

TEL EROZYONDA KESME PARAMETRELERİNİN İLERLEME HIZINA ETKİSİ

Nihat TOSUN *, Can ÇOĞUN **

Bu çalışmada, tel erozyon ile kesmede kesme parametrelerinin ilerleme (kesme) hızı üzerine etkisi deneysel olarak araştırıldı. Deneyler, farklı puls süresi, açık devre gerilimi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı kullanılarak yapıldı. Deneylerde tel olarak 0.25 mm çapında pirinç ve iş parçası olarak 10 mm kalınlığında 4140 çeliği kullanıldı. Yapılan çalışma sonucunda, puls süresinin, açık devre geriliminin, tel ilerleme hızının ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının artması ile ilerleme hızının arttığı belirlendi. Ayrıca, ilerleme hızı ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiler incelendi.

Anahtar sözcükler : Tel erozyon, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü

In this study, effect of the cutting parameters on the machining rate was experimentally investigated in Wire Electrical Discharge Machine (WEDM). The experiments were conducted at different pulse time, open circuit voltage, wire speed and dielectric flushing pressure by using factorial experimental design. Brass wire tool with 0.25 mm diameter and SAE 4140 steel workpiece material with 10 mm thickness were used in the experiments. It is found experimentally that the increasing pulse time, open circuit voltage, wire speed and dielectric flushing pressure increase the machining speed. The relation between the machining speed and surface roughness is investigated.

Keywords: Wire EDM, machining rate, surface roughness

* Dr., Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

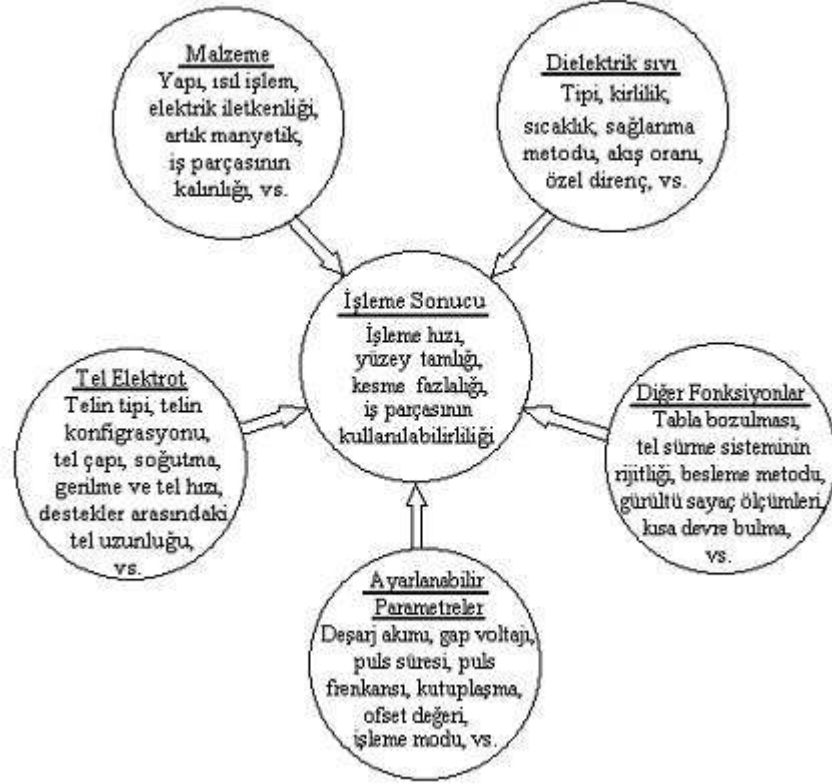
** Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Tel erozyon ile işleme (WEDM) elektro erozyonla işlemenin (EDM) özel bir şeklidir. Burada elektrot, sürekli olarak ilerletilen iletken bir teldir. Tel erozyonda talaş, doğru akım vurumlu bir güç kaynağı vasıtasıyla oluşan elektrik kıvılcımlarının erozyonu ile kaldırılır. Kıvılcımlar dielektrik sıvı içerisinde birbirine yakın yerleştirilen tel elektrot ve iş parçası arasında oluşur. Tel erozyon ile işleme tekniğinin üstünlüğü, elektrik iletkenliği özelliğe sahip her türlü malzeme sertlik değeri ne olursa olsun işlenebilmekte, ayrıca kalın malzemelerin (~200mm) ve karmaşık profillerin işlenebilmesine imkan sağlamaktadır. Özellikle kalıp imalatında kullanımı yaygındır. Tezgaah ve kesime bağlı olarak tolerans 0.01 mm'ye kadar inebilmektedir. Kesme boşluğu ise, tel çapı ve aşındırma bölgesi (akıma bağlı ~1/2 tel çapı) kadardır. Bu nedenle dişi ve erkek kalıp yapımında büyük kolaylık sağlar.

Tel erozyon ile kesmede en önemli performans çıktıları kesme genişliği, ilerleme hızı (veya kesme hızı) ve iş parçası yüzey pürüzlülüğüdür. Boşalım akımı, boşalım kapasitansı, puls süresi, puls frekansı, tel ilerleme hızı, tel gerilmesi, aralık voltajı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı performans çıktıları üzerinde etkili olan kontrol parametreleridir (Şekil 1). Bu parametrelerin ve diğer kontrol faktörlerinin yanlış ayarlanması, yüzey hasarlarına ve düşük ilerleme hızlarına sebep olur. Örneğin, bir kıvılcımın kesme enerjisi hem uygulanan akıma hem de puls süresine bağlıdır. Kesme hızının artırılması için yüksek enerjili kıvılcımlara ihtiyaç vardır. Öte yandan, yüksek kıvılcım enerjisi ile işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülüğü de olumsuz yönde etkilenecektir. Görüldüğü gibi akım ve puls süresi performans çıktılarını farklı yönde etkileyebilmektedir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde; Scott vd. (1991) çalışmalarında, bir tel erozyon tezgahında kontrol parametrelerinin seçimi için çok amaçlı bir optimizasyon probleminin formülasyonunu ve çözümünü sunmuşlardır. İlerleme hızının ve yüzey pürüzlülüğünün ana performans ölçümleri olarak alındığı bu çalışmada, performans ölçümlerinin değişik işleme koşullarında tahmini için bir faktöriyel tasarım modeli kullanılmıştır. Rajurkar ve Wang (1993) tel kopmasının fizliğini ısıl bir model yardımıyla analiz etmiştir. Çalışmada, optimum tezgah ayarları için kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki bir model yardımıyla belirlenmiştir. Kozak vd. (1994) PCD (polycrystalline diamond) plakaların işlenmiş yüzeyinin kalitesi ve kesme hızı üzerinde malzemenin tane boyutunun, boşalım enerjisinin ve deşarj frekansının etkisini sunmuşlardır. Tarng vd. (1995) tel erozyon kesme performansının iyileştirilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, yapay sinir ağları kullanılarak kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için puls süresi, puls ara süresi, işleme gerilimi, servo gerilim, boşalım akımı, boşalım kapasitansı ve tabla ilerleme hızının optimum değerlerini belirlemiştir. Liao ve arkadaşları (1997), tel erozyondaki işleme parametrelerinin seçimi için yaptıkları optimizasyon çalışmasında Taguchi deney tasarım metodu ve varyans analizi kullanarak işleme performansına etki eden önemli faktörleri belirlemişlerdir. Spedding ve Wang (1997a,b) yapay sinir ağları kullanarak yaptıkları modellemede tel erozyon işleme parametrelerinin optimizasyonunun yanında, tel erozyonda işlenmiş yüzeylerin tanımlamasını da yapmışlardır. Lok ve Lee (1997), iki seramik malzemeyi farklı kesme şartları altında işleyerek elde ettikleri farklı yüzey pürüzlülüğü ve kesme hızı değerlerini karşılaştırmışlardır. Rozenek vd. (2001) metal matrisli kompozit iş parçası kullandıkları çalışmalarında, puls süresi, puls ara süresi, boşalım akımı ve boşalım gerilimi gibi işleme parametrelerinin kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir.



Şekil 1. WEDM İşlemine Etkileyen Faktörler (Scott vd. 1991).

Bu çalışmada iş parçası ilerleme hızının tespit edilebilmesi için, deneysel tasarım yöntemi kullanılarak kesme parametrelerinin (puls süresi, gerilim, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı) değişik ayarlarında deneyler yapıldı. İlerleme hızı ile kesme parametreleri arasında tespit edilen ilişkiler matematiksel olarak modellendi. İlerleme hızı ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiler incelendi.

MATERYAL ve METOT

Deneyler SODICK firmasına ait A320D Tel Erozyon tezgahında yapıldı. Deneylerde, puls süresi (0.3, 0.5, 0.7 ve 0.9 ms), 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/cm²) değiştirilmiştir. Puls ara süresi (16 ms), aralık voltajı (21 volt) ve tel gerginliği (1800 gr) tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Tel olarak çekme mukavemeti 900 N/mm² olan, 0.25 mm çapında CuZn37 Master Brass pirinç kullanılmıştır. İş parçası malzemesi olarak 10 mm kalınlığında Ç 4140 kalıp/takım çeliği kullanıldı. Deneyler, faktöriyel deneysel tasarıma uygun olarak belirlenen 108 değişik kesme şartında yapılmıştır.

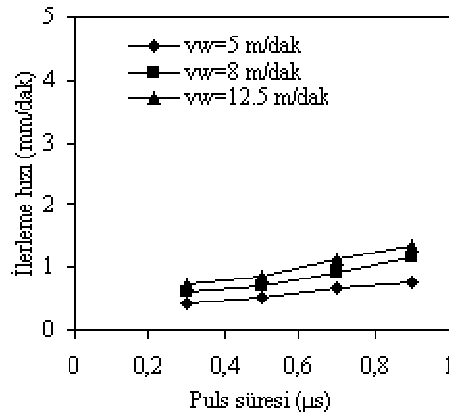
İşleme süresi, 10 mm kalınlığındaki ve 15 mm uzunluğundaki iş parçası malzemesinin kesilmesi için geçen sürenin kronometre ile ölçülmesiyle bulunmuştur. İlerleme hızı ise işleme uzunluğunun elde edilen işleme süresine bölünmesi ile elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, Mitutoyo SJ-201 yüzey pürüzlülük muayene cihazı ile yapıldı. Ölçümlerde kesme uzunluğu l_c (the cut-off length) 0.8 mm ve numune sayısı (the sampling number) 5 olarak seçildi (travers boyu yaklaşık $0.8 \times 5 = 4$ mm).

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

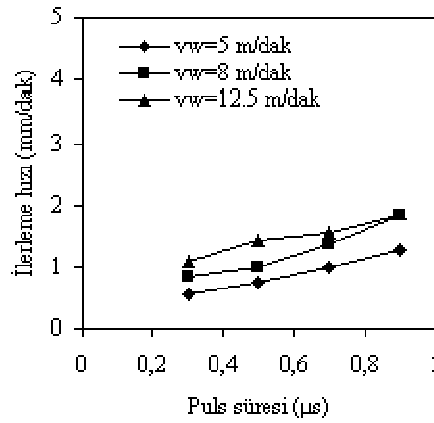
Şekil 1-3'te, sabit basınç (12 kg/cm^2) ve farklı açık devre gerilim değerleri için, puls süresi arttıkça iş parçası ilerleme hızının arttığı görülmektedir. Puls süresinin artmasıyla oluşan daha büyük enerjili boşalım, iş parçası yüzeyinde daha büyük bir ergime krateri oluşturmaktadır (Doyle vd. 1985, ASM 1989, Tosun 2001). Büyük kraterlerle gerçekleşen kesme daha kısa sürede tamamlanacaktır. Boşalım tipi bir pulsun (discharge pulse) kıvılcım enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$W_e = u_e \cdot i_e \cdot t_d \quad (1)$$

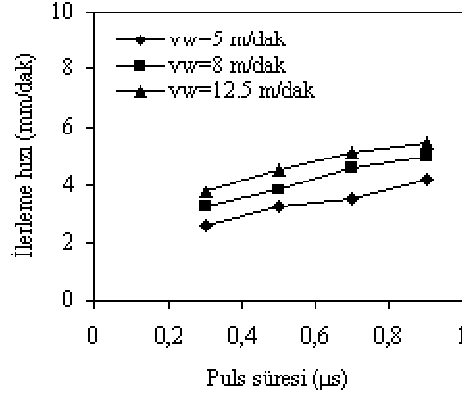
Burada u_e boşalım gerilimi, i_e boşalım akımı ve t_d boşalım süresidir. Bu çalışmada kullanılan isopulse puls jeneratörü için puls süresi ve boşalım süresi aynıdır. Şekil 2-4 incelendiğinde, tel ilerleme hızı arttıkça ilerleme hızının arttığı görülmektedir.



Şekil 2. İlerleme Hızının Puls Süresi ve Tel İlerleme Hızı ile Değişimi ($p=12 \text{ kg/cm}^2$, $u_i=80 \text{ V}$)

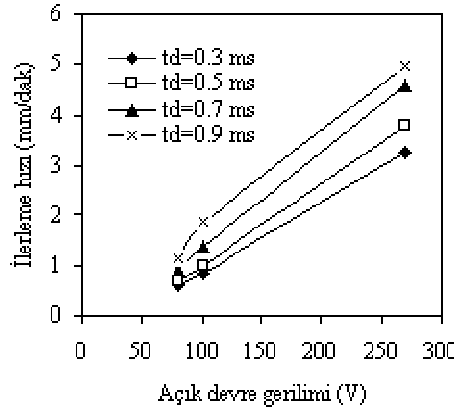


Şekil 3. İlerleme Hızının Puls Süresi ve Tel İlerleme Hızı ile Değişimi ($p=12 \text{ kg/cm}^2$, $u_i=100 \text{ V}$)



Şekil 4. İlerleme Hızının Puls Süresi ve Tel İlerleme Hızı ile Değişimi ($p=12 \text{ kg/cm}^2$, $u_i=270 \text{ V}$)

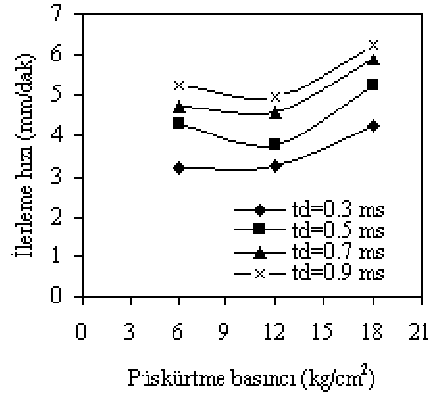
Şekil 5'te, açık devre gerilim değerinin artması ile iş parçasının ilerleme hızının arttığı görülmektedir. Boşalım pulslarında büyük boşalım gerilim değeri enerji boşalım miktarını da belirlemektedir (Eşitlik 1). Daha büyük boşalım enerjisi iş parçası yüzeyinde daha fazla malzemeyi eriterek kaldıracığından, gerilimin artmasıyla ilerleme hızı da artmaktadır.



Şekil 5. İlerleme Hızının Açık Devre Gerilimi ile Değişimi ($p=12 \text{ kg/cm}^2$, $v_w=8 \text{ m/dak}$)

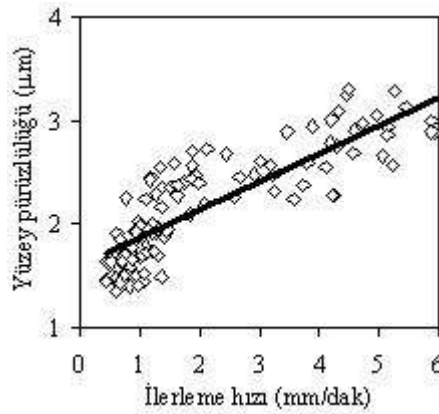
Dielektrik sıvı püskürtme basıncının artması ile ilerleme hızında önce küçük bir azalma (6 ile 12 kg/cm^2 arasında) daha sonra ise artma (12 ile 18 kg/cm^2 arasında) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Püskürtme basıncı artınca iş parçasından eriyen malzemenin daha büyük bir kısmının kopması mümkün olabilmekte, bu da birim zamanda daha fazla malzemenin işlenebilmesini sağlamaktadır. Püskürtme basıncının belli bir seviyeye kadar olan artışının ilerleme hızında yarattığı küçük düşme şu şekilde izah edilebilir: Püskürtme basıncının 12 kg/cm^2 değerlerine yükselmesi ile iş parçası yüzeyi ile dielektrik su arasındaki ısı transferi hızlanmakta ve kıvılcımların oluşturduğu erime kraterlerinin boyutunda hafif bir küçülme gözlenmektedir. Bu oluşuma paralel olarak etkili olan diğer bir oluşum ise dielektriğin türbülans akış etkisi sonucunda oluşan küçük hava kabarcıklarıdır. Bu kabarcıklar, erimiş kraterlerden soğuk dielektrik sıvının yarattığı ani şok etkisi sayesinde oluşan koparma etkisini yeterince oluşturamamakta ve bu da doğal olarak kesme verimini azaltmaktadır (Koenig vd. 1977, Yan ve Wang 1999). Daha yüksek dielektrik basınçlarına çıkıldığında sıvının kesme ortamında akışı sırasında ortaya çıkan türbülans etkisi, iş parçası ile dielektrik arasındaki ısı transferini yavaşlatmakta ve daha büyük kraterlerin ve

dolayısıyla daha yüksek kesme hızlarının elde edilmesi mümkün olmaktadır (Çoğun ve Akaslan 2002). Daha yüksek püskürtme basıncının tercih edilme sebeplerinden bazıları; tel elektrodun hızlı soğutulması ve dolayısıyla tel kopmasının azaltılması ve ortamda ark tipi arzu edilmeyen durumların oluşmasına sebep olabilecek işleme artıklarının daha kolay uzaklaştırılabilmesidir.



Şekil 6. İlerleme Hızının Dielektrik Sıvı Püskürtme Basıncı ile Değişimi ($v_w=8$ m/dak, $u_i=270$ V)

Genelde, WEDM'de yüksek ilerleme hızı ve iyi bir yüzey pürüzlülüğü kalitesi arzu edilir. Ancak, yüksek ilerleme hızı ve iyi yüzey kalitesi birbiriyle uyumsuzdur. Şekil 7'den de görüleceği gibi ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de bozulmaktadır. Yine de iyi ilerleme hızı ve uygun yüzey kalitesini aynı anda verebilecek işleme parametrelerinin optimizasyon teknikleri ile tespiti mümkündür.



Şekil 7. İlerleme Hızı ile Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

İlerleme Hızının Matematiksel Modeli

İlerleme hızı üzerinde etkili olan kesme şartlarını kullanarak ilerleme hızını tahmin edebilmek için işleme parametreleri ile ilerleme hızı arasındaki matematiksel ilişkinin (modelin) bilinmesi gerekir. Bu çalışmada regresyon analiz yöntemi ilerleme hızı denkleminin elde edilmesinde kullanılmıştır.

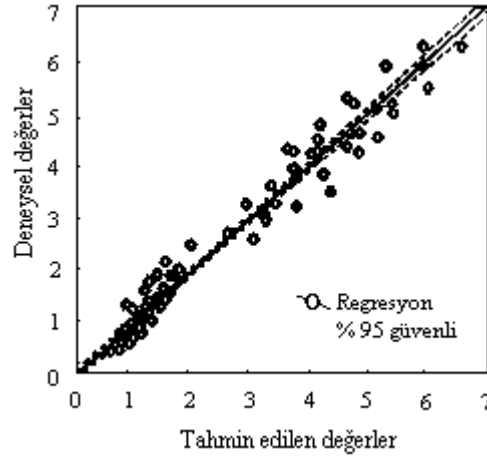
Puls süresi (t_d), açık devre voltajı (u_i), tel ilerleme hızı (v_w), ve dielektrik sıvı püskürtme basıncına (p) bağlı olarak ilerleme hızına (V) ait matematiksel modeli

$$V = a_1 \cdot t_d^{a_2} \cdot u_j^{a_3} \cdot v_w^{a_4} \cdot p^{a_5} \quad (2)$$

şeklindeki kuvvet fonksiyonu olarak kabul edildi. Modeldeki a katsayıları, non-linear regresyon analiz yöntemi kullanarak Matlab paket programı için yazılan bir program yardımıyla elde edildi. Elde edilen a katsayıları eşitlik 2'de yerine konulduğunda ilerleme hızı,

$$V = 0.000114 t_d^{0.424} \cdot u_j^{1.221} \cdot v_w^{0.238} \cdot p^{0.223} \quad (3)$$

formunda bulundu. Regresyon analizinde bulunan korelasyon katsayısı ($r=0.983$) kullanılan güç fonksiyonu modelinin ve hesaplanan a katsayılarının doğruluğunun göstergesidir. Yapılan bu regresyon analizi % 95 güvenli olup regresyon analizi neticesinde elde edilen ilerleme hızı değerleri ile deneysel değerlerin karşılaştırması Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Deneysel Sonuçları ile Regresyon Analiz Tahminlerinin Karşılaştırması

SONUÇ

Bu çalışmada, tel erozyon ile kesmede işleme parametrelerinin ilerleme hızı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Açık devre gerilimi, puls süresi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının artması ile ilerleme hızının arttığı tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda, ilerleme hızının artmasıyla iş parçası yüzey pürüzlülüğünün bozulduğu görülmüştür. İlerleme hızı ile kesme parametreleri arasında bulunan ilişkiler matematiksel fonksiyonlardan kuvvet fonksiyonu kullanılarak oldukça isabetli olarak modellenmiştir. Model katsayıları regresyon analizi ile bulunmuş olup elde edilen matematiksel model yardımıyla, sabit olan deney parametreleri aynı kalmak şartıyla, seçilecek kesme parametreleri için ilerleme hızını önceden tahmin etmek mümkün olmuştur.

KAYNAKÇA

1. Fuller, J.E., *Machining: Electrical Discharge Machining*, Metals Handbook, ASM International, Ninth edition, Ohio, USA Vol. 16, p. 557-564, 1989.
2. Çoğun C. ve Akaslan Ş., "The Effect of Machining Parameters on Tool Electrode Wear and Machining Performance in EDM", *KSME International Journal*, 16, 1, 46-59, 2002.

3. **Doyle L.E., Keyser C.A., Leach J.L., Schrader G.F. and Singer M.B.**, *Manufacturing Processes and Materials for Engineering*, Third edition, Prentice-Hall Inc., USA, 1985.
4. **Koenig W., Weill R., Wertheim R., Jutzler W. I.**, “The Flow Fields in the Working Gap With Electro-Discharge Machining”, *Annals of CIRP*, 37, 1, 71-76, 1977.
5. **Kozak, J.; Rajurkar, K.P.; Wang, S.Z.**, “Material Removal in WEDM of PCD Blanks”, *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME*, 116 (3), 363-369, 1994.
6. **Liao Y.S., Huang J.T., Su H.C.**, “A Study on the Machining Parameter Optimization of Wire Electrical Discharge Machining”, *Journal of Materials Processing Technology*, 71, 487-493, 1997.
7. **Lok, Y.K.; Lee, T.C.**, “Processing of Advanced Ceramics using the Wire-Cut EDM Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 63 (1-3), 839-843, 1997.
8. **Rajurkar, K.P.; Wang, W.M.**, “Thermal Modeling and On-line Monitoring of Wire-EDM”, *Journal of Materials Processing Technology*, 38 (1-2), 417-430, 1993.
9. **Rozenek M., Kozak J., DabroVwki L. and LubkoVwki K.**, “Electrical Discharge Machining Characteristics of Metal Matrix Composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 109, 367-370, 2001.
10. **Scott, D.; Boyina, S.; Rajurkar, K. P.**, “Analysis and Optimization of Parameter Combinations in Wire Electrical Discharge Machining”, *International Journal of Production Research*, 29(11), 2189-2207, 1991.
11. **Spedding, T.A, Wang, Z.Q.**, “Parametric Optimization and Surface Characterization of Wire Electrical Discharge Machining Process”, *Precision Engineering*, 20 (1), 5-15, 1997a.
12. **Spedding, T.A, Wang, Z.Q.**, “Study on Modeling of Wire EDM Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 69, 18-28, 1997b.
13. **Tarng, Y.S., Ma, S.C., Chung L., K.**, “Determination of Optimal Cutting Parameters in Wire Electrical Discharge Machining”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35 (12), 1693-1701, 1995.
14. **Tosun N.**, *Tel Erozyyon Tezgaında Tel Aşınmasının ve Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi ve Modellenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2001.
15. **Yan B. H. ve Wang C. C.**, “The Machining Characteristics of Al₂O₃/6061Al Composite Using Rotary EDM With Tube Electrode”, *Journal of Materials Processing Technology*, 95, 107-111, 1999.