

HARDOX 400 ÇELİĞİNİN FARKLI İŞLEME PARAMETRELERİNDE ELEKTRO EROZYON TEZGÂHINDA BAKIR ELEKTROT İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL VE İSTATİKSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Engin NAS^{1*}, Fuat KARA² ve Nursel ALTAN ÖZBEK¹

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

²Düzce Üniversitesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Düzce / TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: enginnas@duzce.edu.tr

+Konuşmacı: enginnas@duzce.edu.tr

Sunum/Makale türü: Sözel / Tam metin

Özet – Hardox çelikler mükemmel aşınma direncine sahip, ultra yüksek mukavemetli, kayma ve darbe aşınmasına karşı dayanıklı martensitik çeliklerdir. Madencilik ve inşaat mühendisliği endüstrisinde ağır makineler ana uygulama alanıdır. Bu çalışmada, Hardox 400 çeliğinin farklı işleme parametrelerinde elektro erozyon tezgâhında bakır elektrot ile işlenebilirliği araştırılarak yüzey pürüzlülük değerleri için en etkili parametreler deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Deneylerde kullanılacak parametreler Taguchi L18 deneysel tasarım yöntemi kullanılarak iki farklı akım (10, 20 Amper), üç farklı vuruş süresi (100, 200, 300 µs) üç farklı bekleme süresi (10, 20, 30 µs) olarak belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar kendi aralarında analiz edilerek yüzey pürüzlülük değerleri için en ideal parametreler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Hardox 400, Elektro Erozyon İşleme, Taguchi analizi, Yüzey pürüzlülüğü

EXPERIMENTAL AND STATISTICAL INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF WITH COPPER ELECTRODE ON ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF HARDOX 400 STEEL IN DIFFERENT PROCESSING PARAMETERS

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

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

*Corresponding author: enginnas@duzce.edu.tr

+Speaker: enginnas@duzce.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Abstract

Abstract – Hardox steel has excellent corrosion resistance, ultra-high strength, sliding and impact wear resistant martensitic steels. Heavy machinery in the mining and civil engineering industry is the main application area. In this study, the machinability of the Hardox 400 steel by using copper electrode in different processing parameters of (Electrical Discharge Machining) EDM machine was investigated and the most effective parameters for surface roughness values were investigated experimentally and statistically. The parameters to be used in the experiments were determined as three different waiting-period (10, 20, 30 µs), three different pulse durations (100, 200, 300 µs) and two different discharge current (10, 20 Ampere) using the Taguchi L₁₈ experimental design method. The results obtained from the experiments were analyzed among each other and the optimum parameters were determined for the surface roughness values.

Keywords – Hardox 400, Electro Discharge Machining, Taguchi analyses, Surface roughness

I. Giriş

Çelik malzemeler, farklı amaçlarla çok farklı kullanım alanlarına sahip metalik malzemelerin başında gelmektedir. Bu nedenlerle farklı beklentilere sahip çeliklerin üretimi gerekmektedir. Bu malzemeler alaşım elementi ilavesi ve ısıl işlem yoluyla bu farklı beklentileri karşılayabilecek hale getirilebilmektedirler [1, 2]. Malzeme seçiminde en önemli parametrelerden birisi sertliktir ve sert malzemelerin aşınma dirençlerinin de daha yüksek olduğu bilinmektedir. Farklı uygulamalarda karşılaşılan aşınma problemlerine karşı bazı kuruluşlar tarafından aşınmaya dayanıklı yeni malzemeler geliştirilmektedir [3, 4]. Hardox serisi çelikler de bu tür malzemelerden biri olup, özellikle abrasif aşınma direnci oldukça yüksektir [5].

Hardox tipi çelikler, yüksek dayanımlı çeliklere göre aşınmaya karşı beş kat dirençli, iyi kaynaklanabilirlik, iyi bükülebilirlik, yüksek tokluk, üzerine gelen yükleri sönmüleyebilen ve iyi mekanik özelliklere sahip alaşım bir malzemedir. Kullanım alanlarına göre temperleme ihtiyacı olabilmektedir. Genel olarak kullanım alanları damperli kamyon kasaları, ön yükleme işi yapan ekskavator kepçe ağızları, kırıcılar ve yük taşıma işlemlerinin gerçekleştiği alanlarda kullanılır [6, 7, 8].

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 ısıl enerjiyle gerçekleştirildiğinden, termal işleme yöntemleri kategorisindedir. İşlenecek malzeme sertliğinin, tokluğunun ve mukavemetinin EDM de işleme performansına etkisi yoktur, buna karşın işlenecek malzemenin erime sıcaklığı ve ısıl iletkenliği etkilidir [9, 10, 11].

Kalavat ve Bhuyan [12] yaptıkları çalışmada Hardox 400 ve Hardox 500 malzemelerinin tel erozyonda kesme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Elektrot malzemesi olarak 0,25 mm çapında pirinç tel, kesme parametreleri olarak farklı akım (11, 12 A), vuruş süresi (115, 117, 120, 124, 125, 127, 130), bekleme süresi (48, 50, 52, 54, 55, 57, 60) ve tel ilerleme hızı olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda malzeme aşınma oranının, vuruş süresinin artması ile arttığı, bekleme süresinin ve kıvılcım aralığı voltajının artması ile azaldığı belirlenmiştir. Daha hızlı aşınmanın nedenini ise daha hızlı kesmeye yol açan tepe akımı ve vuruş süresi ile deşarj enerjisinin artması olarak yorumlamışlardır. Ayrıca, bekleme süresinin azalması ile boşalım akım sayısı daha fazla olduğu ve daha yüksek bir kesme oranının artması ile malzeme aşınma oranının arttığını belirlemişlerdir. Altuğ [13] yaptığı çalışmada, Hardox 400 çeliğinin

mikroyapı, mekanik ve iletkenlik özelliklerini farklı ısıl işlem uygulayarak değiştirmiş ve bu değişimlerin Tel Elektriksel Deşarj İşleme (WEDM) ile işlenebilirliği üzerindeki etkisini deneysel ve istatistiksel (L18 Taguchi deney tasarımı) olarak incelemiştir. Deney parametrelerini 6 farklı ısıl işlem görmüş malzeme, akım, vuruş süresi, tel ilerleme hızı ve tel gerginliği olarak belirlemiştir. Çıktı parametreleri olarak ise farklı ısıl işlem sonrasında WEDM ile işlenmesi sonrasında Kesme genişliği (kerf), Yüzey pürüzlülüğü (Ra), Malzeme kaldırma oranı (MRR) değerleri incelenmiştir. Kumar ve arkadaşları [14] yaptıkları çalışmada Hardox 400 ve Hardox 500 malzemelerinin WEDM tezgâhında işlenebilirliğini Taguchi yöntemi ile araştırmışlardır. Deneysel farklı tepe akımı, vuruş süresi, bekleme süresi ve tel ilerleme hızı kullanmışlar ve çıktı parametreleri üzerindeki en etkili parametreleri belirlemişlerdir.

Bu çalışmada aşınmaya karşı dirençli Hardox 400 malzemesinin dalma elektro erozyon tezgâhında farklı işleme (Ton, Toff, Akım) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi deneysel ve istatistiksel olarak araştırılmıştır.

II. MATERYAL METOT

A. Malzeme ve Elektrot

Elektro erozyon işleme yöntemi ile işlenebilirlik deneylerinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak olan malzeme aşınmaya karşı dirençli Hardox 400 malzemesidir. Deneysel kullanılacak malzeme 70X170X10 mm ölçülerinde plaka (Şekil 1) olarak temin edilmiştir. Hardox 400 malzemesinin fiziksel özellikleri Tablo 1’ de ve kimyasal bileşimi Tablo 2’ de gösterilmektedir.

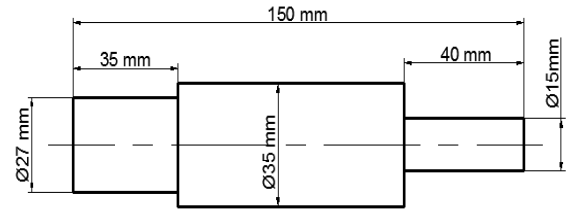


Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan Hardox 400 malzemesinin ölçüleri

Tablo 1. Hardox 400 malzemesinin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi

Kalınlık (mm)	Sertlik (HBW) min-max	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
3-130	370-430	1000	1250	10

Elektrot malzemesi olarak ise $8,9 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahip elektrolitik bakır kullanılmıştır. Deneylerin gerçekleştirilmesinde kullanılan elektrot malzemesinin ölçüleri Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan bakır elektrot ölçüleri.

Tablo 2. Hardox 400 malzemesinin kimyasal bileşimi (%)

Plaka kalınlığı (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
3-8	0,15	0,70	1,60	0,025	0,010	0,30	0,25	0,25	0,004
8-20	0,15	0,70	1,60	0,025	0,010	0,50	0,25	0,25	0,004

B. Elektro Erozyon Tezgahı

Deneyler, King marka ZNC – K-3200 dalma erozyon tezgâhı kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Her bir deneyin gerçekleştirilmesi sonrasında elektrot malzemesinin işlem görmüş yüzeyinin temizlenmesi için üniversal torna tezgâhı yardımı ile yüzey üzerinden talaş kaldırılmış ve bir sonraki deney için yüzeyin hazırlanması sağlanarak her deney sonrasında bu işlem tekrar edilmiştir.

C. Yüzey Pürüzlülük Cihazı

Yüzey pürüzlülük değerinin 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

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

Literatür araştırmalarından elde edilen veriler göz önünde bulundurularak deney parametreleri; farklı akım, darbe vurum süresi ve bekleme süreleri olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler Tam faktöriyel tasarım yöntemi ile oluşturulmuş ve deney dizilimleri ise Taguchi L18 dikey dizilim yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Faktörler ve seviyeleri Tablo 3' de, deney dizilimleri ise Tablo 4' de gösterilmektedir. Deneylerde, sıvı basıncı sabit ve talaş derinliği 1 mm'dir.

Tablo 3. Deney faktörleri ve seviyeleri

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



Şekil 3. Elektro erozyon işleme görüntüsü

Tablo 4. Deney sıralarına göre gerçekleştirilecek faktörler.

Deney No	Faktörler			Deney No	Faktörler		
	A	B	C		A	B	C
	Akım (A)	Vurum Süresi (µs)	Bekleme Süresi (µs)		Akım (A)	Vurum Süresi (µs)	Bekleme Süresi (µs)
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

III. BULGULAR

A. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü

Elektro erozyon işlemi yöntemi ile Hardox 400 malzeme üzerinden farklı işleme parametreleri ile

gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 5' de verilmiştir.

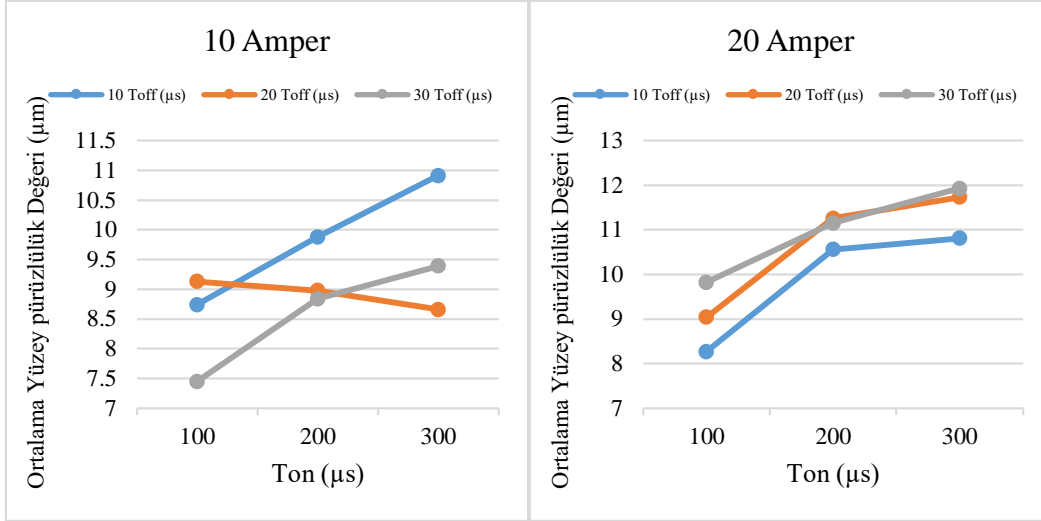
Tablo 5. Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Deney No	Akım (A)	Ton (µs)	Toff (µs)	Ra (µm)	Deney No	Akım (A)	Ton (µs)	Toff (µs)	Ra (µm)
1	10	100	10	8,74	10	20	100	10	8,27
2	10	100	20	9,13	11	20	100	20	9,04
3	10	100	30	7,45	12	20	100	30	9,82
4	10	200	10	9,88	13	20	200	10	10,56
5	10	200	20	8,98	14	20	200	20	11,26
6	10	200	30	8,84	15	20	200	30	11,15
7	10	300	10	10,91	16	20	300	10	10,81
8	10	300	20	8,66	17	20	300	20	11,73
9	10	300	30	9,39	18	20	300	30	11,93

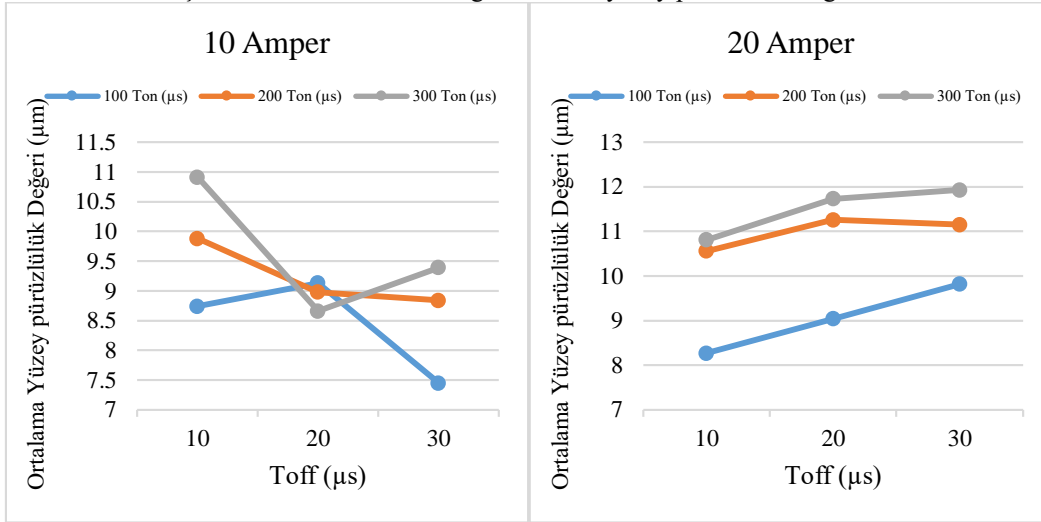
Tablo 5 incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin üç numaralı deneyde 10 A akım, 100 µs vurum süresi ve 30 µs bekleme süresinde olduğu, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ise 20 A akımda 300 µs vurum süresi ve 30 µs bekleme süresinde olduğu tespit edilmiştir. Akımın artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değeri de artmıştır. Bu durum, akımın artmasından dolayı elektro erozyon ile işleme esnasında meydana gelen yüksek enerji nedeniyle numunenin ısınarak bir kısmının buharlaşması, bir kısmının da işleme esnasında oluşan kıvılcıklar ve ısıdan dolayı numunenin yüzeyinde mikro çatlaklar, kraterler ve eriyen parçaların numune yüzeyine yapışmasıyla küçük kürecikler oluşturarak iş

parçasının yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemesi olduğu düşünülmektedir [15-19].

Her iki akımda da gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler; vurum sürelerine bağlı olarak Şekil 4' de, bekleme sürelerine bağlı olarak ise Şekil 5' de gösterilmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, 10 A akımda 100 ve 300 µs bekleme sürelerinde vurum sürelerinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu, 200 bekleme süresinde ise ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. 20 A akımda ise bütün bekleme sürelerinde vurum süresinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Vurum süresine bağlı ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.



Şekil 5. Bekleme süresine bağlı ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 5 incelendiğinde, 10 A 20 µs bekleme süresinde bütün vurum sürelerinde ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin bir birine yakın değerlerde olduğu, en düşük değer 100 µs vurum süresi ve 30 µs bekleme süresinde olduğu görülmektedir. 20 A akımda ise bütün vurma sürelerinde bekleme süresinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir.

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 [17, 20, 21]. 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 [22].

En küçük en iyi;

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

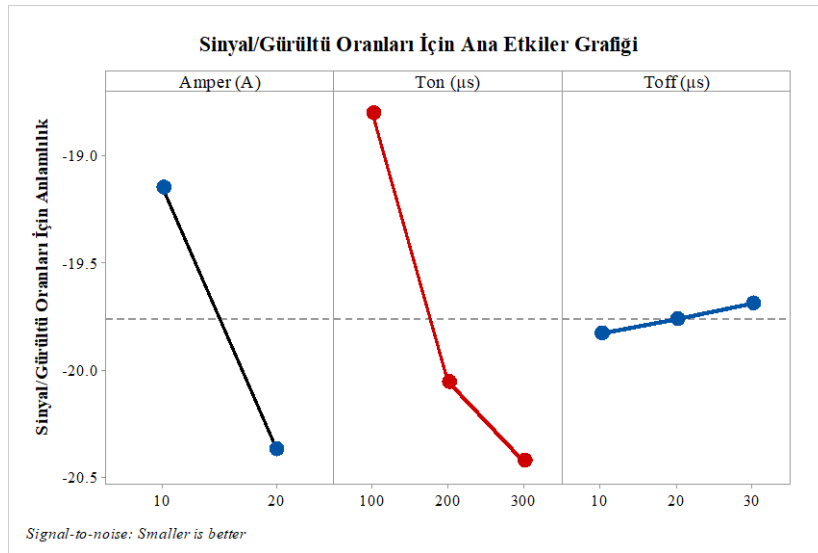
Kontrol faktörlerinin (Akım, Ton, Toff) yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Tablo 4’de verilmiştir. Kontrol faktörlerine ait optimum seviyelerin belirlenmesinde Taguchi yöntemiyle oluşturulan S/N yanıt tablosu kullanılmaktadır. Bu tablodaki en büyük S/N değerleri, o kontrol faktörüne ait ideal seviyeyi göstermektedir [23, 24]. Tablo 4 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametreler etki sırasına göre, Ton, Akım ve Toff olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Sinyal/Gürültü oranları ve anlamlılık yanıt tablosu

Sinyal Gürültü				Anlamlılık			
Level	Akım (A)	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Level	Akım (A)	Ton (μ s)	Toff (μ s)
1	-19,15	-18,80	-19,83	1	9,109	8,742	9,862
2	-20,37	-20,06	-19,76	2	10,508	10,112	9,800
3		-20,43	-19,69	3		10,572	9,763
Delta	1,23	1,63	0,14	Delta	1,399	1,830	0,098
Rank	2	1	3	Rank	2	1	3

Tablo 4’de görülen sinyal gürültü oranları grafik olarak Şekil 6’ da gösterilmektedir. Grafikte her bir faktör için dikeyde en üst noktada olan seviye yüzey pürüzlük değeri için en ideal parametredir. Yapılan deneysel çalışmada ortalama yüzey pürüzlülüğü için

en ideal parametreler; Akım için Seviye 1 (10 A), vurum süresi (Ton) için Seviye 1 (100 μ s) ve bekleme süresi (Toff) için ise Seviye 3 (30 μ s) olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için ana etkiler grafiği.

C. ANOVA

Deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etki seviyeleri ANOVA ile belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametrenin % 38,66 oran ile vurum süresi (Ton) olduğu

görülmektedir. Bu parametreden sonra en fazla etki eden parametre %31,31 oran ile akımdır. Bekleme süresi ise %0,11 oran ile yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisizdir.

Tablo 5. ANOVA sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Katkı oranı	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Akım (A)	1	8,8060	%31,31	8,8060	8,80601	12,56	0,004
Ton (μs)	2	10,8748	%38,66	10,8748	5,43740	7,75	0,007
Toff (μs)	2	0,0296	%0,11	0,0296	0,01482	0,02	0,979
Hata	12	8,4160	%29,92	8,4160	0,70133		
Toplam	17	28,1264	%100,00				

Model Özeti	
R-sq	%70,08

D. Regresyon Analizi

Regresyon modeli, neden sonuç ilişkisinin olduğu tahmin edilen değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesini amaçlayan bir modeldir [25, 26]. Bir

başka deyiş ile bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiye sahip çeşitli değişkenlerin modellenmesi ve analizi için

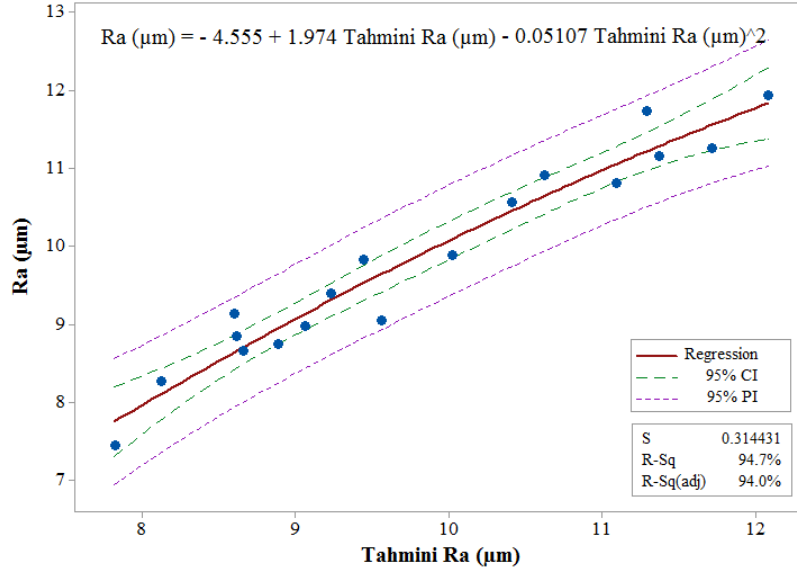
gerçekleştirilir [27-29]. Yapılan deneysel çalışmada yüzey pürüzlülüğünün oluşmasında etkin faktörler arasındaki etkileşimden faydalanarak birinci derece

$$Ra (\mu\text{m}) = 5,978 + 0,00915 \text{ Ton } (\mu\text{s}) - 0,00049 \text{ Toff } (\mu\text{s}) + 0,1399 \text{ Akım } (\text{A}) \quad (2)$$

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile istatistiksel olarak tahmini yüzey pürüzlülük değerlerinin sonuçları Şekil 7’ da gösterilmektedir.

lineer regresyon modeli Eşitlik 2’de gösterilmektedir.

Tahmini ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde R2 güven düzeyi % 94,73 olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Deneysel ve tahmini yüzey pürüzlülük değerlerinin analizi ile oluşturulan sonuçların grafik gösterimi. (CI-Güven aralığı, PI- Tahmini aralık).

III. SONUÇLAR

Bu çalışmada; aşınmaya karşı dirençli Hardox 400 malzemesinin dalma erozyon tezgâhında farklı işleme parametrelerinde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemi sonrasında malzeme yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri üç numaralı deneyde 10 amper akım, 100 μs vurum süresi ve 300 μs bekleme süresinde 7,45 μm , en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 20 amper akımda 300 μs vurum süresi ve 30 μs bekleme süresinde 11,93 μm olarak oluşmuştur.

- Akım şiddetinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır.

- Sinyal/Gürültü yanıt tablosu incelendiğinde ortalama yüzey pürüzlülüğü için en ideal parametreler Akım için Seviye 1 (10 A), Vurum süresi (Ton) için Seviye 1 (100 μs) ve bekleme süresi (Toff) için ise Seviye 3 (30 μs)’dür.

- ANOVA sonuçlarına göre; yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametre % 38,66 oran ile Vurum süresi (Ton)’dır. %31,31 oran ile Akım en fazla etki eden ikinci parametredir. Bekleme süresi (Toff) ise, yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisizdir.

IV. TEŞEKKÜR

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

V. KAYNAKLAR

1. M. Özdemir, H. Gökmeşe, H. Dilipak, V. Yılmaz and H. Gürün, “Effect on the micro-structural and the behavior against formability of wear resistant sheet material,” 2nd International Iron and Steel Symposium (IISS’15), pp. 740-746, 2015.
2. Y. Ozcatbas and F.Ercan, “The effects of heat treatment on the machinability of mild steels,” Journal of Materials Processing Technology vol.136, pp. 227–238, 2003.
3. M. A. Erden, S. Gündüz, U. Çalgülü and M. Boz, “Investigation of hardness and microstructure properties of non alloyed and hardox steel combined with submerged arc welding method,” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University vol.33 (1), pp. 221-226, 2018.
4. C. Köse and R. Kaçar, “Effect of welding speed on the mechanical properties and microstructure of laser welded AISI 316L Stainless Steel,” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University vol. 30(2), pp. 225-235, 2015.
5. R. Yılmaz, M. Gedikli and Z Barlas, “Hardox 400 çeliğinin sert dolgu kaynağında paso

- sayisinin sertliğe, aşınmaya ve mikroyapıya etkisi,” Teknoloji vol. 8(1), pp. 57-64, 2005.
6. D. K. Naik and K.P. Maity, “An optimization and experimental analysis of plasma arc cutting of Hardox-400 using Taguchi based desirability analysis,” *Materials Today: Proceedings* vol. 5, pp. 13157–13165, 2018.
 7. R. Yılmaz, M. Türkmen and F. Fıçıcı, “Hardoks 500 çeliğinin abrasif aşınma davranışının incelenmesi,” *International Iron and Steel Symposium, Karabük-Turkey*, pp. 522-530, 2012.
 8. H. Buglacki and M.Smajdor, “Mechanical properties of abrasion-resistant Hardox 400 Steel and their welded joints,” *Advances in Materials Science* vol. 4(2), pp. 64-71, 2003.
 9. 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
 10. S. Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Technology*, Mass, Addison-Wesley, 1995.
 11. J. Lee et.al. *Modern Manufacturing. Mechanical Engineering Handbook*, CRC pres. LLC, 1999.
 12. V. Kalavathi and R. K. Bhuyan, “Optimization of process parameters in wedm process on two workpieces of materials Hardox-400 and hardox-500,” *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)* vol. 8 (4), pp. 71-82, 2018.
 13. M. Altuğ “Investigation of Hardox 400 Steel exposed to heat treatment processes in WEDM”, *Journal of Polytechnic*, *(*) : *, (*). pp.1-9. 2018
 14. J. A. Kumar, V. S. L. Ravuri, M. V. K. Reddy, “Optimization of process parameters using wedm process”, *International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR)*, vol. 4 (5), pp. 44-48, 2017.
 15. Kumar, V. Kumar, and J. Kumar, "Investigation of microstructure and element migration for rough cut surface of pure titanium after WEDM," *IJMMP* vol. 8 (4-5), pp. 343-356, 2013.
 16. E. Nas, S.Akıncıoğlu, H. Gökkaya and 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.
 17. E. Nas, H. Gökkaya, S. Akıncıoğlu and G. Akıncıoğlu, “Surface roughness optimization of edm process of hastelloy C22 super alloy. *1st International Conference of Advanced Materials and Manufacturing Technologies*,” *Karabük*, 2017.
 18. İ Coşkun and M. F. Işık, “Turning by Electro Discharge” *Journal of Polytechnic*, vol. 11 (4), pp.285-291, 2008.
 19. B. Sen, N. Kiyawat, P.K. Singh, S. Mitra, J.H. Yrmd and P. Purkait, “Developments in electric power supply configurations for electrical discharge-machining (EDM),” *Proceedings of the IEEE*, vol.12, pp. 659-664, 2003.
 20. G. Taguchi, S. Chowdhury and Y. Wu, *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 2005.
 21. 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.
 22. 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.
 23. 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.
 24. E. Şirin, Ş. Şirin, Y. Turgut and 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*, vol. 3, pp. 132-144, 2015.
 25. M. Ay ve A. Turhan, “Tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 55-67, 2010.
 26. E. Nas, K. Argun and E. Zurnacı, “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” *Düzce University Journal of Science and Technology*, vol. 6, pp. 1082-1093, 2018.
 27. 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.
 28. M. H. Cetin, B. Özçelik, E. Kuram and E. Demirbaş, "Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method," *Journal of Cleaner Production*, vol. 19 (17), pp. 2049-2056, 2011.
 29. 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.