

**Makale
(Article)**

Tel Erozyonda Kesme Parametrelerinin Parçanın Boyut Ölçüsüne Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

Mustafa AY*, Duygu Aydoğdu**

*Marmara Üni. Tek. Eğt. Fak. Makine Eğt. Böl. 34722 İstanbul/TÜRKİYE

**ÖZSAY Deniz Elektroniği A. Ş. 34903 İstanbul/TÜRKİYE

muay@marmara.edu.tr

Özet

Bu çalışmada kesme parametrelerinin parçanın boyut ve şekil toleranslarına etkisi araştırılmıştır. M303 extra plastik kalıp çeliğinden dokuz adet 10x10x10 mm küp parça kesilmiştir. 0,25 mm çapında Sumitomo denko SBG türü tel kullanılmıştır. İşleme parametreleri olarak, tabla ilerleme hızı, puls süresi ve puls ara süresi değişken olarak alınmıştır. Puls ara süresi ayarı, ana güç kaynağı maksimum akımı, yardımcı güç kaynağı devresi, ana güç kaynağı voltajı, servo referans voltajı, tel ilerleme hızı, tel gerginliği, dielektrik sıvı dolaşım basıncı deney süresince sabit tutulmuştur. Boyut ölçümleri için üç boyutlu koordinat ölçme cihazı kullanılmıştır. Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak tel erozyonda kesme parametreleri optimize edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca, her bir parametrenin elde edilen sonuçlara etkisinin tayini içinde varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Regresyon modeli ile tahminsel değerlere ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tel Erozyon, Boyut ölçüsü, Taguchi Optimizasyon Tekniği, Varyans Analizi (ANOVA), Regresyon Analizi

Experimental Investigation Of The Effects Of Wire Electrical Discharge Machining Parameters On Size Dimension

Abstract

In this study, the effect of cutting parameters on dimension and shape tolerances of components is investigated. Nine pieces of cubes with dimensions 10x10x10mm were cut by using M303 extra plastic mould steel. Sumitomo denko SBG type wire with a 0,25 mm diameter is used. Table feed rate, pulse on time and pulse off time are used as machining parameters. Pulse off time adjustment, maximum current of main power supply, auxiliary power supply network, main power supply voltage, servo reference voltage, wire feed rate, wire tension, dielectric fluid circulation pressure were kept constant during the experiments. Three dimensional coordinate measuring equipment was used to measure the size of dimensions. Wire electrical discharge machining parameters were optimized by using Taguchi optimization technique. The results of experiments were presented as graphics and tables. The effect of each parameter on the obtained results has been determined by the use of analysis of variance (ANOVA). Estimated values were obtained by regression model.

Keywords: Wire Electrical Discharge, Size Dimension, Taguchi Optimization Method, Variance Analysis (ANOVA), Regression Analysis

Bu makaleye atıf yapmak için

Ay M., Aydoğdu D.**,"Tel Erozyonda Kesme Parametrelerinin Parçanın Boyut Ölçüsüne Etkilerinin Deneysel İncelenmesi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, (7) 31-44*

How to cite this article

Ay M., Aydoğdu D.**," Experimental Investigation Of The Effects Of Wire Electrical Discharge Machining Parameters On Size Dimension " Electronic Journal of Machine Technologies 2010, (7) 31-44*

1. GİRİŞ

Tel erozyon ile kesme işleminin sanayide yapımı çok zor olan birçok iş parçasının imalatında kullanılır. Özellikle kalıp yapımında yaygın bir şekilde kullanılmakla beraber dişli çarkların imalatında da kullanılmaktadır. Tel erozyon tezgahından çıkan bir imalatın taşlanması gerekmez. Herhangi bir imalatın diğer tezgahlarda işlenmesi mümkün olmayan kısımlarının sadece telin yarıçapı kadar bir tolerans bırakılarak parçanın işlenmesi mümkündür. Ayrıca çok sert olan metaller elektrik iletebilmek koşuluyla işlenebilir. Tel erozyon, üzerinde yüksek yoğunlukta akım geçirilen bir tel yardımıyla kesme yöntemidir. Sert ve karmaşık profilli iletken parçaların çok hassas işlenebilmesi mümkündür. Bu tezgahlarda, farklı elektriksel kutuplara bağlanan tel elektrot, iş parçasına yaklaştırıldığında elektriksel boşalımlarla yüksek bir sıcaklık meydana gelmekte ve yerel metal ergime yolu ile talaş kaldırılmaktadır [1]. Talaş kaldırma hızı, her bir kıvılcımdaki enerji miktarı ve her kıvılcımın zaman aralığına göre değişmektedir. Bu tezgahlarda genellikle tel çapları 0,05~0,4 mm arasında değişen pirinç, molibden ve tungsten tel elektrotlar kullanılmaktadır. Bu sayede parça yüzeyinde oluşabilecek maksimum radyüs miktarı 0,4 mm'yi geçmez. Tel erozyon tezgahında bakır tel (+), tabla ise (-) yüklüdür. Kesim; telin parçaya yaklaşması ile meydana gelen ark ile oluşur. Ark anında 8000~12000 °C ısı oluşur. Bu parametreler kesilen parçanın boyut ve şekil toleransları üzerine tesir etmektedir. Çok önemli kalıp parçalarının kesildikten sonra başka herhangi bir işlem uygulanmadan kullanılabilmesi için bu parametrelerin uygun seçilmesi gerekmektedir [2].

Tel erozyonla işlemede, geleneksel talaş kaldırma yöntemlerine göre daha fazla kontrol edilebilen faktörler (gerilim, puls süresi, puls frekansı, akım şiddeti, tel gerilmesi, dielektrik sıvı püskürtme basıncı performansı, kesme aralığı voltajı, tel ilerleme hızı, tel çapı, tel türü vs.) ve tabii olarak bunların her birinin üretilen parçanın doğruluğuna ve kalitesine etkisi vardır. Doğrudan kontrol edilemeyen ancak yukarıda bahsedilen faktörler haricinde iş parçası kalınlığının ve iş parçası malzemesinin ısıl işlem proseslerinin de tel erozyon yönteminin başarılı bir şekilde uygulanmasına katkısı vardır [3].

Karışık şekle ve kesite sahip parçaları üretmek için geleneksel talaş kaldırma yöntemlerinden farklı olan tel erozyon tezgâhı ile işleme çok yaygın ve bilindik bir yöntemdir [4]. Tel elektrot ve iş parçası arasındaki boşalımlar veya elektrik kıvılcımlarının rastgele dağıtılması sonucu dielektrik sıvı içerisine daldırılmış iletken malzemeden talaş kaldıran bir termal aşınma yöntemidir. Tel erozyonla işleme (WEDM), dünyada tornalama, frezeleme, taşlama ve diğer geleneksel işleme yöntemlerinin hepsinin yerini aldı [5].

Tel erozyonla iş parçasından talaş, elektro termal enerji ile kaldırıldığı için, talaş kaldırma oranı elektrik iletkenliğine ve iş parçasının ergime sıcaklığına bağlıdır [6]. Yüksek elektrik iletkenliği ve düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler, tel erozyon ile daha etkili işlenebildiği gibi, mukavemeti veya sertliği; takım kırılmasına veya prosesin aksamasına etkin rol oynamaz [7].

Tel erozyon ile işleme (WEDM) tekniği üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda çeşitli malzemelerin (SAE 4140 alaşım çeliği, SKD 11 alaşım çeliği, Cr 12, Inconel 601, M 303 extra plastik çeliği, DC 53 kalıp çeliği, dökme demir, HB100 alüminyum, HB 149 pirinç, HB 653 alaşım çeliği, HRA 90,5 sementit karbon alaşımı, Ç8620 çeliği, AISI D2 çeliği vb.) işlenmesi, işleme parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü, boyut ve ölçü tamlığı üzerine etkileri incelenmiş ve optimum parametrelerin belirlenmesi için deneysel tasarım yapılmış ve en uygun şartların belirlenmesi için analiz teknikleri kullanılmıştır [3,4, 7-11, 14-17, 22- 33].

Bu çalışmada kesme parametrelerinin parçanın boyut ölçülerine etkisi araştırılmıştır. M303 extra plastik kalıp çeliğinden dokuz adet 10x10x10 mm küp parça kesilmiştir. 0,25 mm çapında Sumitomo denko SBG türü tel kullanılmıştır. İşleme parametreleri olarak, tabla ilerleme hızı, puls süresi ve puls ara süresi değişken olarak alınmıştır. Puls ara süresi ayarı, ana güç kaynağı maksimum akımı, yardımcı güç kaynağı devresi, ana güç kaynağı voltajı, servo referans voltajı, tel ilerleme hızı, tel gerginliği, dielektrik

sıvı dolaşım basıncı deney süresince sabit tutulmuştur. Boyut ölçümü için üç boyutlu koordinat ölçme cihazı kullanılmıştır. Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak tel erozyonda kesme parametreleri optimize edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Regresyon modeli ile tahminsel değerlere ulaşılmıştır. Ayrıca, her bir parametrenin elde edilen sonuçlara etkisinin tayini içinde varyans analizi (ANOVA) kullanıldı.

2. DENEYSEL ÇALIşMA

Deney düzeneğinde kullanılan CNC tel erozyon tezgahı; beş eksende lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO format programlama yapabilen Sodick A320D/EX21 Model CNC Tel Erozyon Tezgahı ve 0.25 mm çapında ve 900 N/mm² kopma mukavemetine sahip Sumitomo denko SBG türü tel kullanılmıştır. M 303 Extra plastik kalıp çeliği deneysel malzeme olarak kullanılarak dokuz adet 10x10x10 mm küp parça kesilmiştir. Tablo1'de malzemenin kimyasal özellikleri verilmiştir. Deneysel çalışmada, boyut ve şekil tolerans ölçümünü gerçekleştirmek için Stiefelmayer marka üç boyutlu koordinat ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Tablo 1. M303 Extra Plastik Kalıp Çeliğinin Kimyasal (%) Özellikleri

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
0,27	0,30	0,65	14,50	1,00	0,85

2.1 Deneysel Tasarım

Deneysel tasarım Taguchi tekniği kullanılarak yapılmıştır. Böylece, daha az deney ile daha geniş kapsamlı sonuçlara ulaşmak mümkün olmuştur. Bu durumda zaman ve maliyetten kazanım sağlanmıştır[34,35].

Deneysel çalışmalarla boyut ve şeklin ölçülmesi imalatta önemli bir husustur. Küp parçaların gerçek boyut değerlerine yaklaşmak için en büyük en iyidir prensibi kullanılmıştır. En büyük en iyi prensibine göre S/N oranını hesaplamakta kullanılan formülasyon aşağıda verilmiştir.

$$S/N = -10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Denklemdaki n=deney şartlarında yapılan deney sayısı ve y ise ölçülen karakteristiği ifade etmektedir.

Bu deneysel çalışmada işleme parametreleri olarak, tabla ilerleme hızı (SF), puls süresi ve puls ara süresi değişken olarak kullanılmıştır. Puls ara süresi ayarı (MA=15), ana güç kaynağı maksimum akımı (IP=17), yardımcı güç kaynağı devresi (HP=1), ana güç kaynağı voltajı (V=3), servo referans voltajı (SV=02), tel ilerleme hızı (WS=1), tel gerginliği (WT=4) deney süresince sabit tutulmuştur. Deneyde kullanılacak işleme parametreleri ve seviyeleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Deneyde Kullanılan İşleme Parametreleri ve Seviyeleri

	Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
1	(A) SF	(mm/min)	9	8	7
2	(B) Puls Süresi	(μs)	2	5	8
3	(C) Puls Ara Süresi	(μs)	8	11	14

Tablo 2'deki faktörler ve seviyeler göz önünde bulundurularak, deneysel çalışma için en uygun tasarım olarak 9 deneyli Taguchi L_9 ortogonal dizin seçilmiştir. Tablo 3'de Minitab 15 istatistik yazılımı yardımı ile belirlenen L_9 lik deney tasarımı görülmektedir.

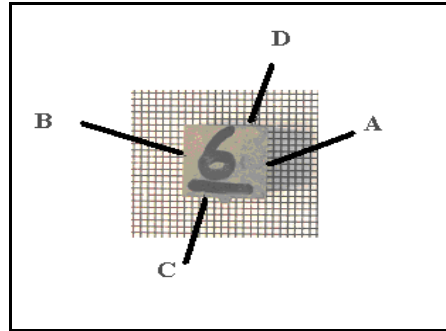
Tablo 3. Taguchi L_9 Deney Tasarımı

Deney No	Değişkenler	(A) SF (mm/min)	(B) Puls Süresi (μ s)	(C) Puls Ara Süresi (μ s)
1	$A_1B_1C_1$	1	1	1
2	$A_1B_2C_2$	1	2	2
3	$A_1B_3C_3$	1	3	3
4	$A_2B_1C_2$	2	1	2
5	$A_2B_2C_3$	2	2	3
6	$A_2B_3C_1$	2	3	1
7	$A_3B_1C_3$	3	1	3
8	$A_3B_2C_1$	3	2	1
9	$A_3B_3C_2$	3	3	2

2.2 DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

2.2.1 Küp Parçaların Boyut Ölçümü ve Sonuçları

Deneyde küp parçalar için boyut değerleri her iki yüzey çifti (AB ve CD) için ölçülmüştür. Şekil 1 ABCD yüzeylerini göstermektedir.



Şekil 1. Deneyde Ölçülen ABCD Yüzeyleri

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen küp parçanın AB ve CD boyut sonuçları Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Deneylerden Elde Edilen AB ve CD Boyut Sonuçları

Dene y No	Değişkenler	Boyut (AB) (mm)	Boyut (CD) (mm)
1	A ₁ B ₁ C ₁	9.969	9.969
2	A ₁ B ₂ C ₂	9.940	9.936
3	A ₁ B ₃ C ₃	9.912	9.909
4	A ₂ B ₁ C ₂	9.977	9.980
5	A ₂ B ₂ C ₃	9.946	9.951
6	A ₂ B ₃ C ₁	9.916	9.911
7	A ₃ B ₁ C ₃	9.993	9.984
8	A ₃ B ₂ C ₁	9.950	9.944
9	A ₃ B ₃ C ₂	9.925	9.921

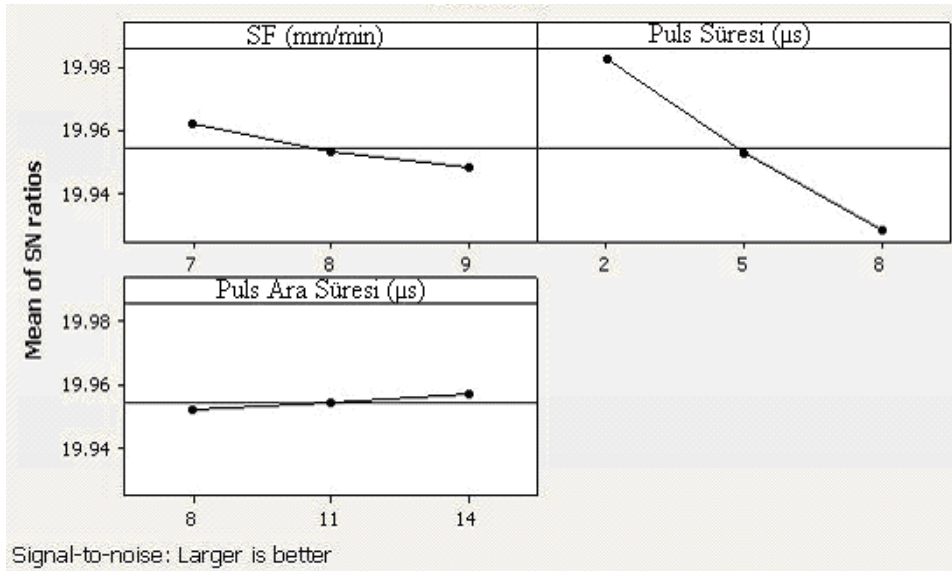
2.2.2 Boyut Analizlerinin Değerlendirilmesi ve Sonuçları

Tablo 5’de deneyde ölçülen kp parçaların AB ve CD boyut değerleri üzerinden denklem 1 yardımıyla hesaplanan sinyal/gürültü (S/N) oranları verilmiştir.

Tablo 5. Kp Parçaların AB ve CD Boyut Değerleri ve S/N Oranları

Dene y No	Değişkenler	Boyut (AB) (mm)	S/N(AB) (dB)	Boyut (CD) (mm)	S/N(CD) (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	9.969	19.97303	9.969	19.97303
2	A ₁ B ₂ C ₂	9.940	19.94773	9.936	19.94423
3	A ₁ B ₃ C ₃	9.912	19.92323	9.909	19.9206
4	A ₂ B ₁ C ₂	9.977	19.98000	9.980	19.98261
5	A ₂ B ₂ C ₃	9.946	19.95297	9.951	19.95733
6	A ₂ B ₃ C ₁	9.916	19.92673	9.911	19.92235
7	A ₃ B ₁ C ₃	9.993	19.99392	9.984	19.98609
8	A ₃ B ₂ C ₁	9.950	19.95646	9.944	19.95122
9	A ₃ B ₃ C ₂	9.925	19.93461	9.921	19.93111

DeneySEL sonuçlar neticesinde lülen AB ve CD boyut değerleri yorumlanması ile S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir. şekil 2’de kontrol faktörlerinin S/N oranlarının grafiksel gösterimi verilmektedir.



Şekil 2. AB Boyut Değerleri İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları

Herhangi bir parametre için en iyi değer o parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N değerine göre maksimum AB boyut değeri ve CD boyut değeri, SF'nin üçüncü seviyesinde (7), puls süresinin birinci seviyesinde (2) ve puls ara süresinin üçüncü seviyesinde (14) elde edilmiştir. AB boyut için Tablo 6'da, CD boyut için Tablo 7'de S/N oranları verilmiştir.

Tablo 6. Küp Parçaların AB Boyutu İçin S/N oranları

Seviye	SF	Pulse Süresi	Pulse Ara Süresi
1	19.96	19.98	19.95
2	19.95	19.95	19.95
3	19.95	19.93	19.96
Rank	2	1	3

Küp parçaların boyut değerleri için en etkili parametrenin puls süresi olduğu görülmektedir.

Deneysel sonuçlar neticesinde ölçülen AB boyutu değerlerinin yorumlanması ile S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir. Bu tahmin sonucu açığa çıkan Rank değeri olan $A_2B_1C_3$ seviye Taguchi L_9 deney tasarımında bulunmadığında dolayı doğrulama deneyi yapılmıştır. Boyut değerleri için doğrulama deneyi $A_2B_1C_3$ seviyesi için yapılmıştır ve tahminde S/N oranı 19.9784 ve AB boyut değeri ise 9.97522 olarak hesaplanmıştır. Yapılan doğrulama deneyi sonucunda 9,990 ölçülmüştür. Bu değer hesaplanan değere yakın çıkmıştır. Böylece yapılan optimizasyonun doğruluğunu göstermektedir.

Kesme işleminde kullanılan kontrol faktörleri ile AB boyutu arasında tahmini denklem oluşturulmuş ve korelasyon katsayısı % 99.2 hesaplanmıştır. Bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma için elde edilen AB boyutu denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Boyut (AB)} = 10.1 - 0.00783 \text{ SF} - 0.0103 T_{\text{on}} + 0.000889 T_{\text{off}} + \varepsilon \quad (2)$$

$$R^2 = 0,992$$

Bu denklemde ;

SF : Tabla İlerleme Hızı

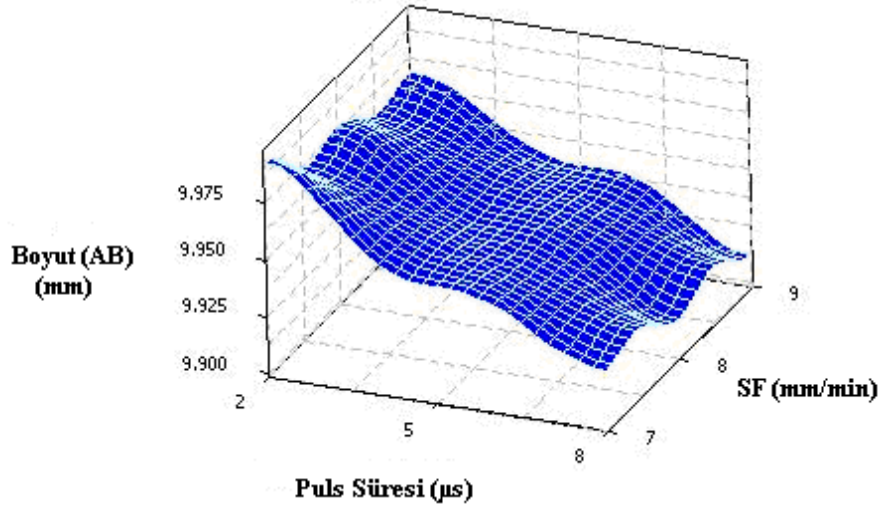
T_{on} : Puls Süresi

T_{off} : Puls Ara Süresi

ϵ : hatayı ifade etmektedir.

İstatistiksel olarak R^2 değerinin 1'e yaklaşması, tahmin modelinin gerçek ilişkiye yakınlığını ifade etmekte ve 0,80 ve üzeri olması durumunda kuvvetli ilişki olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen tahminsel denklemde R^2 1'e yakın olduğu için kabul edilebilir sınırlar içindedir ve kuvvetli ilişkiye sahiptir.

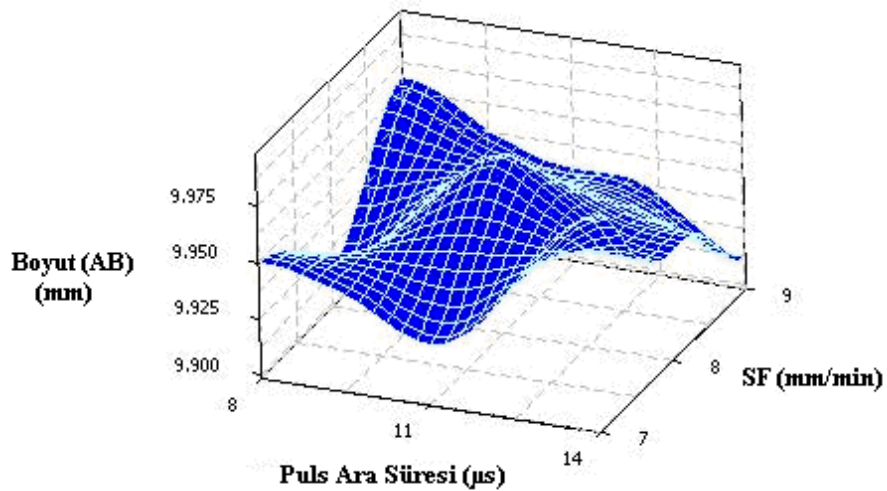
Yapılan deneysel çalışmada, puls süresi ve SF parametreleri değişiminin AB boyutu değişimine etkisi Şekil 3'de görölmektedir.



Şekil 3. Puls Süresi ve SF Parametrelerinin AB Boyutu Değişimine Etkisi

Şekil 3'de göröldüğü gibi, AB boyutu değişiminde en önemli faktörün puls süresi olduğu görölmektedir. Puls süresi oranındaki artış ile AB boyut hatası artmaktadır. En az hata puls süresinin 1. Seviyesinde (2) elde edilmiştir. SF'deki değişimin AB boyutu değişimi üzerindeki etkisi puls süresi sabit tutulduğunda göz ardı edilebilecek seviyede olmuştur.

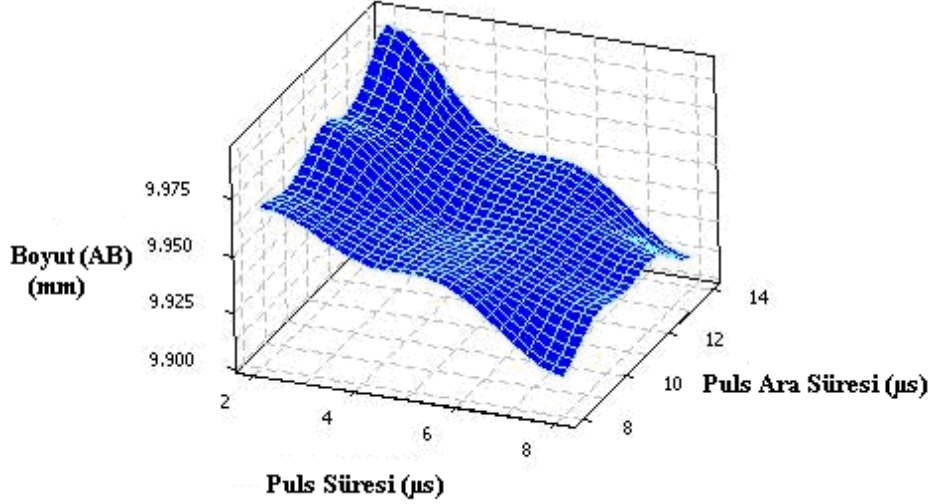
Yapılan deneysel çalışma neticesinde, puls ara süresi ve SF parametrelerinin AB boyutu değişimine etkisi Şekil 4'de görölmektedir.



Şekil 4. Puls Ara Süresi ve SF Parametrelerinin AB Boyutu Değişimine Etkisi

Şekil 4’de görüldüğü gibi, puls ara süresi ve SF’deki değişimin AB boyutuna etkisinin olduğu görülmektedir. Fakat puls ara süresi ve SF elde edilen AB boyutunda etkili bir parametre olduğu ve göz ardı edilemeyecek seviyede olmuştur.

Yapılan deneysel çalışma neticesinde, puls süresi ve puls ara süresi parametrelerinin AB boyutu değişimine etkisi Şekil 5’de görülmektedir.



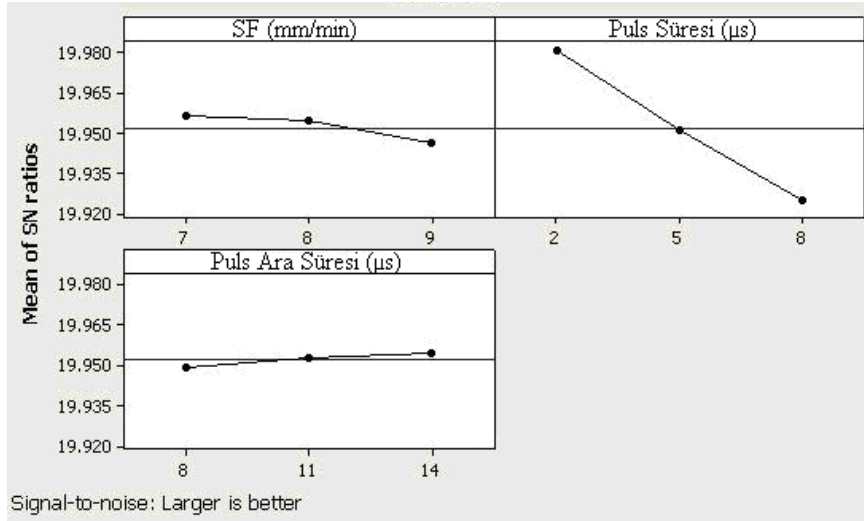
Şekil 5. Puls Süresi ve Puls Ara Süresi Parametrelerinin AB Boyutu Değişimine Etkisi

Şekil 5’de görüldüğü gibi, AB boyutu değerlerinde puls süresinin etkili olduğu görülmektedir. Puls ara süresindeki değişimin AB boyutu üzerindeki etkisi puls süresinin etkisine göre göz ardı edilebilecek seviyede olmuştur.

Sonuç olarak küp parçalardaki boyut hatası incelemesinde puls süresi parametresinin boyut değerlerinde en etkili olduğu ancak puls ara süresi ve SF parametrelerinin AB boyutu değişimi üzerinde bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5’de deneyde ölçülen CD boyut değeri üzerinden denklem 1 yardımıyla hesaplanan sinyal/gürültü (S/N) oranları verilmiştir.

Deneysel sonuçlar neticesinde ölçülen CD boyut değerleri yorumlanması ile S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir. Şekil 6’da kontrol faktörlerinin S/N oranlarının grafiksel gösterimi verilmektedir.



Şekil 6. CD Boyut Değerleri İçin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları

Tablo 7. Küp Parçaların CD Boyutu İçin S/N Oranları

Seviye	SF	Pulse Süresi	Pulse Ara Süresi
1	19.96	19.98	19.95
2	19.95	19.95	19.95
3	19.95	19.92	19.95
Rank	2	1	3

Küp parçaların boyut değerleri için en etkili parametrenin puls süresi olduğu görülmektedir.

Deneysel sonuçlar neticesinde ölçülen CD boyutu değerlerinin yorumlanması ile S/N oranlarına bağlı olarak optimal parametreler tahmin edilmiştir. Bu tahmin sonucu açığa çıkan Rank değeri olan $A_2B_1C_3$ seviye Taguchi L_9 deney tasarımında bulunmadığında dolayı doğrulama deneyi yapılmıştır. Boyut değerleri için doğrulama deneyi $A_2B_1C_3$ seviyeleri için yapılmıştır ve tahminde S/N oranı 19.9771 ve CD boyut değeri ise 9.97367 olarak hesaplanmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri neticesinde 9,979 ölçülmüştür. Bu değer hesaplanan değere yakın çıkmıştır. Böylece yapılan optimizasyonun doğruluğunu göstermektedir.

Kesme işleminde kullanılan kontrol faktörleri ile CD boyutu arasında tahmini denklem oluşturulmuş ve korelasyon katsayısı % 99.2 hesaplanmıştır. Bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma için elde edilen CD boyutu denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Boyut (CD)} = 10.0 - 0.00583 \text{ SF} - 0.0107 T_{\text{on}} + 0.00111 T_{\text{off}} + \epsilon \quad (3)$$

$$R^2 = 0,992$$

Bu denklemde

SF : Tabla İlerleme Hızı

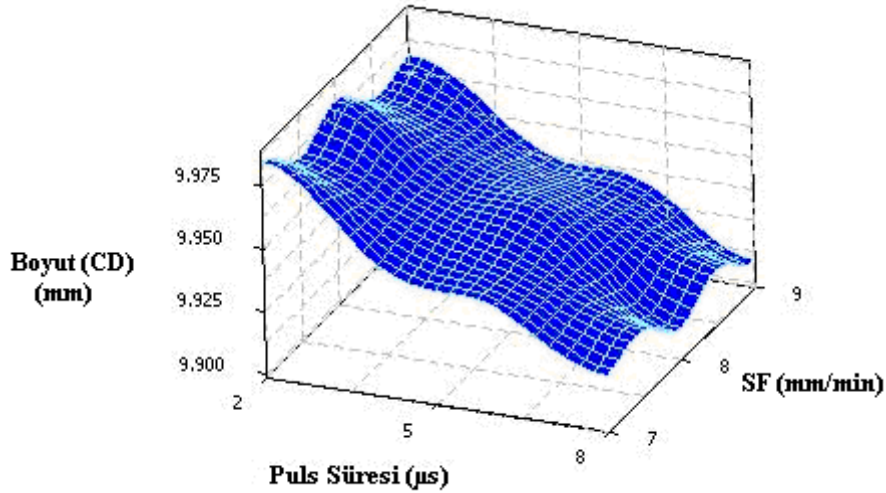
T_{on} : Puls Süresi

T_{off} : Puls Ara Süresi

ϵ : hatayı ifade etmektedir.

İstatistiksel olarak R^2 değerinin 1'e yaklaşması, tahmin modelinin gerçek ilişkiye yakınlığını ifade etmekte ve 0,80 ve üzeri olması durumunda kuvvetli ilişki olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen tahminsel denklemde R^2 1'e yakın olduğu için kabul edilebilir sınırlar içindedir ve kuvvetli ilişkiye sahiptir.

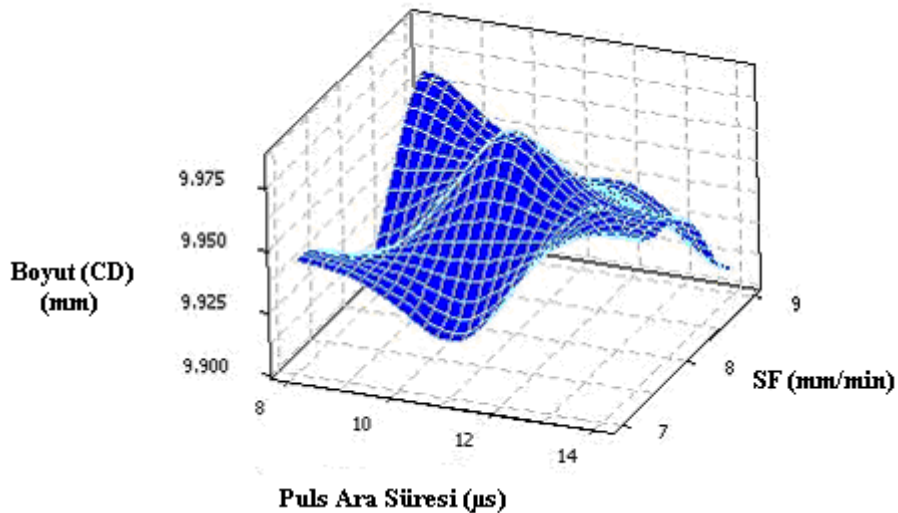
Yapılan deneysel çalışmada, puls süresi ve SF parametrelerinin değişiminin CD boyutu değişimine etkisi Şekil 7'de görölmektedir.



Şekil 7. Puls Süresi ve SF Parametrelerinin CD Boyutu Değişimine Etkisi

Şekil 7'de göröldüğü gibi, CD boyutu değişiminde en önemli faktörün puls süresi olduğu görölmektedir. Puls süresi oranındaki artış ile CD boyut hatası artmaktadır. En az hata puls süresinin 1. seviyesinde (2) elde edilmiştir. SF'deki değişimin CD boyutu değişimi üzerindeki etkisi puls süresinin sabit olduğunda göz ardı edilebilecek seviyede olmuştur.

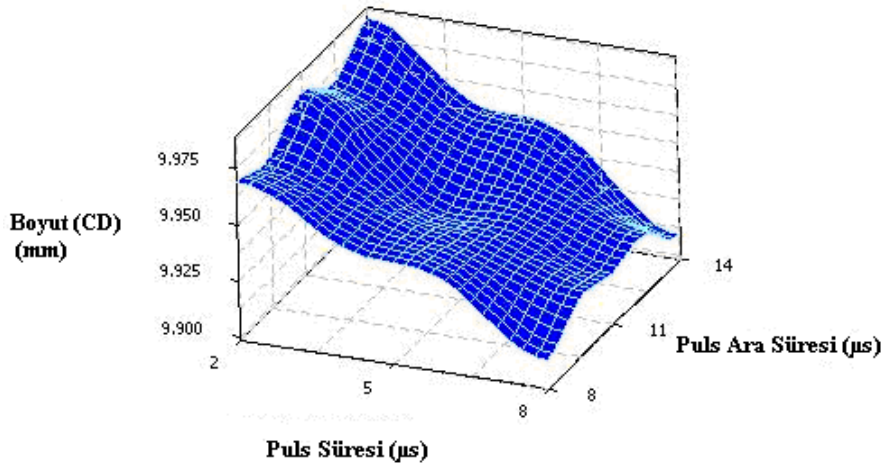
Yapılan deneysel çalışma neticesinde, puls ara süresi ve SF parametrelerinin CD boyutuna etkisi Şekil 8'de görölmektedir.



Şekil 8. Puls Ara Süresi ve SF Parametrelerinin CD Boyutu Değişimine Etkisi

Şekil 8'de göröldüğü gibi, puls ara süresi ve SF'deki değişimin CD boyut değerlerine etkisinin olduğu görölmektedir. Puls ara süresi ve SF elde edilen CD boyutunda etkili bir parametre olduğu ve göz ardı edilemeyecek seviyede olmuştur. Yapılan deneysel çalışma neticesinde, puls süresi ve puls ara süresi

parametrelerinin CD boyutu değişime etkisi Şekil 9'da grlmektedir. Şekil 9'da grldğ gibi, CD boyutu değerlerinde puls süresinin etkili olduğu grlmektedir. Puls ara sresindeki değişimin CD boyutu üzerindeki etkisi göz ardı edilebilecek seviyede olmuştur.



Şekil 9. Puls Süresi ve Puls Ara Süresi Parametrelerinin CD Boyutu Değişimine Etkisi

2.2.3 ANOVA ile parametrelerin değerlendirilmesi

Bu çalışmada kesme parametrelerinin parçanın boyut ölçülerine etkisi araştırılmıştır. M303 extra plastik kalıp çeliğinden dokuz adet 10x10x10 mm kp parça kesilmiştir. İşleme parametreleri olarak, tabla ilerleme hızı, puls süresi ve puls ara süresi değişken olarak alınmıştır. Kp parçaların işlenmesi esnasında kesilen parça boyutuna her faktörün etkisini belirlemek için varyans analizi kullanılmaktadır. AB ve CD boyut değerlerine işleme parametrelerinin etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Tablo 8 ve Tablo 9'da sunulmuştur. Tablo 8'de grldğ gibi AB boyutu değerlerine en etkili faktörün %93.26 ile puls süresi olduğu ve Tablo 9'da grldğ gibi CD boyutu değerlerine en etkili faktörün %95.38 ile puls süresi olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 8. AB Boyut değerlerine göre ANOVA sonuçları

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F oranı	Yüzde Oran (%)
A	2	0.0057882	0.0028941	286.23	93,26
B	2	0.0000429	0.0000214	2.12	0,69
C	2	0.0003749	0.0001874	18.54	6,04
Hata (e)	2	0.0000202	0.0000101		0,04
Toplam	8	0.0062262			100

Tablo 9. CD Boyut değerlerine göre ANOVA sonuçları

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F oranı	Yüzde Oran (%)
A	2	0.0061520	0.0030760	329.57	95,38
B	2	0.0000687	0.0000343	3.68	1,06
C	2	0.0002287	0.0001143	12.25	3,54
Hata (e)	2	0.0000187	0.0000093		0,02
Toplam	8	0.0064680			100

3. SONUÇLAR

Bu çalışmasında tel erozyon ile kesmede işleme parametrelerinin parçanın boyutlarına etkisi hem deneysel hem de regresyon ve varyans analizi yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- * M303 Extra plastik kalıp çeliğinin tel erozyon tezgahında kesilmesi mümkündür.
- * Küp parçalardaki AB boyut hatası incelemesinde puls süresi parametresinin optimum boyut değerlerinin elde edilmesinde en etkili olduğu ancak puls ara süresi ve SF parametrelerinin AB boyutu değişimi üzerinde az etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
- * Küp parçalardaki CD boyut hatası incelemesinde puls süresi parametresinin optimum boyut değerlerinin elde edilmesinde en etkili olduğu ancak puls ara süresi ve SF parametrelerinin CD boyutu değişimi üzerinde az etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
- * Deneysel çalışmalarda, deney sayısının azaltılarak başarılı sonuçlara ulaşılması için uygulanan deney tasarımı ve optimizasyonun yapılabildiği, Taguchi metodu tel erozyon ile kesme prosesi içinde başarılı bir şekilde uygulanabilmiştir. Rastgele yapılan bir deneyden elde edilen sonuçlara nazaran daha iyi sonuçlar Taguchi metodu ile elde edilebileceği anlaşılmıştır.
- * Regresyon analizi ile böyle bir deneysel çalışmada küp parçalar için korelasyon katsayısı % 99,2 elde edilmiştir.
- * Varyans analizi ile AB boyutuna en etkili parametrenin %93.26 ile puls süresinin ve CD boyutuna da en etkili parametrenin %95.38 ile puls süresinin olduğu tespit edilmiştir.

4. KAYNAKLAR

1. Williams, R.E., Rajurkar, K.P., and Bağcı, E., 1991, "Study of wire electrical discharge machined surface characteristics" Journal of materials processing technology, Volume 28, 127-138.
2. Rhoney, B., Albert, J., 2002, "Wear mechanism of metal bond diamond wheels trued by wire electrical discharge machining" Wear, Volume 252, 644-653.
3. Kaynak, Y., Kurt, M., Bakır B., Köklü U., Atakök G., 2008, "Determination of process parameters and dimension error analysis of wire electrical discharge machining of plastic mold steel" Proceedings of 12. International Materials Symposium, Denizli.
4. Ho, K.H., Newman, S.T., Rahimifard, S., Allen, R.D., 2004, "State of the art in wire electrical discharge machining (WEDM)" International journal of machine tools & manufacture 44, 1247-1259.
5. Hargrove, S.K., Ding, D., 2007, "Determining cutting parameters in wire EDM based on workpiece surface temperature distribution" Int. J. Adv. Manuf. Technol., 295-299.
6. Gadalla, A.M., Cheng, Y.M., 1993, "Recent developments in electrical discharge machining" Machining of Advance Composites, ASME, 187-205.
7. Rajurkar, K.P., Pandit, S.M., 1988, "Recent Progress in Electrical Discharge Machine Technology and Research," Proceedings of Manufacturing International, 88, 1, 219-226.
8. Kurubaş, H., 2004, "Yüksek manganlı çeliklerin tel erozyon tezgahında işlenmesinde tel aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi" Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Elazığ.

9. Tosun, N., Coğun, C., İnan, A., 2003, "The effect of cutting parameters on workpiece surface roughness in wire EDM" *Machining science and technology*, 7, 2, 209-219.
10. Tosun, N., Coğun, C., Tosun, G., 2004, "A study on kerf and material removal rate in wire electrical discharge machining based on taguchi method" *Journal of materials processing technology* 152, 316-322.
11. Özdur, Z., 1999, "CNC tel elektro erozyon tezgahında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, işleme hızı ve ölçü tamlığına etkilerinin incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma" Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Ankara.
12. Spedding, T.A., Wang Z.Q., 1991, "Parametric optimization and surface characterization of wire electrical discharge machining process", *Precis Eng.* 20 (1997) 5-15
13. Scott, D., Boyina, S., Rajukan, K.P.: "Analysis and optimization of parameter combinations in wire electrical discharge machining" *Int.J.Prod.Res.*, 29, 11, 2189-2207.
14. Bayraktutar, M., 2000, "Tel erozyon tezgahında yüzey kalitesine etki eden parametrelerinin incelenmesi" Y. Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. İstanbul.
15. Sanchez, J.A., Rodil, J.L., Herrero, A., Lopez de Lacalle, L.N., Lamikiz, A., 2007, " On the influence of cutting speed limitation on the accuracy of wire EDM corner cutting" *Journal of materials processing technology* 182, 574-579.
16. Han, F., Zhang, J., Soichiro, I., 2007, "Corner error simulation of rough cutting in wire EDM" *Precision engineering* 31, 331-336.
17. Saha, S., Pachon, A., 2004, "Finite element modeling and optimization to prevent wire breakage in electro-discharge machining" *Mechanics research communications*, Volume 31, 451-463.
18. Liao, Y.S., Huang, J.T., Su, H.C., 1997, "A study on the machining parameters optimization of wire electrical discharge machining" *Journal of materials processing technology* 71, 487-493.
19. Liao, Y.S., Huang, J.T., Su, H.C., 2004, "A study to achieve a fine surface finish in Wire-EDM" *J. Materials Proc. Technol.* 149, 165-171.
20. Choi, K.K., Nam, W.J., Lee, Y.S., 2008, "Effects of heat treatment on the surface of a die steel STD 11 machined by W-EDM" *J. Materials Proc. Technol.* 201, 580-584.
21. Han, F., Jiang, J., Yu, D., 2007, "Influence of discharge current on machined surfaces by thermo-analysis in finish cut of WEDM" *Int. J. Machine Tools manuf* 47, 1187-1196.
22. Hewidy, M.S., Taweel, T.A.E., Safty, M.F.E., 2005, "Modelling the machining parameters of wire electrical discharge machining of Inconel 601 using RSM" *J. Materials Proc. Technol.* 169, 328-336.
23. Miller, S.F., Shih, A.J., Qu, J., 2004, "Investigation of the spark cycle on material removal rate in wire electrical discharge machining of advanced materials" *Int. J. Machine Tools manuf* 44, 391-400.

24. Özdemir, N., Özek, C., 2006, “An investigation on machinability of nodular cast iron by WEDM” *Int J Adv Manuf Technol* , 28, 869–872.
25. Kanlayasiri, K., Boonmung, S., 2007, “Effects of wire-EDM machining variables on surface roughness of newly developed DC 53 die steel: Design of experiments and regression model” *J. Materials Proc. Technol.*, 192-193, 459-464.
26. Haşçalık, A., Çaydaş, U., 2004, “Experimental study of wire electrical discharge machining of AISI D5 tool steel” *J. Mater. Process. Technol.*, 148 , 362-367.
27. Han, F., Jiang, J., Yu, D., 2007, “Influence of machining parameters on surface roughness in finish cut of WEDM” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 538-546.
28. Konda, R., Rajurkar, K.P., Bishu, R.R., Guha, A., Parsen, M., 1999, “Design of experiments to study and optimize process performance” *International Journal Quality Reliabl. Manage*, 16, 56-71.
29. Çaydaş, U., Haşçalık, A., 2004, “Tel erozyon yönteminde işlem parametrelerinin malzemenin mikroyapı ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi” *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 281-290.
30. Özek, C., Özel, C., 2003 “Tel erozyon tezgahında Ç8620 dişli çeliğinin kesilme davranışlarının araştırılması” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5, 2, 47-42.
31. Tosun, N., Çoğun, C., 2002, “Tel erozyonda kesme parametrelerinin ilerleme hızına etkisi”, *Mühendis ve Makina*, 43 (515), 16-20.
32. Tarng, Y.S., Ma, S.C., Chung, L.K., 1995, “Determination of optimal cutting parameters in wire electrical discharge machining”, *International journal mach. tolls manuf.*, 35, 1693-1701.
33. Huang, J.T., Liao Y.S., Hsue, W.J., 1999, “Determination of finish-cutting operation number and machining parameters setting in wire electrical discharge machining” *Journal Mater. Process. Technology*, 87, 69-81.
34. Roy, R. K., 1990, “A primer on taguchi method”, *Competitive Manufacturing Series*, New York, 7-80.
35. Danacıoğlu, N.; Muluk, Z., 1999, “Taguchi teknikleri”, *İstatistik Konferansı*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 261-272.
36. Genç, E., “Üretimde Geometrik Tolerans Analizi” *Y. Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Trabzon (2005)
37. Aydoğdu, D., 2009, “Tel Erozyonda Kesme Parametrelerinin Parçanın Boyut ve Şekil Toleranslarına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, *M.Ü. Fen Bilimleri Ens. Y. Lisans Tezi*, İstanbul.