

AISI 316L Alaşımın Tel Erozyon Yöntemi ile İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzeysel Kalitesine Etkisi

Kutay AYDIN^{1*}, Hakan KAZAN²

^{1,2}Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya

¹<https://orcid.org/0000-0003-3614-4877>

²<https://orcid.org/0000-0001-7745-8974>

*Sorumlu yazar: kutay.aydin@amasya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.03.2022

Kabul tarihi: 02.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Tel erozyon yöntemi

WEDM

AISI 316L

ANOVA

Yüzeysel pürüzlülüğü

ÖZ

Endüstride kullanımı oldukça yaygınlaşan tel erozyonla işleme teknolojisi, özellikle geleneksel imalat yöntemleri ile üretilmesi zor parçaların imalatı ve düşük enerji tüketimi bakımından imalat sektöründe önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çelik alaşımın tel erozyon yöntemi ile işlenmesi sırasında farklı kesme parametrelerinin yüzeysel kalitesi üzerinde oluşturduğu etkilere odaklanılmıştır. Bununla birlikte üretim süresini uzatmadan yüzeysel kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, farklı kesme parametreleri ile tam faktöriyel tasarımı deneysel çalışmalar yapılmış, devamında varyans ve regresyon analizleri ile kesme parametrelerinin yüzeysel kalitesi üzerindeki davranışları araştırılmıştır. Sonuç olarak, ilerleme hızı ve bombardıman süresinin artması ve bekleme süresinin azalması ile yüzeysel pürüzlülük değerlerinde artış eğilimi görülmüştür. En düşük yüzeysel pürüzlülük değeri, 3,095 µm olarak 2 mm/dk ilerleme hızı, 16 µs bombardıman süresi ve 480 µs bekleme süresi parametrelerinde ölçülmüştür. İstatistiksel veri analizleri sonucunda, yüzeysel kalitesi açısından en etkin kesme parametresinin %83,96 oranla bombardıman süresi olduğu tespit edilmiştir.

The Impact of the Cutting Parameters on the Surface Quality of AISI 316L with WEDM

Research Article

Article History:

Received: 10.03.2022

Accepted: 02.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Wire cutting method

WEDM

AISI 316L

ANOVA

Surface roughness

ABSTRACT

Wire electrical discharge machining (WEDM) which is widely used in the industry has an important place in the manufacturing process. WEDM is a preferred manufacturing method, especially in terms of the production of parts that are difficult to produce with traditional manufacturing methods and low energy consumption. This focused on the effects of different cutting parameters on the surface quality of AISI 316L austenitic stainless steel alloy during wire erosion processing. In addition, it is aimed to increase the surface quality without extending the production period. In this context, experimental studies were carried out in full factorial design with different cutting parameters, and then the behavior of the cutting parameters on the surface quality was investigated with variance and regression analyses. As a result, an increasing trend was observed in the surface roughness values with the increase in the feed rate and pulse on time and the decrease in the pulse off time. The lowest surface roughness value was measured as 3.095 µm at 2 mm/min feed rate, 16 µs pulse on time, and 480 µs pulse off time parameters. As a result of statistical data analysis, it was determined that the most effective cutting parameter in terms of surface quality was the pulse time with a rate of 83.96%.

To Cite: Aydın K., Kazan H. AISI 316L Alaşımın Tel Erozyon Yöntemi ile İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzeysel Kalitesine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 575-584.

1. Giriş

Tel erozyonla işleme, yüksek mekanik ve ısıl özelliklerinden dolayı işlenmesi zor malzemeler olarak bilinen süper alaşımlar, metal ve seramik matrisli kompozitler gibi malzemelerin işlenmesinde sıklıkla başvurulan geleneksel olmayan imalat metotlarından biridir (Tosun ve ark., 2003; Marelli ve ark., 2020; Işık ve ark., 2021; Eksilmez ve ark., 2022). Tel erozyonla işleme yöntemi, yüksek sertlik ve tokluğa sahip malzemelerden karmaşık şekiller üretebilme kabiliyeti sebebiyle savunma, havacılık, otomotiv, kalıp ve kalıp yapım vb. endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chiang ve ark., 2007; Tilekar ve ark., 2014; Cebeci ve ark., 2020).

Tel erozyon yönteminin çalışma prensibi temel olarak iletken iş parçasından, servo motor yardımıyla pirinç, tungsten, bakır veya molibden tel kullanılarak temas yüzeyi oluşturulmadan talaş kaldırılması işlemidir. Burada, ısınma ve soğumanın tekrarlandığı karmaşık bir elektro termal süreç gerçekleşir. Telden (anode) iş parçasına (cathode) doğru akan elektrik arki ile iş parçası eriyip buharlaşır; talaş, yalıtkan sıvı vasıtası ile soğutulmuş iş parçasından uzaklaştırılır (Snoeys ve ark., 1986; Esmé ve ark., 2013; Özlü, 2021).

Endüstrinin sürekli artış gösteren seri ve kaliteli ürün talebinin karşılanabilmesi için tel erozyon kesme parametreleri hem endüstri hem de akademide önemli bir araştırma konusudur. Bu bağlamda çok sayıda çalışmada bombardıman süresi, bekleme süresi, tel ilerleme oranı, akım, voltaj vb. birçok giriş parametresinin talaş kaldırma oranı, yüzey pürüzlülüğü gibi çıktılara etkisi farklı malzemeler için deneysel ve istatistiksel olarak araştırılmıştır (Koklu, 2012; Li ve ark., 2013; Azam ve ark., 2016; Aydın ve ark., 2022). Bakır tel kullanılarak, bombardıman süresi ve tepe akımının AISI 316 alaşımından tel erozyon yöntemiyle talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Taguchi L9 istatistiksel yaklaşımıyla incelenmiştir (Ramachandra, 2017). Bu çalışma sonucuna göre hem yüzey pürüzlülüğü hem de talaş kaldırma oranı üzerinde tepe akımının etken faktör olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde AISI 316L üzerinde tungsten tel malzeme kullanılarak yapılan kesme işleminde voltaj ve akımın talaş kaldırma oranına etkileri sunulmuştur (Singh ve ark., 2017). Aynı malzeme üzerinde yapılan bir diğer çalışmada ise bombardıman zamanı, tepe akımı, servo voltajı ve tel gerilmesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucuna göre bombardıman zamanı diğer parametrelerle kıyaslanınca yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Prathipati ve ark., 2020). Başka bir çalışmanın konusu ise AISI 316L çeliğinin tel erozyonla kesme işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğüne bombardıman süresi, bekleme süresi ve voltaj parametrelerinin etkilerinin Taguchi yöntemiyle incelenmesi olmuştur (Babu ve ark., 2018). Bu araştırmadan elde edilen bulgular sonucunda bombardıman süresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buna ilaveten, lazer eritme ve döküm ile elde edilen AISI 316L çeliğinin yüzey pürüzlülükleri üzerindeki tepe akımı etkileri araştırmacılar tarafından karşılaştırılmıştır (Machno ve ark., 2022). AISI 316L çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma çıktılarının incelendiği güncel bir çalışmada ise, düşük hızlardaki tel ilerleme oranı, voltaj,

bombardıman süresi, bekleme süresi ve tepe akım değerleri Taguchi ve gri ilişki analiz yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır (Soota ve Rajput, 2022). Bu çalışma sonuçlarına göre işlem parametrelerinin yüzey pürüzlüğüne etkileri sırasıyla tel ilerleme oranı, tepe akımı, bombardıman süresi, voltaj ve bekleme süresi olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, araştırmacılar düşük ilerleme çalışma koşullarında bombardıman süre ve tepe akımındaki artışların yüzey kalitesini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

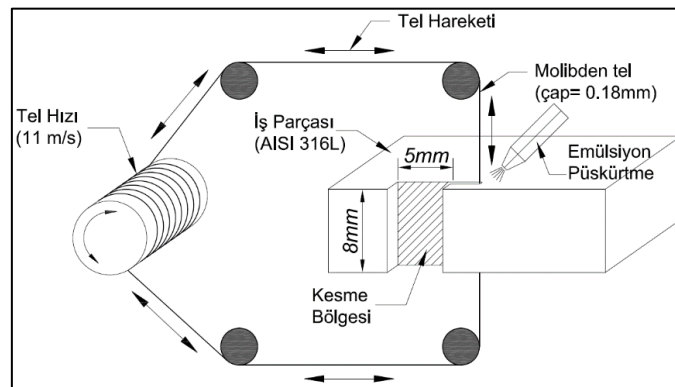
Literatürde, işlenmesi zor malzemeler ve daha spesifik olarak kimya, sağlık, nükleer, elektronik vb. birçok endüstride tercih edilen AISI 316L çeliğinin tel erozyonla işleme parametreleri detaylandırılmıştır. Ancak üretim süresinin kısaltılması ve yüzey kalitesinin artırılması için kritik rol oynayan yüksek ilerleme oranı ve bekleme sürelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmemiştir. Üretim süresinin kısaltılması ve yüzey pürüzlülüğünün azaltılması sürdürülebilir bir seri imalatın anahtar faktörlerindedir. Bu sebeple, bu çalışmada 3 farklı seviyedeki bombardıman süresi ve bekleme sürelerinin yine 3 farklı ilerleme oranında yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiş ve deney sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada iş parçası olarak AISI 316L östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Tablo 1’de iş parçası olarak kullanılan AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi verilmiştir. İş parçasına uygulanmış bir ısıl işlem bulunmamaktadır. Deneyler, Hightech DK-7732 CNC WEDM tezgahında yapılmıştır. Kesici tel olarak 0,18 mm Guangming Molibden alaşım tel, yalıtkan sıvı olarak saf su ve JR3A Ointment Coolant, 1/30-40 (kg/kg) (JR3A/pure water) oranında emülsiyonu kullanılmıştır. Molibden tel kullanan tezgahlarda tel bir tambura sarılı olarak devamlı kullanılır. Tel hızı 11 m/s, yalıtkan emülsiyon sirkülasyon basıncı ise 1 bar seviyesinde sabit olarak uygulanmıştır. Deneysel kurulum şematik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. AISI 316L alaşımın kimyasal bileşimi

% Ağırlık	Ana	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni
AISI 316L	Fe	0,30	1	2	0,03	0,05	16-18	2-3	10-14



Şekil 1. Deneysel süreç şeması

Deneyisel olarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile optimum kesme parametrelerinin anlaşılması mümkündür. Ancak, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki davranışlarının detaylı bir şekilde tespit edilebilmesi ve en etkin kesme parametresinin belirlenmesi için varyans ve regresyon analizleri yapılmıştır. İstatistiksel veri analizi, Minitab® R19 yazılımı ile yapılmıştır. Deneyler ve veri analizleri, tam faktöriyel deney düzeni ile gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri ve bağımsız kontrol faktörleri olarak ilerleme hızı, bombardıman süresi ve bekleme süresi seçilmiştir. Her faktör için üç seviye belirlenmiştir (Tablo 2). Veri analizleri ile kontrol faktörleri ve seviyelerinin çıktı (yüzey pürüzlülüğü) üzerindeki etkinlik seviyeleri tespit edilmiştir. Regresyon analizleri ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ampirik bir matematiksel model ile tanımlanmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo Surfest SJ-210 cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümler, ISO 4288 standardına göre yapılmış olup kesim uzunluğu (λ_c) 0,8 mm ve travers uzunluğu (L_t) 5,6 mm seçilmiştir.

Tablo 2. Kontrol faktörleri, seviyeler ve çıktılar

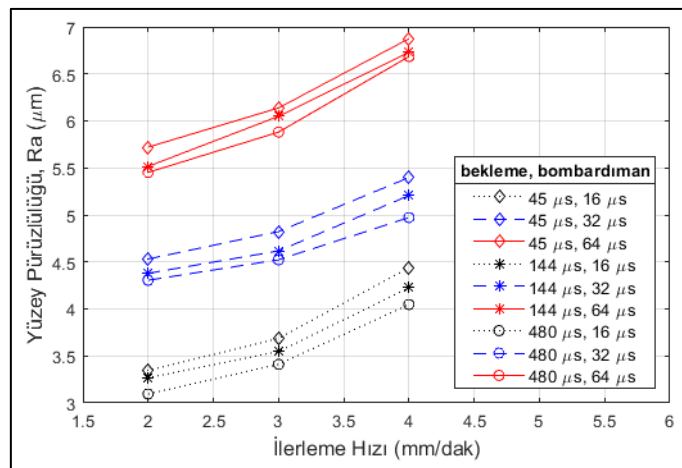
Faktörler	İlerleme Hızı (mm/dk)	Bombardıman Süresi (μs)	Bekleme Süresi (μs)
Seviye 1	2	16	45
Seviye 2	3	32	144
Seviye 3	4	64	480
Çıktılar	Yüzey Pürüzlülüğü (μ m)		

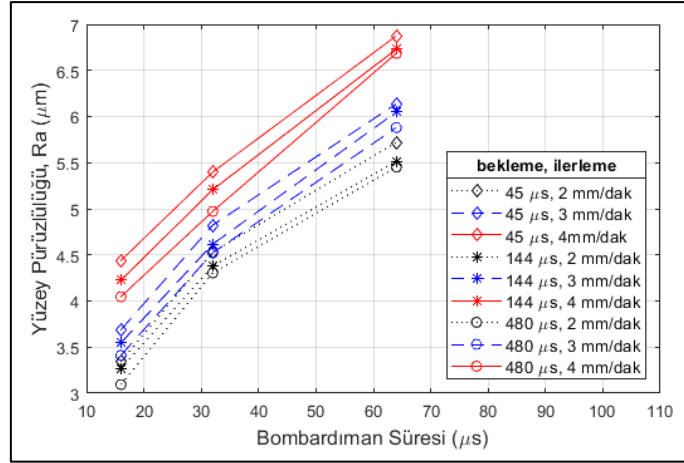
3. Bulgular ve Tartışma

Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimleri ilerleme hızı için Şekil 2’de, bombardıman süresi için Şekil 3’te ve bekleme süresi için ise Şekil 4’te gösterilmiştir. Tam faktöriyel deney düzeni ve elde edilen bulgular Tablo 3’te verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, ilerleme hızı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığı görülmektedir. İlerleme hızının artışı ile tel ve iş parçası arasındaki etkileşim süresi azalır. Bu durum sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür. Şekil 3 incelendiğinde, elektron bombardıman süresi artışının yüzey pürüzlülük değerlerinin belirgin bir şekilde artırdığı gözlenmektedir. Bombardıman süresi artışı ile telden iş parçasına doğru elektron akışı artar. Artan elektron bombardımanı sonucunda, iş parçası üzerinde oluşan krater büyüklüğü artar. Bu durum, yüzey kalitesinin azalmasına neden olmaktadır (Azam ve ark., 2016). Şekil 4’te bekleme süresi artışı ile yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Elektron bombardımanları arasındaki bekleme süresi boyunca yalıtkan sıvı, talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırır. Bekleme süresi artışı ile kesme bölgesinin kararlılığı artar ve talaşların uzaklaştırılması kolaylaşır. Bu durum yüzey pürüzlülüğünü azalmasına neden olur (Sharma ve ark., 2013; Soota ve Rajput, 2022). En düşük yüzey pürüzlülük değeri 2 mm/dk ilerleme hızı, 16 μ s bombardıman süresi ve 480 μ s bekleme süresi parametrelerinde elde edilmiştir.

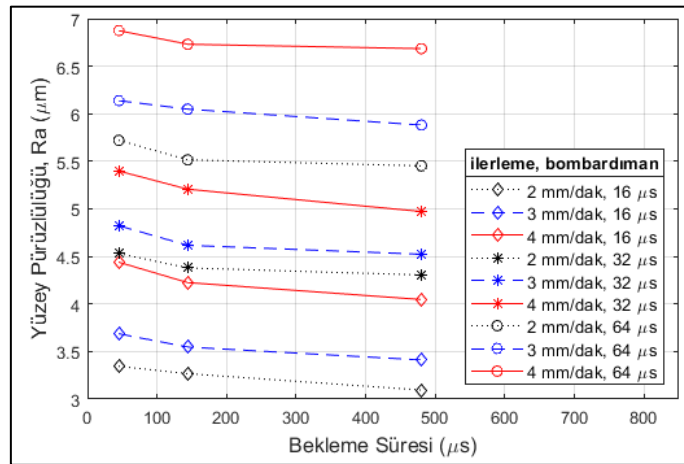
Tablo 3. Deney kurulumu ve sonuçlar

Deney no	Kesme parametreleri			Sonuçlar
	İlerleme Hızı (mm/min)	Bombardıman Süresi (μ s)	Bekleme Süresi (μ s)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μ m)
1	2	16	45	3,345
2	2	16	144	3,267
3	2	16	480	3,095
4	2	32	45	4,531
5	2	32	144	4,379
6	2	32	480	4,305
7	2	64	45	5,721
8	2	64	144	5,516
9	2	64	480	5,452
10	3	16	45	3,687
11	3	16	144	3,547
12	3	16	480	3,411
13	3	32	45	4,823
14	3	32	144	4,617
15	3	32	480	4,523
16	3	64	45	6,138
17	3	64	144	6,049
18	3	64	480	5,881
19	4	16	45	4,439
20	4	16	144	4,225
21	4	16	480	4,047
22	4	32	45	5,398
23	4	32	144	5,207
24	4	32	480	4,972
25	4	64	45	6,875
26	4	64	144	6,731
27	4	64	480	6,685

**Şekil 2.** İlerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimleri



Şekil 3. Bombardıman süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimleri



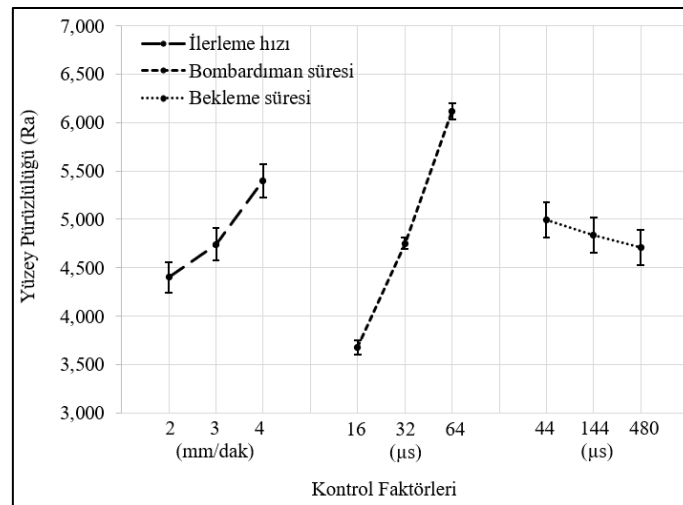
Şekil 4. Bekleme süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimleri

Ölçülen yüzey pürüzlülük bulgularının, bağımsız kontrol faktörleri olarak seçilen ilerleme hızı, bombardıman süresi ve bekleme süresi parametrelerine göre değiştiği kabulü ve %95 güven seviyesi ile varyans ve regresyon veri analizleri yapılmıştır. Varyans analizi sonuçları ve % etki oranları Tablo 4'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, tüm P değerlerinin %5 ($P < 0,05$) oranından küçük çıktığı görülmektedir. Buna ek olarak faktörlerin F değerleri ile kritik F değerleri de karşılaştırılmıştır. Tüm faktörler için 0,05'e eşit anlamlılık veya %95 güven seviyesindeki kritik F değeri ($F_{.05,2,26}$) 3,369'dur. Faktörlerin F değerleri, kritik F değerinden büyük çıkmıştır. Düşük P değerleri ve kritik F değeri karşılaştırması sonucunda kontrol faktörleri ve seviyelerin seçimleri istatistiksel açıdan anlamlı seviyededir (Bolar ve ark., 2018). Yüzey kalitesi açısından en etkili kesme parametresi, %83,96 oranla bombardıman süresi olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Varyans analizleri

Kaynak (Source)	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (Adj SS)	Kareler Ortalaması (Adj MS)	F değeri	P değeri	Etki (%) (Contribution)
Model	6	31,9674	5,3279	649,6	0,000	99,49
Lineer	6	31,9674	5,3279	649,6	0,000	99,49
İlerleme hızı, mm/dk	2	4,6172	2,3086	281,47	0,000	14,37
Bombardıman süresi, μ s	2	26,9775	13,4888	1644,6	0,000	83,96
Bekleme süresi, μ s	2	0,3727	0,1863	22,72	0,000	1,16
Hata	20	0,164	0,0082			0,51
Toplam	26	32,1315				100,00

Kontrol faktörleri değişiminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki yarattığı davranışın belirgin olarak görülebilmesi için etki grafiği çizilmiştir (Şekil 5). Grafikte, tüm faktör ve seviyeler için yüzey pürüzlülük değerleri ve standart hata barları verilmiştir. Etki grafiği incelendiğinde, ilerleme hızı ve bombardıman süresi artışı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı, bekleme süresi artışı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, deneysel bulgular ile uyum göstermektedir. Grafikte, standart hata değerleri incelendiğinde ise ilerleme hızı ve bombardıman süresi faktörlerinin bütün seviyeleri için bağımsız etki alanları elde edilmiştir. Bekleme süresinin tüm seviyelerinde hata değerlerinde çakışma mevcuttur. Bu durum deneysel bulgularda da görüldü gibi, bekleme süresi faktörünün yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin belirgin olmadığını göstermektedir. Tablo 5'te regresyon analizi sonucu elde edilen model özeti gösterilmiştir. Belirlilik katsayıları (R^2) incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü modelinin deneysel sonuçlar ile %99,34 oranında uyumlu olduğu görülmektedir. Regresyon analizi sonucu elde edilen ampirik matematiksel modeli Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

**Şekil 5.** Yüzey pürüzlülüğü açısından etki grafiği

Tablo 5. Model özeti

S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
0,090564	99,49%	99,34%	99,07%

Yüzey Pürüzlülüğü

$$\begin{aligned} &= 4,8469 - (0,4457 \times \text{İlerleme hızı}_1) - (0,1051 \times \text{İlerleme hızı}_2) \\ &+ (0,5508 \times \text{İlerleme hızı}_3) - (1,1732 \times \text{Bombardıman süresi}_1) \\ &- (0,0963 \times \text{Bombardıman süresi}_2) + (1,2696 \\ &\times \text{Bombardıman süresi}_3) + (0,1483 \times \text{Bekleme süresi}_1) - (0,0093 \\ &\times \text{Bekleme süresi}_2) - (0,1390 \times \text{Bekleme süresi}_3) \end{aligned} \quad (1)$$

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çelik alaşımın tel erozyon yöntemi ile işlenerek, farklı kesme parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri araştırılmıştır. Bu kapsam dahilinde, farklı ilerleme hızı, bombardıman süresi ve bekleme süre parametreleri seçilerek tam faktöriyel deneysel çalışma ve istatistiksel analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenmiştir:

- Yüzey pürüzlülüğü açısından; ilerleme hızı ve bombardıman süresi arttıkça ve bekleme süresi azaldıkça pürüzlülük değerlerinde artış gözlenmiştir.
- En düşük yüzey pürüzlülük değeri, 2 mm/dk ilerleme hızı, 16 µs bombardıman süresi ve 480 µs bekleme süresi parametrelerinde elde edilmiştir.
- Varyans analizleri açısından; yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkin kesme parametresinin %83,96 oranla bombardıman süresi olduğu anlaşılmıştır.
- Regresyon analizleri açısından; modelin belirlilik katsayısı %99,34 oranında elde edilmiştir. Bu oran ile kurulan istatistiksel modelin ve deneysel bulguların birbirleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, işlenmesi zor malzemeler grubunda bulunan AISI 316L alaşımın tel erozyon yöntemi ile işlenmesinde, üretim süresini uzatmadan yüzey kalitesinin artırmak amacıyla farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Aydın K., Uğur L., Güvercin S., Gül F. Investigation of the machining performance of ferritic ductile cast Iron in WEDM using response surface methodology. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* 2022; 40(1): 95-107.
- Azam M., Jahanzaib M., Abbasi JA., Wasim A. Modeling of cutting speed (CS) for HSLA steel in wire electrical discharge machining (WEDM) using moly wire. *Journal of the Chinese Institute of Engineers* 2016; 39(7): 802-808.
- Babu RR., Subhair S., Siva S. Optimization of process parameter in WEDM for Stainless Steel 316 by Using Taguchi Method. *International Journal of Engineering Research & Technology* 2018; 7(9): 188-192.
- Bolar G., Das A., Joshi SN. Measurement and analysis of cutting force and product surface quality during end-milling of thin-wall components. *Measurement* 2018; 121: 190-204.
- Cebeci İ., Özlü B., Demir H. AISI 310 kalite östenitik paslanmaz sac malzemenin lazerle kesilmesinde kesme parametrelerinin kesim kalitesine etkisinin incelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2020; 10(4): 2791-2799.
- Chiang KT., Chang FP., Tsai DC. Modeling and analysis of the rapidly resolidified layer of SG cast iron in the EDM process through the response surface methodology. *Journal of Materials Processing Technology* 2007; 182(1-3): 525-533.
- Eksilmez N., Özlü B., Demir H. Hardox 500 Çeliğinin lazerle işlenmesinde kesme geometrisine ve işleme parametrelerine bağlı kesim kalitesinin değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1): 301-314.
- Esme U., Kulekci MK., Akkurt A., Seker U., Ozkul I. Mathematical modeling of diameter and circularity deviation in wire electrical discharge machining of a hot work tool steel. *Materials Testing* 2013; 55(6): 472-477.
- Işık R., Özlü B., Demir H. St-37 Malzemesinin lazer ile kesme işleminde seçilen parametrelerin etkisinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi. *Fırat University Journal of Engineering* 2021; 33(1): 161-171.
- Koklu U. Optimization of kerf and surface roughness of AL 7 475-T 7 351 alloy machined with WEDM process using the grey-based Taguchi method. *Metalurgija/Metallurgy* 2012; 51(1): 47-50.
- Li L., Guo Y., Wei X., Li W. Surface integrity characteristics in wire-EDM of Inconel 718 at different discharge energy. *Procedia CirP* 2013; 6: 220-225.
- Machno M., Franczyk E., Bogucki R., Matras A., Zebala W. A comparative study on the structure and quality of SLM and Cast AISI 316L samples subjected to WEDM processing. *Materials* 2022; 15(3): 701.
- Marelli D., Singh S., Nagari S., Subbiah R. Optimisation of machining parameters of wire-cut EDM on super alloy materials–A review. *Materials Today: Proceedings* 2020; 26: 1021-1027.

- Özlü B. Experimental and statistical investigation of the effects of cutting parameters on kerf quality and surface roughness in laser cutting of Al 5083 alloy. *Surface Review and Letters* 2021; 28(10): 2150093.
- Prathipati R., Dora SP., Chanamala R. Wear behavior of wire electric discharge machined surface of 316L stainless steel. *SN Applied Sciences* 2020; 2(3): 1-8.
- Ramachandra R. Optimization of MRR and SR for AISI 316 Stainless steel material by using RSM Technique in EDM machining. *International Journal of Engineering, Science and Mathematics* 2017; 6(6): 314-321.
- Sharma N., Khanna R., Gupta R., Multi quality characteristics of WEDM process parameters with RSM. *Procedia Engineering* 2013; 64: 710-719.
- Singh G., Bhui AS., Sidhu SS. Influence of input parameters on MRR of AISI-316L using tungsten electrode machined by EDM. *Редакционная коллегия* 2017: 15.
- Snoeys R., Staelens F., Dekeyser W. Current trends in non-conventional material removal processes. *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 1986; 35(2): 467-480.
- Soota T., Rajput S. Optimization and measurement of kerf width and surface roughness of AISI 316L. *Forces in Mechanics* 2022; 6: 100071.
- Tilekar S., Das SS., Patowari P. Process parameter optimization of wire EDM on Aluminum and mild steel by using Taguchi method. *Procedia Materials Science* 2014; 5: 2577-2584.
- Tosun N., Cogun C., Inan A. The effect of cutting parameters on workpiece surface roughness in wire EDM. *Machining Science and Technology* 2003; 7(2): 209-219.