

# X10CrAlSi24 Sac Malzemesine Farklı Elektrotlar İle Delik Delme İşlemlerinde Performans Çıktılarının Modellenmesi

## Modelling of Performance Output in the Hole Drilling Process with Different Electrodes to X10CrAlSi24 sheet material

Volkan Yılmaz<sup>1\*</sup>, Ceren Y. Yılmaz<sup>2</sup>, Murat Sarıkaya<sup>3</sup>, Mustafa Özdemir<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Kazan MYO., Ankara, Türkiye, E-posta: [volkan@gazi.edu.tr](mailto:volkan@gazi.edu.tr)

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Kazan MYO., Ankara, Türkiye, E-posta: [cerenyaman@gazi.edu.tr](mailto:cerenyaman@gazi.edu.tr)

<sup>3</sup>Sinop Üniversitesi, MYO., Sinop, Türkiye, E-posta: [msarikaya@sinop.edu.tr](mailto:msarikaya@sinop.edu.tr)

<sup>4</sup>Bozok Üniversitesi, Makine ve Metal Tekn., Yozgat, Türkiye, E-posta: [mustafa.ozdemir@bozok.edu.tr](mailto:mustafa.ozdemir@bozok.edu.tr)

### Özet

Bu çalışmada elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemiyle X<sub>10</sub>CrAlSi<sub>24</sub> malzemesine 0.5 mm çapında ve 20 mm boyunda mikro derin delikler delinmiştir. Deneylerde üç farklı boşalım akımı, üç farklı elektrot devir sayısı ve iki farklı elektrot (pirinç ve bakır) kullanılmıştır. Deneyler neticesinde işleme parametrelerine ve elektrot cinsine bağlı olarak değişen iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma hızı (EAH) değerleri incelenmiştir. Daha sonra elde edilen deney sonuçları kullanılarak çoklu regresyon analizi yardımıyla matematiksel modeller elde edilmiştir. Analizler sonucunda, modellerin %1 den düşük hata oranları ile iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızı değerlerinin tahmin edilebileceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Mikro delik delme, elektro erozyon ile işleme, işlenebilirlik

### Abstract

In the study, X<sub>10</sub>CrAlSi<sub>24</sub> material with electro discharge machining method was drilled micro deep holes to diameter 0.5 mm and 20 mm length. In the experiments were used three different of discharge current and electrode rotational speed and two different electrode (brass and copper). Experiment result, depending on machining parameters and type of electrode are examined values of variable workpiece (material) removal rate (MRR) and electrode wear rate (EWR). After that, obtain experiment results using have been obtained mathematical models by aid of multiple regression analysis. Analyze of results, predictably increased values of workpiece (material) removal rate (MRR) and electrode wear rate with a low error rate of 1% of the models.

**Keywords:** Micro hole drilling, electro discharge machining, machinability

## 1. Giriş

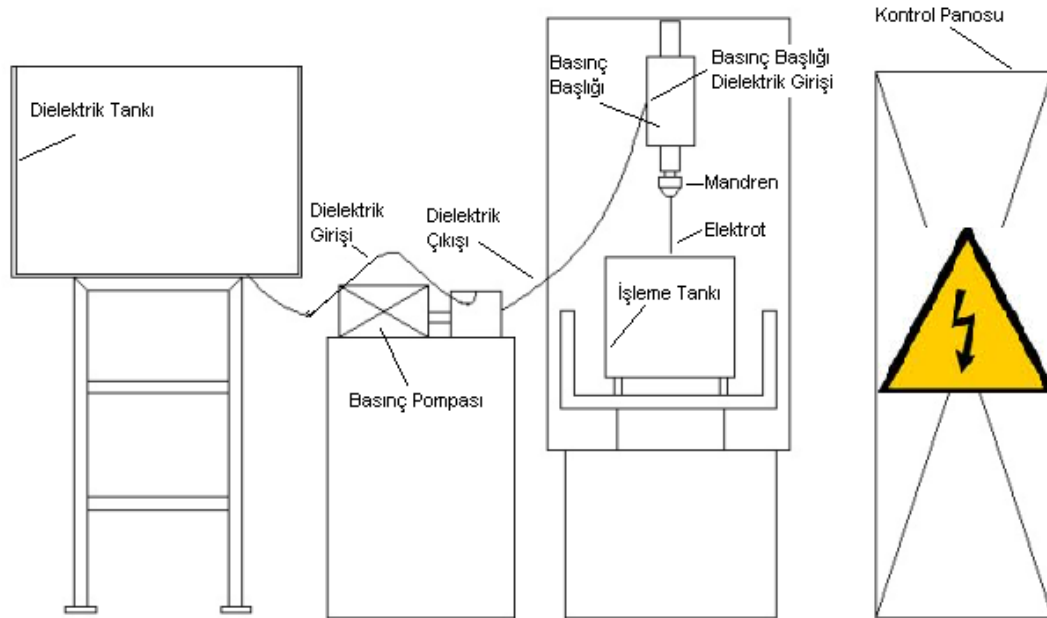
Küçük çapta ve hatta 1 mm çapın altındaki deliklerin delinmesi için çok sık kullanılmaya başlanılan yöntemlerden birisi olan elektro erozyon (EEİ) ile delik delme işlemi özellikle küçük çap ve yüksek boy için iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemde genellikle için boru tipi elektrotlar kullanılmaktadır ve bu sayede tam işleme bölgesine dielektrik sıvı iletilmektedir. Böylelikle işlem kesintisiz hale gelmekte ve kısa sürede delik delme işlemi tamamlanabilmektedir. Bu yöntemle ilgili olarak yapılan güncel çalışmalara bakıldığında çalışmaların genelde işleme performansı çıktılarının iyileştirilmesi, elde edilen delik profilinin kabul edilebilir koniklikte olması ve delik duvarlarının yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük olması üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir [1-3]. EEİ delik delme işlemlerinde temel performans çıktılarının birim zamanda kaldırılan/buharlaştırılan malzeme miktarını ifade eden iş parçası işleme hızı (İİH) ve birim zamanda elektrotta meydana gelen azalmayı ifade eden elektrot aşınma hızı (EAH) olduğu bilinmektedir. Araştırmalar yüksek İİH ve düşük EAH için

işleme parametrelerinin uygun değerlerde seçilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Uygun işleme parametrelerinin yanında EEİ operasyonları için gerekli olan dielektrik sıvı ve elektrot cinsi de temel performans çıktılarını etkilemektedir. Ayrıca EEİ sistemine ilave edilen ekipmanlar sayesinde temel performans çıktılarının iyileştiği belirtilmektedir [4-7].

Bu çalışmada farklı işleme parametreleri (boşalım akımı ve elektrot devir sayısı) ve farklı elektrotlar (pirinç ve bakır) ile  $X_{10}CrAlSi_{24}$  malzemesine 0.5 mm çapında ve 20 mm boyunda delikler delinmiş ve işleme parametreleri ile elektrot cinsinin temel performans çıktıları üzerindeki etkileri tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Deneyel çalışmalarda FURKAN marka “EEİ M50A” tip EEİ tezgâhı kullanılmıştır. Elektro erozyon tezgâhının hareketli kafa kısmına değişik devirlerde elektrot takımı döndürecek ve içinden istenilen basınç değerinde işleme sıvısını (dielektrik sıvı) işleme bölgesine püskürtecek bir başlık monte edilmiştir. Sistemin şematik gösterimi Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. EEİ delik delme deney düzeneği

Deney numunesi olarak kalıp sanayinde kullanılan ve klasik talaş kaldırma yöntemleri ile işlenmesi zor olan  $X_{10}CrAlSi_{24}$  malzeme kullanılmıştır. Deney numuneleri 5x20x80 mm ebatlarında hazırlanmıştır.  $X_{10}CrAlSi_{24}$  malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. 1  $X_{10}CrAlSi_{24}$  malzemesi kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
0.10	0.95	0.95	0.04	0.015	24.56	1.3

## 2.1. İşleme Parametreleri

Deneylerde kullanılan işleme parametreleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Boşalım Akımı (I <sub>d</sub> ) [A]	1.5, 3, 6
Vurum süresi (On Time) (t <sub>s</sub> ) [μs]	12
Vurum Aralığı (Off Time) [μs]	12
Takım Devir Sayısı (dev/dak)	100, 200, 400
Dielektrik sıvı püskürtme basıncı (bar)	20
Kutuplama	Elektrot (+) İş Parçası (-)
Dielektrik Sıvı	Saf Su
İş Parçası Malzemesi	X <sub>10</sub> CrAlSi <sub>24</sub>
Elektrot Malzemesi	Pirinç, bakır
İşleme Derinliği (mm)	20
Elektrot Çapı (mm)	0.5
Dielektrik Sıvı Uygulama Yönü	Takım içinden püskürtme

## 2.1. EEİ Temel Performans Çıktılarının (İİH ve EAH) Tespit Edilmesi

Deneyler sonrasında İİH ve EAH değerleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır.

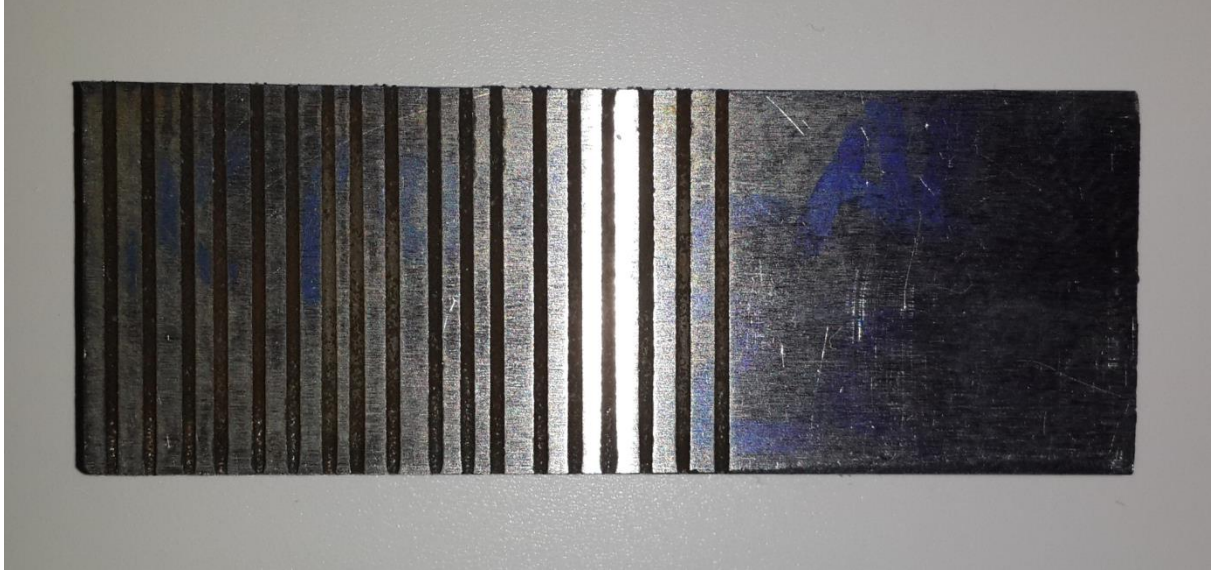
$$\text{İİH (mg/dak)} = \frac{\text{İş parçası toplam aşınma miktarı (mg)}}{\text{Toplam işleme süresi (dak)}}$$

$$\text{EAH (mg/dak)} = \frac{\text{Elektrot toplam aşınma miktarı (mg)}}{\text{Toplam işleme süresi (dak)}}$$

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1 Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada 3 farklı boşalım akımı (1.5, 3, 6 A), 3 farklı elektrot takım devir sayısı (100, 200, 400 dev/dak) ve iki farklı elektrot takım (pirinç, bakır) kullanılarak X<sub>10</sub>CrAlSi<sub>24</sub> malzemesine 0.5 mm çapında ve 20 mm boyunda mikro derin delikler delinmiştir. Tüm deneylerde dielektrik püskürtme basıncı (20 bar), vurum süresi (12 μs) ve vurum aralığı (12 μs) değerleri sabit alınmıştır. Deneyler sonrasında elde edilen delik görünümleri Resim 1’de deney sonuçları ise Çizelge 3’de sunulmuştur.

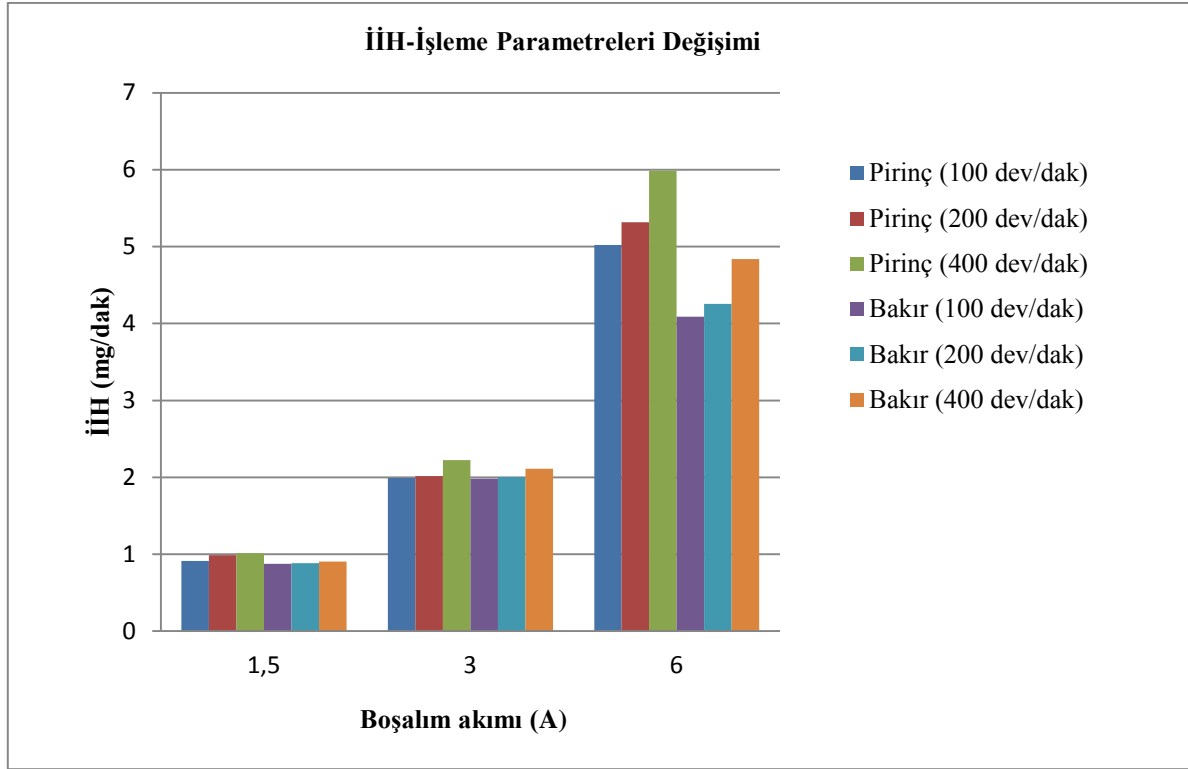


Resim 1. Elde edilen delik görüntüleri

Çizelge 3. Deney sonuçları

Deney No	Boşalım akımı (A)	Elektrot Devir Sayısı (dev/dak)	Pirinç elektrot deney sonuçları		Bakır elektrot deney sonuçları	
			İş parçası işleme hızı (İİH) (mg/dak)	Elektrot aşınma hızı (EAH) (mg/dak)	İş parçası işleme hızı (İİH) (mg/dak)	Elektrot aşınma hızı (EAH) (mg/dak)
1		100	0.913	0.065	0.875	0.072
2	1.5	200	0.986	0.071	0.882	0.079
3		400	1.011	0.076	0.906	0.085
4		100	1.992	0.098	1.983	0.105
5	3	200	2.014	0.103	2.002	0.117
6		400	2.225	0.110	2.113	0.13
7		100	5.020	0.382	4.09	0.441
8	6	200	5.317	0.417	4.255	0.489
9		400	5.985	0.488	4.84	0.51

Yapılan deneylerde işleme performansını ifade eden çıktılarından ilki iş parçası işleme hızı (İİH) olarak belirlenmiştir. İİH değeri elektro erozyon ile delik delme işlemlerinde dakikada ergitilen-buharlaştırılan malzeme miktarını ifade etmektedir ve bu değerin yüksek olması beklenmektedir. Elde edilen İİH değerlerinin işleme parametrelerine bağlı olarak değişimi Şekil 2’de sunulmuştur.



**Şekil 2.** İİH-İşleme parametreleri değişimi

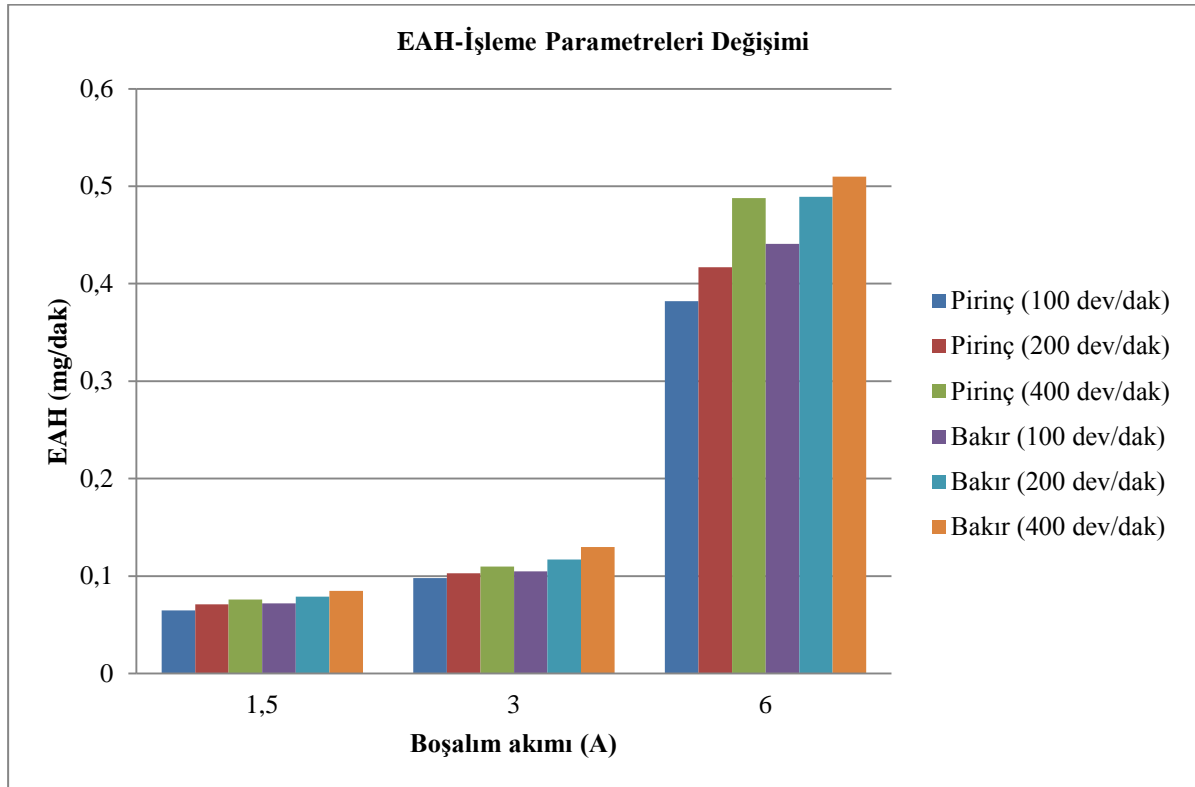
Şekil 2 incelendiğinde boşalım akımı ve elektrot devir sayısının artışıyla İİH değerlerinin de artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Boşalım akımının artması işparçasına etkiyen kıvılcım büyüklüğünü göstermektedir ve her bir kıvılcımının işparçasından daha büyük bir krateri buharlaştırması şeklinde açıklanmaktadır [1, 3, 5]. Dolayısıyla boşalım akımının artışı ile birim zamanda buharlaştırılan malzeme miktarı da artmaktadır. Bu durum İİH değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada pirinç elektrot ve 100 dev/dak devir sayısı deneylerinde boşalım akımının 1.5 A'dan 3 A'ya yükselmesi ile İİH değerleri %118 ve 3 A'dan 6 A'ya yükselmesi ile de %152 artmıştır. Bu durum 200 dev/dak deneylerinde %104 ve %164 olurken 400 dev/dak deneylerinde de %120 ve %169 olarak tespit edilmiştir. Aynı deney şartlarında bakır elektrottaki boşalım akımına bağlı olarak İİH'de meydana gelen artışlar sırasıyla %126 ve %106, %127 ve %113 ile %133 ve %129 olarak tespit edilmiştir.

Elektrot devir sayısının etkisi göz önüne alındığında ise pirinç elektrot 1.5 A deneylerinde elektrot devir sayısının 100 dev/dak'dan 200 dev/dak'a yükselmesi ile İİH değerleri de %8 ve 200 dev/dak'dan 400 dev/dak'a yükselmesi ile de %3 artmıştır. Bu artış 3 A deneylerinde %1 ve %10, 6 A deneylerinde ise %6 ve %13 olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla tüm deneylerde elektrot devir sayılarındaki artış İİH değerlerini arttırmış ve elektrot devir sayısının İİH üzerindeki etkisi ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada karşılaştırılan pirinç ve bakır elektrotun İİH performansları değerlendirildiğinde ise pirinç elektrotun bakır elektrotta göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bu durum pirinç elektrotun düşük ısı iletiminden kaynaklanmıştır [1, 8]. 100 dev/dak ile yapılan deneylerde 1.5 A boşalım akımında bakır elektrot İİH değeri pirinç elektrotta göre %4

düşmüştür. Bu düşüş 3 A deneylerinde %0.5, 6 A deneylerinde ise %21 olmuştur. Benzer düşüş 200 dev/dak deneylerinde sırasıyla %11, %1 ve %20, 400 dev/dak deneylerinde ise yine sırasıyla %10, %5 ve %19 olarak tespit edilmiştir. Bu durum  $X_{10}CrAlSi_{24}$  malzemesinin elektro erozyon ile delinmesi işlemlerinde yüksek İİH değerleri için pirinç elektrotun tercih sebebi olması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada delik delme performansının ifade eden çıktılarından diğeri ise elektrot aşınma hızı (EAH) olarak belirlenmiştir. EAH elektro erozyon ile delik delme işlemlerinde dakikada eriyen-buharlaştıran elektrot miktarını ifade etmektedir ve bu değer düşük olması özellikle sistemin ekonomikliği açısından son derece önemlidir. Elde edilen EAH değerleri grafiksel olarak Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. EAH-İşleme parametreleri değişimi

Şekil 2 incelendiğinde boşalım akımı ve elektrot devir sayısının artmasına bağlı olarak EAH değerlerinin de arttığı görülmektedir. Boşalım akımının artışı ile daha şiddetli hale gelen kıvılcımlar iş parçasından düşük kıvılcım şiddetlerine nazaran daha fazla bir alanı eritip buharlaştırmaktadır fakat bu esnada daha şiddetli hale gelen kıvılcımlar elektrottan da daha büyük bir alanı koparmaktadır [1, 4-6]. Bu durumda boşalım akımı artışının olumsuz bir sonucu görülmektedir. Özellikle boşalım akımının 3 A’dan 6 A’ya çıkmasıyla EAH değerlerinde çok hızlı bir artış görülmektedir. Bu artış deneylerde kullanılan elektrotların çok ince yapıda ve içi boş olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü içi boş ve ince yapıda olan elektrotlar çok kısa bir sürede ısınarak erimiş ve buharlaşmıştır. Yapılan çalışmada pirinç elektrot ve 100 dev/dak devir sayısı deneylerinde boşalım akımının 1.5 A’dan 3 A’ya yükselmesi ile EAH değerleri %51 ve 3 A’dan 6 A’ya yükselmesi ile de %290 artmıştır. Bu durum 200 dev/dak deneylerinde %45 ve %305 olurken 400 dev/dak deneylerinde de %45 ve

%344 olarak tespit edilmiştir. Aynı deney şartlarında bakır elektrottaki boşalım akımına bağlı olarak EAH'de meydana gelen artışlar sırasıyla %46 ve %320, %48 ve %318 ile %53 ve %292 olarak tespit edilmiştir.

Elektrot devir sayısına bağlı olarak EAH'de meydana gelen artışlar değerlendirildiğinde ise pirinç elektrot 1.5 A deneylerinde elektrot devir sayısının 100 dev/dak'dan 200 dev/dak'a yükselmesi ile EAH değerleri de %9 ve 200 dev/dak'dan 400 dev/dak'a yükselmesi ile de %7 artmıştır. Bu artış 3 A deneylerinde %5 ve %7, 6 A deneylerinde ise %9 ve %17 olarak tespit edilmiştir. Bu artışlar bakır elektrot deneylerinde ise aynı işleme şartlarında ve sırasıyla %10 ve %8, %11 ve %11 ile %11 ve %4 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar tüm deneylerde elektrot devir sayılarındaki artışın EAH değerlerini de arttırdığını göstermiştir.

Deneylerde kullanılan pirinç ve bakır elektrotun EAH performansları değerlendirildiğinde ise pirinç elektrot bakır elektrotta göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu durumun nedeni bakır elektrotun yüksek elektriksel iletkenliği olarak yorumlanmıştır. Yüksek elektriksel iletkenlik özelliği sayesinde birim zamanda daha fazla akımı ileten bakır elektrotun EAH değerleri de artmıştır. Ayrıca bir diğer nedenin ise işleme esnasında kopan parçacıkların pirinç elektrot yüzeyine daha fazla yapışması ve elektrot aşınmasını geciktirmesi ve hatta azaltması olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmada 100 dev/dak deneylerinde 1.5 A boşalım akımında bakır elektrot EAH değeri pirinç elektrotta göre %11 artmıştır. Bu artış 3 A deneylerinde %7, 6 A deneylerinde ise %15 olmuştur. Benzer artış 200 dev/dak deneylerinde sırasıyla %11, %14 ve %17, 400 dev/dak deneylerinde ise yine sırasıyla %12, %18 ve %5 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar  $X_{10}CrAlSi_{24}$  malzemesinin elektro erozyon ile delinmesinde düşük EAH değerleri için pirinç elektrotun daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu durum literatürdeki bazı çalışmalar ile de benzerlik göstermiştir [8, 9].

### 3.2. Regresyon Analizi ile Modelleme

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Bir tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır. Bağımlı değişken (Y) ile bir bağımsız değişken ( $X_1$ ) arasındaki bağıntıyı inceleyen yöntem basit regresyon, bir bağımlı değişken (Y) ile iki ya da daha fazla bağımsız değişken ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ ) arasındaki bağıntıları modeller aracılığı ile inceleyen yöntem ise çoklu regresyon adı verilmektedir [10, 11]. Üç farklı çoklu regresyon analizi vardır. Bunlar; birinci dereceden lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve logaritmik regresyon modelidir. Bu çalışmada, farklı deney parametrelerinde tahminsel sonuçlar elde etmek için genel yapısı Eş. 1'de verilen ikinci dereceden çoklu regresyon analiziyle matematiksel modeller elde edilmiştir.

$$T = k_0 + k_1x + k_2y + k_3z + k_4x^2 + k_5y^2 + k_6z^2 + k_7xy + k_8xz + k_9yz \quad (1)$$

Bu çalışmada pirinç elektrot için Çizelge 4 ve bakır elektrot için Çizelge 5'de ikinci dereceden çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen model sabiti ve değişkenlerin katsayılar tablosu verilmiştir. Analiz sonucu İİH için geliştirilen modeller Eş. 2 ve Eş. 4'de, EAH hızı için geliştirilen modeller Eş. 3 ve Eş. 5'de verilmiştir. Analiz sonucunda geliştirilen istatistiksel modellerin belirlilik katsayısı sırasıyla %99.65, %98.1, %99.2 ve %99.07 olarak

bulunmuştur. Bu değerlerin %100' e yakın olması modellerin uygunluğunu ve farklı parametrelerde deney sonuçları elde etmek için kullanılabileceğini göstermiştir. Başka bir ifadeyle geliştirilen modellerde hata (artık) miktarının az olduğu tespit edilmiştir. Hata miktarının az oluşunun sebebi geliştirilen modellerin belirlilik katsayısının yüksek olmasıdır. Belirtme katsayısı R<sup>2</sup>'nin 1'e yakın olması geliştirilen modelin güçlü olduğunu ve hataların az olduğunu göstermektedir. Ayrıca, %95 güven aralığı seviyesinde Çizelgelerde verilen p değeri 0,05 den büyük parametrelerin modellerde etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur.

**Çizelge 4.** İİH modeli için katsayılar

Faktör	Katsayı	SE Katsayı	T	P
<b>Pirinç elektrot için katsayılar</b>				
Sabit (C)	0.492139	0.165762	2.96894	0.049
A	0.197405	0.072421	2.72578	0.072
r	-0.001254	0.001086	-1.15429	0.332
A <sup>2</sup>	0.085160	0.008977	9.48695	0.002
r <sup>2</sup>	0.000001	0.000002	0.33008	0.763
A*r	0.000674	0.000080	8.41608	0.004
<b>Bakır elektrot için katsayılar</b>				
Sabit (C)	0.082167	0.162149	0.50673	0.647
A	0.606667	0.070843	8.56356	0.003
r	-0.001915	0.001063	-1.80211	0.169
A <sup>2</sup>	0.005358	0.008781	0.61019	0.585
r <sup>2</sup>	0.000002	0.000002	0.95043	0.412
A*r	0.000568	0.000078	7.24683	0.005

**Çizelge 4.** EAH modeli için katsayılar

Faktör	Katsayı	SE Katsayı	T	P
<b>Pirinç elektrot için katsayılar</b>				
Sabit (C)	0.150111	0.0302222	4.9669	0.016
A	-0.082095	0.0132040	-6.2174	0.008
r	-0.000096	0.0001981	-0.4869	0.660
A <sup>2</sup>	0.019210	0.0016366	11.7374	0.001
r <sup>2</sup>	-0.000000	0.0000004	-0.1358	0.901
A*r	0.000076	0.0000146	5.1773	0.014
<b>Bakır elektrot için katsayılar</b>				
Sabit (C)	0.114667	0.0249529	4.5953	0.019
A	-0.078381	0.0109019	-7.1897	0.006
r	0.000244	0.0001635	1.4938	0.232
A <sup>2</sup>	0.021136	0.0013513	15.6413	0.001
r <sup>2</sup>	-0.000001	0.0000003	-1.7176	0.184
A*r	0.000039	0.0000121	3.2142	0.049

$$\text{İİH-pirinc} = 0.492139 + 0.197405 A - 0.00125393 r + 0.0851605 A^2 +$$

(2)

$$6.66667e-007 r^2 + 0.000674456 A*r$$

$$R\text{-Sq(pred)} = 99.65\%$$

$$\text{EAH-pirinc} = 0.150111 - 0.0820952 A - 9.64286e-005 r + 0.0192099 A^2 - 5e-008$$

(3)

$$r^2 + 7.56463e-005 A*r$$

$$R\text{-Sq(pred)} = 98.10\%$$



$$\dot{I}H\text{-bakır} = 0.0821667 + 0.606667 A - 0.001915 r + 0.00535802 A * A +$$

(4)

$$1.87778e-006 r * r + 0.000568095 A * r$$

$$R\text{-Sq(pred)} = 99.20\%$$

$$EAH\text{-bakır} = 0.114667 - 0.078381 A + 0.000244286 r + 0.0211358 A * A -$$

(5)

$$5.22222e-007 r * r + 3.87755e-005 A * r$$

$$R\text{-Sq(pred)} = 99.07\%$$

#### 4. Sonuç

X<sub>10</sub>CrAlSi<sub>24</sub> sac malzemesine 20 mm boyunda ve 0.5 mm çapında deliklerin delindiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

Çalışmada uygulanan boşalım akımı ve elektrot devir sayısı değerlerinin yükselmesi ile İH ve EAH değerleri de artmıştır. Pirinç elektrot ile yapılan deneylerde bakır elektrota göre daha yüksek İH ve daha düşük EAH değerleri elde edilmiştir. Yapılan çoklu regresyon analizi sayesinde elde edilen matematiksel modellerin belirtme katsayısının 1'e yakın olması geliştirilen modelin güçlü ve az hatalı olduğunu göstermiştir.

#### Kaynaklar

1. Yılmaz, V., "Experimental Investigation Of Drillability Of Micro Holes Using Electro Discharge Machining"., Ph. D. Thesis, *Gazi University Graduate School Of Naturel and Applied Sciences*, Ankara (2013).
2. Yılmaz, V., Dilipak, H., "Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ) Yöntemi İle Mikro Delik Delme Sistemi Tasarımı", *4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 7-9 Kasım, Aydın (2013).
3. Yılmaz, V., Dilipak, H., Özdemir, M., Uzun G., "Examining The Surface Roughness While Drilling Micro-Size Deep Holes With Electro Discharge Technique On Hadfield Steel"., *2. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering*, 18-20 June, Karabük (2014).
4. D.T. Pham, S.S. Dimov, S. Bigot, A. Ivanov, K. Popov., "Micro-EDM recent developments and research issues", *Journal of Materials Processing Technology*, 149 (2004) 50–57
5. Bamberg, E., Heamawatanachai, S., "Orbital electrode actuation to improve efficiency of drilling micro-holes by micro-EDM", *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1826–1834 (2009).
6. S. Bigot, J. Valentin, O. Blatnik, M. Junkar, "Micro EDM parameters optimisation", *Multi-Material Micro Manufacture*, 195-198, (2006).

7. Endo, T., Tsujimoto, T., Mitsui, K., “Study of vibration-assisted micro-EDM-The effect of vibration on machining time and stability of discharge”, *Precision Engineering*, 32, 269–277 (2008).
8. Yılmaz, V., Özdemir, M., Sarıkaya, M., Yaman Yılmaz, C., Dilipak, H. "Farklı Elektrotlar İle Mikro Delik Delmede İşleme Performansının İncelenmesi". **International Iron and Steel Symposium**, 1-3 Nisan, Karabük (2015).
9. Yılmaz, O., Bozdana, A, T., Okka, M. A., Filiz, İ, H., “Uzay ve havacılık malzemelerinde elektro erozyon ile hızlı delik delme performansının deneysel incelenmesi”, *Mühendis ve Makine*, 51 (608): 31-37 (2010).
10. Biçkici, B. (2007). Çok Değişkenli Varyans Analizi Ve Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinin Uygulamalı Olarak Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
11. Sarıkaya, M. Investigation of the Machinability of Cobalt-Based Haynes 25 Super Alloy, Ph. D. Thesis., Gazi University Graduate School of Naturel and Applied Sciences, Ankara (2014).