





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

32CRMOV12-10 Çeliğinin Elektro Erozyon Tezgâhında Delme Performansının İncelenmesi

 Gökhan BEDİR ^{a,*},  Engin NAS ^b

^a Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Dr. Engin PAK Cumayeri MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gokhanbedir81@gmail.com

doi: 10.29130/dubited.1087895

ÖZ

Bu çalışmada, 32CrMoV12-10 çeliğinin elektro erozyon işleme yöntemi kullanılarak farklı işleme parametrelerinde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın deney tasarımı Taguchi L₂₇ dizilimi kullanılarak oluşturulmuş ve deneylerde üç farklı elektrot malzeme, üç farklı amper sayısı (10, 20, 30 A), üç farklı vurum süresi (200, 400, 600 µs), sabit talaş derinliği (1 mm) ve bekleme süresi (50 µs) işleme parametreleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonrasında elektrot malzemelerinin malzeme yüzeyinde oluşturduğu delik çaplarının ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda en düşük delik çap oluşumu tüm elektrot malzemeleri ile gerçekleşen deneylerde 200 µs ve 10 amper akımda, en büyük delik çapının ise yine aynı şekilde tüm elektrot malzemelerinde 600 µs ve 30 amper akımda olduğu belirlenmiştir. Elektrot malzemeleri içerisinde en küçük delik çapının bakır malzemede 12,2101mm ve en büyük delik çapının grafit malzemede 12,6551mm ölçülmüştür. İstatistiksel olarak sinyal gürültü oranları incelendiğinde delik çapının en ideal ölçüde oluşması için optimum işleme parametresinin elektrot malzemesi için bakır, amper değeri için 10 A ve vurum süresi için ise 200 µs olarak belirlenmiştir. Varyans analiz (ANOVA) sonuçları incelendiğinde delik çapı üzerine etkin işleme parametresinin %69,72 oranında vurum süresinin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektro erozyon işleme, Delik çapı, Taguchi metot

Investigation of Electro-Discharge Drilling Performance of 32CRMOV12-10 Steel

ABSTRACT

In this study, machining of 32CrMoV12-10 steel was carried out using the electro-erosion machining method at different machining parameters. The experimental design of the study was created using the Taguchi L₂₇ array, and three different electrode materials, three different amperes (10, 20, 30 A) and three different impact times (200, 400, 600 µs), fixed depth of cut (1 mm) and dwell. (50 µs) processing parameters were used. After the experiments carried out, the measurements of the hole diameters formed by the electrode materials on the material surface were made and the results obtained were examined experimentally and statistically. As a result of the study, it was determined that the lowest hole diameter formation occurred at 200 µs and 10 ampere current in the experiments performed with all electrode materials, and the largest hole diameter occurred at 600 µs and 30 ampere current in all electrode materials. Among the electrode materials, the smallest hole diameter was 12,2101mm in copper material and the largest hole diameter was 12,6551mm in graphite material. When the signal-to-noise ratios are examined statistically, the optimum processing parameter for the ideal size of the hole diameter was determined as copper for the electrode material, 10 A for the amperage value and 200 µs for the pulse duration. When the

analysis of variance (ANOVA) results were examined, it was determined that the most effective machining parameter on the hole diameter was 69,72% of the impact time.

Keywords: Electro erosion machining, Hole diameter, Taguchi method

I. GİRİŞ

Elektro erozyon işleme yöntemi (EEİ), dielektrik bir sıvı içerisinde tamamen daldırılmış birbirine dokundurulmadan bir konuma yerleştirilen iletken elektrot ile iş parçası arasında oluşan bir kıvılcımın iş parçası yüzeyinden çok küçük kraterleri eriterek buharlaştırması esasına dayanır [1].

Elektro erozyon işleme yöntemi daha çok kalıpcılık sektöründe kullanıldığı için bu alandaki araştırmaların azlığı bu alana olan ilgiyi oldukça artırmıştır. Ülkemizde bu alanda çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Olan çalışmalar ise belli başlı kalıp malzemeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte imalat sanayinde kullanılan malzemelerin çeşitliliği de artmış ve bu çeşitlilik artan bu malzemelerin yüksek sıcaklık dayanımı, mukavemet, sertlik ve karmaşık geometriler gibi özellikleri de bu malzemelerin geleneksel işleme yöntemleriyle işlenmesini zorlaştırarak yeni üretim yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. En fazla tercih edilen yeni üretim yöntemlerinden biri, EEİ yöntemidir [2, 3]. Elektro-erozyonla işleme yöntemleri dalma ve tel erozyon olarak iki temel yönteme ayrılır: Her ikisi de tüm iletken metallerin, alaşımların ve birçok metal karbür malzemenin işlenmesi için kullanılır [4]. EEİ ile ilgili çalışmalar gözden geçirildiğinde, çalışmaların genellikle performans çıktılarına odaklandığı görülmüştür. İmalat sanayinin özellikle düşük işleme zamanı, düşük maliyet ve yüksek kalite beklentilerini karşılamaya yönelik çalışmalarda, iş parçası işleme hızının (IHH), elektrot aşınma hızının (EAH) ve bağıl aşınmanın (BA) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) çıktısının artırılmasına özel önem verilmiştir [5].

Geleneksel imalat yöntemleriyle işlenmesi zor veya imkânsız olan sert malzemeleri ve karmaşık geometrilere sahip parçaları kolaylıkla işleyebildiğinden, bu işleme yönteminin uygulama alanı özellikle takım, kalıp, uzay, havacılık ve otomotivde hızla genişlemektedir. İşleme sırasında elektrot ile iş parçası arasında temas olmadığından kesme kuvvetlerinin olumsuz etkileri (hassasiyet bozuklukları, deformasyon vb.) olmaz. Bu nedenle işleme sırasında kırılabilir hassas ve kırılabilir parçaların işlenmesinde EEİ yöntemi önemli bir yere sahiptir. Hatta eğimli yüzeylerde bu yöntem kullanılarak çok küçük delikler açılabilir [6]. Mevcut süreçlerle işlenmesi zor olan metal işleme, zaman ve maliyette önemli tasarruflar sağlamaktadır [4]. Günümüzde EEİ yöntemi ile üretilen enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, pres kalıpları, toz sıkıştırma kalıpları, cıvata başı dövme kalıpları bu yöntemin kullanıldığı genel örneklerdendir [7]. Bunlara ek olarak EEİ yönteminin kullanım alanını genişletmek için 30-50 mm çapında dönen bir elektrotla delik işleme [8], dielektrik sıvı içerisinde karıştırılmış metal tozları ile yüzey bitirme işlemi [9], kompozit elektrotla yüzey modifikasyonu [10], çevresel işleme [11] gibi yapılmış çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmada, 32CrMoV12-10 çeliğinin elektro erozyon tezgâhında farklı işleme parametrelerinde (üç farklı vuruş süresi (200, 400 ve 600 µs), bekleme süresi (50 µs) ve amper sayısı (10, 20 ve 30 amper) kullanarak) aşındırma işlemi gerçekleştirilerek elektrot malzemesinin malzeme yüzeyinde oluşturduğu delik çaplarının istenilen ölçü tamlığında oluşması için optimum işleme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

II. YÖNTEM

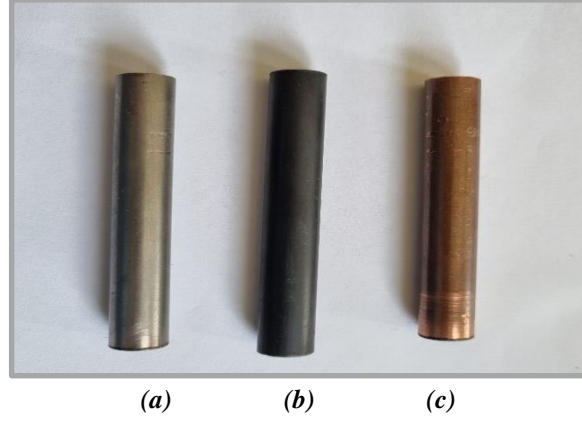
A. MALZEME VE ELEKTROT

İşlenebilirlik deneyleri King marka ZNC – K-3200 dalma erozyon tezgâhı kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada iş parçası olarak Ø15 X 10 mm ebatlarında DIN 32CrMoV12-

10 malzeme, elektrot malzemesi olarak sırasıyla 8,9 gr/cm³, 1,8 gr/cm³, 15,2 gr/cm³ yoğunluğa sahip Ø12 X 100 mm (Şekil 1) elektrolitik bakır, grafit ve tuncop kullanılmıştır. Deneylerde iş parçası olarak kullanılan 32CrMoV12-10 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1' de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmada kullanılan 32CrMoV12-10 malzemenin kimyasal bileşimi.

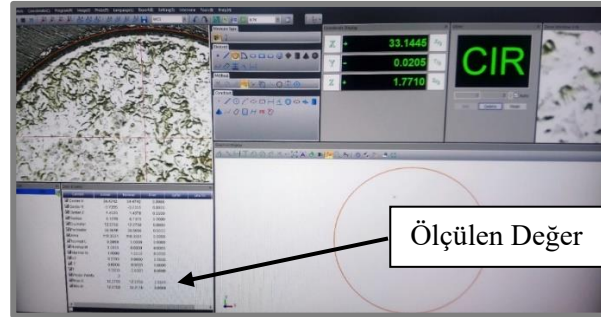
C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %
0.32	0.35	0.60	3.00	1.00	0.30



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan elektrolitik bakır (a), grafit (b) ve tuncop (c)

B. DELİK ÇAPI ÖLÇÜMLERİ

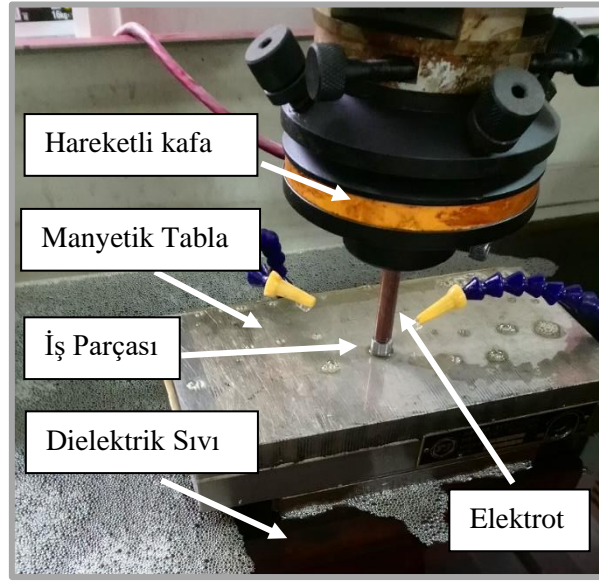
Elektrotların malzeme yüzeylerinde oluşturduğu aşınmalar sonucu oluşan delik çapları, Rational marka VMS-4030G (Video Measurement System) cihazıyla 1/10000 hassasiyette 3 farklı ölçüm yapıp bunların aritmetik ortalamaları hesaplanarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Delik çaplarının ölçülmesinde kullanılan video ölçüm cihazının ölçüm anındaki görüntüsü.

C. DENEY PARAMETRELERİ

Deneyler, tam faktöriyel tasarım yöntemine ve Taguchi Orthogonal Array Design L₂₇ (3³)' e göre tasarlanmış ve ön deneyler sonrasında kullanılan parametreler üç farklı bekleme süresi, amper ve vuruş süresi olarak tanımlanmıştır (Şekil 3). Deneysel çalışmada kullanılan faktörler ve düzeyleri Tablo 2' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney parametrelerinin belirlenmesi için ön deneylere başlama ve gerçekleştirme aşamasındaki görüntüsü.

Tablo 2. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Faktör	Simge	Seviyeler	Değerler
Elektrot	A	3	Bakır; Grafit; Tuncop
Ton (Vurum Süresi), (μs)	B	3	200; 400; 600
Amper (Akım), (A)	C	3	10; 20; 30
Toff (Bekleme Süresi), (μs)	D	1	50

III. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

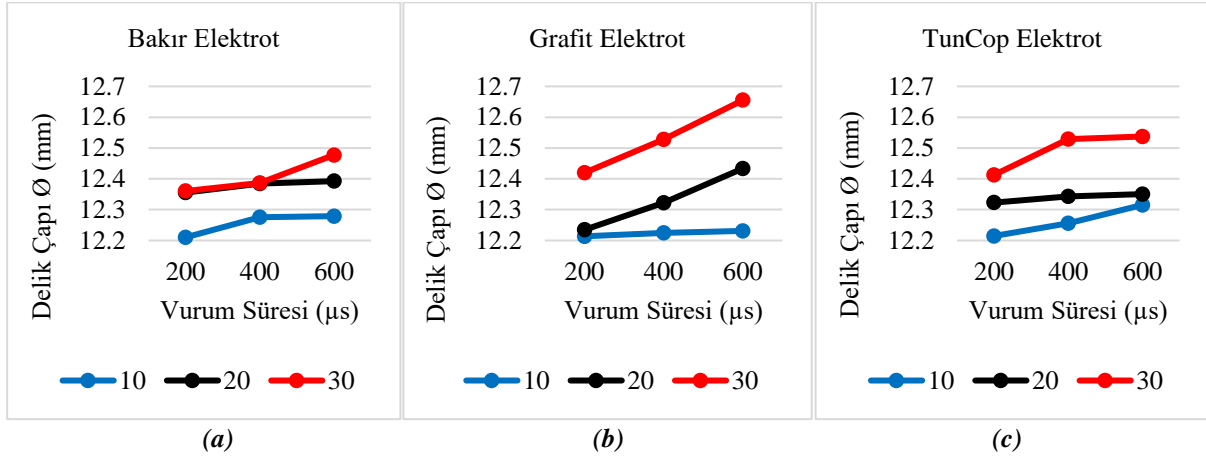
Elektro erozyon ile aşındırma işlemi gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda elde edilen ortalama delik çapları Tablo 3’ de gösterilmektedir.

Tablo 3. Deneysel çalışma sonrasında elde edilen ortalama delik çapları.

Deney No	Amper (A)	Time On (μs)	Delik Çapı \varnothing (mm)		
			Elektrot		
			Cu	Gr	TunCop
1.	10	200	12,2102	12,2136	12,2147
2.	10	400	12,2758	12,2247	12,2556
3.	10	600	12,2789	12,2311	12,3154
4.	20	200	12,3554	12,2345	12,3229
5.	20	400	12,3848	12,3221	12,3433
6.	20	600	12,3925	12,4336	12,3504
7.	30	200	12,3605	12,4196	12,4128
8.	30	400	12,3869	12,5278	12,5292
9.	30	600	12,4774	12,6551	12,5374

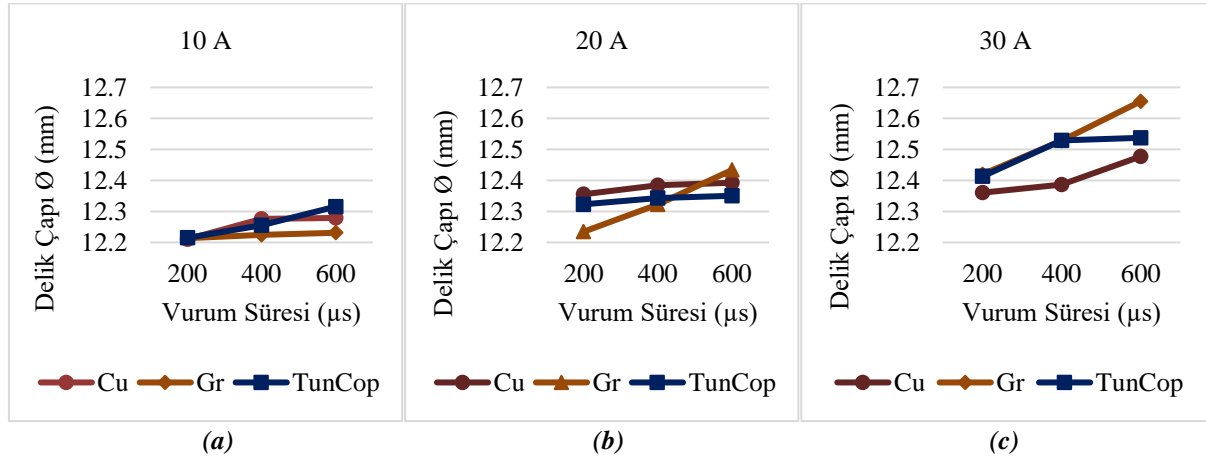
Tablo 3 incelendiğinde bakır, grafit ve tuncop elektrot için en düşük ortalama delik çapı değerleri

200 μ s vurum süresi ve 10 amper akımda sırası ile 12,2102 mm, 12,2136 mm ve 12,2147 mm olarak oluşmuştur. Bakır, grafit ve tuncop elektrot malzeme ile gerçekleştirilen deneylerde en büyük delik çapının ise 600 μ s vurum süresi ve 30 amper akımda 12,4774 mm, 12,6551 mm ve 12,5374 mm olarak oluştuğu belirlenmiştir. Bakır, grafit ve tuncop elektrotun Tablo 3’ de gösterilen ortalama delik çapı değerleri vurum sürelerine bağlı olarak Şekil 4’ de, 10, 20 ve 30 amperde vurum sürelerine bağlı olarak elektrotların malzeme yüzeyindeki çap değişimleri Şekil 5’ de ve elektrot malzemelerinin 10, 20 ve 30 amper değerinde vurum süresine bağlı olarak çap değişimleri ise Şekil 6’ da grafik haline dönüştürülmüştür.



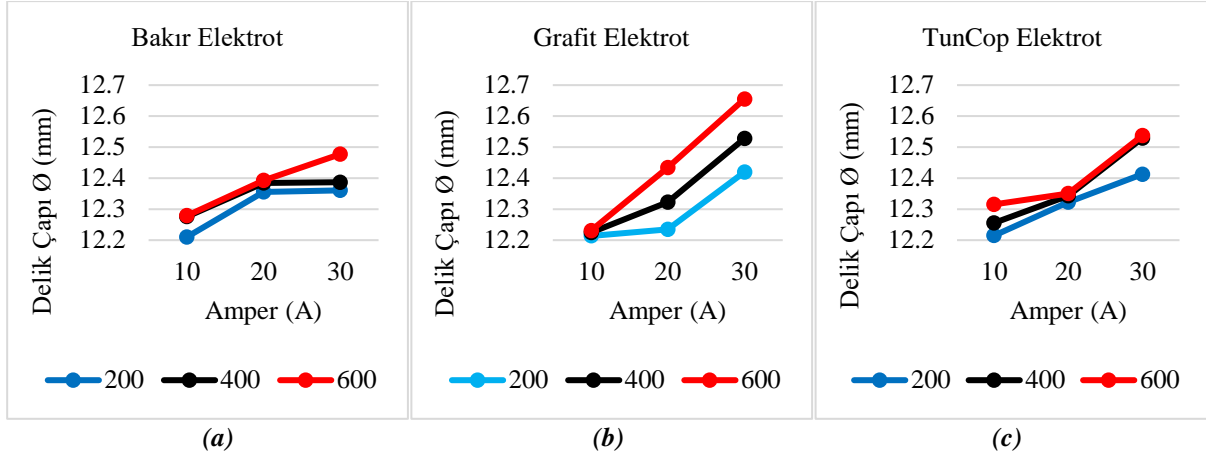
Şekil 4. Bakır (a), grafit (b) ve tuncop (c) elektrotun vurum sürelerine bağlı ortalama delik çapı değerleri

Şekil 4’ deki grafik incelendiğinde 10, 20 ve 30 amperde bakır, grafit ve tuncop elektrot malzemeleri için vurum süresi arttıkça delik çaplarının büyüdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5. 10 (a), 20 (b) ve 30 (c) amperde vurum sürelerine bağlı olarak elektrotların malzeme yüzeyindeki çap değişimleri

Şekil 5’ deki grafik incelendiğinde 10, 20 ve 30 amperde vurum süresi arttıkça delik çaplarının büyüdüğü tespit edilmiştir. Vurum süresindeki artış işleme boşluğunda daha büyük kıvılcıklar oluşturmuş ve aynı sürede daha fazla malzemenin buharlaşıp iş parçasından koparılmasına sebebiyet vermiştir [3].



Şekil 6. Elektrotların 10, 20 ve 30 amper değerinde vurum süresine bağlı olarak çap değişimleri. (a) Bakır, (b) Grafit, (c) TunCop

Şekil 6’ daki grafik incelendiğinde bakır, grafit ve tuncop elektrot malzemeleri için vurum süresine bağlı olarak amper sayısı arttıkça delik çaplarının büyüdüğü tespit edilmiştir. Amper sayısı arttırıldığında elektrot delik boyunca aynı konumlardan aynı zaman diliminde daha fazla boşalım enerjisi ile kıvılcım oluşturmakta ve dolayısı ile daha fazla malzemenin işlenmesini sağlayarak delik çapını arttırmaktadır. [3].

A. TAGUCHİ METODU

Tanımlanmış parametrelerle deneylerin planlanması, deneysel parametrelerin elde edilen deneysel sonuçlar üzerindeki etki derecesinin belirlenmesi ve optimal deneysel parametrelerin belirlenmesi, Taguchi metodu kullanılarak yapılabilir [12]. Taguchi, kontrol faktörü seviyesinin çalışma karakteristiğini faktörlere ölçmek için amaç fonksiyon değerlerini sinyal-gürültü oranına (S/N) dönüştürür. S/N oranı, istenen sinyalin istenmeyen rastgele gürültü değerine oranı olarak tanımlanır ve deneysel verilerin kalite karakteristiğini temsil eder. S/N oranlarının hesaplanmasında; karakteristik tipine bağlı nominal en iyidir, en büyük en iyidir, en küçük en iyidir metotları kullanılır. Eşitlik (2)’te “en büyük en iyidir”, Eşitlik (3)’te ise “en küçük en iyidir” amaç fonksiyonu verilmiştir [13].

$$\text{En büyük en iyi} \quad \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

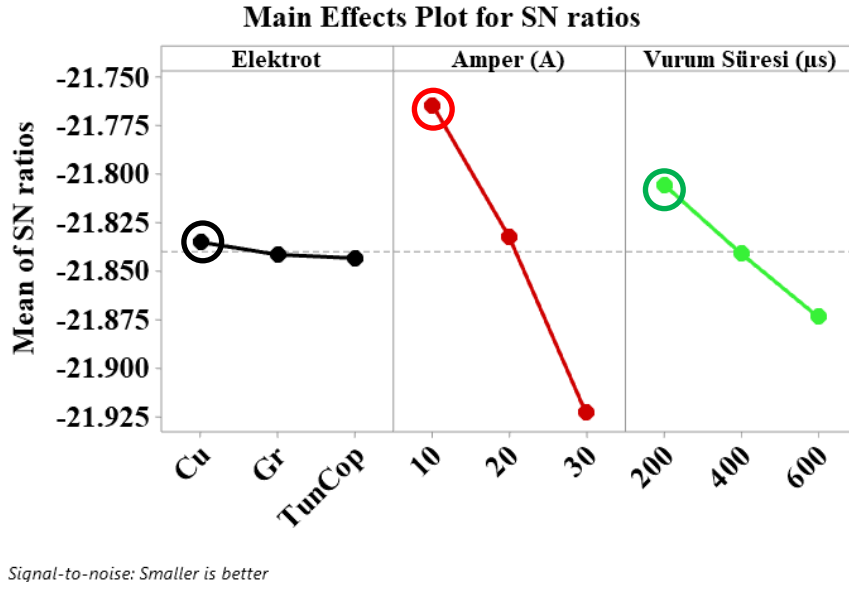
$$\text{En küçük en iyi} \quad \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

B. SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANI

Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar Minitab 19 istatistik programı ile analiz edilmiş ve sinyal gürültü oranları Tablo 4’de gösterilmiştir. Tablo halinde verilen değerlerin yorumlanması için sonuçlara grafik haline dönüştürülmüş ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Sinyal/Gürültü oranları

Level	Elektrot	Amper (A)	Vurum Süresi (μs)
1	-21,83	-21,76	-21,81
2	-21,84	-21,83	-21,84
3	-21,84	-21,92	-21,87
Delta	0,01	0,16	0,07
Rank	3	1	2



Şekil 7. Sinyal gürültü analizi grafiği

Şekil 7' deki grafikler incelendiğinde delik çapı üzerinde değişkenlerin önem sıralamasının amper, vurum süresi ve elektrot malzemesinin olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6' daki grafikleri desteklediği görülmektedir.

C. VARYANS ANALİZİ

DeneySEL verileri yorumlamak ve parametrelerin etki oranlarını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) istatistiksel yöntemleri kullanılmıştır. ANOVA, test edilen parça gruplarının ortalama performansı arasındaki farkları ortaya çıkarmak için kullanılan istatistiksel bir araçtır. ANOVA kullanarak hangi faktörlerin hangi süreç için etkili olduğunu istatistiksel olarak ortaya çıkarabilirsiniz. ANOVA' nın amacı, incelenen faktörün kaliteyi ölçmek için seçilen çıktı değerini ne kadar etkilediğini ve farklı seviyelerin ne tür bir değişkenliğe neden olduğunu ortaya çıkarmaktır [14].

Tablo 5. Anova Sonuçları

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Elektrot	2	0,001677	0,48%	0,001677	0,000838	0,30	0.744
Amper (A)	2	0,243043	69,72%	0,243043	0,121521	43,45	0.000
Vurum Süresi (µs)	2	0,047934	13,75%	0,047934	0,023967	8,57	0.002
Error	20	0,055931	16,05%	0,055931	0,002797		
Total	26	0,348585	100,00%				
R-sq		%83,95					

Tablo 5' deki anova sonuçları incelendiğinde kontrol faktörlerinin birbirleri ile etkileşimleri incelendiğinde en etkili parametrenin %69,72 ile amper faktörünün etkili olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma incelendiğinde ise amper miktarının artması ile delik çapında artış olduğu görülmektedir. Bu durum amper miktarındaki artış malzeme yüzeyinden talaş kaldırma işlemi esnasında işlenen malzeme yüzeyinde büyük hasar oluşturmasına neden olmaktadır [15].

D. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi, deneysel çalışmalarda kontrol ve deneysel faktörler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılır. Aynı zamanda analiz edilecek değişkene göre daha kolay veya daha erken tespit edilebilen değişkenlere dayalı olarak istenilen değişkeni tahmin eden bir modelin oluşturulmasıdır [16].

Regresyon analizi sonuçlarından elde edilen matematiksel modeller Tablo 6’ da sunulmaktadır. Bu modeller ile farklı parametrelerle yapılacak deneylerde oluşacak deliğin çapı hakkında önceden bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Bu da şirketlerde zaman ve enerji kaybını önlemeye yardımcı olacaktır. Yapılan analiz, çok değişkenli regresyon sınıfına girmektedir. Üç nicel değişken arasındaki ilişki ölçülmüştür.

Tablo 6. Regresyon analizi sonuçlarından elde edilen matematiksel modeller

Elektrot	
Cu	= 12,0290 +
Gr	Delik Çapı (mm) = 12,0388 + 0,000244 Vurum Süresi (μs) + 0,01131 Amper (A)
Tuncop	= 12,0410 +

IV. SONUC

Elektro erozyon tezgâhında 32CrMoV12-10 çeliğinin bakır, grafit ve tuncop elektrotlar kullanılarak delme performansının incelendiği çalışmada, elde edilen sonuçlar maddeler halinde belirtilmiştir.

- En düşük delik çap oluşumu tüm elektrot malzemeleri ile gerçekleşen deneylerde 200 μs ve 10 amper akımda, en büyük delik çapının ise yine aynı şekilde tüm elektrot malzemelerinde 600 μs ve 30 amper akımda oluştuğu belirlenmiştir.
- Elektrot malzemeleri içerisinde en küçük delik çapının bakır elektrot malzemedeki 12,2101mm ve en büyük delik çapının grafit elektrot malzemedeki 12,6551mm olarak oluşmuştur.
- İstatiksel olarak sinyal gürültü oranları incelendiğinde delik çapının en ideal ölçüde oluşması için optimum işleme parametresinin elektrot malzemesi için bakır, amper değeri için 10 A ve vurum süresi için ise 200 μs olarak belirlenmiştir.
- Anova analizleri incelendiğinde işleme parametrelerinde en etkili parametrenin %69,01 ile vurum süresi olarak tespit edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] L.S. Chen, H.B Yan and Y.F. Huang, “Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti–6Al–4V,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 87, no. 1-3, pp. 107-111, 999.
- [2] V. Yılmaz, H. Dilipak, M. Özdemir ve G. Uzun, “Hadfield çeliğine elektro erozyon ile işleme yöntemiyle mikro derin deliklerin delinmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” *2 International Symposium On Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES)*, Karabük, Türkiye, Jan. 18-20 2014.
- [3] V. Yılmaz, “Experimental investigation of drillability of micro holes using electro discharge machining,” Ph. D. dissertation, *Gazi University Graduate School Of Naturel And Applied Sciences*, Turkey, 2013.
- [4] M.G. Her and F.T. Weng, “Micro-hole machining of copper using the electro-discharge machining process with a tungsten carbide electrode compared with a copper electrode,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol 17, no.10, pp. 715-719, 2001
- [5] V. Yılmaz, M. Özdemir ve H.Dilipak, “AISI 1040 çeliğinin elektro erozyon ile işleme

yöntemiyle delinmesinde işleme parametrelerinin temel performans çıktıları üzerindeki etkilerinin incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarım ve Teknoloji*, c. 3, s. 1, ss. 417-426, 2015.

[6] G.F. Benedict, “Nontraditional machining processes,” *New York and Basel Marcel Dekker*, pp. 207-229, 1987.

[7] A. Özgedik, “Elektro erozyon ile işlemede tezgâh, iş parçası ve elektrot üzerinde uygulanmış modifikasyonlar,” *Teknolojik Araştırmalar*, c. 11, ss. 19-38, 2014.

[8] R.K. Springborn, “Non-traditional machining processes,” *American Society of Tooland Manufacturing Engineers*, Dearborn Michigan, pp. 105-133, 1967.

[9] N. Mohri, N. Saito, M. Suzuki and T. Takawashi, “Surface modification by EDM-an innovation in EDM with semi-conductive electrodes,” *The American Society of Mechanical Engineers, Research and Technological Developments in Nontraditional Machining*, vol. 34, pp. 21-30, 1988.

[10] N. Mohri, N. Saito and Y. Tsunekawa, “Metal surface modification by electrical discharge machining with composite electrode,” *Annals of the CIRP*, vol. 42, no. 1, pp. 219-222, 1993.

[11] K. Saito, T. Kishinami, H. Konno and M. Sato, “Development of numerical contouring control electric discharge machining (NCC-EDM),” *Annals of the CIRP*, vol. 35, no. 1, pp.117-120, 1986.

[12] V. Erdem, M. Belevi, ve C. Koçhan, “Taguchi metodu ile plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmanın en aza indirilmesi,” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 12, ss. 17-29. 2010.

[13] E. Nas ve S. Akıncıoğlu, “Kriyojenik işlem görmüş nikel esaslı süper alaşımın elektro-erozyon işleme performansı optimizasyonu,” *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 7, s. 1, ss. 115- 126, 2019.

[14] Y. Yıldız, “Biyomedikal uygulamalar için magnezyum-kalsiyum (mg-0.8ca) alaşımının dalma elektro erozyon ile işlenmesi,” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 55, ss. 147- 168, 2017.

[15] A. Kumar, V. Kumar, and J. Kumar, “Investigation of microstructure and element migration for rough cut surface of pure titanium after WEDM,” *International Journal of Microstructure and Materials Properties (IJMMP)*, vol. 8, no. 4-5, pp. 343-356, 2013.

[16] C.R. Alpar, *Spor, Sağlık ve eğitim Bilimlerinden Örneklerle Uygulamalı İstatistik ve Geçerlik-Güvenirlilik*, Ankara, Türkiye: Detay Yayıncılık, 2010, ss. 285-304.