



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

AISI 1.2738 Çeliğinin Elektro-Erozyon Tezgaahında Bakır ve Grafit Elektrot İle İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Deneysel ve İstatiksel Olarak İncelenmesi

Engin NAS ^{a,*}, Kudbeddin ARGUN ^b, Erman ZURNACI ^b

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

^b *Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Dr.Engin PAK Cumayeri MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: enginnas@duzce.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 1.2738 malzemenin farklı işleme parametrelerinde elektro erozyon tezgahında bakır ve grafit elektrot ile aşındırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan aşındırma parametreleri yapılan ön deneyler sonrasında üç farklı vuruş süresi (100, 200 ve 300 μ s), bekleme süresi (10, 20 ve 30 μ s) ve boşalım akım (10, 20 ve 30 amper) olarak belirlenmiştir. Sinyal/Gürültü oranları ile belirlenen yüzey pürüzlülük değerinin optimum değerleri, vuruş süresi için Seviye 1 (100 μ s), bekleme süresi için Seviye 2 (30 μ s), amper için Seviye 1 (10 A) ve elektrot için Seviye 2 (Grafit), anova sonuçlarına göre ise yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkili parametrelerin sırası ile amper, vuruş süresi, bekleme süresi ve elektrot olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Elektro Erozyon İşleme, Yüzey Pürüzlülüğü, İşlenebilirlik, Taguchi,*

Experimental and Statistical Investigation of Effects of Machining Parameters On Surface Roughness At Machining With Graphite And Copper Electrode In Electro Discharge Machining Of AISI 1.2738 Steel

ABSTRACT

In this study, wear process of AISI 1.2738 material was carried out with copper and graphite electrode in EDM at different processing parameters. The parameters used in the experimental study were determined after the preliminary experiments. This parameters were determined as three different pulse durations (100, 200 and 300 μ s), waiting time (10, 20 and 30 μ s) and discharge current (10, 20 and 30 amper). The optimum values of the surface roughness value determined by the Signal / Noise ratios are Level 1 (100 μ s) for the pulse duration, Level 2 (30 μ s) for the waiting time, Level 1 (10 A) for the ampere and Level 2 (Graphite) for the electrode. According

to ANOVA results, the most effective parameters on the surface roughness are amperes, pulse duration, waiting period and the electrodes respectively.

Keywords: Electro Erosion Machining, Surface Roughness, Machinability, Taguchi

I. GİRİŞ

Kalıp yapımında çelik malzeme seçiminin önemi büyük olup kalıp çeliklerinin seçilmesinde, kullanılacak olan plastik hammaddesinin, sadece sertlikleri, korozyon direnci gibi özelliklerin göz önüne alınması doğru değildir. Kalıp çeliklerinin seçilmesinde, kimyasal etkileşmeye dayanıklılık, yüzey sertleştirilmesi ve işlenebilirlik özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bununla birlikte, kalıbın tasarım boyutları, yüzey parlatılabilirliği, kaynak edilebilirliği gibi parametreler de ön planda tutulmalıdır. Artan kalıp ölçüleri, daha yüksek tokluk ihtiyacı, doğurmaktadır. Dolayısı ile uygulanacak ısı işlemler, sertleşmede deformasyon problemlerini (çarpılma, çatlama, vb.) meydana getirebilmektedir. Bu nedenlerden ötürü piyasada bulunan ön sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin bulunması bir avantajdır. Ön sertleştirilmiş malzemelerden AISI 1.2738 (P20+Ni) 30-35 HRC aralığında fabrikasyon sertliğine sahiptir [1, 2].

Elektro erozyon ile işleme, geometrik olarak karmaşık ve sert malzemelerin işlenmesinde kullanılan alışılmamış bir imal usulüdür. Her ne kadar elektro erozyon yöntemi, enerji olarak elektrik enerjisinden yararlı olsa da malzeme kaldırılması işlemi ısı enerjisiyle gerçekleştirildiğinden, termal işleme yöntemleri kategorisindedir. İşlenecek malzeme sertliğinin, tokluğunun ve mukavemetinin EDM de işleme performansına etkisi yoktur, buna karşın işlenecek malzemenin erime sıcaklığı ve ısı iletkenliği etkilidir. Elektriksel kıvılcımların malzeme aşındırılmasında kullanıldığı bu teknolojiye, elektrot ile iş parçası birbirine temas etmediği için, işleme sırasında mekanik gerilmeler, tırlama ve titreşim problemleri oluşmaz. Bu özellikler, elektro erozyon ile işlemenin, özellikle kalıp üretiminde vazgeçilmez bir teknoloji olarak kullanılmasını sağlamaktadır [3-7].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte endüstride birçok yenilik meydana gelmiştir. Bu yeniliklerden biride bir ürünü oluşturmak için optimum parametreleri belirlemektir. İmalat sektöründe ürünün işlenmesi esnasında kullanılan parametrelerin etki değerlerinin belirlenmesi için optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir [8]. Birden fazla deney parametrelerinin söz konusu olduğu durumlarda faktöriyel tasarım kullanılır. Faktöriyel tasarım, her bir deney parametresinin seviyelerinin tüm kombinasyonlarının denemeye tabi tutulmasıdır. Başka bir ifade ile faktöriyel deney tasarımı en az iki veya daha fazla deney parametresinin ve bu parametrelere ait en az iki veya daha fazla seviyelerin bulunduğu deneylerde, seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur [9]. Tam faktöriyel deney tasarımı istatistiksel yöntemler ile birleştirildiğinde analiz sürecinde araştırma yapan kişilere büyük kolaylık sağlar. Tam faktöriyel deneylerin analizinde varyans analizi (ANOVA) ve regresyon analizi kullanılmaktadır. Varyans analizi hangi proses üzerinde hangi deney parametrelerinin ne derecede önemli olduklarını istatistiksel olarak açıklar [10]. Regresyon analizi, sebep (bağımsız girdi değişkeni) ve sonuç (bağımlı çıktı değişkeni) arasında net bir matematiksel ilişkinin varlığını tespit etmek için kullanılır [11]. Bu yöntemler yardımı ile bir faktörün deney üzerindeki etkisi hesaplamak mümkün olup, işlemlerin sıralamasında bir değişiklik yapmadan farklılıkların kaynağının belirlenmesi sağlanır [9, 12, 13].

Taguchi deney tasarımı metodu, en az sayıda deney ve az maliyetle işleme performansını artırarak optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi, geliştirdiği dikey dizinler sayesinde deney sayılarını önemli ölçüde azaltarak, zaman ve maliyet kaybının artmasını engellemiştir. Taguchi metodunun avantajı, sonucu önceden tahmin edebilmesidir. Taguchi metodu, çözümün sadece en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla kalmaz, yüksek kalitede proses ve ürün geliştirilmesini de her açıdan destekler. Prosesin veya ürünün üretim şartlarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum hassasiyeti gösterir. Gerekli toleransların en düşük maliyetle sağlanması ve Taguchi kayıp fonksiyonu sayesinde ürünün toplumda yol açtığı kaybı en az seviyeye indirerek, yeni bir kalite maliyeti anlayışı geliştirir [2, 14, 15].

Bu çalışmada, AISI 1.2738 malzemenin farklı işleme parametrelerinde elektro erozyon tezgahında bakır ve elektrot ile aşındırma işlemi gerçekleştirilmiş olup elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçları Taguchi Orthogonal Array Design L54(2¹ 3³) istatistiksel metodu kullanılarak en düşük yüzey pürüzlülük değerinin oluşmasında optimum işleme şartları için ideal parametreler belirlenmiştir.

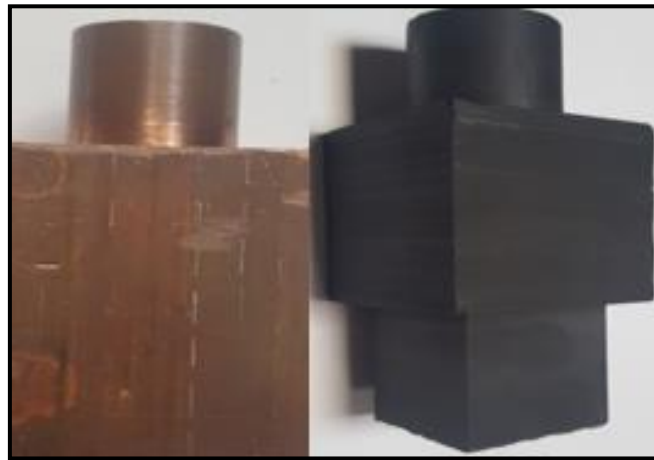
II. YÖNTEM

A. MALZEME VE ELEKTROT

DeneySEL çalışmada 150 X 200 mm ebatlarında AISI 1.2738 malzeme, elektrot olarak 8,9 gr/cm³ yoğunluğa sahip 25 X 25 mm (Şekil 1) elektrolitik bakır ve grafit kullanılmıştır. AISI 1,2738 malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. DeneySEL çalışmada kullanılan 1.2738 malzemenin kimyasal bileşimi.

C	Cr	Mo	Ni	Diğerleri
0,40	2,00	0,25	1	Mn 1,5



Şekil 1. DeneySEL çalışmada kullanılan elektrolitik bakır (a) ve grafit (b).

B. ELEKTRO EROZYON TEZGAHI

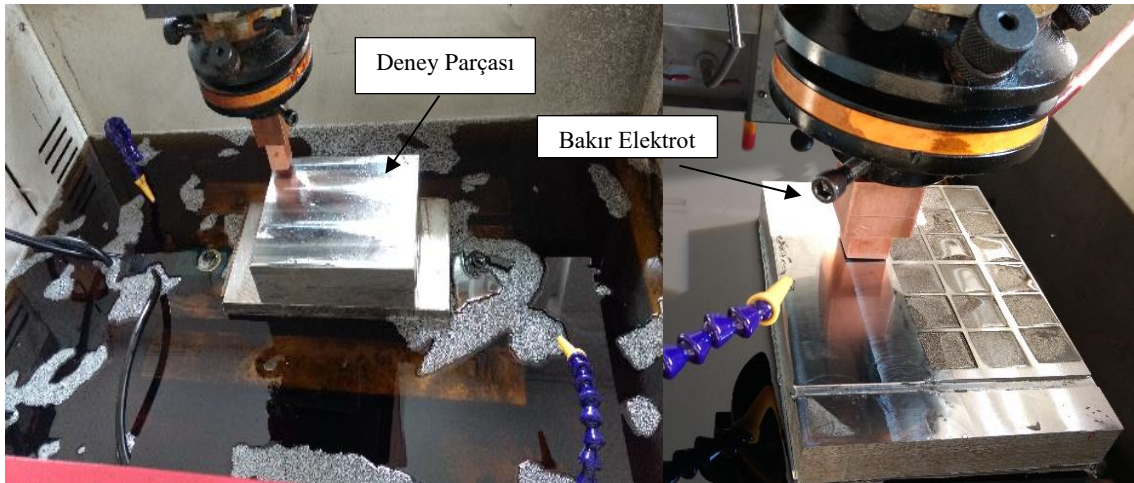
Deneyler King marka ZNC – K-3200 dalma erozyon tezgahı kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

C. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMLERİ

Ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ölçüm aralığı yaklaşık 0,8 mm ile 4 mm olan Taylor Hobson (Surtronic 25) marka yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri işlenen yüzeye paralel ve üç farklı alandan ölçülüp ortalaması yüzey pürüzlülük değeri olarak ölçülmüştür.

D. DENEY PARAMETRELERİ

Deneyler Full faktöriyel tasarım yöntemi ve Taguchi Orthogonal Array Design L54(2¹ 3³) olarak tasarlanmış olup, kullanılan parametreler yapılan ön deneyler (Şekil 2) sonrasında üç farklı vurum süresi, bekleme süresi ve boşalım akım (Amper) olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 2’ de verilmektedir.



Şekil 2. Deney parametrelerinin belirlenmesi için ön deneylere başlama ve gerçekleştirme aşamasındaki fotoğraf görüntüsü.

Tablo 2. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Faktör	Seviyeler	Değerler
Ton (Vurum Süresi), (μ s)	3	100; 200; 300
Toff (Bekleme Süresi), (μ s)	3	10; 20; 30
Amper (Akım), (A)	3	10; 20; 30
Elektrot	2	Bakır; Grafit

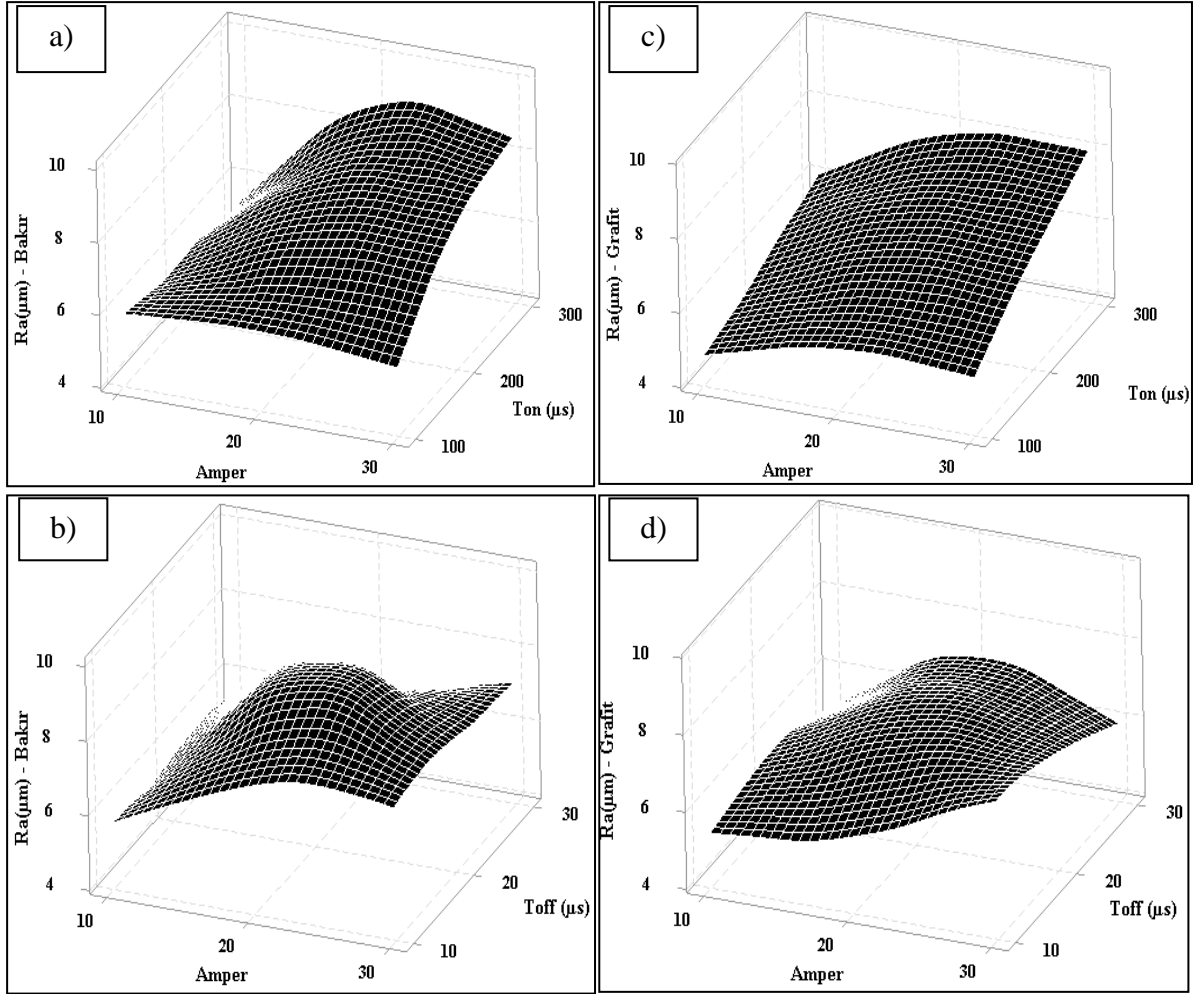
III. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

Elektro erozyon ile aşındırma işlemi gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda edinilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3' de gösterilmektedir.

En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin bakır elektrot için Ton 300 μ s, Toff 30 μ s ve 10 amper akımda 4,73 μ m olarak, grafik elektrot için ise Ton 100 μ s Toff 100 μ s ve 20 amper akımda 4,35 μ m olduğu belirlenmiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ise bakır elektrot için Ton 200 μ s, Toff 20 μ s ve 20 amper akımda 9,95 μ m, grafit elektrot için ise Ton 300 μ s, Toff 10 μ s ve 30 amper akımda 9,29 μ m olarak olduğu tespit edilmiştir [16, 17]. Bakır ve grafit elektrotun Tablo 3' de gösterilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 3' de grafik haline dönüştürülmüştür. Şekil 3' de gösterilen grafikler incelendiğinde bakır ve grafitin Ton, Toff ve Amper miktarının değişimine göre ortalama yüzey pürüzlülük değişimleri gösterilmektedir.

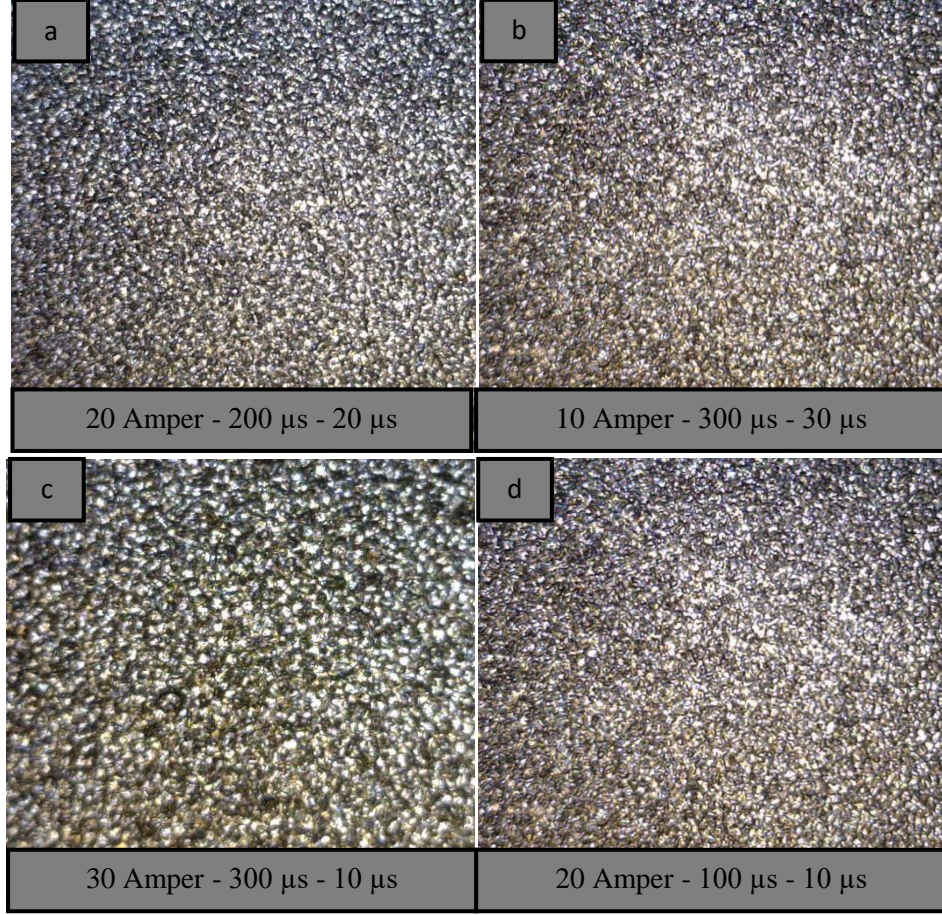
Tablo 3. Deneysel çalışma sonrasında elde edilen sonuçlar.

No	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Amper (A)	Elektrot	Ra (μ m)	Tah. Ra	No	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Amper (A)	Elektrot	Ra (μ m)	Tah. Ra
1	300	20	30	Bakır	8,55	8,56	28	200	20	30	Bakır	8,27	7,89
2	200	20	10	Grafit	6,54	5,34	29	100	30	10	Grafit	5,06	5,09
3	100	20	30	Grafit	6,69	5,37	30	100	10	20	Grafit	4,35	4,78
4	300	30	10	Grafit	5,70	5,63	31	300	30	30	Bakır	8,67	7,75
5	300	30	20	Bakır	8,68	7,95	32	300	20	30	Grafit	8,10	8,15
6	200	10	10	Bakır	5,64	5,77	33	200	10	30	Grafit	7,98	7,47
7	300	10	20	Bakır	7,91	8,07	34	200	20	30	Grafit	6,07	7,05
8	100	20	10	Grafit	4,50	5,26	35	100	10	10	Bakır	5,65	5,47
9	300	20	20	Grafit	8,87	8,78	36	100	30	30	Grafit	4,56	4,89
10	100	20	20	Grafit	6,37	6,20	37	100	10	10	Grafit	4,63	4,98
11	300	10	10	Bakır	5,77	5,75	38	300	30	30	Grafit	6,63	7,67
12	100	20	30	Bakır	5,59	6,225	39	200	20	10	Bakır	4,91	5,85
13	100	10	20	Bakır	7,01	5,76	40	300	20	10	Bakır	5,61	5,89
14	300	30	20	Grafit	7,72	7,70	41	200	10	20	Grafit	6,54	6,30
15	200	10	20	Bakır	7,15	7,26	42	300	10	30	Grafit	9,29	8,46
16	300	10	30	Bakır	8,20	8,82	43	100	30	20	Grafit	5,95	5,13
17	300	20	10	Grafit	5,97	5,81	44	200	30	30	Bakır	7,12	7,02
18	100	10	30	Bakır	6,04	6,30	45	200	10	30	Bakır	8,08	8,21
19	200	20	20	Grafit	6,38	7,48	46	300	20	20	Bakır	9,46	9,35
20	200	30	20	Bakır	5,55	7,03	47	100	30	20	Bakır	4,77	5,83
21	200	10	10	Grafit	4,90	5,31	48	200	30	10	Grafit	4,54	5,10
22	100	30	30	Bakır	5,71	5,42	49	200	30	30	Grafit	6,60	6,51
23	100	10	30	Grafit	5,13	5,49	50	300	30	10	Bakır	4,73	5,39
24	200	20	20	Bakır	9,95	8,48	51	100	20	20	Bakır	6,50	7,22
25	300	10	20	Grafit	6,79	7,55	52	300	10	10	Grafit	6,44	5,72
26	100	20	10	Bakır	6,43	5,78	53	200	30	20	Grafit	7,35	6,35
27	200	30	10	Bakır	6,17	5,30	54	100	30	10	Bakır	5,63	5,29



Şekil 3. Bakır ve grafit elektrotun Amper, Ton ve Toff' a göre yüzey pürüzlülük değerlerinin grafik olarak gösterilmesi.

Grafit ve bakır elektrot ile gerçekleştirilen deneylerde malzeme üzerinde oluşan en düşük ve en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinden çekilen optik görüntüler Şekil 4' de gösterilmektedir. Optik görüntüler incelendiğinde amper miktarının düşük olduğu deneyde yüzeyde oluşan derinliklerin daha düşük olduğu amper miktarının artması ile yüzey derinliklerin daha kötüleştiği ve bu durumun malzemedeki yüzey pürüzlülüğü değerlerini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Düşük vurum sürelerinde yüzey pürüzlülüğün iyileştiği vurum süresi arttıkça amperin artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin olumsuz yönde etkilediği yapılan yüzey pürüzlülük değerleri ölçümleri ile gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Bakır(a, b) ve grafit (c, d) için en yüksek (a, c) ve en düşük (b, d) yüzey pürüzlülük değerinin ölçüldüğü deneylerin optik görüntüsü.

E. SİNYAL GÜRÜLTÜ (S/N) ORANI ANALİZİ

Taguchi yöntemi (TY) geleneksel deney tasarımının dikkate almadığı kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirdiği değişkenlerin denetimine izin vermektedir. Taguchi, bu faktörlere karşı kontrol faktörlerinin seviyelerinin performans karakteristiğini ölçmek için amaç fonksiyonu değerlerini sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürür. S/N oranı, istenilmeyen rastgele gürültü değeri için istenilen sinyal oranı olarak tanımlanmakta olup, deneysel verilerin kalite karakteristiklerini göstermektedir [14, 18],

S/N oranlarının hesaplanmasında; karakteristik tipine bağlı nominal en iyi, en büyük en iyi, en küçük en iyi yöntemleri kullanılır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin minimum çıkması istenen yerlerde “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu Eşitlik (1)’de verilmiştir [16].

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

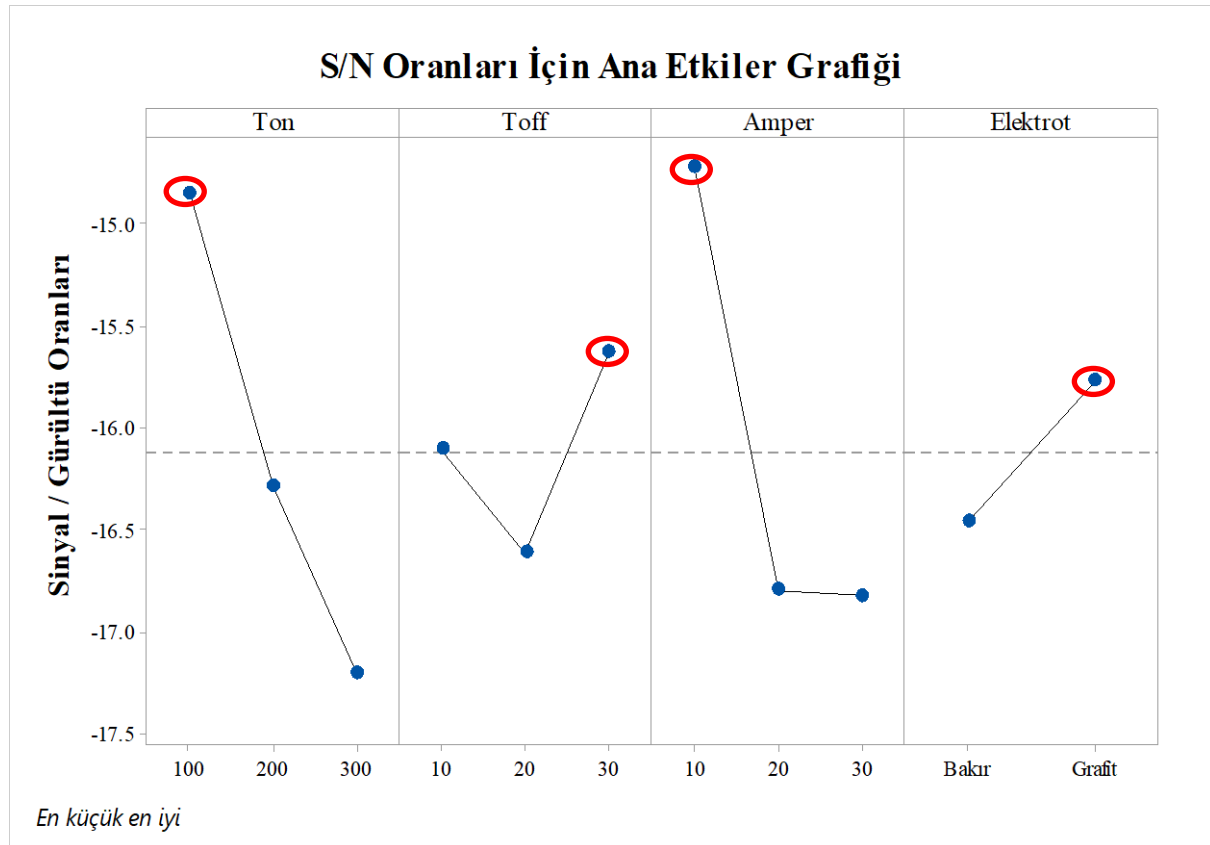
Yüzey pürüzlülüğüne kontrol faktörlerinin etkisi (Ton, Toff, Amper, Elektrot), Tablo 4’da verilmiştir. Kontrol faktörlerine ait optimum seviyelerin belirlenmesinde Taguchi yöntemiyle oluşturulan S/N yanıt tablosu kullanılmaktadır. Bu tablodaki en büyük S/N değerleri, o kontrol faktörüne ait ideal seviyeyi

göstermektedir [16]. Tablo 4 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametreler etki sırasına göre, Amper, Ton, Toff ve Elektrot olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Sinyal Gürültü oranları yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol Faktörleri			
	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Amper (A)	Elektrot
Seviye 1	-14,85	-16,11	-14,73	-16,46
Seviye 2	-16,29	-16,61	-16,80	-15,77
Seviye 3	-17,21	-15,63	-16,83	-
Delta	2,36	0,98	2,10	0,69

Ortalama yüzey pürüzlülüğü için ana etkiler grafiği (Şekil 5) incelendiğinde, yüzey pürüzlülük değerine etki eden parametreler en küçük en iyidir durumuna göre Ton için Level 1 (100 μ s), Toff için Level 2 (30 μ s), Amper için Level 1 (10 A) ve Elektrot için Level 2 (Grafit) olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Yüzey pürüzlülüğü için ana etkiler grafiği.

F. ANOVA

Anova, deneysel çalışmada kullanılan kontrol faktörlerinin birbirleri ile etkileşimlerini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir metottur [19, 20]. Bu çalışmada deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine birbirleri ile etkileşimleri ANOVA ile incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için

anova sonuçları Tablo 5’ de gösterilmektedir. Tablo 5 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametrenin % 27,57 oranla amper, en az etki eden parametrenin % 3,38 oranla elektrot malzemesi olarak olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü için anova etkileşim tablosu.

Kontrol Faktörü	SD	KT	KO	F	% Katkı
Ton	2	29,690	14,8450	16,94	27,27
Toff	2	5,160	2,5802	2,94	4,73
Amper	2	30,020	15,0100	17,13	27,57
Elektrot	1	3,682	3,6817	4,20	3,38
Hata	46	40,312	0,8764	-	
Total	53	108,865			
R-sq: 62,97% R-sq(adj): 57,34%					
SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler ortalaması					

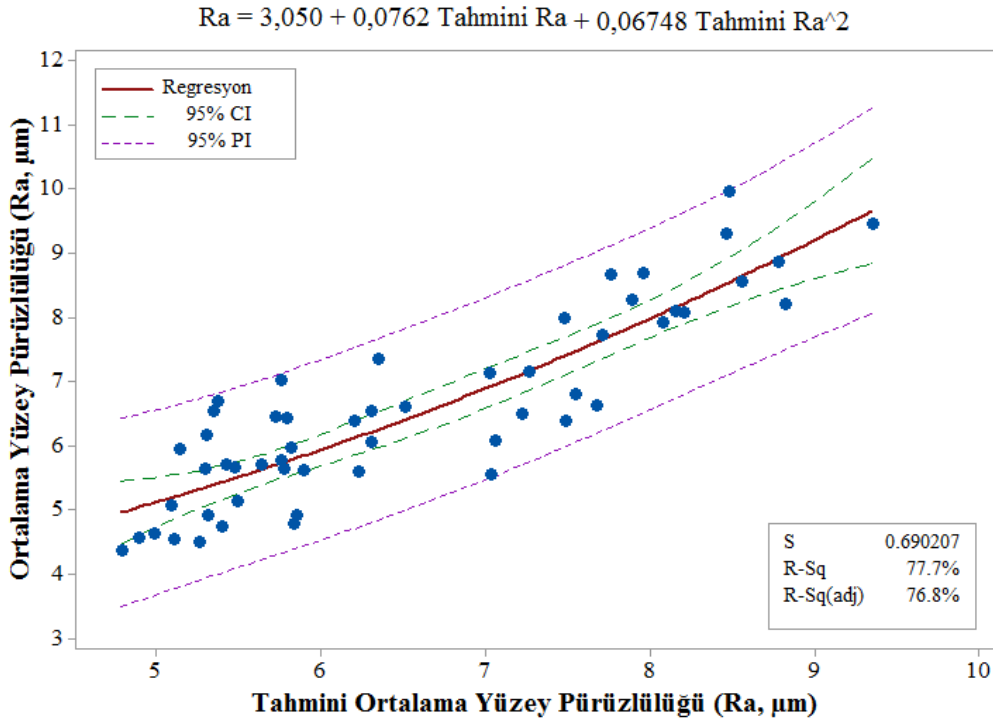
F. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon modeli, neden sonuç ilişkisinin olduğu tahmin edilen değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesini amaçlayan bir modeldir. Bu bağlamda, Regresyon modelinin uygulanmasında; bağımsız faktörler ile bağımlı faktörler arasında kuramsal ilişkinin olduğunun tahmini veya model kurucu tarafından bilinmesi hayli önemlidir. Regresyon modelinde bu prensipler dikkate alındığında, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetini; talaş kaldırmada optimal şartların sağlanmasına katkı sağlayan en önemli iki bağımlı değişken olarak kabul etmek doğru bir yaklaşımdır [21]. Yapılan deneysel çalışmada yüzey pürüzlülüğün oluşmasında etkin faktörler arasındaki etkileşimden faydalanarak birinci derece lineer regresyon modeli Tablo 6’da gösterilmektedir.

Tablo 6. Grafit ve bakır elektrot için 1. derece lineer denklem.

Elektrot	Formül
Bakır	= 3,771 + 0,00903 Ton – 0,0177 Toff + 0,0791 Amper
Grafit	= 3,249 + 0,00903 Ton – 0,0177 Toff + 0,0791 Amper

Deneysel çalışmadan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri sonuçlar ile istatistiksel olarak tahmini yüzey pürüzlülük değerlerinin sonuçları Şekil 6’ da gösterilmektedir. Tahmini ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde R² % 77,7 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Yüzey pürüzlülük değerlerinin deneysel ve ikinci derece denklem oluşturularak elde edilen sonuçların karşılaştırılması. (CI-Güven aralığı, PI- Tahmini aralık)

IV. SONUÇ

Yapılan çalışmanın sonucunda;

- En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin bakır elektrot için Ton 300 μs , Toff 30 μs ve 10 amper akımda 4,73 μm olarak, grafik elektrot için ise Ton 100 μs Toff 10 μs ve 20 amper akımda 4,35 μm olduğu,
- En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ise bakır elektrot için Ton 200 μs , Toff 20 μs ve 20 amper akımda 9,95 μm , grafit elektrot için ise Ton 300 μs , Toff 10 μs ve 30 amper akımda 9,29 μm olarak olduğu,
- S/N oranı ile yüzey pürüzlülük değerinin ideal değerleri Ton için Level 1 (100 μs), Toff için Level 2 (30 μs), Amper için Level 1 (10 A) ve Elektrot için Level 2 (Grafit) olarak belirlendiği
- Anova sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkili parametreler sırası ile amper, vuruş süresi, bekleme süresi ve elektrot olarak,
- Deney parametreleri arasındaki farkın çok olması yüzey pürüzlülük değerinin artışını çok fazla etkilediğinden güven seviyesinin düşük olduğu,
- Güven seviyesinin yüksek çıkması için seçilen deney parametrelerin birbirine yakın olarak seçilmesi gerektiği,

- Deney sırasında malzeme ile elektrot arasına basınçlı su tutulmadığı takdirde aşındırılan malzeme ve elektrotun parçalarının tezgâhta kısa devre oluşturarak dalma işlemini gerçekleştiren kafayı yukarıya doğru hareket ettirdiği tespit edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Süzgünol ve Y. Kayır, “DIN 1.2311 ve 1.2738 Kalıp Çeliklerinin İşlenebilirliği,” 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara, 2012, ss.132-142.
- [2] F. Kara, “Optimization Of Surface Roughness In Finish Milling of AISI P20+S Plastic-Mold Steel,” *Materials and technology*, c.52, s. 2, ss. 195–200, 2018.
- [3] Avlar E., “EDM İle Kaba İşlemede Küresel Uçlu Elektrotların Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması: Dikdörtgen Ceplerin Boşaltılması” Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2006.
- [4] J., Lee et.al. “Modern Manufacturing”, Mechanical Engineering Handbook, CRC pres. LLC., 1999.
- [5] O. Gülcan, “Saf Suda Elektro Erozyon ile İşleme,” *Mühendis ve Makina*, c.55, s. 648, ss. 28-36, 2013.
- [6] K. H. Ho, S.T. Newman, “State of the Art Electrical Discharge Machining,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol.37, no.11, pp. 1287–1300, 2003.
- [7] N. M. Abbas, D. G. Solomon ve M. F. Bahari, “A review On Current Research Trends in Electrical Discharge Machining (EDM),” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 47, vol. 7-8, pp.1214-1228, 2007.
- [8] N. Masmiaati, A. Ahmed ve D. Sarhan, “Optimizing Cutting Parameters in Inclined End Milling For Minimum Surface Residual Stress – Taguchi Approach” *Measurement* vol. 60, pp. 267–275, 2015.
- [9] Z. R. Lazic, Design Of Experiments in Chemical Engineering: A Practical Guide, WILEY-VCH, ss. 157-165, 2004.
- [10] W. H., Yang ve Y. S. Tarn, “Design Optimization Of Cutting Parameters For Turning Operations Based on The Taguchi method,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol.84, pp. 122-129, 1998
- [11] C. Hamzaçebi ve F. Kutay, “Taguchi Metodu: Bir Uygulama,” *Teknoloji*, c.3-4, ss. 7- 17, 2003.
- [12] K., Nagaraja, M. A. Herbert, D. Shetty, R Shetty ve B Shivamurty, “Effect Of Process Parameters On Delamination, Thrust Force And Torque in Drilling Of Carbon Fiber Epoxy Composite,” *Research Journal of Recent Sciences*, vol. 2, no. 8, pp. 47-51, 2013.

- [13] F. W. Breyfogle, *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*, 2. Baskı, USA: John Wiley & Sons, 2003, pp.549-570.
- [14] G. Taguchi, S. Chowdhury ve Y. Wu, *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 2005.
- [15] E. Nas ve H. Gökkaya, "Experimental and Statistical Study on Machinability of the Composite Materials with Metal Matrix Al/B4C/Graphite," *Metallurgical and Materials Transactions A*, c.48, ss. 5059-5067, 2017.
- [16] E. Şirin, Ş. Şirin, Y. Turgut ve İ. Korkut, "Optimization of Surface Roughness Using the Taguchi Method in Milling of AISI D2 Cold Work Tool Steel," *Duzce University Science and Technology Review*, c. 3, ss. 132-144, 2015.
- [17] E. Nas, S.Akıncıoğlu, H. Gökkaya ve G. Akıncıoğlu, "The Effect of Deep Cryogenic Treatment on the Roughness of Hastelloy C22 Super Alloy in Electrical Discharge Machining," 1st International Conference of Advanced Materials and Manufacturing Technologies, Karabük, 2017.
- [18] E. Nas, H. Gökkaya, S. Akıncıoğlu ve G. Akıncıoğlu, "Surface Roughness Optimization of EDM Process of Hastelloy C22 Super Alloy. 1st International Conference of Advanced Materials and Manufacturing Technologies," Karabük, 2017.
- [19] T. Kıvak, "Optimization Of Surface Roughness and Flank Wear Using The Taguchi Method In Milling Of Hadfield Steel With PVD and CVD Coated Inserts," *Measurement*, c. 50, ss. 19–28, 2014.
- [20] M. Günay ve E. Yücel, "Application of Taguchi Method For Determining Optimum Surface Roughness in Turning Of High-Alloy White Cast Iron," *Measurement*, c.46, s. 2, ss. 913-919 2013.
- [21] M. Ay ve A. Turhan, "Tornalama İşleminde Kesme Parametrelerinin ve İş Parçası Uzunluğunun Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi" *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 55-67, 2010.