

Özel Takım Çeliklerinin Elektro Erozyon Yöntemi ile İşlenmesinin Karşılaştırılması

Comparison of Electrodischarge Machining of Special Tool Steels

Serkan Yaman*, Orhan Çakır†

* Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34349 İstanbul/Türkiye
yamanserkan@yahoo.com

† Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34349 İstanbul/Türkiye
orhanc@yildiz.edu.tr

Abstract—

Basically, it is possible to separate the machining methods to 2 main areas; traditional and non-traditional machining methods. The most important advantage of the unconventional machining methods is that; it makes it possible to manufacture complex geometries with high hardness value (> 60 HRC). Among the non-traditional machining methods, the most popular among researchers is the electro discharge machining method. The EDM (Electro Discharge Machining) method is divided two types; sinking/spark and wire erosion methods. In this study, spark erosion method is used. Studies have been made by researchers on special steels of EDM are limited. Especially the researches on high speed steels of EDM are few. In this study, material removal rate (MRR) and surface roughness (Ra) values of special die/mould steels such as 1.3343 and PMD23 were compared with experimental design methods and their performance values were measured and interpreted.

Keywords— EDM, Tool steel, Material removal rate, Surface roughness

Özet —

Talaşlı imalat yöntemlerini temel olarak 2 ana alanda ayırmak mümkündür; geleneksel talaşlı ve geleneksel olmayan talaşlı yöntemleridir. Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinin en önemli avantajı ise yüksek sertlik değerine sahip (>60 HRC) ve karmaşık geometrilerin işlenmesini mümkün kılmaktır. Geleneksel olmayan yöntemlerden, araştırmacılar arasında en popüler olanı ise elektro erozyon ile işleme yöntemleridir. EEİ (Elektro Erozyon ile İşleme) yöntemi iki çeşide ayrılır; dalma/kıvılcım erozyon ve tel erozyon yöntemleri. Bu çalışmada kıvılcım erozyon yöntemi kullanılmıştır. Genellikle araştırmacıların özel çelikler üzerine yaptığı araştırmalar sınırlıdır. Yüksek hız çelikleri üzerine yapılan araştırmalar sınırlı tutulmuştur. Bu çalışmada 1.3343 ve PMD23 isimli özel kalıp çeliklerinin farklı elektrot malzemeleri ve farklı parametreler kullanılarak; malzeme işleme oranı ve yüzey pürüzlülüğü (Ra parametresi) değerlerinin çıktuları deneysel tasarım yöntemleriyle karşılaştırarak performans değerleri ölçülerek yorumlanmıştır.

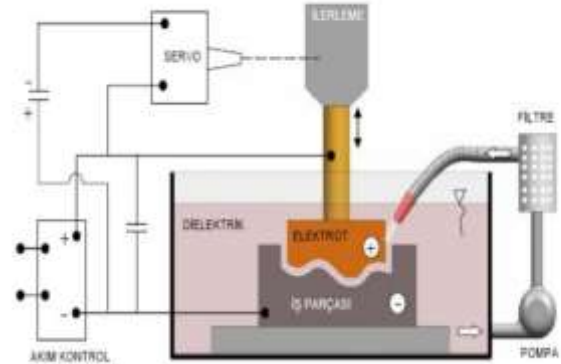
Anahtar Kelimeler — EEİ, Takım çeliği, Malzeme işleme oranı, Yüzey pürüzlülüğü

I. Giriş

Elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemi ilk olarak 1770 senesinde İngiliz fizikçi Joseph Presley tarafından keşfedilmiştir. Yöntemin keşfi, temel olarak elektrik akımı geçirilen bir elektrotun iş parçasını elektrik akımı sayesinde aşındırmasına dayanmaktadır [1].

1882 yılında ise ark kaynağı Rus mühendis Bernandes tarafından keşfedilmiştir. İlerleyen zamanda ise bu yöntem Amerika kıtasında oldukça yaygın bir yöntem haline gelmiştir [2].

1940 senelerine gelindiği zaman ise, Rus mühendisler, bu elektrik akımının kontrol edilebilmesi için bir sistem ortaya çıkarmıştır. Bu sistem sayesinde malzeme üzerindeki elektrik akımının kontrolüyle iş parçası kontrollü bir şekilde aşındırılmaktadır [3].



Şekil 1. EEİ yönteminin şematik gösterimi

EEİ yöntemi temel olarak bir akvaryum sistemine benzeyen filtre sistemiyle donatılmıştır burada bir servo motor elektrotun bağlı bulunduğu kafayı yukarı aşağı oynatarak elektrik kıvılcımlarının oluşması için gereken yaklaşım mesafesinin oluşmasına yardımcı olmaktadır. Sistemin detaylı gösterimi Şekil.1’de görülmektedir. Kafanın oynaması sırasında oluşan mikro talaş parçacıkları bir noozle yardımıyla sistem üzerinden

uzaklaştırılır. Dielektrik sıvı yardımıyla oluşan bu sıvı filtre sisteminden geçirilerek dielektrik sıvı temizlenir.

EEİ yönteminde en etken parametreler sırasıyla Ton-Toff-Gap-Amper-Malzeme'dir bu parametrelerin kullanımı sırasında bir bağlantı bulunmaktadır. En önemli çıktıları ise yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve malzeme işleme oranıdır (MRR) [4].

EEİ sisteminin en önemli özelliği, işlemin malzeme sertliğinden etkilenmemesi ve çok karmaşık yapıdaki malzemelerin işlenmesinin mümkün olmasıdır. Bu sayede yüksek sertliğe sahip takım ve kalıp çeliklerini istenilen seviyelerde işlemek mümkündür [4-5].

Bu çalışmada, kullanılan iş parçaları ve deneysel düzeneği literatür içerisinde bulunan diğer çalışmaların genelinden farklı olarak iş parçası ve elektrot malzemesinin kıyaslanmasını içermektedir. Ayrıca iş parçası EEİ sistemine uygun sertlik değerindedir (60+2 HRC).

Bu çalışma özellikle soğuk şekillendirmede ve talaşlı imalatla çok kesen ağızlı takımlarda kullanılan PMD23 ve 1.3343 cinsi takım çeliklerinin işlenmesi sırasında çıktı değerlerinin malzeme ve parametreye bağlı olarak nasıl değiştiğini gözlemlemek amacıyla yapılmıştır. Literatür içerisinde farklı takım çelikleri ve farklı elektrot malzemelerinin kıyaslanmasıyla alakalı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada DOE kullanılmıştır elde edilen veriler ise Taguchi yöntemiyle kıyaslanarak en etkili parametreler çıkartılmış ve sonuç bölümünde bütün sonuçlar yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın en önemli özelliği aynı kimyasal kompozisyona sahip, fakat farklı üretim metodlarıyla üretilmiş 2 takım çeliğinin işleme performansları incelenmiştir. Bu sebeple bu çalışma türünün ilk örneğidir.

II. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

EEİ yöntemi konusunda yapılan çalışmalar çok fazla olmasına rağmen, bu yöntemin kalıp imalatında kullanılan takım çeliklerine uygulamaları konusunda yayın sayısının azlığı söz konusudur. Yöntemin takım çelikleri üzerindeki deneysel çalışmalarının değerlendirilmesi konusu, bu nedenle kısa tutulmuş; konu ile ilgili özellikle doğrudan ilişkili bazı çalışmalar değerlendirilmiştir.

Kalıp imalatında, kullanılan imalat yöntemi sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü değeri önemlidir, çünkü yüzey kalitesi yüksek olan bir kalıbın kullanımı ile elde edilecek parçanın yüzey kalitesi de yüksek olacaktır. Genel olarak, imalat ile ilgili bir durumda Ra (aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü) değeri daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kalıp imalatında EEİ yöntemi kullanılması durumunda Rz (profilin en büyük yüksekliği değerleri ortalaması) değerinin daha önemli olduğu konusu Zang ve Liu tarafından vurgulanmıştır [6].

Takım çeliklerinin EEİ yöntemi ile işlenmesi konusunda yapılan bir çalışmada, işlenen AISI D2 takım çeliğinin en önemli işlem parametresi olarak vuruş süresinin etkili olduğu belirtilmiştir [7]. Aynı malzemenin işlenmesini araştıran başka bir çalışma da ise, akımın daha önemli olduğu vurgulanmıştır

[8]. PMD23 kodlu takım çeliğinin işlenmesinde, etkili olan işleme parametreleri daha geniş tutulmuş ve sırasıyla akım, vuruş süresi ve vuruş bekleme süresi değerlerinin etkili oldukları belirlenmiştir [9].

III. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deneysel çalışmada, Promp EDM-542 tezgahı kullanılmıştır. Bu cihaz 500x400x350 mm ye kadar iş parçası almaktadır (Şekil 2). Maksimum 40 ampere kadar işleme yapabilmektedir. Bu cihazda Dielektrokum 358 isimli bir dielektrik sıvı kullanılmıştır bu sıvının 40°C 'sıcaklıkta 2.2 mm²/s viskozitesi bulunmaktadır. Parlama noktası 100°C'dir.



Şekil 2 Promp EDM-542

Deney sırasında 2 farklı malzemeden elde edilen lamalar, öncelikli olarak kaba işlenmiştir ve akabinde 60+2 HRC sertliğine getirilip aynı düzlemsellik değeri elde edilene kadar eş zamanlı olarak taşlanmıştır. Bu sayede elde edilen verilerin doğruluğu sağlanmıştır.



Şekil 3 Hazırlanan Pmd23 ve 1.3343 Lamalar

Hazırlanan lamalar Şekil 3'te görülmektedir. Bu lamalar eş zamanlı olarak taşlama makinesinde hazırlanmıştır. Elde edilen yüzey başlangıç yüzey kalitesi deney sonucunu etkilememesi için her iki malzemede de 0,45 Ra olarak sabit tutulmuştur.

Kullanılan elektrot yüzeyi ise her defasında eşit parametrelerde bilenip elektrot aşınma miktarları ölçülerek çalışma sonuçları alınmıştır. Deney sırasında, sonuçların doğruluğu 3 defa test edilip uygun aritmetik ortalama alınmıştır.

Örnek malzeme kaldırma oranının matematiksel model ile formülünün gösterimi verilmiştir [9-10].

$$MRR (in^3/hr) = \frac{Electrode Area (in^2) \times Depth of Cut (in)}{Time of Cut (min)} \times 60$$

Malzeme kaldırma oranı yukarıdaki denklem kullanılarak bulunmuştur. Kullanılan elektrotlar 3 malzemeden oluşmaktadır. Bu malzemeler Şekil 3'te görülmektedir. Bunlar soldan sağa sırasıyla;

1. Saf bakır
2. Tungsten bakır
3. Grafit



Şekil 3. Kullanılan Elektrotlar

Elektrot malzemesi olarak bakır, yüksek yüzey kalitesi istenildiği zaman tercih edilir. Bu malzemenin elektrot olarak imalatı nispeten kolaydır. Ayna yüzeye yakın kalitede yüzey çıkarabilir. Fakat polisaj yapması oldukça zor olur [11]. Tungstenli bakır elektrot malzemeler yüksek sıcaklıklara dayanabilir, yüksek elektrik ve termal iletkenliğe sahiptir. Az aşınma gösterir, yüksek yüzey kalitesini yüksek elektrik akımında çıkarır ve geniş alanlar için tavsiye edilmez [11]. Grafit en çok kullanılan elektrot malzemesidir ve en iyi metal-olmayan EEİ malzemesidir. Ucuzdur ve kolayca bulunabilir, bunun yanında çok stabildir. Kırılgan yapısından dolayı ufak elektrot yapımında kullanılmaz. Ark yapma probleminden ötürü tezgah seçimine dikkat etmek gerekir. Ayrıca grafit tozu işleme yapan tezgahın işleme sıvısını bozacağı için, vakum emişi olan özel bileme tezgahları kullanılması önerilir [12-14].

EEİ sırasında daha farklı elektrot malzemeleri kullanılabilir, bu çalışmada endüstride ve literatür içerisinde en çok tercih edilen elektrot malzemeleri tercih edilmiştir. Kullanılan iş parçasının kimyasal kompozisyonu Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. PMD23 ve 1.3343 Çeliğin Kimyasal Kompozisyonu

Karbon	Krom	Wolfram	Molibden	Vanadyum
1.30	4.20	6.40	5	3.10

Bu deneysel çalışmada Tablo 3'de belirtilen işleme parametreleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın çıktıları olarak malzeme işleme oranı (MRR) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri alınmıştır. Deneysel sonuçlara göre Taguchi L18(2¹ 3⁴) ortogonal matrisi kullanılmıştır.

Tablo 3. Kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri

Parametre	Malzeme	Elektrot	Amper	Tonn	Toff
Seviye 1	PMD23	CU	3	9	7
Seviye 2	1.3343	WCU	6	25	12
Seviye 3	-	C	9	37	28

IV. DENEYSEL TARTIŞILMASI

SONUÇLARIN

Bu çalışmada öncelikli olarak deneysel tasarım yöntemlerinden Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan yöntem içerisinde L18 ortogonal matrisi seçilmiştir. Parametre ilişkileri için kullanılan tablo değerleriyle birlikte Tablo 4'de görülmektedir.

Bu tablo oluşturulurken Minitab-19 programı kullanılmıştır. Deneysel tasarım deney öncesinde oluşturulmuştur ve her deney öncesinde sonuçlar 3'er defa tekrar edilerek elde edilen verilerin ortalaması alınarak analiz programı çalıştırılmıştır. Bu çalışmada temel çıktılar malzeme işleme oranı (MRR) ve ortalama yüzey kalitesi (Ra) olarak ölçülmüştür.

Tablo 3. Taguchi L18 Tablosu

Malzeme	Elektrot	Amper	Tonn	Toff
PMD23	CU	3	9	7
PMD23	CU	6	25	12
PMD23	CU	9	37	28
PMD23	WCU	3	9	12
PMD23	WCU	6	25	28
PMD23	WCU	9	37	7
PMD23	C	3	25	7
PMD23	C	6	37	12
PMD23	C	9	9	28
1.3343	CU	3	37	28
1.3343	CU	6	9	7
1.3343	CU	9	25	12
1.3343	WCU	3	25	28
1.3343	WCU	6	37	7
1.3343	WCU	9	9	12
1.3343	C	3	37	12
1.3343	C	6	9	28
1.3343	C	9	25	7

4.1 Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

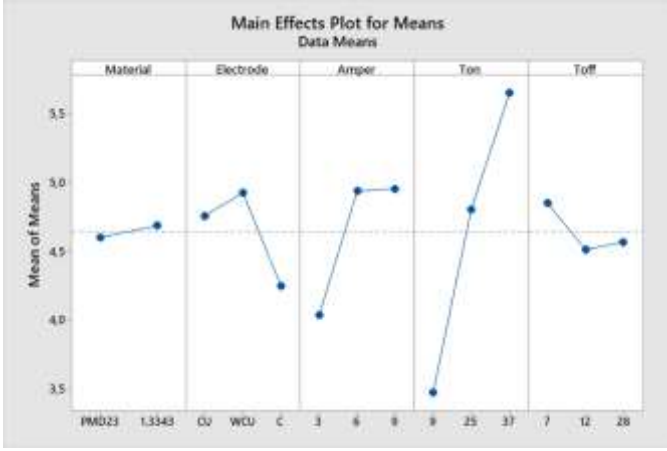
Tablo 4 yüzey kalitesi için en önemli parametrenin sırasıyla vurum süresi (Ton), Amper (A), Elektrot Malzemesi, vurum bekleme süresi (Toff) ve son olarak malzeme olduğu görülmektedir.

Tablo 4 Ra değeri için SN Tablosu

Seviye	Malzeme	Elektrot	Amper	Tonn	Toff
1	-12,90	-13,30	-11,99	-10,77	-13,38
2	-13,27	-13,55	-13,67	-13,57	-12,94
3		-12,40	-13,58	-14,91	-12,93
Delta	0,37	1,15	1,68	4,14	0,44
Sıra	5	3	2	1	4

Tablo 5 ortalama değer tablosunda en etkili parametreler grafik halinde görülmektedir. Burada kullanılan iş parçası malzemesinin yüksek olmasa da malzeme üzerinde işlemenin yüzey kalitesine olan etkilerini görmek mümkündür.

Tablo 5. Yüzey kalitesi için ana etki tablosu



En iyi yüzey kalitesi için uygulanması gereken teorik deneysel tasarım sonucuna göre belirlenen parametrelere bağlı olarak en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri 3.0 μm olarak belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Teorik Parametreler

Malzeme	Elektrot	Amper	Tonn	Toff
PMD23	C	3	9	28

Tablo 6 sonucunda göre deney yapıldığında ise 2.9 μm Ra yüzey kalitesi elde edilmiştir. Bu sonuç deneyin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Grafit elektrot diğer elektrot tiplerine göre çok daha iyi yüzey kalitesi sunmaktadır.



Şekil 4. En iyi Ra Değeri 1000x

Şekil 5'te elde edilen yüzey kalitesinin 1000x mikroskop altında görüntüleri görülmektedir. Buradaki grafit yapısının dağılımı ve krater oluşumu oldukça homojen olduğu için istenilen yüzey kalitesi değerleri yakalanmaktadır.

4.2 Malzeme İşleme Oranı Sonuçları

Tablo 6'da malzeme işleme oranlarının etkileri gözlemlenmektedir. Bu incelemeye göre yüzey pürüzlülük tablosundan farklı olarak elektrot cinsi malzeme kaldırma

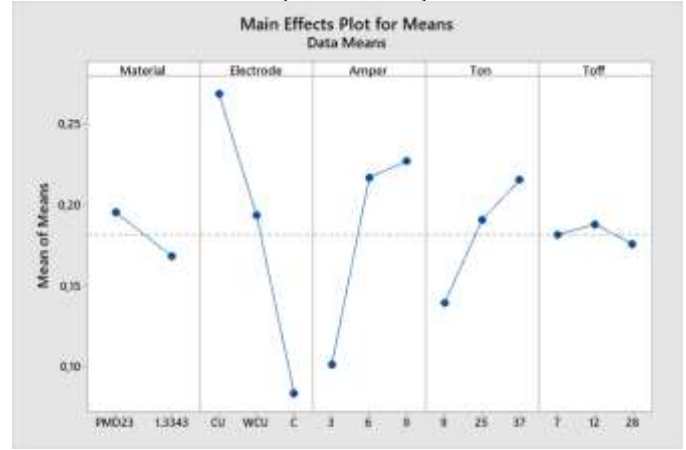
oranına en çok etki eden parametredir. Bunu amper, vurum süresi, malzeme cinsi ve vurum bekleme süresi takip etmektedir.

Tablo 6. Malzeme Kaldırma Oranı Çıktı Değer Tablosu

Seviye	Malzeme	Elektrot	Amper	Ton	Toff
1	0,19532	0,26833	0,10135	0,13916	0,18129
2	0,16801	0,19333	0,21678	0,19059	0,18799
3		0,08333	0,22686	0,21523	0,17571
Delta	0,02731	0,18500	0,12552	0,07607	0,01228
Seviye	4	1	2	3	5

Tablo 7 incelendiği zaman, malzeme oranındaki değişim yüzey kalitesine oranla daha fazla arttığı görülmektedir. Malzeme cinsinin değişmesi ile ise etkinin yüzey kalitesine oranlar çok daha arttığı gözlemlenmektedir.

Tablo 7. Malzeme işleme oranı için ana etki tablosu



En iyi yüzey kalitesi için uygulanması gereken teorik deneysel tasarım sonucuna göre belirlenen parametrelere göre teorik olarak hesaplanan malzeme işleme oranı değeri 0,417 m^3/saat civarındadır.

Tablo 8 Teorik Parametreler

Malzeme	Elektrot	Amper	Tonn	Toff
PMD23	Cu	9	37	12

Malzeme işleme oranı konusunda yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, aynı parametreler dikkate alındığında ortaya çıkan 0,445 m^3/saat değeridir. Bu sonuç deneyin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Bakır elektrotun daha hızlı talaş kaldırma istendiği zaman avantajlı olacağı kanıtlanmıştır.

Bu işleme parametreleri ile işlenen takım çeliğinin yüzey kalitesi düşük olacaktır, malzeme işleme miktarının artışı istendiğinde kaba bir işlemenin yapılması gerekmektedir ve bunun sonucunda pürüzlü bir yüze formu elde edilir. Bu duruma ait bir mikroskopik görüntü Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu farklılık, Şekil 5 ve 6 incelendiğinde, net olarak görülmektedir.



Şekil 5 En iyi MRR Değeri 1000x

V. SONUÇLAR

EEİ yöntemi temel olarak elektrik akımıyla malzemenin aşındırılmasına dayanmaktadır. Yöntemin en büyük avantajı ise malzemenin sertlik değerlerinden etkilenmemesidir. İkinci en büyük avantajı ise EEİ yöntemi çok karmaşık geometrilerin istenilen tolerans aralıklarında işlenmesini mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada 60+2 Hrc sertlik değerine getirilmiş ve taşlanarak yüzey kaliteleri eşitlenmiş 1.3343 ve PMD23 çelik malzemeleri kullanılarak işlem yapılmıştır.

Bu çalışmada aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir;

- Ra değeri için iş parçası malzemesinin etkisi en azdır fakat akım açma süresi en etkili parametredir. Bunları sırasıyla amper, elektrot, akım kapatma süresi ve iş parçası malzemesi takip etmektedir.
- Taguchi yöntemiyle elde edilerek hesaplanan teorik sonuçlar gerçek değerler ile tutarlıdır.
- MRR için ise en etkili parametre elektrot malzemesi olarak bulunmuştur, sonra sırasıyla amper, vuruş süresi, malzeme ve vuruş bekleme süresidir. Bu örneğin aynı zamanda bazı çalışmalar tarafından benzer sonuçları mevcuttur.
- İyi bir yüzey kalitesi istendiği zaman grafit, daha yüksek malzeme işleme oranı istendiği zaman ise bakır elektrot kullanılması uygun olacaktır. Fakat bu durum iş parçası boyutlarına ve maliyetlere dikkat edilerek uygulanmalıdır.
- İş parçası malzemesinin üretim yönteminin ve tane yapısının işleme kalitesi üzerine etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Burada en çok etki toz metal malzemenin tane boyutlarının ufak olması sebebiyle kaldırılan malzeme oranının artmasıdır. Bu durumu yüzey kalitesi için de söylemek mümkündür, fakat tane yapısındaki büyüklük malzeme kaldırma oranındaki kadar etkili değildir.

- [1] Stavitskii, B. I. (2010). Glimpses of the history of electrospark machining of materials (dedicated to the centenary of B.R. LAZARENKO). *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 46(3), 285-290.
- [2] Stavitskii, B. I. (2010). Glimpses of the history of electrospark machining of materials (dedicated to the centenary of B.R. and N.I. Lazarenko—the inventors of the method of electrospark machining of Metals, alloys, and other Conducting materials). *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 46(6), 634-645.
- [3] Mahto, D. G., & Singh, N. (2017). Experimental study of process parameters through dissimilar form of electrodes in edm machining. *SSRN Electronic Journal*.
- [4] Nas, E., Argun, K., Zurnacı, E. (2018). AISI 1.2738 çeliğinin elektro-erozyon tezgahında grafit elektrot ile işlenmesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin incelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 1082-1093.
- [5] Mahajan, R., Krishna, H., Singh, A. K., & Ghadaï, R. K. (2018). A review on copper and its alloys used as electrode in EDM. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 377, 012183.
- [6] Zhang, Y., Liu, Y., Shen, Y., Ji, R., Li, Z., & Zheng, C. (2014). Investigation on the influence of the dielectrics on the material removal characteristics of EDM. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(5), 1052-1061.
- [7] Kalyon, A. (2019). AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Elektro Erozyon Tekniği İle İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 3(1), 75-86.
- [8] Pradhan, M., & Biswas, C. (2011). Multi-response optimisation of Edm of AISI D2 tool steel using response surface Methodology. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 9(1/2), 66.
- [9] Arunal, K., Prakash, N.O., Hema, P., Experimental investigation on machining parameters of die-sinking powder mixed EDM (PMEDM). (2018). *International Journal of Modern Trends in Engineering & Research*, 5(4), 145-153.
- [10] Das, M., Kumar, K., Barman, T., & Sahoo, P. (2013). Optimization of surface roughness and MRR in EDM Using WPCA. *Procedia Engineering*, 64, 446-455. doi:10.1016/j.proeng.2013.09.118
- [11] Ubaid, A. M., Aghdeab, S. H., Abdulameer, A. G., Al-Juboori, L. A., & Dweiri, F. T. (2020). Multidimensional optimization of electrical discharge machining for high speed steel (AISI M2) using Taguchi-fuzzy approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11(6), 1021-1045.
- [12] Gudipudi, S., Nagamuthu, S., Subbian, K. S., & Chilakalapalli, S. P. (2019). Fabrication and experimental study to optimize the recast layer and the material removal in electric discharge machining (EDM) of AA6061-B4C composite. *Materials Today: Proceedings*, 19, 448-454.
- [13] T., C., & R. (2018). Materials used for sinking EDM electrodes: A review. *The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2018*.
- [14] Mikhailyuk, A. I., & Gitlevich, A. E. (2010). Application of graphite in electrospark technologies. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 46(5), 424-430.