

**Nihat Tosun**  
Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü  
Fırat Üniversitesi  
Elazığ

**Can Çoğun**  
Prof. Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü  
Gazi Üniversitesi  
Ankara

**Ali İnan**  
Doç. Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü  
Fırat Üniversitesi  
Elazığ

## Tel Erozyonda İşleme Parametrelerinin Teldeki Aşınma Krater Boyutlarına Etkisinin İstatistiksel İncelenmesi

*Bu çalışmada, tel erozyon ile kesmede işleme parametrelerinin teldeki aşınma krater boyutlarına etkisi istatistiksel olarak araştırıldı. Deneyler, farklı puls süresi (300, 500, 700 ve 900 ns), açık devre gerilimi (80, 100 ve 270 V), tel ilerleme hızı (5, 8 ve 12.5 m/dak) ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı (6, 12 ve 18 kg/cm<sup>2</sup>) gibi işleme koşulları altında faktöriyel deneysel tasarım kullanılarak yapıldı. Deneylerde 0.25 mm çapında pirinç tel ve 0.28 mm kalınlığında Ç4140 çelik iş parçası kullanıldı. Yapılan istatistiksel çalışma neticesinde, puls süresi ve açık devre geriliminin krater boyutları üzerinde etkili olduğu, tel ilerleme hızının ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının etkisinin önemsiz olduğu belirlenmiştir.*

*Anahtar Kelimeler: Tel erozyon, krater boyutları, varyans analizi*

### GİRİŞ

Tel erozyon tezgahı, üzerinden akım geçen bir tel yardımı ile talaş kaldıran (kesme yapan) bilgisayar kontrollü bir tezgahdır. Tel erozyon ile metal kesme (WEDM-wire electric discharge machining), çeşitli endüstriyel dallarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İyi bir işleme performansı elde etmek için işleme parametrelerini seçmede, optimizasyon tekniklerine ve istatistiksel analize ihtiyaç vardır [1,2].

Tel elektrot üzerinde oluşan aşınma kraterleri işleme performansını yansıtan en önemli göstergelerdir. Kraterler hem tel kopması hem de iş parçası yüzey pürüzlülüğü ile ilişkilidir. Tel üzerinde oluşan kraterlerin boyutlarının büyük olması iş parçası yüzey pürüzlülüğünün de kötü olacağı anlamına gelmektedir. Kraterlerin boyutlarının büyük olması telin kopma riskini de artırmaktadır [3].

Jeswani [4], dalma tipi erozyondaki (die sinking EDM) takım aşınmasının boyutsal analizini yaptığı çalışmada puls enerjisi, erime gizli ısı, buharlaşma gizli ısı, erime sıcaklığı, buharlaşma sıcaklığı, ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve malzeme yoğunluğuna bağlı olarak takım elektrottan eriyen malzemenin hacmi ile ilgili deneysel bir denklem elde etmiştir. Dibinto ve arkadaşları [5], dalma elektro erozyon işlemi için teorik bir katot erozyon modeli sunmuşlardır. Patel ve arkadaşları [6], anot iş

parçası için Dibinto'nun [5] makalesinde sunulan ısı kaynağı modeline ilave olarak plazma/anot ara yüzeyinde sınır şartı olarak sıcaklık yerine işleme gücünü (machining power) kullanmıştır. Çoğun ve Savsar [7] yaptıkları istatistiksel çalışmada, puls süresi, puls ara süresi ve deşarj akımı gibi değiştirilen işleme parametreleri için deşarj pulslarının gecikme sürelerinin rasgele davranışlarını incelemişlerdir. Scott ve arkadaşları [1], tel erozyonda en iyi işleme koşullarının seçimi için bir optimizasyon çalışması yapmışlardır. Spur ve Schoenbeck [8] tel erozyonda meydana gelen deşarj kanalının boyutunu ve yoğunluğunu zamana bağlı olan yarı sonsuz bir katı üzerindeki bir ısı kaynağı olarak tanımlamışlar ve problemin sayısal analizini sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapmışlardır. Wang ve Rajurkar [9] çalışmalarında, işleme verimliliğini yükseltmek ve telin kopmasını engellemek için geliştirdikleri çevrim içi kontrollü kıvılcım frekansı tarayan bir izleme sistemini tanıtmışlardır. Köğmen [10], dalma elektro erozyondaki krater oluşumunun bilgisayar destekli modellenmesini ve simülasyonunu yapmıştır. Liao ve arkadaşları [11] tel erozyonda tel kopması üzerine yaptıkları çalışmada, işleme esnasında kaydedilen gerilim dalga formlarının karakteristiklerine dayanan bilgisayar destekli puls tanımlama sistemi geliştirmişlerdir. Liao ve arkadaşları [2], işleme parametrelerinin yüzey

pürüzlülüğüne, işleme hızına ve kesme aralığı genişliğine (kerf) etkisi üzerine istatistiksel bir çalışma yapmışlardır. Huang ve arkadaşları [12] tel erozyon ile kesmede, yüzey pürüzlülüğünü, kesme genişliğini ve iş parçası yüzeyinde oluşan beyaz tabaka kalınlığını çeşitli işleme parametreleri için ölçmüşlerdir. Kullandıkları işleme parametrelerini Taguchi deneysel tasarımı ile tespit etmişlerdir. Luo [13], tel mukavemeti ve tel kopma mekanizması üzerine yaptığı çalışmada kıvılcım basıncı ve tel gerilmesinin tel kopmasında önemli iki etken olduğunu vurgulamıştır. Lin ve arkadaşları [14], dalma tipi erozyonda elektrot aşınmasının azaltılması üzerine yaptıkları çalışmada, Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak minimum elektrot aşınması için işleme parametrelerini belirlemişlerdir. Banarjee ve arkadaşları [15], teldeki kraterlerin işleme parametrelerine bağlı olarak boyut değişimlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada tek bir deşarj süresi için teldeki krater oluşumu ve üç boyutlu süreksiz sıcaklık dağılımı sonlu fark modeli kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel sadece kapasite değeri değiştirilerek yapılmış ve teorik olarak güç, puls süresi ve tel ilerleme hızının artmasıyla krater hacminin arttığı vurgulanmıştır. Bu çalışmada, dielektrik sıvı püskürtme basıncının etkisinden bahsedilmemiştir.

Literatür araştırması sonucunda, tel erozyon ile işlemede en önemli performans çıktıları olarak kabul edilen tel kopması ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkileyen tel elektrottaki krater boyutlarının işleme parametreleri ile gösterdiği değişimin yeterince incelenmediği görülmüştür. Varolan kısıtlı sayıdaki çalışmada ise gerek deneylerin tasarımında, deney sayılarının tespitinde ve gerekse sonuçların analizinde istatistiksel yaklaşımların kullanılmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı, bu çalışmada, tel erozyon ile kesmede işleme parametrelerinin telde oluşan aşınma kraterlerinin çapı ve derinliği üzerine etkisi istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### Deneysel ve ölçümler

Deneysel çalışmalarda SODICK firmasına ait A320D/EX21 Tel Erozyon tezgahı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, puls süresi, açık devre gerilimi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı değiştirilmiş, puls ara süresi, tabla ilerleme hızı, tel gerginliği, tel çapı ve malzemesi, iş parçası boyutları ve malzemesi sabit tutulmuştur (Tablo 1). Faktöriyel deney tasarımına göre bulunan 108 değişik kesme şartında deneyler yapılmıştır.

Deneysel, çekme mukavemeti 900 N/mm<sup>2</sup> olan, 0.25 mm çapında CuZn37 Master Brass pirinç

tel kullanıldı. İş parçası malzemesi olarak 0.28 mm kalınlığında Ç4140 (DIN 42CrMo4) çeliği kullanıldı. İş parçası kalınlığının 0.28 mm seçilmesinin nedeni, tel üzerinde birbirinden bağımsız (birbiri üstüne binmeyen) tek kraterlerin oluşumunun sağlanabilmesidir.

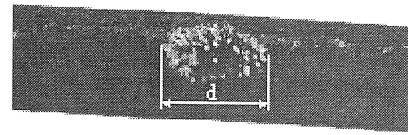
Tablo 1. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve değerleri

İşleme parametreleri	Değerleri
Puls süresi (ns)	300, 500, 700, 900
Açık devre gerilimi (V)	270, 100, 80
Tel ilerleme hızı (m/dak)	5, 8, 12.5
Dielektrik sıvı püskürtme basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )	6, 12, 18
Puls ara süresi (µs)	16
Tabla ilerleme hızı (mm/dak)	7.6
Tel gerginliği (gr)	1800
Kapasite (µF)	0

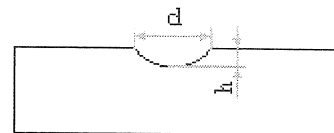
Krater boyutları, tel üzerindeki kraterlerin derinlik (d) ve çapının (h) ölçülmesi ile tespit edildi. Çap ve derinlik bilgisinin tespiti için aynı tel üzerindeki 12 adet krater için çap ve derinlik ölçümü yapılarak ortalaması alındı. Tel üzerinde meydana gelen bir krater ve boyutlandırılması Şekil 1'de görülmektedir. Krater boyutlarını ölçmek için x50 büyütme, 0.005mm hassasiyetinde Mitutoyo TM-500 ölçme mikroskobu kullanıldı.



a)



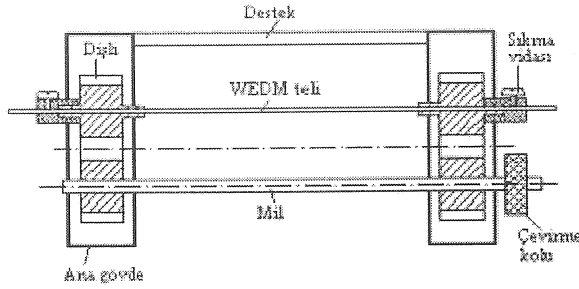
b)



c)

Şekil 1. Teldeki bir krater ve boyutlandırılması

Ölçme işleminde kullanılmak amacıyla telin bağlandığı ve teli burmadan kendi eksenine etrafında çevirebilen bir tel çevirme aparatı tasarlanıp imal edilmiştir (Şekil 2). Bu aparat mikroskobun tablası üzerine monte edilmiştir. Tel çevirme aparatının her iki tarafına yerleştirilmiş olan dişlilerin merkezinden gerilerek geçirilen tel sıkma vidaları ile sabitlenmektedir (Şekil 2). Dişlilerin merkezlerinde dönen tel üzerinde görüntüleri takip edilen kraterlerin d ve h ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 2. Krater boyutlarını ölçmede kullanılan tel çevirme aparatı

### KRATER BOYUTLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Bu çalışmada, deney sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesinde varyans analizi metodu (ANOVA-analysis of variance [16]) ve F testi kullanılmıştır. Varyans analizi, işlem parametrelerinin istatistiksel olarak öneminin tespiti için yapılır. Bu metot, işlem parametrelerinin optimum kombinasyonunu ve performans karakteristikleri üzerinde bu parametrelerin etkisini belirlemek için kullanılır [14]. F testi, işlem parametrelerinin performans karakteristikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. İşlem parametresi değiştirildiğinde F değeri büyük çıktığı takdirde o parametrenin performans karakteristikleri üzerinde daha etkili olduğu anlaşılır [2,14].

Varyans analizinde deneysel değerler ile arzu edilen değerler arasındaki sapmayı hesaplamak için bir kayıp fonksiyonu (loss function) kullanılır. Bu kayıp fonksiyonu neticesinde elde edilen veriler daha

sonra arzu edilen değerden sapan performans karakteristiklerini belirlemek için bir dönüşüme sokulur. Bu dönüşüm, sinyal-gürültü oranı S/N (signal-to-noise ratio) olarak adlandırılır ve  $\eta$  ile gösterilir. S/N oranının analizinde, "daha düşük daha iyidir", "nominal daha iyidir" veya "daha yüksek daha iyidir" gibi kayıp fonksiyonları kullanılabilir. Bu çalışmada teldeki krater boyutları, telin ağırlık kaybı ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünün varyans analizinde "daha düşük daha iyidir" (LB-lower is better) kayıp fonksiyonu kullanıldı. LB kayıp fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$L_{ij} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \quad (1)$$

Burada  $L_{ij}$  j'nci testteki i'nci performansın kayıp fonksiyonu, r bir denemedeki testlerin sayısı y ise her bir test için ölçülen değerdir. Bu kayıp fonksiyonu için S/N oranı ( $\eta$ ) ise:

$$S/N_{LB} = -10 \log(L_{ij}) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir.

Deney sonuçlarının S/N oranlarının tespitinde Tablo 2'de görülen faktörler ve seviyeler kullanıldı. Bu çalışmada açık devre gerilimi, puls süresi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı olmak üzere dört kontrol faktörü bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan herhangi bir kesme parametresinin değiştirilme sayısı seviyeyi, değişkenin aldığı değerlerde seviyenin değerini gösterir. Bu çalışmada, puls süresi 300 ns, 500 ns, 700 ns ve 900 ns olmak üzere toplam dört seviyedir. Açık devre gerilimi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı basıncı ise üç seviyeli olarak seçilmiştir. Tablo 2'de belirtilen kesme parametrelerinin her bir seviyesi için teldeki krater çapına ve derinliğine ait  $\eta$  değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'te sunulmuştur. Kesme parametrelerinin her bir seviyesinin krater boyutları üzerindeki etkileri ise Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'teki A1, A2, A3 ve A4 puls süresinin, B1, B2 ve B3 açık devre geriliminin, C1, C2 ve C3 tel ilerleme hızının ve D1, D2 ve D3 ise dielektrik sıvı basıncının seviyelerini göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Kesme parametreleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A	Puls süresi	ns	300	500	700	900
B	Açık devre gerilimi	V	80	100	270	-
C	Tel ilerleme hızı	m/dak	5	8	12.5	-
D	Dielektrik basıncı	kg/cm <sup>2</sup>	6	12	18	-

Tablo 3. Teldeki krater çapı için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi ( $\eta$  değerleri)

Kesme parametreleri	Ortalama S/N oranı (dB)			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Puls süresi	21.0837*	19.5976	18.1330	16.7624
Açık devre gerilimi	20.5449*	19.7232	16.4144	-
Tel ilerleme hızı	19.5606*	18.8235	18.2984	-
Dielektrik basıncı	18.3770	18.8379	19.4675*	-

Ortalama S/N oranı= 18.8942 dB

\*Optimum seviyeler

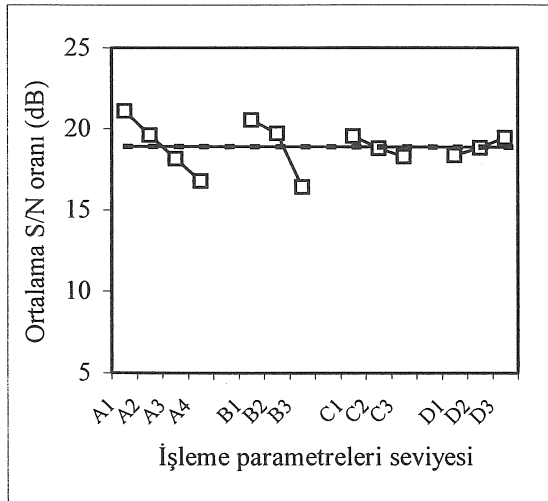
Tablo 4. Teldeki krater derinliği için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi ( $\eta$  değerleri)

Kesme parametreleri	Ortalama S/N oranı (dB)			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Puls süresi	41.7026*	40.2383	38.4612	37.0137
Açık devre gerilimi	41.3168*	40.0282	36.7169	-
Tel ilerleme hızı	40.0588*	39.2938	38.7092	-
Dielektrik basıncı	38.7615	39.2608	40.0396*	-

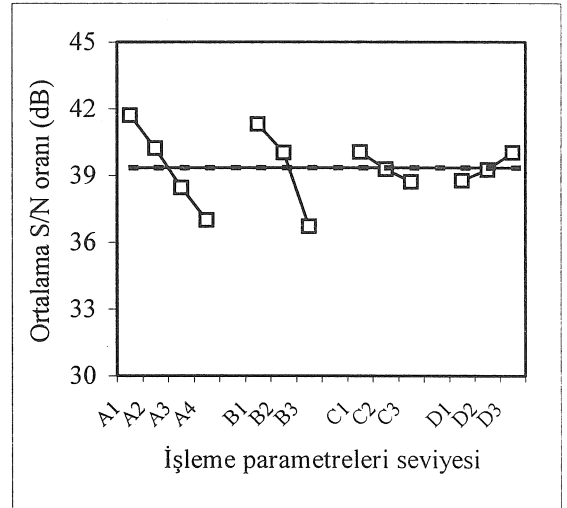
Ortalama S/N oranı=39.3540 dB

\*Optimum seviyeler

Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilen herhangi bir parametre için optimum değer, o parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N değeridir. Optimum seviye ise bu çalışma için minimum krater boyutlarını elde etmede kullanılacak parametrelerin değerleridir. Minimum krater boyutları Tablo 3 ve Tablo 4'ten de görüldüğü gibi 300 ns puls süresi, 80 V açık devre gerilimi, 5 m/dak tel ilerleme hızı ve 18 kg/cm<sup>2</sup> dielektrik sıvı püskürtme basıncı neticesinde elde edilmiştir.



Şekil 3. Teldeki krater çapına kesme parametrelerinin seviyelerinin etkisi



Şekil 4. Teldeki krater derinliğine kesme parametrelerinin seviyelerinin etkisi

Şekil 3 ve Şekil 4, kraterlerin derinlik ve çapı için S/N cevap grafiğidir. Daha büyük S/N oranları arzu edilen krater çap ve derinliği değerlerini vermektedir. Bu şekillerdeki puls sürelerini (A1, A2, A3 ve A4) dikkate alırsak puls süresi arttıkça S/N oranının küçülmesi teldeki krater çap ve derinliğinin artması anlamına gelmektedir. Grafiklerdeki ortalama çizgisi, çalışmada kullanılan kesme parametrelerinin seviyeleri içerisinde krater çap ve derinliğinin elde edileceği ortalama değerleri göstermektedir.

Şekillerden de anlaşılacağı üzere krater boyutları puls süresi, açık devre gerilimi ve tel ilerleme hızının artması ile artmakta ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının artması ile azalmaktadır.

Teldeki krater boyutları için yapılan varyans analizinin sonuçları Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Tabloda gösterilen  $F_{A0}$  değeri bir faktörün F testi değeri olup, faktörün F test değeri

$$F_{A0} = \frac{V_A}{V_e} \quad (3)$$

ile hesaplanır. Burada  $V_A$ , faktör A'nın varyansı ve  $V_e$  ise hatanın varyansıdır. Bulunan  $F_{A0}$  değeri, standart F testi tablolarındaki serbestlik dereceleri kullanılarak okunan F değeri ile karşılaştırılır. Eğer bu değer tablodaki değerden büyükse yani

$$F_{A0_{\text{hesaplanan}}} > F_{A0_{\text{tablo}}} \quad (4)$$

ise A faktörü önemlidir. Herhangi bir faktörün yüzde dağılımı P (percent contribution), o faktörün

karelerinin toplamının tüm faktörlerin karelerinin toplamına oranı ile elde edilir. Yani:

$$P = \left[ \frac{SS_A}{SS_T} \right] \times 100 \quad (5)$$

şeklindedir. Faktör A'nın karelerinin toplamı

$$SS_A = \frac{\sum \eta_{Ai}^2}{N} - SS_m \quad (6)$$

şeklindedir. Burada N herhangi bir A parametresinin seviye sayısı,  $\eta$  S/N oranı ve  $SS_m$  ise ortalamanın kareleri toplamıdır. Bağımsız her bir çift için serbestlik derecesi f-1'dir. Yani kullanılan faktörlerin seviye sayılarının bir eksiği serbestlik derecesini verir.

Tablo 5. Teldeki krater çapı için ANOVA sonuçları

İşleme parametreleri	Serbestlik derecesi (f)	Karelerin toplamı ( $SS_A$ )	Varyans ( $V_A$ )	$F_{A0}$	% Dağılım
Puls süresi	3	281.1482	93.7160	23.1938	40.63
Açık devre gerilimi	2	344.2200	172.1100	42.5956	49.74
Tel ilerleme hızı	2	28.9444	14.4722	3.5817	4.18
Dielektrik basıncı	2	21.5750	10.7875	2.6698	3.12
Hata	4	16.1622	4.0405	-	2.33
Toplam	13	692.0499	-	-	100

Tablo 6. Teldeki krater derinliği için ANOVA sonuçları

İşleme parametreleri	Serbestlik derecesi (f)	Karelerin toplamı ( $SS_A$ )	Varyans ( $V_A$ )	$F_{A0}$	% Dağılım
Puls süresi	3	339.4394	113.1464	19.4470	40.85
Açık devre gerilimi	2	405.4230	202.7115	34.8409	48.79
Tel ilerleme hızı	2	32.9834	16.4917	2.8345	3.97
Dielektrik basıncı	2	29.8752	14.9376	2.5673	3.59
Hata	4	23.2727	5.8181	-	2.80
Toplam	13	830.9938	-	-	100

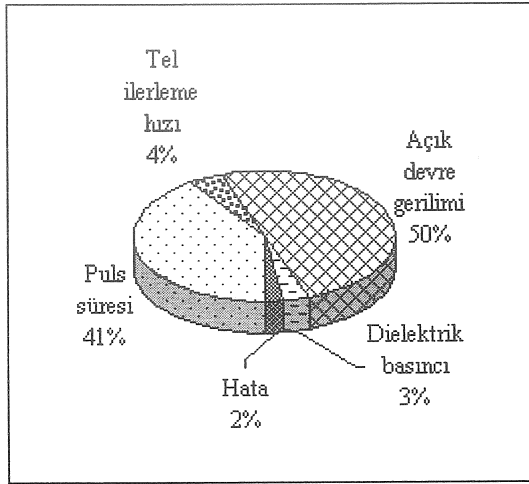
Şekil 5 ve Şekil 6'den görüldüğü gibi krater boyutları üzerinde en büyük etkiyi sırasıyla açık devre gerilimi ve puls süresi yaparken bunları tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı

izlemektedir. Krater boyutlarında yapılan deneysel hata oldukça düşük bir seviyededir. Tablo 5 ve Tablo 6'da hesaplanan  $F_{A0}$  değerine göre tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının krater boyutlarına etkisi önemsizdir.

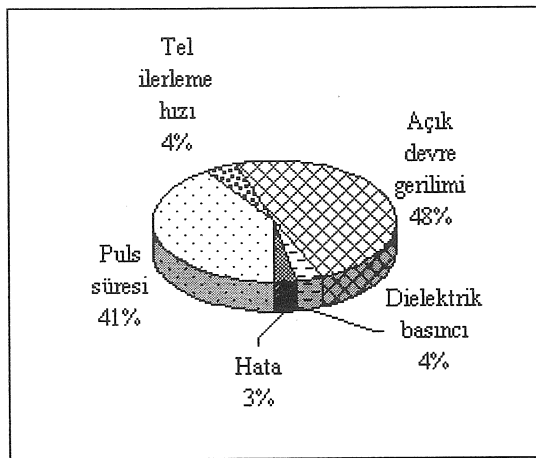
## A STATISTICAL INVESTIGATION ON THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON DIMENSIONS OF WIRE EROSION CRATERS IN WEDM

In this study, the effect of the cutting parameters on the crater size of wire electrode was statistically investigated in Wire Electrical Discharge Machining (WEDM). The experiments was conducted at different pulse time (300, 500, 700 and 900 ns), open circuit voltage (80, 100 and 270 V), wire speed (5, 8 and 12.5 m/min) and dielectric flushing pressure (6, 12 and 18 kg/cm<sup>2</sup>) by using factorial experimental design. Brass wire of 0.25 mm diameter was used as tool electrode and SAE 4140 steel of 0.28 mm thickness was used as workpiece material in the experiments. It is found statistically that pulse time and open circuit voltage are effective whereas wire speed and dielectric fluid pressure have insignificant effect on the crater sizes.

Keywords: WEDM, crater sizes, analysis of variance



Şekil 5. Varyans analizi sonucuna göre parametrelerin krater çapına % etkisi



Şekil 6. Varyans analizi sonucuna göre parametrelerin krater derinliğine etkisi

### SONUÇ

Bu çalışmada, tel erozyon tezgahında, puls süresi, açık devre gerilimi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı gibi kesme parametrelerinin telde oluşan aşınma krater boyutları (krater çap ve derinliği) üzerindeki etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir.

Teldeki krater boyutları puls süresi, açık devre gerilimi ve tel ilerleme hızının artması ile artmakta ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının artması ile azalmaktadır. Yapılan varyans analizi sonucunda, krater boyutları üzerinde en büyük etkiyi sırasıyla açık devre geriliminin, puls süresinin, tel ilerleme hızının ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının yaptığı anlaşılmıştır. F-testinde ise teldeki krater boyutları üzerinde açık devre gerilimi ve puls süresinin önemli derecede etkili olurken, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

### KAYNAKÇA

1. Scott D., Boyina S. And Rajurkar K.P., "Analysis and Optimization of Parameter Combination in Wire Electrical Discharge Machining", *Int. J. of Prod. Res.*, 29 (11), 2189-2207, 1991.
2. Liao Y.S., Huang J.T., Su H.C., "A Study on the Machining-parameter Optimization of Wire Electrical Discharge Machining", *J. of Mat. Proc. Tech.*, 71, 487-493, 1997.
3. Kinoshita N. Fukui M., and Gamo G., "Control of Wire EDM Preventing From Breaking", *Annals of the CIRP*, 31 (1), January 1982.
4. Jeswani M.L., "Dimensional Analysis of Tool Wear in Electrical Discharge Machining", *Wear*, 55, 153-161, 1979.
5. Dibinto, D.D., Eubank, Ph.T., Patel, M.R., Barrufet, M.A., "Theoretical Models of The Electrical Discharge Machining Process I. A Simple Cathode Erosion Model", *J. of Appl. Phys.*, 66 (9), 4095-4103, 1989.
6. Patel, M.R., Barrufet, M.A., Eubank, P.T., Dibinto, D.D., "Theoretical Models of The Electrical Discharge Machining Process II". *The Anode Erosion Model, J. of Appl. Phys.*, 66 (9), 4104-4111, 1989.
7. Çoğun C., Savsar M., "Statistical Modelling of Properties of Discharge Pulses in Electrical Discharge Machining", *Int. J. of Mach. Tools and Manuf.*, 30(3), 467-474, 1990.
8. Spur, G.; Schoenbeck, J., "Anode Erosion in Wire-EDM - a Theoretical Model", *Annals of the CIRP*, 42 (1), 253-256, 1993.

9. Wang, W.M. and Rajurkar, K.P., "Monitoring sparking frequency and predicting wire breakage in WEDM", *Sensors and Signal Processing for Manufacturing, ASME, PED*, 55, 49-64, NY, USA, 1992.
10. Köğmen, M., *Computer Aided Modelling and Simulation of Crater Formation in Electrical Discharge Machining*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, Ankara, Haziran 1993.
11. Liao, Y.S., Chu, Y.Y., Yan, M.T., "Study of Wire Breaking Process and Monitoring of WEDM", *Int. J. of Mach. Tools and Manuf.*, 37 (4), 555-567, 1997.
12. Huang J.T., Liao Y.S. and Hsue W.J., "Determination of Finish-Cutting Operation Number and Machining Parameters Setting in Wire Electrical Discharge Machining", *J. of Mat. Proc. Tech.*, 87, 69-81, 1999.
13. Lin J.L., Wang K.S., Yan B.H. and Tarng Y.S., "An Investigation into Improving Worn Electrode Reliability in the Electrical Discharge Machining Process", *Int. J. of Adv. Manuf. Tech.*, 16, 113-119, 2000.
14. Luo Y.F., "Rupture Failure and Mechanical Strength of the Electrode Wire used in Wire EDM", *J. of Mat. Proc. Tech.*, 94, 208-215, 1999.
15. Banerjee S., Prasad B.S., Mishra P.K., "Analysis of Three-Dimensional Transient Heat Conduction for Predicting Wire Erosion in the Wire Electrical Discharge Machining Process", *J. of Mat. Proc. Tech.*, 65 (1-3), 134-142, March 1997.
16. Ross P.J., *Tauchi Techniques for Quality Engineering*, Second Edition, McGraw-Hill, USA, 1996.
17. Mcgeough J.A. and Rassuman H., "A Macroscopic Model of Electro Discharge Machining", *Int. J. of Mach. Tool Des. and Res.*, 22 (4), 333, 1982.
18. Schreiber, R. R., "Hot Off The Wire", *Manufacturing Engineering*, 104 (6), 39-44, June 1990.