

Ramor 550 Çeliğinin Elektro Erozyon İşleme Metodu ile İşlenmesinde Proses Parametrelerinin Delik Çapına Etkisi

Engin NAS^{1*}

¹Düzce Üniversitesi, Dr. Engin PAK Cumayeri Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 81000, Cumayeri/Düzce

¹<https://orcid.org/0000-0002-4828-9240>

*Sorumlu yazar: enginnas@duzce.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.02.2022

Kabul tarihi:01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Elektro erozyon işleme

Yüzey yanıt yöntemi

Yüzey pürüzlülüğü

Delik çapı

Zırh çeliği

ÖZ

Bu çalışmada, Ramor 550 zırh çeliğinin silindirik bakır elektrot kullanılarak elektro erozyon işleme (EEİ) ile talaş kaldırılması sonrasında işleme parametrelerinin malzeme yüzeyinde oluşan delik çapına etkisi araştırılmıştır. İşleme parametreleri olarak vurum süresi, bekleme süresi, akım şiddeti ve sabit talaş derinliği seçilmiştir. Sonuçların istatistiksel olarak analizini gerçekleştirmek için deney tasarımı Merkezi Kompozit Deney tasarımı ile 18 deney olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, elektrot çapına en yakın delik çapının 3 amper, 225 µs vurum süresi ve 23 µs bekleme süresinde, en büyük delik çapının ise 9 amper, 225 µs vurum süresi ve 23 µs bekleme süresinde gerçekleştiği belirlenmiştir. İstatistiksel olarak Anova sonuçları incelendiğinde ise delik çapı için geliştirilen ikinci dereceden tahminsel denklemlerde; Linear modelde akım şiddetinin ($0,00004 < 0,05$), vurum süresine ait etkinin ($0,0003122 < 0,05$) anlamlı olduğu belirlenmiş, delik çapı için hata payı %9,13 olarak hesaplanmıştır.

The Effect of Process Parameters on Hole Diameter in Electro Erosion Machining of Ramor 550 Steel

Research Article

Article History:

Received: 16.02.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Electro discharge machining response

Surface methodology surface roughness

Hole diameters

Armour

ABSTRACT

In this study, the effect of machining parameters on the hole diameter formed on the material surface after chip removal by EDM process using cylindrical copper electrode of Ramor 550 armor steel was investigated. Five levels for discharge current, five levels for pulse offtime and five levels for pulse ontime duration were used as machining parameters. In order to perform the statistical analysis of the results, the experimental design was designed as 18 experiments with the Central Composite Experiment design. It was determined that the hole diameter closest to the electrode diameter occurred at 3 amps, 225 µs pulse time duration and 23 µs pulse offtime duration, while the largest hole diameter was occurred at 9 amps, 225 µs pulse time duration and 23 µs pulse offtime duration. When the Anova results are analyzed statistically, in the quadratic estimation equations developed for the hole diameter; In the linear model, it was determined that the discharge current amount ($0.00004 < 0.05$) and the effect of the pulse duration ($0.0003122 < 0.05$) were significant, and the margin of error for the hole diameter was calculated as 9.13%.

To Cite: Nas E. Ramor 550 Çeliğinin Elektro Erozyon İşleme Metodu ile İşlenmesinde Proses Parametrelerinin Delik Çapına Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 1514-1526.

1. Giriş

Zırh çelikleri, farklı özellik gösteren mermilerin çoklu darbesine karşı göstermiş olduğu dirençten dolayı (çatlama, parçacık kopması ve kırılma direnci gösterme) ülkelerin savunmasında kullanılan zırhlı araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, çelik ne kadar sert olursa balistik performans o kadar iyidir. Bu nedenle tipik olarak penetrasyon direnci ve ağırlık azalmasının kilit önem taşıdığı durumlarda yüksek sertlikte çelikler, askeri uygulamalarda şok direncinin önemli olduğu yerlerde ise düşük sertlikte çelikler kullanılmaktadır. Zırh çelikleri, içerisinde bulundurduğu karbon oranının düşük olmasından dolayı düşük karbonlu alaşımlı çelik sınıfına girmektedir. İçerisinde barındırdığı alaşım elementleri krom, nikel, molibden ve mangandır (Ade, 1991; Soykan, 2013; Magudeeswaran ve ark., 2018). Kimyasal bileşimi esas alınarak döküm yöntemiyle ingotlar haline getirilip, sonrasında haddeleme şekli olarak sıcak şekilde haddeleme işlemi gerçekleştirilerek istenilen ebat ve kalınlıkta plaka halinde üretilmektedir (Karagöz ve ark., 2008). Üretim sonrasında savunmada kullanılacak zırh çeliklerinin istenilen mukavemet, sertlik ve tokluk değerlerine ulaştırılması için östenitleştirme, su verme ve temperleme işlemi gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Manganello ve Wilson, 1993; Sedat ve Korkut, 2012). Kullanıldığı alan itibari ile zırh çeliğinde istenilen özelliklerden en önemli olanı delici ve patlayıcı unsurlara karşı dirençli olmasıdır. Zırh çeliklerinin bu unsurlara karşı dirençli olabilmesi için mukavemet ve sertlik değerinin yüksek olması istenmektedir (Zengin, 2010; Taşkaya, ve ark., 2018). Zırh çeliklerinin talaşlı imalat sektöründe işlenebilirliğinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan kesici takımların aşınması ve işleme esnasında kesici uçların kırılması işleme maliyetini arttırmakta ve işletmeye maddi olarak büyük bir yük getirmektedir. Savunma sanayi alanında kullanılan malzemelerin işleme maliyetini düşürmek için işletmeler geleneksel imalat yöntemlerinin aksine elektro erozyon işleme, tel erozyon işleme ve su jeti kesme yöntemi gibi ileri imalat yöntemlerini tercih etmektedirler.

Elektro erozyon işleme (EEİ) yöntemi otomobil, havacılık ve savunma endüstrisinde kullanılan önemli bir işleme prosesidir. EEİ yöntemi, mekanik yöntemler ile malzeme kaldırma işleminin aksine enerji olarak elektrik enerjisi kullanılarak malzeme üzerinden talaş kaldırılma işlemini ısı enerjisiyle gerçekleştirdiğinden dolayı termal işleme yöntemleri kategorisine girmektedir (Avlar, 2006). Bu yöntemde, işleme sırasında iş parçası ve takım birbiriyle temas etmez. EEİ karmaşık, hassas ve düzensiz şekilleri kolaylıkla işleyebilir (Singh ve ark., 2018). EEİ tekniği kullanılarak gerçekleştirilen zırh çeliği ile yapılan çalışmalar kısıtlı olup literatür araştırması yapıldığında ise daha çok kaynaklı birleştirmeler üzerine deneysel ve istatistiksel çalışmalar gerçekleştirildiği görülmektedir. Zırh çeliği ile ilgili çalışmaların özetleri verilmektedir. Kaçar ve Emre (2018), yaptıkları çalışmada aynı tür zırh çelik çifti (Armox 500T–Armox 500T) ve farklı tür çelik çiftini (Armox 500T-AISI 304) gaz metal ark kaynak kabiliyetlerini incelemiştir. Zengin (2010), yaptığı deneysel çalışmada, Armour 500 zırh çeliğini ark kaynak metodu kullanarak dört farklı ön tav sıcaklığında kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirerek birleştirilen bölgenin mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Sarsılmaz ve ark., (2017) Armour 500 çeliği ve dubleks (ferritik / östenitik) çelik AISI 2205'in farklı kaynak

parametrelerindeki kaynak özellikleri karşılaştırmışlardır. Chandel ve ark., (1997) tozaltı kaynak yöntemini kullanarak, elektrot çapı akım şiddeti, elektrot polarizasyonu ve elektrot uzantısı parametrelerini kullanarak dikiş yüksekliği, dikiş genişliği ve kaynağın malzemeye nüfuzunu teorik olarak tahmin etmesi için yazılım geliştirmişlerdir. Bekçi ve ark., (2021) Ramor 500 (Kalınlık 6.7 mm) ve 550 (Kalınlık 6,2 mm) çeliğinin balistik incelenmesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullandıkları tek ve çift katmanlı plakaları (Kalınlık 6,8 mm) tel erozyon tezgahı kullanarak 55 mm X 10 mm ölçülerinde kesme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Kurt ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada MIL A 46100 zırh çeliğini altı farklı açıda östenik paslanmaz çelik elektrot kullanarak metal inert gaz yöntemiyle kaynak işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kaynak yapılan malzemelerden çekme numuneleri hazırlanmış mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilerek en uygun kaynak açısı belirlenmiştir. Li ve ark., (1997) tarafından tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak yapılan bir alın kaynağında girdi parametreleri ile çıktı parametreleri (dikiş yüksekliği, dikiş genişliği, nüfuziyet, erime ve kep alanları ile akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı) arasındaki non-lineer ilişki yapay sinir ağları kullanarak modellenmiştir. Redd ve ark., (1998) yaptıkları çalışmada üç farklı kaynak yöntemine (TIG kaynağı, örtülü elektroark kaynağı ve özlü telle gazaltı kaynağı) bağlı olarak zırh çeliğinin kaynak bölgelerinin mermi nüfuziyetine karşı direncini ölçerek elde edilen kaynaklı birleştirmeleri kendi aralarında karşılaştırmışlardır. Gunaraj ve Murugan (1997) tozaltı ark kaynağı ile yapılan boruların kaynatılmasında dikiş geometrisini tahmin etmek için “Tepki Yüzeyi” metodunun bir uygulamasını geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada ise geleneksel imalat yöntemlerinin aksine alışılmamış üretim yöntemlerinden biri olan elektro erozyon işleme (EEİ) yöntemi ile savunma sanayisinde kullanılan Ramor 550 zırh çeliğinin farklı işleme parametrelerinde delinebilirliği hem deneysel hem de Yüzey Yanıt Metodolojisi (YYM) yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak incelenecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme ve Elektrot

Deney numunesi olarak 18x35x5 mm ölçülerinde zırh malzemesi ve talaş kaldırma işleminde ise 8,9 gr/cm³ yoğunluğa sahip 14 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda elektrolitik bakır elektrot kullanılmıştır. Elektrolitik malzemesinin hazırlanmasında ve her deney sonrası yüzeyinin temizlenmesinde ise Jetco Marka üniversal torna tezgahı kullanılmıştır. Elektrot malzemesinin hazırlanma sürecindeki fotoğraf görüntüsü Şekil 1’ de gösterilmektedir. Deney malzemesinin içerdiği elementler Tablo 1’ de verilmiştir.



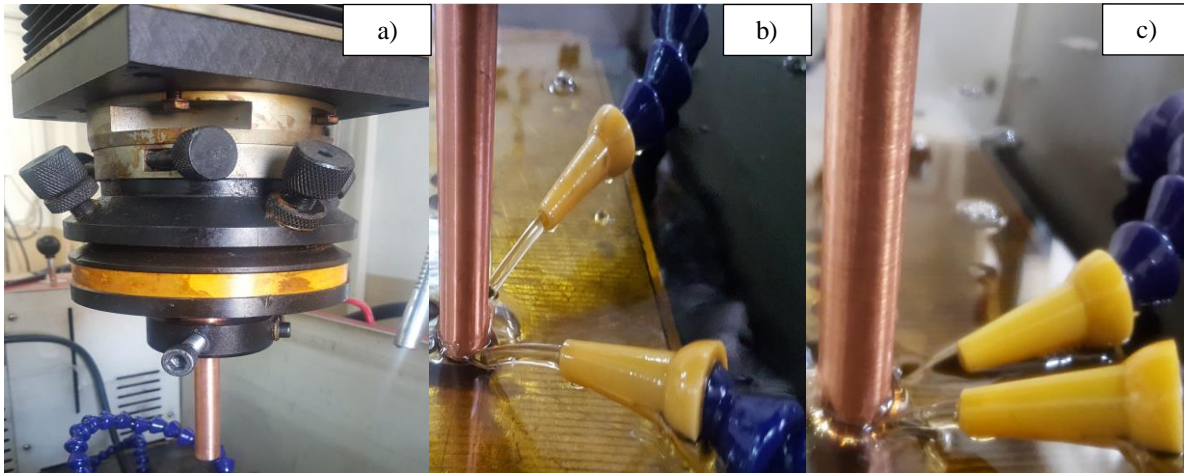
Şekil 1. Elektrolitik bakır malzemenin deneysel çalışma için hazırlanma görüntüsü

Tablo 1. SSAB Ramor® 550 Armour çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	Cr	Ni	Mo	B	Fe
0,30	0,60	1,00	0,012	0,003	0,06	0,08	0,30	1,50	2,50	0,80	0,005	Remaining

2.2. Elektro Erozyon İşleme

Bu çalışmada ISO 11090-1:2014 standardına uygun King ZNC marka elektro erozyon tezgâhı kullanılmıştır. Deney öncesi ve sonrası işlem görmüş elektrot yüzeyinin temizlenmesi Jetco Marka universal torna tezgâhı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Elektrot malzemesinin hareketli kafaya bağlama ve işleme esnasındaki görüntüsü Şekil 2’ de verilmektedir.



Şekil 2. Elektrot malzemesinin bağlantı (a), bekleme süresi (b) ve vurum süresi (c) sırasındaki fotoğraf görüntüsü

2.3. Yüzey Yanıt Yöntemi ve Deney Parametreleri

İmalat sektöründe işlenmesi zor olan malzemelerin işleme maliyetlerini düşürmek ve ürün kalitesini arttırmak için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Nas ve Akıncioğlu, 2019). Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanlarından biride yanıt yüzeyi metodolojisi (YYM) yöntemidir. YYM, çeşitli örnek değişkenler ve bir veya daha fazla yanıt değişkeni arasındaki etkileşimi inceler (Box ve Draper, 1987; Lakshmanan ve Kumar, 2013). Dolayısıyla, bu yöntem parametrelerin cevap üzerindeki etkisini tahmin edebilir ve Taguchi tekniğine kıyasla optimizasyon için daha iyi bir araçtır (Camposeco-

Negrete, 2015). YYM'nin en önemli amacı, en uygun yanıtı elde etmek için bir dizi tasarlanmış deney kullanmaktır (Sönmez ve ark., 2016; Basmacı ve ark., 2018). Bu yöntem ile oluşturulan modellemelerde genel olarak birinci derece (linear) ve ikinci derece (kuadratik) model kullanılmaktadır. Linear modelin formülü Eş. 1’de görülmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (1)$$

Linear model yapısında birbirinden etkilenen değişkenler varsa yanıt polinomu Eş. 2’de görüldüğü gibidir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 \quad (2)$$

Model yapısı doğrusal bir polinom değilse ikinci derece model ile çözüm aranmaktadır. Bu çalışmada, malzeme üzerinde oluşan delik çapını tahmin etmek için bağımsız parametrelerin ana etkilerini, kuadratik etkilerini ve etkileşimlerinin etkisini içeren ikinci dereceden tahminsel modele ait temel formül Eş. 3’de görülmektedir (Motorcu 2013; Sönmez ve ark., 2016).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 \quad (3)$$

(3) şeklinde ifade edilir.

DeneySEL çalışmanın tasarımı Minitap 18 programı ile gerçekleştirilmiştir. Amper, Ton ve Toff parametreleri için program bizim belirlediğimiz parametreler dışında kendisi minimum ve maksimum değerleri belirleyerek Tablo 2’ de görüldüğü gibi deneylerimizin gerçekleştirilmesi için bize maksimum, minimum ve ara değerler oluşturmaktadır.

Tablo 2. Deney tasarımının hazırlanması

Faktör	Ad	Birimler	Minimum	Maksimum	Düşük Kod	Yüksek Kod	Ortalama	Standart Sapma
A	Amper	A	3	10	-1 ↔ 4	+1 ↔ 8	6	1.71
B	Ton	µs	99	351	-1 ↔ 150	+1 ↔ 300	225	67,19
C	Toff	µs	9	35	-1 ↔ 15	+1 ↔ 30	23	6,70

Tablo 2’ deki değerlere göre YYM yöntemi bizden 18 deney yapmamızı istemekte olup seçilen 18 deneyi de kendi içinde üç aşamada incelemektedir. Bunlardan ilk sekiz deney (1-8) birinci dereceden parametreleri, sonraki altı deney (9-14) ikinci dereceden parametrelerin tahmini, son dört deney ise (15-18) modelin uyum eksikliğini belirlemektedir. Çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri

Sıra No	Amper (A)	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Sıra No	Amper (A)	Ton (μ s)	Toff (μ s)
1	4	150	15	10	9	225	23
2	8	150	15	11	6	99	23
3	4	300	15	12	6	351	23
4	8	300	15	13	6	225	10
5	4	150	30	14	6	225	35
6	8	150	30	15	6	225	23
7	4	300	30	16	6	225	23
8	8	300	30	17	6	225	23
9	3	225	23	18	6	225	23

3. Bulgular ve Tartışma

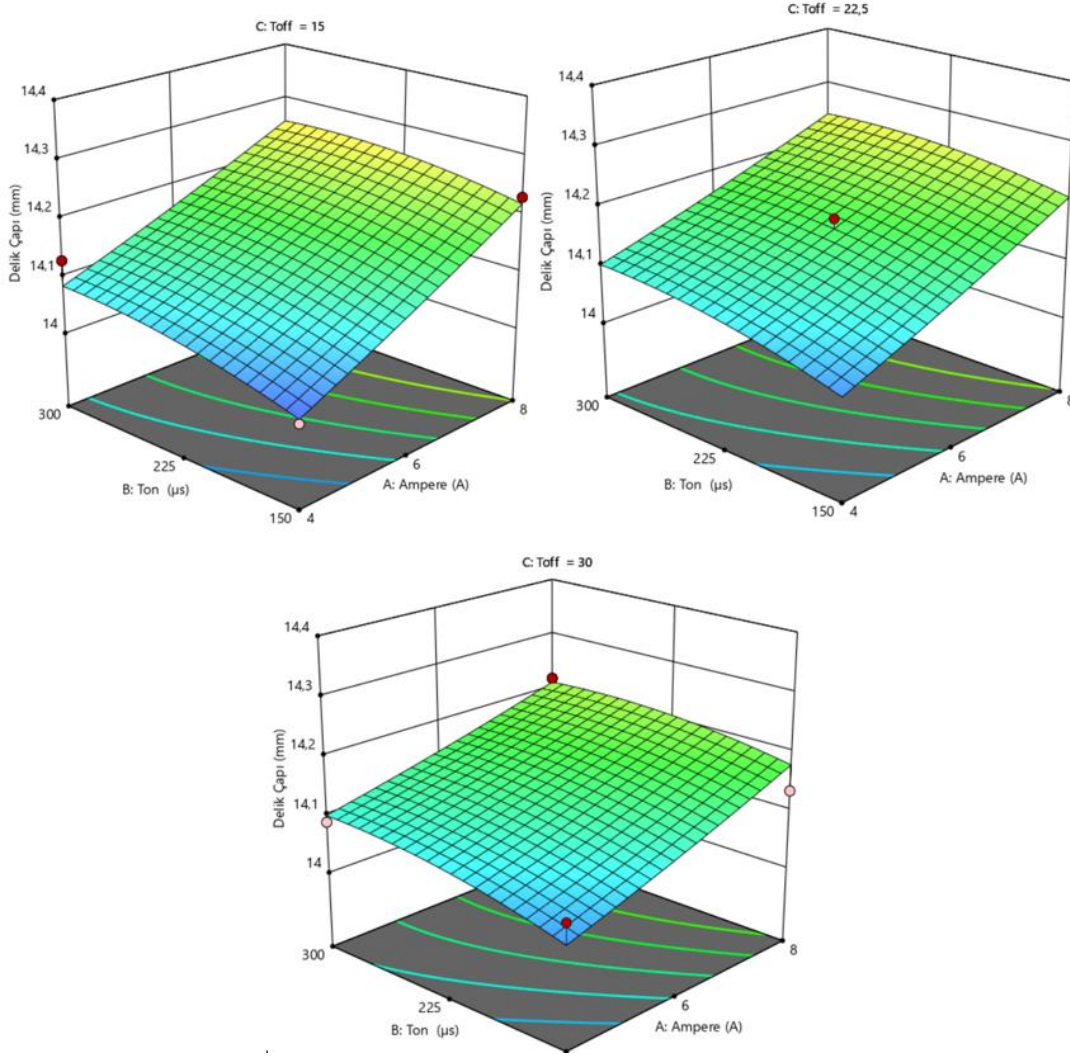
Literatür araştırması sonrasında oluşturulan deney parametreleri ile Ramour 550 zırh çeliğinin delik delme işlemi EDM tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında oluşan delik çapları ölçümleri Dino-light marka optik mikroskop ile ölçülmüştür. Elde edilen deneysel ve istatistiksel sonuçlar Tablo 4'te verilmektedir. Tablo 4'te verilen deneysel sonuçlar Minitab 18.0 programı ile istatistiksel analizleri gerçekleştirilerek tahmini delik çapları da hesaplanmıştır.

Tablo 4. Deneysel çalışma sonuçları ve istatistiksel analiz sonrası elde edilen (gerçek- tahmini) delik çapı değerleri

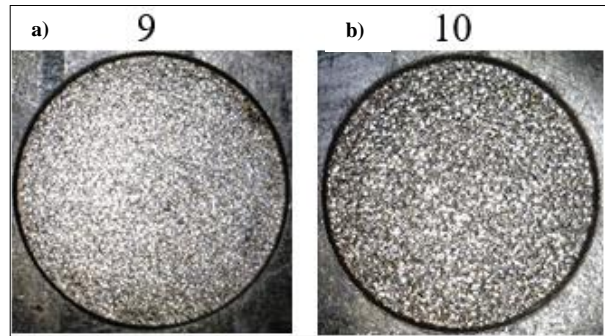
Deney No	Amper	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Delik Çapı (mm)	Tahmini	Deney No	Amper	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Delik Çapı (mm)	Tahmini
					Delik Çapı (mm)						Delik Çapı (mm)
1	4	150	15	14,008	14,015	10	9	225	23	14,338	14,301
2	8	150	15	14,230	14,218	11	6	99	23	14,078	14,074
3	4	300	15	14,128	14,083	12	6	351	23	14,156	14,159
4	8	300	15	14,222	14,257	13	6	225	10	14,132	14,139
5	4	150	30	14,074	14,038	14	6	225	35	14,128	14,120
6	8	150	30	14,134	14,178	15	6	225	23	14,156	14,158
7	4	300	30	14,088	14,099	16	6	225	23	14,176	14,158
8	8	300	30	14,218	14,210	17	6	225	23	14,152	14,158
9	3	225	23	14,002	14,038	18	6	225	23	14,150	14,158

Tablo 4 incelendiğinde elektrot çapına en yakın delik çapının 3 amper, 225 μ s vurum süresi ve 23 μ s bekleme süresinde 14,002 mm çapında, en büyük delik çapının ise 9 amper, 225 μ s vurum süresi ve 23 μ s bekleme süresinde 14,338 mm çapında olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma ile amper miktarının ve vurum süresinin artması ile delik çapının arttığı tespit edilmiştir (Kalyon 2020; Nas 2020). İşleme parametrelerinin delik çaplarındaki değişimlerinin grafiksel olarak incelenmesi için

Desing Expert 11 paket programı ile grafikler oluşturularak Şekil 3’ de gösterilmiştir. Şekil 2’ deki grafikler incelendiğinde bütün bekleme sürelerinde vurum süresinin ve amper miktarının artması ile delik çapında artış olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatür çalışmaları ile benzerlik göstermektedir (Kalyon 2020). Deneysel çalışma sonrasında oluşan delik çaplarının optik mikroskop ile 20X yaklaşıma görüntüleri Şekil 4’ te gösterilmektedir.

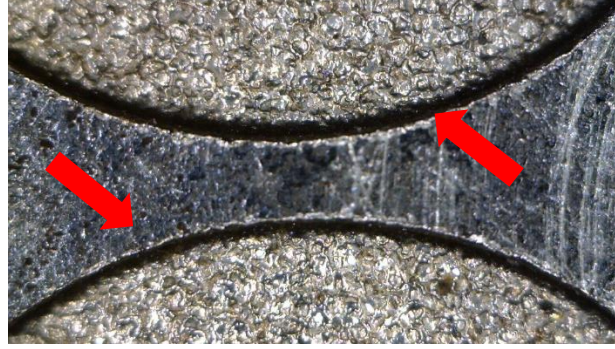


Şekil 3. Yüzey yanıt yöntemine göre sabit bekleme sürelerinde vurum süresi ve amper değerlerine göre delik çapı grafikleri



Şekil 4. Deneysel çalışmadan elde edilen en küçük ve en büyük delik çaplarının optik mikroskop görüntüleri, a) Dency 9, b) Dency 10)

Amper miktarının artması ile elektrot malzemesinin delik yüzeyinde ilk oluşan arklar ile beraber oluşan delik giriş yüzeyinde ergiyen malzemelerin çapak oluşturduğu (Şekil 5) görülmüştür.



Şekil 5. Delik yüzeyindeki çapak oluşumu görüntüsü

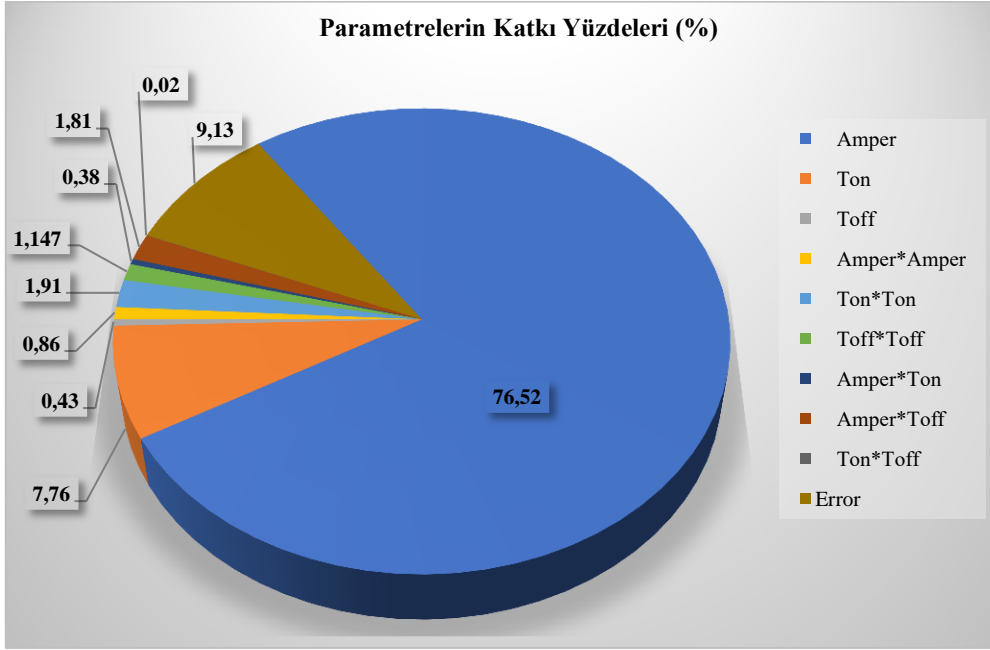
3.1. ANOVA

Anova istatistiksel model içerisindeki değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Uğur ve ark., 2020). Deneysel çalışma ile elde edilen sonuçların anova analiz sonuçları Tablo 5’ de gösterilmektedir. Prob> F değeri 0.05'ten düşük olduğunda model istatistiksel olarak anlam olup parametrenin yanıt üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu gösterir (Ekici ve ark., 2014).

Tablo 5. Delik çapı için varyans analizleri

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0,099762	0,099762	0,011085	8,85	0,00268
Linear	3	0,093004	0,093004	0,031001	24,74	0,00021
Amper	1	0,084003	0,084003	0,084003	67,05	0,00004
Ton	1	0,008523	0,008523	0,008523	6,80	0,03122
Toff	1	0,000477	0,000477	0,000477	0,38	0,55430
Square	3	0,004329	0,004329	0,001443	1,15	0,38593
Amper*Amper	1	0,000949	0,000208	0,000208	0,17	0,69463
Ton*Ton	1	0,002092	0,002729	0,002729	2,18	0,17826
Toff*Toff	1	0,001288	0,001288	0,001288	1,03	0,34031
2-Way Interaction	3	0,002430	0,002430	0,000810	0,65	0,60680
Amper*Ton	1	0,000421	0,000421	0,000421	0,34	0,57831
Amper*Toff	1	0,001984	0,001984	0,001984	1,58	0,24368
Ton*Toff	1	0,000025	0,000025	0,000025	0,02	0,89225
Error	8	0,010023	0,010023	0,001253		
Lack-of-Fit	5	0,009596	0,009596	0,001919	13,48	0,02872
Pure Error	3	0,000427	0,000427	0,000142		
Total	17	0,109785				

Tablo 5’deki varyans analizi sonuçlarına göre Linear modelde Amper miktarının ($A = 0,00004 < 0,05$), vuruş süresine ait etkinin ($Ton = 0,0003122 < 0,05$) anlamlı olduğu görülmektedir. Elde edilen varyans analizlerinden işleme parametrelerinin katkı oranları hesaplanmış ve Şekil 6’de gösterilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde delik çapı için hata payı % 9,13 olarak hesaplanmıştır. Hill ve Trucano (1999)’a göre, model parametrelerinde öngörülen belirsizlik için %10 sapma altındaki deneysel hata kabul edilebilirdir. Bu çalışmada delik çapı %10 sınırından düşük değerde olduğu görülmekte olup hesaplanan ikinci derece denklemin doğruluğu kabul edilebilir seviyededir. Elde edilen işleme parametreleri katkı oranları incelendiğinde (Şekil 6) delik çapına en fazla etki eden parametrenin %76,52 oran ile amper, en düşük etkinin ise %0,02 oran ile Ton*Toff etkileşimi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. İşleme parametreleri ve etkileşimlerinin % katkı oranları

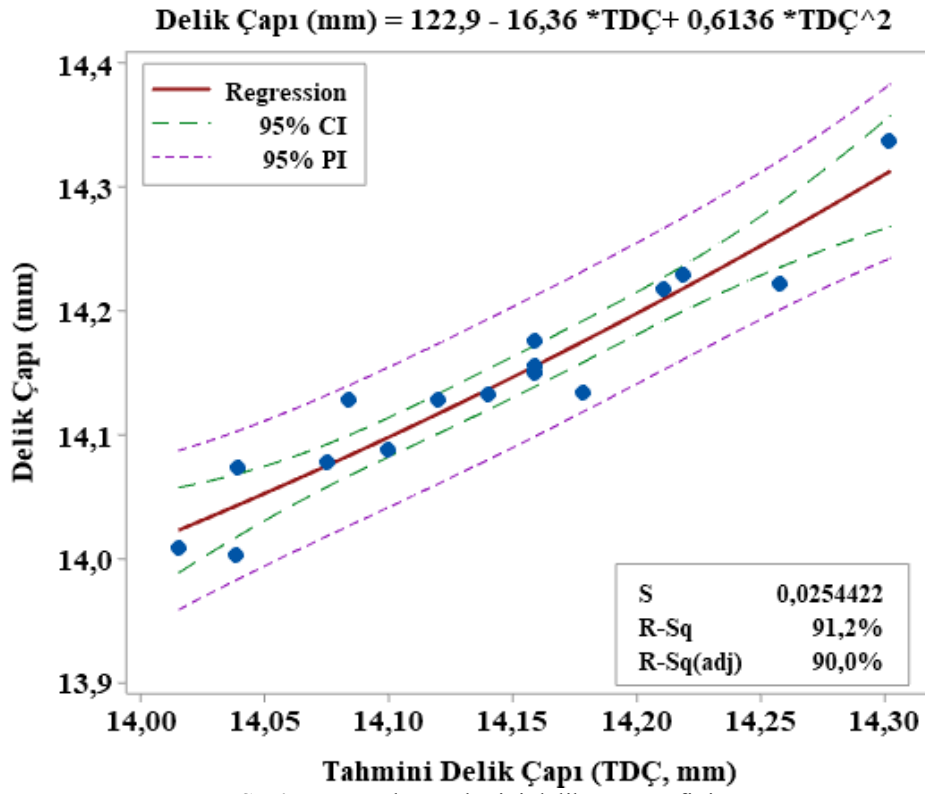
Elde edilen ikinci dereceden tahminsel denklemlerin korelasyon katsayıları anlamlılık düzeyinde delik çapı için %90,87 olarak elde edilmiştir. Elde edilen ikinci derece denklemler Tablo 6’de gösterilmektedir. Yapılan analiz ile oluşturulan ikinci derece tahminsel denklemin korelasyon katsayısının büyük çıkması bu denklemin geçerliliğini yansıtmaktadır (Motorcu 2013; Çiçek ve ark., 2015; Işık ve ark.,2020).

Tablo 6. İstatiksel analiz sonrasında elde edilen ikinci derece denklem

Delik Çapı (mm)	$13,457 + 0,0616 A + 0,00187 Ton + 0,0143 Toff + 0,00101 A^2 - 0,000003 Ton^2 - 0,000179 Toff^2 - 0,000048 Amper*Ton - 0,001050 Amper*Toff - 0,000003 Ton*Toff$
-----------------	---

3.2. Delik Çapının Optimum Tahmini

Deneysel sonuçlar ile tahmini sonuçların güven aralığı (CI-Confidence Interval) dahilinde olup olmadığını belirlemek için ikinci dereceden regresyon analizi uygulandı. Analizler, tahmini değerler ile deney sonuçları arasındaki ilişkiyi belirlemek için RSM kullanılarak gerçekleştirildi. Deneylerden elde edilen delik çapı ve tahmini delik çapı değerleri grafik olarak Şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 7. Gerçek ve tahmini delik çapı grafiği

Şekil 7' deki çizgiler incelendiğinde CI yazan çizgilerin güven düzeyi aralığı, PI yazan çizgiler ise tahmini güven aralığıdır (Kara 2017; Nas ve Öztürk 2018; Nas ve Akıncıoğlu 2019). Mavi nokta ile gösterilenler ise gerçekleştirilen deney sonuçlarımızdır. Deney sonuçlarımız merkezde bulunan çizgiye yakın noktalarda toplanmakta olup elde edilen ikinci derece denklem sonraki deneylerde zaman kaybı olmaksızın deney sonuçlarını hızlı bir şekilde çözmeyi sağlayacaktır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, regresyon analizinde tahmini değerlerin çoğunun CI sınırında (%95) olduğu belirlendi.

4.Sonuçlar

Bu çalışmada, Ramor 550 zırh çeliğinin silindirik bakır elektrot kullanılarak farklı işleme parametrelerinde elektro erozyon işleme yöntemi ile işlenme sonrasında malzeme yüzeyinde oluşan delik çapına etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Elektrot çapına en yakın delik çapınının 3 amper, 225 µs vurum süresi ve 23 µs bekleme süresinde,
- En büyük delik çapının ise 9 amper, 225 µs vurum süresi ve 23 µs bekleme süresinde gerçekleştiği,
- Amper miktarının artması ile elektrot malzemesinin delik yüzeyinde ilk oluşan arklar ile beraber oluşan delik giriş yüzeyinde ergiyen malzemelerin çapak oluşturduğu,
- İstatiksel olarak Anova sonuçları incelendiğinde ise delik çapı için geliştirilen tahminsel denklemlerde; linear modelde Amper miktarının ($A = 0,00004 < 0,05$), vurum süresine ait etkinin ($Ton = 0,0003122 < 0,05$) anlamlı olduğu,
- Delik çapı için hata payı %9,13 olarak hesaplandığı,

- Elde edilen işleme parametreleri katkı oranları incelendiğinde (Şekil 5) delik çapına en fazla etki eden parametrenin %77 oran ile Amper, en düşük etkinin ise %0,02 oran ile Ton*Toff etkileşimi olduğu,
- Optimum delik çapının tahmininde elde edilen tahmini değerlerin çoğunun CI (Güven aralığı) sınırında olduğu tespit edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmanın yazarı olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Ade F. Ballistic qualification of armor steel weldments. *Welding Journal* 1991;70(9): 53-58.
- Avlar E. Experimental investigation on technological feasibility study of spherical tool electrodes in edm rough machining: Machining of rectangular pockets. Konya: Selçuk University 2006.
- Basmacı G., Kırbas İ., Ay M., Peker M., Karma Taguchi ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak astm b574 (hastelloy c-22)'in tornalanması esnasındaki işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018; 22(2): 761-771.
- Bekci ML., Canpolat BH., Usta E., Güler MS., Cora ÖN. Ballistic performances of ramor 500 and ramor 550 armor steels at mono and bilayered plate configurations. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2021; 24(4): 990-995.
- Box GE., Draper NR. *Empirical model-building and response surfaces*: John Wiley & Sons; 1987.
- Camposeco-Negrete C. Optimization of cutting parameters using response surface method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum. *Journal of Cleaner Production* 2015; 91: 109-117.
- Chandel R., Seow H., Cheong F. Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds. *Journal of Materials Processing Technology* 1997; 72(1): 124-128.
- Çiçek A., Kıvak T., Ekici E. Optimization of drilling parameters using taguchi technique and response surface methodology (RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills. *Journal of Intelligent Manufacturing* 2015; 26(2): 295-305.
- Ekici E., Gültekin U., Kıvak T. Evaluation of the effects of cutting parameters on the surface roughness during the turning of Hadfield steel with response surface methodology. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. 2014; 19(2): 19-28.
- Gunaraj V., Murugan N. Application of response surface methodology for predicting weld bead quality in submerged arc welding of pipes. *Journal of Materials Processing Technology* 1999; 88(1-3): 266-275.

- Hills RG., Trucano TG. Statistical validation of engineering and scientific models: Background. Sandia National Laboratories SAND99-1256. 1999;36.
- 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.
- Kaçar R., Emre HE. Gaz metal ark kaynaklı zırh çeliklerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri Ve Uygulamalı Bilimler Dergisi 2018; 1(1): 15-23.
- Kalyon A. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin elektro erozyon tekniği ile işlenebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi 2020; 3(1): 75-86.
- Kalyon A. Optimization of machining parameters in sinking electrical discharge machine of caldie plastic mold tool steel. Sādhanā 2020; 45(1): 1-13.
- Kara F. Taguchi optimization of surface roughness and flank wear during the turning of DIN 1.2344 tool steel. Materials Testing 2017; 59(10): 903-908.
- Karagöz Ş., Atapek Ş., Yılmaz A. Zırh çeliklerinde perforasyon ve balistik korumanın anlaşılması açısından fragtografik etüd. Metal Dünyası 2008;182: 102-107.
- Kurt S., Evcı C., Işık H., Işık SM. Farklı kaynak ağız açılarının 307Si elektroduyla kaynak edilmiş mil-a 46100 zırh çeliğinin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2016; 31(ÖS1): 155-162.
- Lakshmanan S., Kumar M. Optimization of EDM parameters using response surface methodology for EN31 tool steel machining. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology 2013; 2(5): 64-71.
- Li P., Fang M., Lucas J. Modelling of submerged arc weld beads using self-adaptive offset neural networks. Journal of Materials processing technology 1997;71(2): 288-298.
- Magudeeswaran G., Balasubramanian V., Reddy GM. Metallurgical characteristics of armour steel welded joints used for combat vehicle construction. Defence Technology 2018; 14(5): 590-606.
- Manganello S., Wilson A. Direct quenching and its effects on high-strength armor plate. The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)(USA) 1993: 235-241.
- Motorcu RA. Predictive model of surface roughness in turning with different cutting tools of AISI 52100. I Young statisticians Symposium, 2013, 1-8; Ankara
- Nas E. Analysis of the electrical discharge machining (EDM) performance on Ramor 550 armor steel. Materials Testing 2020; 62(5): 481-491.
- Nas E., Öztürk B. Optimization of surface roughness via the taguchi method and investigation of energy consumption when milling spheroidal graphite cast iron materials. Materials Testing 2018; 60(5): 519-525.
- Nas E., Akincioglu S. Optimization of cryogenic treated nickel-based superalloy in terms of electro erosion processing performance. Academic Platform Journal of Engineering and Science 2019; 7(1): 115-126.

- Reddy GM., Mohandas T., Papukutty K. Effect of welding process on the ballistic performance of high-strength low-alloy steel weldments. *Journal of Materials Processing Technology* 1998; 74(1-3): 27-35.
- Sarsilmaz F., Kirik I., Batı S. Microstructure and mechanical properties of armor 500/AISI2205 steel joint by friction welding. *Journal of Manufacturing Processes*. 2017; 28: 131-136.
- Sedat K., Korkut MH. Zırhlı muharebe araçlarında kullanılan zırh plakalarında kaynak sonrası ısıtılmanın birleşim mukavemetine etkisinin araştırılması. *Savunma Bilimleri Dergisi* 2012;11(2): 159-171.
- Singh N., Routara B., Das D. Study of machining characteristics of Inconel 601in EDM using RSM. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5(2): 3438-3449.
- Soykan ŞH. Aslanoğlu Z., Karakaş Y. Metallurgy of armor steels. *Erdemir Semineri*, 2013.
- Sönmez F., Başak H., Baday Ş. Haddeleme işleminin yüzey yanıt yöntemi ile analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 2016; 4(4): 275-283.
- Taşkaya S., Yıldız T., Gür AK. The effect of voltage on joining of ramor 500 armor steel with submerged arc welding method. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018; 22(2): 357-363.
- Uğur A., Nas E., Gökkaya H. Investigation of the machinability of SiC reinforced MMC materials produced by molten metal stirring and conventional casting technique in die-sinking electrical discharge machine. *International Journal of Mechanical Sciences* 2020; 186: 105875.
- Zengin E. Searching about mechanical properties of armour steels which are welded with different preheating temperature. *Ankara Gazi University*; 2010.