

# DIN 1.2344 SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON TEZGÂHINDA İŞLENMESİNDE EN UYGUN PARAMETRELERİN TAGUCHİ METODU İLE BELİRLENMESİ

Engin NAS<sup>1\*</sup>, Fuat KARA<sup>2</sup> ve Onur ÖZBEK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Dr. Engin PAK Cumayeri M.Y.O, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Düzce / TÜRKİYE

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Düzce / TÜRKİYE

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Düzce / TÜRKİYE

Sorumlu Yazar: enginnas@duzce.edu.tr

\*Konuşmacı: enginnas@duzce.edu.tr

Sunum/Makale türü: Sözel / Tam metin

**Özet** – DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği; özel olarak içyapısı temizlenmiş, sünekliliği ve tokluğu artırılmış homojen mikroyapıya sahip, iyi ısıl kararlılığına sahip olan yüksek ısıl şoklara dayanımlı bir çeliktir. Bu çelikler, ekstrüzyon kalıpları, dövme kalıpları, enjeksiyon kalıpları ve aşınmanın yüksek olduğu plastik kalıpların yapımı gibi yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada, DIN 1.2344 çeliğinin farklı parametrelerde elektro erozyon tezgahında (EDM) bakır elektrot ile işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri deneysel ve istatistiki olarak incelenmiştir. EDM parametreleri Taguchi L<sub>18</sub> deneysel tasarım yöntemi kullanılarak iki farklı akım (10, 20 Amper), üç farklı vurum süresi (100, 200, 300 µs) ve üç farklı bekleme süresi (10, 20, 30 µs) olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara varyans analizi uygulanarak Ra değerleri üzerindeki en etkili işleme parametreleri belirlenmiştir. Bununla birlikte, Taguchi analizi ile en düşük Ra değerlerini veren EDM parametreleri tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – DIN 1.2344, EDM, Taguchi analizi, Varyans analizi, Yüzey pürüzlülüğü

## DETERMINATION BY USING TAGUCHI METHOD OF THE BEST PARAMETERS IN CUTTING OF DIN 1.2344 HOT WORK TOOL STEEL IN ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

Engin NAS<sup>1\*</sup>, Fuat KARA<sup>2</sup> ve Onur ÖZBEK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Düzce University, Dr. Engin PAK Cumayeri Vocational School, Düzce / TURKEY

<sup>2</sup>Düzce University, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Düzce / TURKEY

<sup>3</sup>Düzce University, Gümüşova Vocational School, Düzce / TURKEY

\*Corresponding author: enginnas@duzce.edu.tr

\*Speaker: enginnas@duzce.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Abstract

**Abstract** – DIN 1.2344 hot work tool steel; It is a steel with high thermal shocks having good thermal stability and having a homogenous microstructure with increased internal structure, ductility and toughness. These steels have a wide range of use, such as extrusion dies, forging dies, injection molds and the construction of plastic molds with high abrasion. In this study, surface roughness (Ra) values obtained in machining of DIN 1.2344 steel with copper electrode in Electrical Discharge Machining (EDM) machine in different parameters were examined experimentally and statistically. The EDM parameters were determined using the Taguchi L<sub>18</sub> experimental design method as two different discharge current (10, 20 Ampere), three different pulse durations (100, 200, 300 µs) and three different waiting-period (10, 20, 30 µs). The most effective processing parameters on the Ra values were determined by applying the variance analysis to the experimental results. However, EDM parameters were determined with the lowest Ra values by Taguchi analysis.

**Keywords** – DIN 1.2344, Electro Discharge Machine, Taguchi analyses, Variance analysis, Surface roughnes

## I. Giriş

Elektro erozyon ile işleme (EEİ), 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 ile enerjiyle gerçekleştirildiğinden, termal işleme yöntemleri kategorisindedir. İşlenecek malzeme sertliğinin, tokluğunun ve mukavemetinin EEİ de işleme performansına etkisi yoktur, buna karşın işlenecek malzemenin erime sıcaklığı ve ısı iletkenliği etkilidir [1-3]. Elektro erozyon tezgâhında, kontrollü elektrik arklarıyla talaş kaldırılır. Her bir ark iş parçası üzerinde küçük bir krater meydana getirir. Arkın sürekli dolaşmasıyla şablonun şekli karşı tarafa geçirilir. Klasik tezgâhların aksine bu teknikte sertleştirilmiş parçalar ve sert maden uçlar kolaylıkla işlenebilir [4,5].

EEİ yöntemi imalatta yaygın olarak kullanılıyorsa da düşük iş parçası işleme hızı (İİH) ve kratersi yüzey yapısı bu yöntemin kullanımını bazı uygulamalar için kısıtlamaktadır. EEİ ile elde edilen yüzeyler mikroskop altında incelendiğinde, elektriksel boşalmaların oluşturduğu kraterlerin üst üste binmesiyle oluşan yüzeyin genellikle pürüzlü olduğu görülür [6, 7].

EEİ günümüz teknolojisinde kalıp imalatında hızla kullanımı artan bir metal işleme yöntemidir. Yüksek mukavemetli, karmaşık geometri ve sert malzemelerin işlenebilmesi EEİ yöntemini modern imalat yöntemleri arasında seçkin bir noktaya getirmiştir [8]. Günümüzde EEİ yöntemi ile üretilen pres kalıpları, enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, civata başı dövme kalıpları, toz sıkıştırma kalıpları bu yöntemin kullanıldığı genel örneklerdendir [9, 10]. Kalıpcılık sektöründe en çok kullanılan çeliklerinin başında AISI H13 sıcak iş takım çeliği gelmektedir. AISI H13 (DIN/ISO 1.2344) çeliği, yüksek sıcak sertlik, yüksek sıcak mukavemet, yüksek meneviş direnci, yüksek tokluk, iyi işlenebilirlik, ısı işlemede mükemmel boyutsal kararlılık özelliklerine sahiptir. Bu malzeme istenilen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için işleme şartlarına uygunluk göstermektedir. Bu nedenle başta alüminyum ve alaşımlarının şekillendirilmesi olmak üzere her tür sıcak şekillendirme kalıbı ve aparatında kullanılmaktadır. Uygulandığı farklı kalıp türlerine göre sertlikleri değişmektedir. Sertlikleri ekstrüzyon kalıplarında 43-52 HRC, dökme kalıplamada 44-50 HRC, dövme kalıplamada ise 40-55 HRC'dir. Ayrıca, sıcak kütük kesme bıçakları ve kalın kesitli soğuk kesmelerde kullanılan sıcak iş takım çelikleridir [11, 12].

Bu çalışmada ise AISI H13 sıcak iş takım çeliği bakır elektrot ile elektro erozyon tezgâhında farklı işleme parametrelerinde işlenmiştir. İşleme parametrelerinin talaş kaldırılan yüzeyde oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerine etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir.

## II. MATERYAL METOT

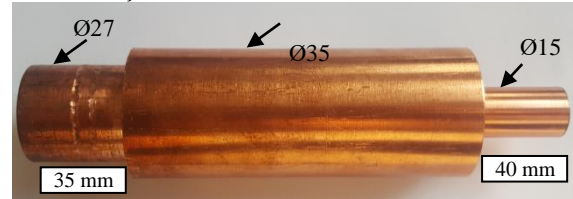
### A. Malzeme ve Elektrot

Bu çalışmada, elektro erozyon işleme yöntemi ile işlenebilirlik deneylerinde DIN 1.2344 (AISI H13) çeliği kullanılmıştır. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 1' de verilmiştir. Deneylerde kullanılan malzeme ölçüleri 40 mm çapında 20 mm kalınlığında silindirik olarak temin edilmiştir (Şekil 1).

Tablo 1. AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (%)

C	Mn	Cr	Mo	V	W	Si	Ni
0,39	0,4	5,3	1,3	0,9	-	1,0	-

Elektrot malzemesi olarak 8,9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip elektrolitik bakır kullanılmıştır (Şekil 1). Deneylerin gerçekleştirilmesinde kullanılan elektrot malzemesinin ölçüleri 35 mm çapında 150 mm boyunda olan malzemenin uç kısmından 40 mm uzunluğunda 15 mm çapına indirilmiştir, hareketli kafa kısmına bağlanması için ise diğer uç kısmının ölçüleri 27 mm çapında 35 mm uzunluğunda tormalanmıştır.



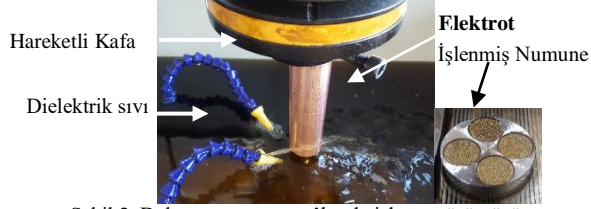
Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan bakır elektrot malzemesi.

### B. Elektro Erozyon Tezgâhı

Deneyler, King marka ZNC – K-3200 dalma erozyon tezgâhı kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın kontrol ünitesi Şekil 2 de işleme sırası ve işlenen malzemenin görüntüsü Şekil 3' de gösterilmektedir. Her bir deneyin gerçekleştirilmesi sonrasında elektrot malzemesinin işlem görmüş yüzeyinin temizlenmesi üniversal torna tezgâhı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Tezgâh kontrol ünitesi.



Şekil 3. Dalma erozyon tezgâhında işleme görüntüsü

### C. Yüzey Pürüzlülük Cihazı

Yüzey pürüzlülük değerlerin ölçülmesinde Mahr Marsurf PS 10 Portatif yüzey pürüzlülüğü cihazı kullanılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra), ISO 4287 standardına göre, deneyler sonucu elde edilen yüzeylerdeki pürüzlülük sapmalarının aritmetik ortalamasının alınması sonucu elde

Tablo 2. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Akım (A)	10	20	-
Vurum Süresi (Ton, $\mu$ s)	100	200	300
Bekleme Süresi (Toff, $\mu$ s)	10	20	30

Tablo 3. Deney sıralarına göre gerçekleştirilecek faktörler.

Deney No	Faktörler			Deney No	Faktörler		
	A Akım	B Vurum Süresi	C Bekleme Süresi		A Akım	B Vurum Süresi	C Bekleme Süresi
1.	1	1	1	10.	2	1	1
2.	1	1	2	11.	2	1	2
3.	1	1	3	12.	2	1	3
4.	1	2	1	13.	2	2	1
5.	1	2	2	14.	2	2	2
6.	1	2	3	15.	2	2	3
7.	1	3	1	16.	2	3	1
8.	1	3	2	17.	2	3	2
9.	1	3	3	18.	2	3	3

## II. BULGULAR

### A. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü

Elektro erozyon işlemi yöntemi ile DIN 1.2344 malzeme üzerinden farklı işleme parametreleri ile

edilmiştir. Deneylerden sonra elde edilen yüzeylerin her birinden başta, ortada ve sonda olmak üzere alınan üç ölçüm değerinin aritmetik ortalamasıyla tayin edilmiştir.

### D. Deney Parametreleri

Deneyler, iki farklı akımda, üç farklı darbe vurum süresi ve üç farklı bekleme süresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler Full faktöriyel tasarım yöntemi ile oluşturulmuş ve deney dizilimleri ise Taguchi L18 dikey dizilim yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Faktörler ve seviyeleri Tablo 2’ de, deney dizilimleri ise Tablo 3’ de gösterilmektedir.

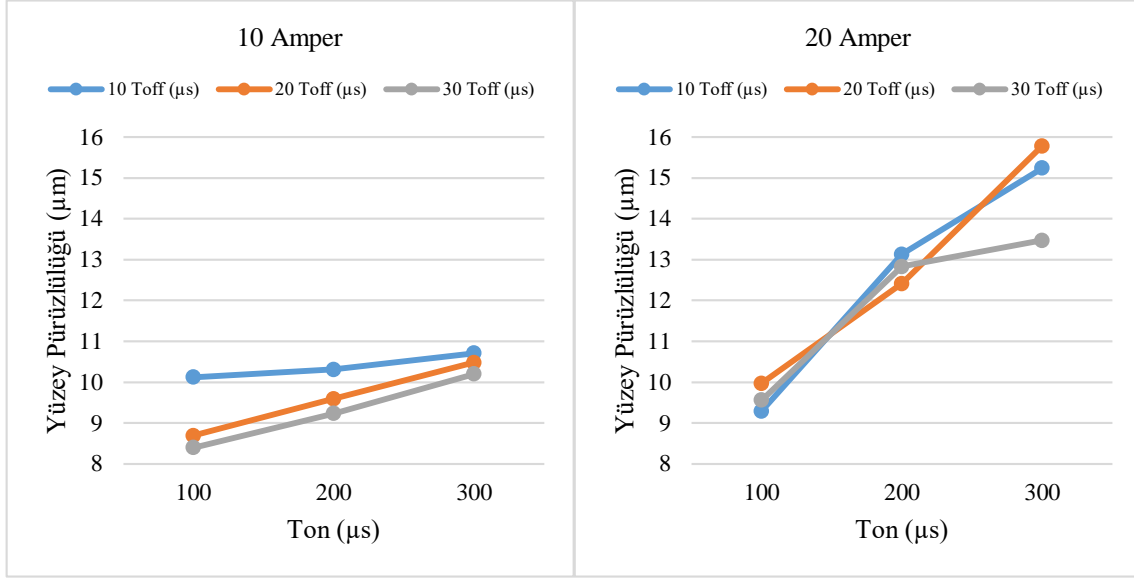
gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 4’ de verilmiştir.

Tablo 4. Deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).

Deney No	Akım (A)	Ton ( $\mu$ s)	Toff ( $\mu$ s)	Ra ( $\mu$ m)	Deney No	Akım (A)	Ton ( $\mu$ s)	Toff ( $\mu$ s)	Ra ( $\mu$ m)
1	10	100	10	10,10	10	20	100	10	9,29
2	10	100	20	8,69	11	20	100	20	9,97
3	10	100	30	8,40	12	20	100	30	9,56
4	10	200	10	10,31	13	20	200	10	13,13
5	10	200	20	9,59	14	20	200	20	12,41
6	10	200	30	9,23	15	20	200	30	12,83
7	10	300	10	10,71	16	20	300	10	15,24
8	10	300	20	10,48	17	20	300	20	15,78
9	10	300	30	10,20	18	20	300	30	13,47

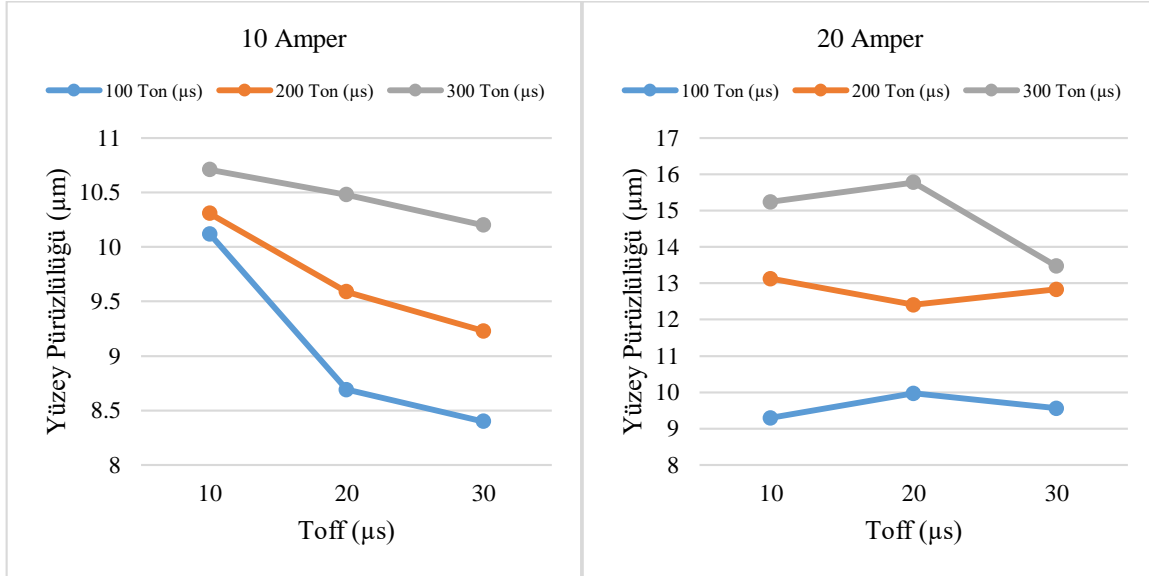
Tablo 4 incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin üç numaralı deneyde 10 A akım, 100  $\mu$ s vurum süresi ve 30  $\mu$ s bekleme süresinde olduğu görülmektedir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 20 A akımda 300  $\mu$ s vurum süresi ve 20  $\mu$ s bekleme süresinde oluşmuştur. Vurum sürelerine bağlı yüzey

pürüzlülüğü değişim grafikler Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4' deki grafikler incelendiğinde; 10 A akıma kıyasla 20 A akımda daha yüksek Ra değerleri ölçülmüştür. Bununla birlikte artan vurum süresi ile birlikte Ra değerleri de artmıştır. Bu artış 20 A akımda çok daha fazla olmuştur.



Şekil 4. Vurum süresine bağlı ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi.

Bekleme sürelerine bağlı yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği Şekil 5' de görülmektedir.



Şekil 5. Bekleme süresine bağlı ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi.

Şekil 5 incelendiğinde ise; 10 A akımda bekleme süresi arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmektedir. En düşük Ra değerleri 100  $\mu$ s vurum süresinde oluşmuştur.

#### B. Sinyal – gürültü analizi (S/N)

Taguchi yöntemi 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 [13-15]. S/N oranlarının hesaplanmasında; karakteristik tipine bağlı nominal

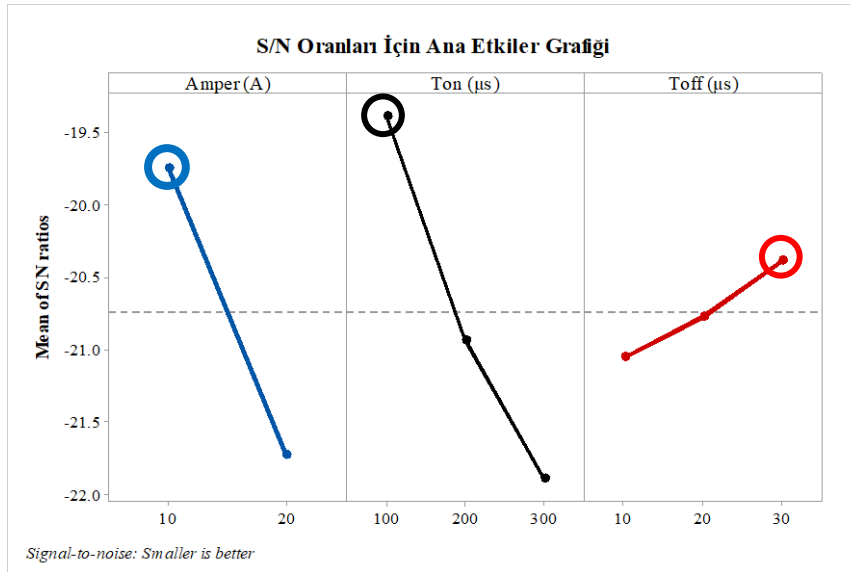
en iyi, en büyük en iyi, en küçük en iyi yöntemleri kullanılır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin minimum çıkması istenen yerlerde “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu Eşitlik (1)’de verilmiştir [16]. En küçük en iyi;

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

Kontrol faktörlerinin (Akım, Ton, Toff) yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Tablo 4’da verilmiştir.

Tablo 4. Yüzey pürüzlülüğü için Sinyal/Gürültü oranları ve anlamlılık yanıt tablosu

Sinyal Gürültü				Anlamlılık			
Seviye	Akım (A)	Ton (µs)	Toff (µs)	Seviye	Akım (A)	Ton (µs)	Toff (µs)
1	<b>-19,75</b>	<b>-19,38</b>	-21,06	1	<b>9,746</b>	<b>9,335</b>	11,463
2	-21,73	-20,94	-20,77	2	12,409	11,250	11,153
3		-21,90	<b>-20,39</b>	3		12,647	<b>10,615</b>
Delta	1,98	2,51	0,67	Delta	2,663	3,312	0,848
Sıralama	2	1	3	Sıralama	2	1	3



Şekil 6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için ana etkiler grafiği.

Deneysel çalışmada kullanılan her bir faktör için ana etkiler grafiği Şekil 6’ de verilmektedir. Grafik incelendiğinde dikeyde en üst noktada olan seviye yüzey pürüzlük değeri için en ideal parametredir. En iyi yüzey pürüzlülüğü için en ideal C. ANOVA

Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları Tablo 5’ de gösterilmektedir. Tablo 5 incelendiğinde yüzey oran ile akım (Amper) olduğu görülmektedir. Bekleme süresi (Toff) %2,69 ile en az etkiye sahip parametredir.

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 [17]. Tablo 4 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametreler etki sırasına göre; Ton, Akım ve Toff olarak belirlenmiştir.

parametrelerin Akım için Seviye 1, Vurum süresi için Seviye 1 ve Bekleme süresi için Seviye 3 olduğu tespit edilmiştir. Yani optimum parametreler 10 A akım, 100 µs vurum süresi ve 30 µs bekleme süresidir.

pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametrenin % 40,33 oran ile vurum süresinin (Ton) olduğu ve bu parametreden sonra en etkili parametrenin %38,81

Tablo 5. ANOVA tablosu

Kaynak	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Akım (A)	1	31,920	38,81%	31,920	31,920	25,62	0,000
Ton ( $\mu$ s)	2	33,170	<b>40,33%</b>	33,170	16,585	13,31	0,001
Toff ( $\mu$ s)	2	2,211	2,69%	2,211	1,106	0,89	0,437
Error	12	14,948	18,17%	14,948	1,246		
Total	17	82,250	100,00%				

#### D. Regresyon Analizi

Regresyon modeli, neden sonuç ilişkisinin olduğu tahmin edilen değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesini amaçlayan bir modeldir. Bir başka deyiş ile bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiye sahip

çeşitli değişkenlerin modellenmesi ve analizi için gerçekleştirilir [18, 19]. Yapılan deneysel çalışmada yüzey pürüzlülüğünün oluşmasında etkin faktörler arasındaki etkileşimden faydalanarak birinci derece lineer regresyon modeli Eşitlik 2’de gösterilmektedir[17].

$$Ra (\mu\text{m}) = 4,62 + 0,01656 \text{ Ton } (\mu\text{s}) - 0,0424 \text{ Toff } (\mu\text{s}) + 0,2663 \text{ Akım } (A) \quad (2)$$

### III. SONUÇLAR

Bu çalışmada; DIN 1.2344 malzemesi üzerinde dalma erozyon tezgahında iki farklı akım (10, 20A), üç farklı vurum süresi (100, 200, 300  $\mu$ s) ve üç farklı bekleme süresinde (10, 20, 30  $\mu$ s) talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemi sonrasında malzeme yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiş olup sonuçlar maddeler halinde yazılmıştır.

- Akım şiddetinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde de artış olmuştur.
- Her iki akım şiddetinde de, artan vurum süresi ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri vurum süresinin en küçük değeri olan 100  $\mu$ s’de elde edilmiştir.
- Düşük akımda (10 A) artan bekleme süresi ile yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmıştır.
- S/N yanıt tablosu incelendiğinde ortalama yüzey pürüzlülüğü için en ideal parametreler; Akım için Seviye 1 (10 A), vurum süresi (Ton) için Seviye 1 (100  $\mu$ s) ve bekleme süresi (Toff) için ise Seviye 3 (30  $\mu$ s) olarak belirlenmiştir.
- ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre % 40,33 oran ile vurum süresidir. Bu parametreden sonra en etkili parametre %38,81 oran ile akımdır. Bekleme süresi ise % 2,69 oran ile en düşük etkiye sahiptir.

### IV. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi BAP-2018.22.01.885 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

### V. KAYNAKLAR

1. E. Avlar, “Experimental investigation on technological feasibility study of spherical tool electrodes in edm rough machining: Machining of rectangular pockets,” Master Thesis, Selçuk Üniversitesi, Graduate School of Natural and Applied Sciences, KONYA, 2006
2. S. Kalpakjian, Manufacturing Engineering and Technology, Mass, Addison-Wesley. 1995.
3. J. Lee et.al. Modern Manufacturing. Mechanical Engineering Handbook, CRC pres. LLC, 1999.
4. İ. Coşkun and M. F. Işık, “Turning by Electro Discharge,” Journal of Polytechnic, vol. 11 (4), pp.285-291, 2008.
5. J. Doval-Gandoy, R. Pasandin and B. Fernandez, “Sharpened of saw blades by electrical discharge Machining,” Industrial Electronics Society, IECON 2005. 32nd Annual Conference Of IEEE, pp. 5, 2005.
6. O. Erdem, C. Coğun, L. Urtekin, H. B. Özerkan ve İ. Uslan, “Toz katkılı ve ısıtılmış dielektriğin elektro erozyon ile işlemede (EEİ) delik delme performansı üzerine etkisi,” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University vol.31(3) pp.531-544, 2016.
7. H. Kumar, “Development of mirror like surface characteristics using nano powder mixed electric discharge machining (NPMEDM),” International Journal Advanced Manufacturing Technol, vol. 76, pp. 105-113, 2015.
8. C. Coğun, B. Kocabaş ve A. Özgedik, “Elektro erozyon ile işlemede (EEİ) işparçası yüzey pürüzlülük profilinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi,” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Vol.19(1), pp. 97-106, 2004.

9. E. Nas, K. Argun and E. Zurnacı, "Investigation of effect on surface roughness of parameters at machining with graphite electrode in EDM of AISI 1.2738 Steel," *Journal of Science and Technology*, Vol.6, pp. 574-581, 2018.
10. J. A. McGeough, "Advanced methods of machining," Chapman and Hall Ltd., England, pp. 128-147, 1988.
11. M. Zeyveli ve H. Demir, "AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* vol. 25 (1-2), pp. 251 – 261, 2009.
12. R. Shivpuri and S., S. Lee, Report, ERCNSM-88-05, Ohio State University; 1988.
13. G. Taguchi, S. Chowdhury and Y. Wu, *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 2005.
14. F. Kara, "Optimization of surface roughness in finish milling of AISI P20+S plastic-mold steel," *Materials and Technology* vol.52 (2), pp. 195–200, 2018.
15. T. Kivak, "Optimization of surface roughness and flank wear using the taguchi method in milling of hadfield steel with PVD and CVD coated inserts," *Measurement* vol. 50, pp. 19–28, 2014.
16. S.L. Chen, B.H. Yan and F.Y. 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(1-3), pp. 107-111, 1999.
17. M. Günay and E. Yücel, "Application of taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron," *Measurement* vol.46 (2), pp. 913-919, 2013.
18. E. Nas and H. Gökkaya, "Experimental and statistical study on machinability of the composite materials with metal matrix Al/B4C/Graphite," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 48, pp. 5059-5067, 2017.
19. E. Nas and B. Öztürk, "Optimization of surface roughness via the Taguchi method and investigation of energy consumption when milling spheroidal graphite cast iron materials," *Mater Test.*, vol. 60(5), pp. 519-525.2018.