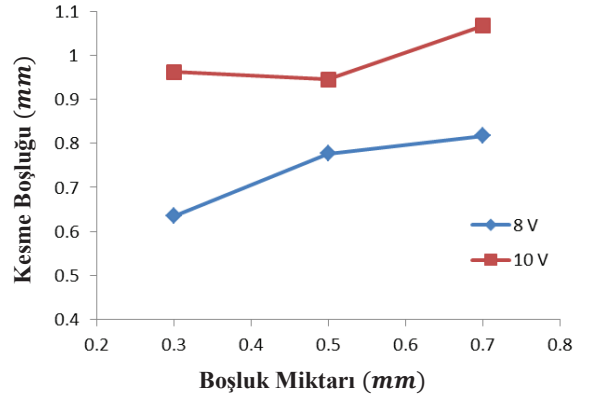
Şekil 14. Boşluk miktarının kesme boşluğu üzerindeki etkisi ($V_f=5V$)

Fakat belirlenmiş boşluk miktarları için 5V'tan sonra kesme boşluğu değerinin arttığı gözlenmiştir. Şekil 15'te görüldüğü üzere 5 mm/dk. adım oranı için kesme boşluğu; 0,7 mm boşluk miktarı için 8 V ve 10 V voltaj değerlerinde benzer şekilde değişmektedir. Bunun nedeni ise 0.7mm mesafeyi kat etmek için gerekli sürede metal atomları yeteri miktarda çözünmekte ve kesme boşluğu miktarı değişmemektedir.



Şekil 15. Boşluk miktarının kesme boşluğu üzerindeki etkisi ($V_f=5$ mm/dk.)

3mm/dk. adım oranı kullanıldığında belirtilen mesafeler arası kat etme süresi daha da uzayacağı için, kesme boşluğu miktarı artmakta olup bu durum [15] doğrular niteliktedir. Şekil 16, boşluk miktarının kesme boşluğu üzerinde önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 16. Boşluk miktarının kesme boşluğu üzerindeki etkisi ($V_f=3$ mm/dk.)

SONUÇ

Bu çalışmada masaüstü boyutlarda geliştirilmiş mikro/makro boyutlarda işleme kabiliyeti olan bir EKİ tezgâhının tasarım aşamaları sunulmuştur. Geliştirilmiş olan tezgah ile aşağıda belirtilmiş olan EKİ parametreleri kontrol edilebilmektedir.

- Elektrolit özellikleri
 - Sıcaklık
 - Debi
 - Konsantrasyon
- Adım Oranı
- Voltaj
- Akım
- Kısa Devre oluşumu

Ayrıca geliştirilmiş olan bu EKİ tezgâhının kullanılabilirliğinin tespiti için bazı deneyler yapılmış ve literatürde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ise;

- Voltajın, MİH ve kesme boşluğu üzerinde önemli bir rol oynadığı ve elde edilen çıktılar neticesinde aralarında doğrusal bir orantının olduğu görülmüştür.
- Düşük adım oranı ve artan voltaj ile kısa devre oluşumu en aza indirgenerek MİH değerlerinde iyileştirmeler yapılmıştır.
- Belirli voltaj değerleri için artan adım oranı ile, düşük kesme boşluğu ve yüksek MİH çıktıları elde edilmiştir.
- Düşük voltaj değerleri için anot-katot arasındaki boşluk değerlerinin, MİH ve kesme boşluğu için önemli bir parametre olmadığı; fakat artan voltaj ile bu parametrenin, kesme boşluğu üzerindeki etkisinin arttığı gözlemlenmiştir.

INVESTIGATION OF MACHINING PARAMETER EFFECTS IN ELECTROCHEMICAL MACHINING PROCESS FOR MACRO/MICRO MANUFACTURING

Difficult-to-cut materials have been extensively used in recent years with the increasing technology. In this context Electrochemical machining (ECM) is one of the processes that is used to machine these type of materials with high precision. In this study, a designed and developed desktop size EC machine is presented for micro/macro manufacturing. Additionally validating experiments were conducted to investigate the ECM parameters like gap distance between anode and cathode, voltage, and feed rate effects on material removal rate (MRR) and overcut. The results were compared with the literature in order to show the usability of the machine. Also the experimental results showed that the voltage is more effective one among the ECM parameters than the others.

Keywords: Electrochemical Machining (ECM), ECM Machine, Voltage, Feed Rate, Material Removal Rate (MRR), Overcut.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje (BAP) birimi tarafından MF.14.19 numaralı ve "Mikro ve Makro Boyutlarda İşleme Kabiliyeti olan Elektro-Kimyasal İşleme Tezgâh Tasarımı ve İşlem Parametrelerinin İncelenmesi" başlıklı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Rajurkar, K. P., Wei, B., Kozak, J. ve McGeough, J. A., Modelling and Monitoring Interelectrode Gap in Pulse Electrochemical Machining, *Annals of the CIRP*, 44 (1995) 1, 177-180.
2. Bhattacharyya, B., ve Munda, J., Experimental investigation into electrochemical micromachining (EMM) process, *Journal of Materials Processing Technology*, 140 (2003) 2, 287-291.
3. Li, Z. ve Yuan, G., (2008), Experimental Investigation of Micro-holes in Electrochemical Machining Using Pulse Current, *Proceedings of the 3rd IEEE Int. Conf. on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems*, 151-154, China, 2008.
4. Vanderauwera, W., Vanloffelt, M., Perez, R., Lauwersa B., Investigation on the performance of macro electrochemical milling, *Procedia CIRP*, 6 (2013), 356-361.
5. Özerkan, H. B., Çoğun, C., Döner tüp takım kullanarak elektrokimyasal delme yönteminin deneysel incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 28 (2013) 4, 885-895.

6. Selis, Ö., Otomatik kontrollü elektrokimyasal işlemenin (EKİ) incelenmesi ve uygulanması, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 29 (2014) 1, 1-8.
7. Thanigaivelan, R., Arunachalam, R., M., Karthikeyan, B., Loganathan, P., Electrochemical micromachining of stainless steel with acidified sodium nitrate electrolyte, *Procedia CIRP*, 6 (2013), 352-356.
8. Malapati, M. ve Bhattacharyya B., Investigation into Electrochemical Micromachining Process during Micro-Channel Generation, *Materials and Manufacturing Processes*, 26 (2011) 8, 1019-1027.
9. Neto, J., Silva, E., Silva, M., Intervening variables in electrochemical machining, *Journal of Materials Processing Technology*, 179 (2006), 92-96.
10. Mukherjee, S., K., Kumar, S., Srivastava, P., K., Effect of Over Voltage on Material Removal Rate During Electrochemical Machining, *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 8 (2005) 1, 23-28.
11. Costa, H., L. and Hutchings, I., M., Development of a maskless electrochemical texturing method, *Journal of materials processing technology*, 209 (2009) 8, 3869-3878.
12. Tehrani, A., F. ve Atkinson, J., Overcut in pulsed electrochemical grinding, *Journal of Engineering Manufacture*, 214 (2000) 24, 259-269.
13. Thanigaivelan R. ve Arunachalam R. M., Experimental Study on the Influence of Tool Electrode Tip Shape on Electrochemical Micromachining of 304 Stainless Steel, *Materials and Manufacturing Processes*, 25 (2010) 10, 1181-1185.
14. Bhattacharyya, B., Malapati, M., Munda, J., Sarkar, A., Influence of tool vibration on machining performance in electrochemical micro-machining of copper, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47, (2007), 335-342.
15. Bhattacharyya, B., Malapati, M., Munda, J., Experimental study on electrochemical micromachining, *Journal of Materials Processing Technology*, 169, (2005), 485-492
16. Munda, J., Malapati, M., Bhattacharyya, B., Control of micro-spark and stray-current effect during EMM process, *Journal of Materials Processing Technology*, 194, (2007), 151-158
17. López de Lacalle L.N. ve Lamikiz A., *Machine Tools for High Performance Machining*, Springer Press, Spain, 2009.
18. Klocke, F., Zeis, M., Klink, A., Veselovac, D., Experimental research on the electrochemical machining of modern titanium- and nickel-based alloys for aero engine components, *Procedia CIRP*, 6 (2013), 369-373.