

CNC TEL ELEKTRO EROZYON TEZGÂHINDA İŞLEME HIZI ÜZERİNE ELEKTROT MALZEMESİNİN, SOĞUTMA TİPİNİN VE İŞ PARÇASI MALZEMESİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

*Hüseyin GÜRBÜZ**
*Şehmus BADAY***
*İbrahim HAMARAT****

Alınma: 26.03.2018 ; düzeltme: 22.03.2019 ; kabul: 03.04.2019

Öz: Bu çalışmada, tel elektro erozyon ile işlemede makine performansını değerlendirmede en önemli parametrelerden biri olan işleme hızı üzerine farklı tel elektrotların, soğutma yöntemlerinin ve iş parçalarının etkileri araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmada, sırasıyla iş parçası olarak AISI D2 takım çeliği ve AISI 304 paslanmaz çelik, tel elektrot olarak ise pirinç, bakır ve çinko kaplı pirinç elektrotlar ve soğutma tipi olarak püskürtmeli ve daldırılmış soğutma yöntemleri kullanılmıştır. İşleme hızı sonuçları farklı işleme parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak elektrot tipine göre en yüksek kesme hızları bakır tel elektrot ile en düşük işleme hızları ise kaplamasız pirinç tel elektrot ile elde edilmiştir. Soğutma yöntemleri açısından daldırılmış soğutma yöntemi, püskürtmeli soğutma yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Genellikle iş parçasına bağlı olarak en yüksek işleme hızları AISI D2 takım çeliği malzemesi işlenirken, en düşük işleme hızları ise AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği işlenirken oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler: İşleme hızı, tel elektro erozyon, püskürtmeli ve daldırılmış soğutma, farklı tip elektrot, AISI D2 ve AISI 304.

Investigation of the Effect of Electrode Material, Cooling Method and Workpiece Material on Machining Speed in CNC Wire Electro Discharge Machining

Abstract: In this study, the effects of different wire electrodes, cooling methods and workpieces on the machining speed, which is one of the most important parameters in evaluating the machine performance in wire electrical discharge machining, were investigated. In experimental works, AISI D2 tool steel and AISI 304 stainless steel; and brass, copper and zinc coated brass wire electrodes; and flushing and submerged cooling methods were used as workpiece materials, as wire electrodes and as cooling types, respectively. Machining speed results were evaluated based on different processing parameters. In General, the highest machining speeds were obtained with copper wire electrodes and the lowest machining speeds were obtained with uncoated brass wire electrodes. In terms of cooling methods, the submerged cooling method gave better results than the flushing method. Generally, the highest machining speeds, depending on the workpiece, occurred when processing AISI D2 tool steel material, while the lowest machining speeds occurred when machining AISI 304 austenitic stainless steel.

Keywords: Machining speed, WEDM, flushing and submerged cooling, different type electrodes, AISI D2 and AISI 304.

* Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman.

** Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Batman.

*** Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Ankara.

1. GİRİŞ

Elektro erozyon ile işleme (EDM), iş parçası malzemelerinin sertlik ve dayanımlarına bakılmaksızın elektrik iletkenliklerinden faydalanarak hem karmaşık geometrili iş parçalarını kolay bir şekilde işlenmesini sağlayabilen hem de talaş atığını azaltabilen geleneksel olmayan önemli bir imalat yöntemidir (Dabade ve Karidkar, 2016; Hoang ve Yang, 2013; Thomas ve diğ., 2015). Tel elektro erozyon ile işleme (WEDM) ise gerek tel elektrotun gerekse de iş parçasının iletken olduğu durumlarda, iş parçasından talaş kaldırmak için bir tel elektrotun kullanılması ile yapılan bir elektro termal talaş kaldırma işlemidir (Thomas ve diğ., 2015). İş parçalarını işlemek için genellikle, pirinç ve bakır tel elektrotlar kullanılırken, tel elektrotlara kaplamanın sağlamış olduğu üretkenlik ve özelliklerinden dolayı daha iyi sonuçlar vermesi, çinko kaplı tel elektrotların tel elektro erozyon tezgâhlarında etkili bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır (Thomas ve diğ., 2015). Galindo-Fernandez ve diğ. (2016) tel elektro erozyon tezgâhında altı farklı tip tel elektrot kullanarak polikristal elmasın işlenmesi sonucu elde edilen işleme hızlarını tel elektrot tipine bağlı olarak değerlendirmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda kaplamalı tel elektrotların işleme hızı üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu bulmuşlardır. Tosun (2003), yapmış olduğu çalışmada pirinç bir tel elektrot ile AISI 4140 malzemesinin tel elektro erozyon ile işlenmesinde vurum süresi, açık devre gerilimi, tel hızı ve dielektrik sıvı basıncı gibi parametrelerin işleme hızı üzerinde etkisini incelemiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda vurum süresi, açık devre gerilimi, tel hızı ve dielektrik sıvı basıncı arttığında işleme hızının arttığı ortaya koymuştur. Parameswara ve diğ. (2009) tel elektro erozyon tezgâhında işleme hızı üzerine boşalım akımı ve iş parçası kalınlığının etkilerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre iş parçası kalınlığı arttığında işleme hızının azaldığını boşalım akımı arttığında ise işleme hızının arttığını bulmuşlardır. Sandeep ve diğ. (2014) vurum süresi, vurum ara süresi maksimum akım ve tel elektrot malzemesi gibi parametrelerin tel elektro erozyon tezgâhının işleme karakteristiğini belirleyen en önemli parametrelerden biri olan işleme hızı üzerinde etkilerini araştırmışlardır. Vurum süresi ve maksimum akım arttığında işleme hızının arttığı vurum ara süresi ve aralık takip voltajı arttığında ise işleme hızını azaldığını bulmuşlardır. Aynı zaman da çinko kaplı pirinç tel elektrotun kaplamasız pirinç tel elektrotla göre daha yüksek işleme hızı çıktığını tespit etmişlerdir. Chalisgaonkar ve diğ. (2013) tel elektro erozyon tezgâhının kesme performansını değerlendirmek için işleme hızı üzerine bir çok parametrenin (vurum süresi, vurum ara süresi, maksimum akım ve aralık takip voltaj) etkisini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada vurum ara süresi ve aralık takip voltaj değerlerinin artmasıyla işleme hızının azaldığını, vurum süresi ve maksimum akım artmasıyla işleme hızı değerlerinin arttığını görmüşlerdir. Daha sonraki yıllarda Chalisgaonkar ve diğ. (2016) benzer bir çalışma yürütmüşlerdir. Yapmış oldukları deneysel çalışmada işleme hızı üzerinde işleme parametrelerinin yanında tel özelliklerinin de etkisini araştırmışlardır. Vurum ara süresi, aralık takip voltaj, vurum süresi ve maksimum akım parametrelerinin yanı sıra tel elektrot özelliğinin de önemli derecede işleme hızını etkilediğini ortaya koymuşlardır. Çinko kaplı pirinç tel elektrotla elde edilen işleme hızlarının kaplamasız pirinç tel elektrotla elde edilen işleme hızlarından daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Nourbakhsh ve diğ. (2013) tel elektro erozyon tezgâhının kesme performansını değerlendirmek için işleme hızını incelemiştir. Çinko kaplı pirinç tel elektrotla işleme yapıldığında kaplamasız pirinç tel elektrotla göre daha yüksek işleme hızı elde etmişlerdir. Ayrıca işleme hızı üzerinde maksimum akım ve vurum süresinin önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Gürbüz ve Baday (2017) CNC Tel elektro erozyon tezgâhında kesme hızı üzerinde tel elektrot çapının, kaplamalı ve kaplamasız tel elektrotların etkisi araştırmışlardır. Tel elektrot çapının, kaplamanın ve soğutma yönteminin kesme hızı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit etmişlerdir. Tel elektrot çapının artmasıyla kesme hızı değerlerinin daha yüksek çıktığı ve en yüksek kesme hızlarının ise kaplamalı tel elektrotlarla elde edildiğini çalışmalarında bahsetmişlerdir. Ayrıca püskürtmeli soğutma yöntemiyle elde

edilen kesme hızları daldırılmış soğutma yöntemiyle elde edilen kesme hızlarından daha düşük olduğunu bulmuşlardır.

Literatürde, işleme hızı üzerinde tel elektrot malzemesi, vurum süresi, vurum ara süresi, aralık takip voltaj, tel hızı, maksimum akım ve iş parçası kalınlığı gibi parametrelerin etkisi olduğu vurgulanmıştır (Galindo-Fernandez ve diğ., 2016; Tosun, 2003; Rao Parameswara ve Sarcar, 2009; Sandeep ve diğ., 2014; Chalisgaonkar ve Kumar, 2013; Chalisgaonkar ve Kumar, 2016; Nourbakhsh ve diğ., 2013; Gürbüz ve Baday, 2017). Bu çalışmada ise tel elektro erozyon ile işlemede makine performansını değerlendirmede en önemli parametrelerden biri olan işleme hızı üzerinde farklı soğutma yöntemlerinin, tel elektrot malzemelerinin ve iş parçası türlerinin etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. İş Parçası Malzemesi

Deneylerde, iş parçası malzemesi olarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ve soğuk iş takım çeliği 1.2379 (AISI D2) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda 300x80x25 mm ebadındaki prizmatik iş parçası malzemelerinden 10 x 10 mm kare malzemeler çıkarılmıştır. Bu iş parçası malzemelerine ait özellikler Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. AISI D2 Çeliğin kimyasal bileşenleri ve ısı iletkenlik katsayısı

C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	V%	Isıl iletkenlik kat sayısı (W/mK)
1,55	0,3	0,4	11,8	0,8	0,8	20,5

Tablo 2. AISI 304 Çeliğin kimyasal bileşenleri ve ısı iletkenlik katsayısı

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	N%	Ni%	Isıl iletkenlik kat sayısı (W/mK)
0,07	1,00	2,00	0,045	0,030	17,5-19,5	0,11	8,0-10,5	15,8

2.2. Tel Elektrotlar

Deneylerde bakır, kaplamasız pirinç ve çinko kaplamalı pirinç olmak üzere üç farklı tel elektrot kullanılmıştır. Bu tel elektrotların çapları, mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Tel Elektrotların çapları, mekanik ve fiziksel özellikleri

Tel Elektrotlar	Çekme Dayanımı, MPa	Kopma Yüğü, N	Elektrik İletkenliği %
Ø 0,25 mm Pirinç	980	48,2	22
Ø 0,25 mm Zn Kaplı Pirinç	883	43,3	20
Ø 0,25 mm Bakır	520	36	25

2.3. WEDM Tezgâhı Parametreleri ve Soğutma Yöntemi

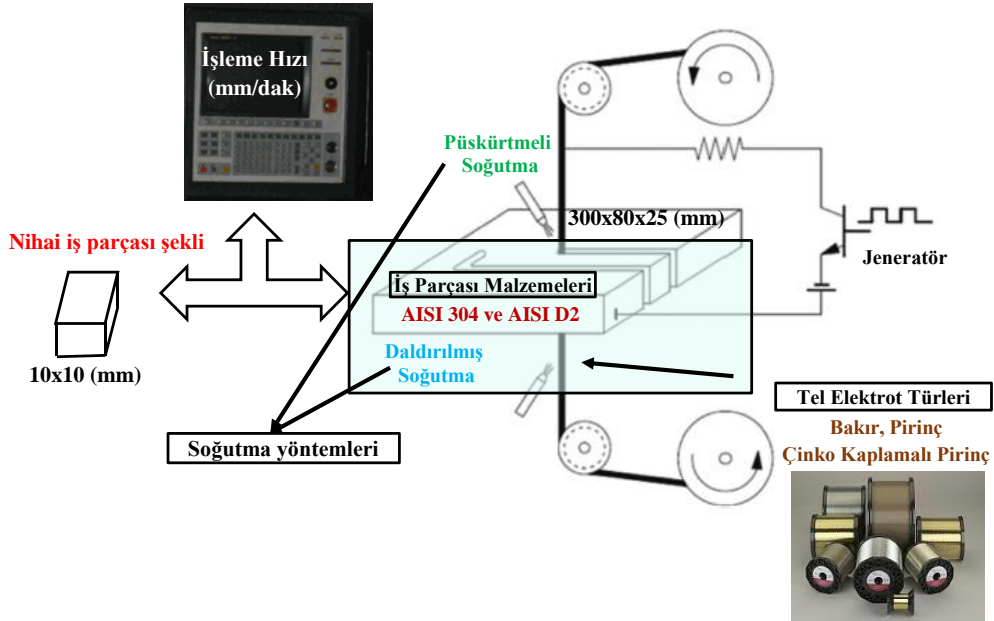
İşleme deneyleri, Makino U32 tip CNC Tel Erozyon tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde püskürtmeli ve daldırılmış soğutma yöntemi uygulanmış ve dielektrik sıvısı olarak da saf su kullanılmıştır. Kesme hızı deneylerinde kullanılan tezgâha ait parametreler, işlenecek iş parçası türüne bağlı olarak tel elektro erozyon tezgâh üreticisinin önerdiği değerler dikkate alınarak Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. İşleme Parametreleri

Vurum süresi (On Time), μ s	15
Vurum ara süresi (Off Time), μ s	50
Akım (Current), Amp	39
Kıvılcımlandırma akımı (Ignition current), Amp	39
Gerilim (Voltage), V	40
Su basıncı (Water Pressure), Mpa	30-40
Tel akış hızı (Wire Feed), m/dak	10

2.4. Denei Düzenegi

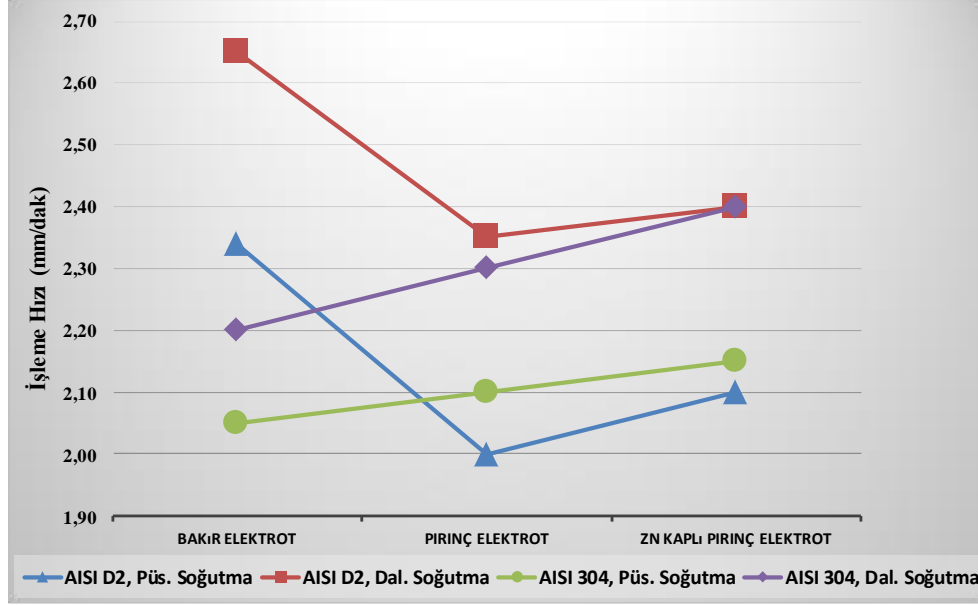
Deneylerde üç farklı tel elektrot, iki farklı iş parçası malzemesi ve iki farklı soğutma tipi kullanılarak toplam 12 adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1:
Deney Numunelerinin İşleme Koşullarının şematik gösterimi

3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

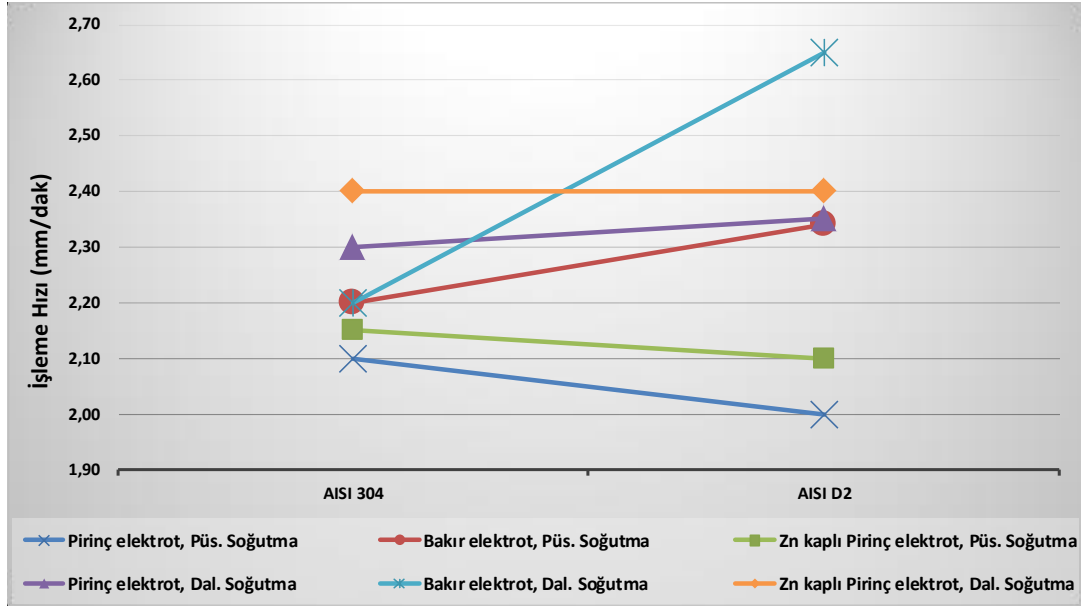
Tel elektro erozyon tezgâhında püskürtmeli ve daldırılmış soğutma yöntemine bağlı olarak AISI 304 ve AISI D2 malzemelerinin pirinç, bakır ve çinko kaplı pirinç tel elektrotlarla işlenirken elde edilen işleme hızı değerlerinin sonuçları grafiksel olarak Şekil 2-4'te verilmiştir. Farklı tip elektrotlara bağlı olarak elde edilen sonuçları gösteren Şekil 2'deki grafikler incelendiğinde, genel olarak en yüksek işleme hızları bakır tel elektrot ile en düşük işleme hızları ise kaplamasız pirinç tel elektrot ile elde edilmiştir.



Şekil 2:
Farklı tel elektrotlarla elde edilen işleme hızı değerleri

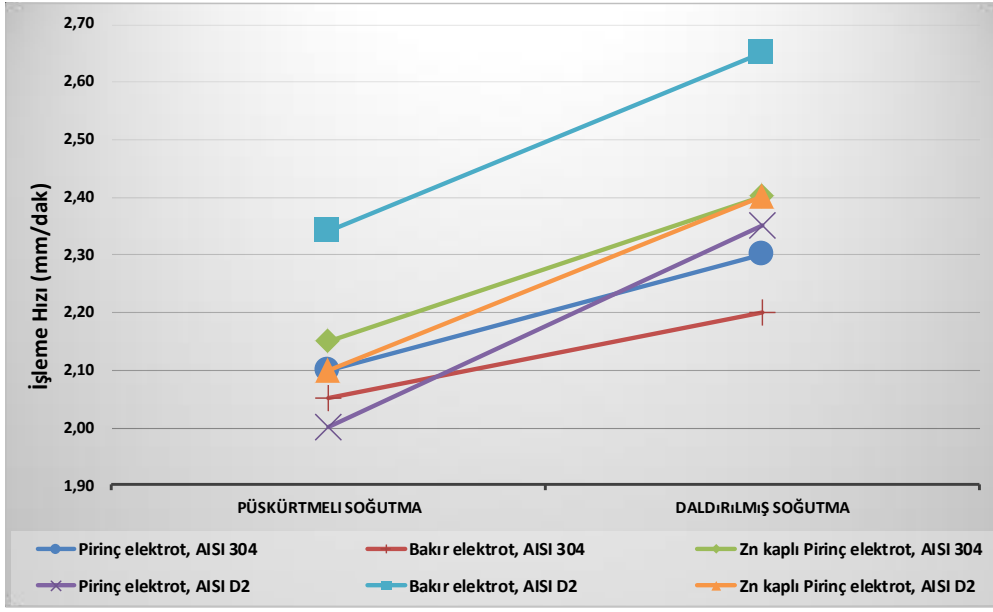
Ortaya çıkan bu sonuç tel elektrotların iletkenliklerine bağlı olarak açıklanmıştır [Tablo 3]. Bakır tel elektrotun iletkenliğinin yüksek olması, tel elektrottan geçen elektrik akımını kolaylaştırarak kesme bölgesinde oluşacak kıvılcım sayısını artıracaktır. Artan bu kıvılcım sayıları ise işleme hızının artmasına yol açacaktır. Kaplamalı pirinç tel elektrotlarla işlemenin kaplamasız pirinç tel elektrotlarla işlemeye göre daha yüksek işleme hızları elde edildiği Şekil 2'de görülmektedir. Söz konusu bu durum literatürle paralellik arz etmektedir (Galindo-Fernandez ve diğ., 2016; Chalisgaonkar ve Kumar, 2016; Nourbakhsh ve diğ., 2013; Gürbüz ve Baday, 2017; Prohaszka ve diğ.,1997). Pirinç tel elektrotlara uygulanan çinko kaplama sayesinde elde edilen iyi bir koruyucu özelliği işleme hızını artmasına katkı sağlayacaktır. Pirinç tel elektrotlara çinko eklenmesi, tel elektrotun erime noktasının düşmesine yol açar. Bu düşen erime sıcaklığı kıvılcım oluşumunu geliştirir ve dielektrik iyonizasyon süresini azaltarak işleme hızını artırır (Nourbakhsh ve diğ., 2013). Ayrıca çinko kaplamanın buharlaşması tel elektrotta bir 'ısı emici' etkisi oluşturur ve böylece tel elektrot malzemesini soğutur ve daha yoğun bir termal akışı sağlayarak işleme hızının artmasına neden olur (Prohaszka ve diğ.,1997). Başka yazarlar tarafından da kaplamalı pirinç tel elektrotun kaplamasız pirinç tel elektrotta göre daha yüksek işleme hızı elde edilmesini, kaplamalı tel elektrotun sahip olduğu yüksek erozyon enerjisine ve püskürtme yeteneğini bağlı olarak açıklamıştır. Çinko kaplamanın düşük erime sıcaklığı ve buharlaşma sıcaklığı, kesme bölgesinde iletkenliği artırmakta ve püskürtme yeteneğini geliştirmektedir (Chalisgaonkar ve Kumar, 2016).

İş parçası malzemesine göre elde edilen işleme hızları grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Genel olarak Şekil 3'teki grafiğe bakıldığında en yüksek işleme hızı AISI D2 takım çeliği işlenirken en düşük işleme hızları ise AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği işlenirken elde edilmiştir. Söz konusu bu durum iş parçası malzemelerinin ısı iletkenlik kat sayıları ile ilişkilendirilmiştir. Tel elektro erozyon tezgâhında yüksek işleme hızlar elde etmek için yüksek kesim akımı verilmelidir. Ancak yüksek kesim akımı tel elektrotun ısınmasına neden olarak çekme dayanımının azaltıp işleme hızının azalmasına sebep olacaktır. AISI D2 malzemesinin ısı iletkenlik kat sayısının yüksek olması, tel elektrotta oluşacak ısının iş parçasına transferini kolaylaştırarak tel elektrotun çekme dayanımının artmasına ve ısıdan kaynaklı kopmayı azaltarak, işleme hızının artmasına katkı sağlayacaktır. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin ısı iletkenlik kat sayısının düşük olması ise kesme esnasında meydana gelen ısının iş parçası yüzeyinde ısı birikimine sebep olmasına ve termal etkilerden kaynaklı iş parçası yüzeyinde istenmeyen çalışma sertleşmesine bağlı olarak iş parçasının işleme hızının düşmesine sebep olacaktır.



Şekil 3:
Malzeme türüne bağlı olarak elde edilen işleme hızı değerleri

Soğutma yöntemlerine bağlı olarak elde edilen işleme hızlarını gösteren grafik Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'teki grafik incelendiğinde en yüksek işleme hızı daldırılmış soğutmada en düşük işleme hızları ise püskürtmeli soğutma yönteminde elde edildiği görülmektedir. Ortaya çıkan bu durum daldırılmış soğutmanın iyi soğutma etkisine bağlı olarak açıklanmıştır. Daldırılmış soğutma yönteminde, iş parçası malzemesi ve tel elektrot kesim sırasında tamamen suyun içinde olduğundan kesme bölgesinde daha iyi bir soğutmanın sağlanmasıyla daha fazla akım verilebilmekte ve işleme hızının artmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda daldırılmış soğutmada, iş parçası ve nozullar suyun içerisinde olduğundan hava karışımı engellenerek daha etkili bir kesim yapılabilmektedir. Püskürtmeli soğutma yönteminde ise kesme bölgesinde daha fazla hava kabarcıklarının ve türbülansın oluşmasına sebep olarak tel elektrotun kırılmasına ve işleme hızının azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4:
Farklı soğutma yöntemlerine bağlı olarak elde edilen işleme hızı değerleri

4. SONUÇLAR

Tel elektro erozyon tezgâhlarında kesme performansının değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden biri işleme hızıdır. Yapılan bu deneysel çalışmada tel elektro erozyon ile işlemede makine performansını değerlendirmede büyük bir önem arz eden işleme hızı üzerinde farklı soğutma tekniklerinin, farklı malzemelerden yapılmış tel elektrotların ve iş parçası malzemelerinin etkisi araştırılmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- İşleme hızları üzerinde tel elektrot tipinin, soğutma yönteminin ve iş parçası türünün etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Genel olarak, tel elektrot tipine bağlı olarak en yüksek işleme hızları bakır tel elektrot ile en düşük işleme hızları ise kaplamasız pirinç tel elektrot ile elde edilmiştir.
- Kaplamalı pirinç tel elektrotlarla elde edilen işleme hızları, kaplamasız pirinç tel elektrotlarla elde edilen işleme hızlarından daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Soğutma yöntemine bağlı olarak en yüksek işleme hızları daldırılmış soğutmada elde edilirken en düşük işleme hızları ise püskürtmeli soğutma yönteminde elde edilmiştir.
- Genel olarak iş parçası malzemesine göre yüksek işleme hızları AISI D2 takım çeliği işlenirken düşük işleme hızları ise AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği işlenirken ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

1. Chalisgaonkar, R., Kumar, J. (2013). Optimization of WEDM process of pure titanium with multiple performance characteristics using Taguchi's DOE approach and utility concept, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(2), 201-214. doi:10.1007/s11465-013-0256-8
2. Chalisgaonkar, R., Kumar, J. (2016). Investigation of the machining parameters and integrity of the work and wire surfaces after finish cut WEDM of commercially pure titanium, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38, 883-911. doi:10.1007/s40430-015-0335-3
3. Dabade, U.A., Karidkar, S.S. (2016). Analysis of response variables in WEDM of Inconel 718 using Taguchi technique, *Procedia CIRP*, 41, 886-891. doi:10.1016/j.procir.2016.01.026
4. Galindo-Fernandez, M., Diver, C., Leahy, W. (2016). The prediction of surface finish and cutting speed for wire electro-discharge machining of Polycrystalline Diamond, *Procedia CIRP*, 42, 297-304. doi:10.1016/j.procir.2016.02.289
5. Gürbüz, H., Baday, Ş., (2017). CNC Tel Elektro Erozyon Tezgâhında Tel Elektrot Çapının, Kaplamalı ve Kaplamasız Tel Elektrotların Kesme Hızına Etkisi", *8th International Advanced Technologies Symposium (IATS'17)*, 965-971, 19-21 October, Elazığ, Turkey.
6. Hoang, K.T., Yang, S. H. (2013). A study on the effect of different vibration-assisted methods in micro-WEDM, *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 1616-1622. doi:10.1016/j.jmatprotec.2013.03.025
7. Nourbakhsh, F., Rajurkar, K.P., Malshe, A.P., Cao, J. (2013). Wire electro-discharge machining of titanium alloy, *Procedia CIRP*, 5, 13-18. doi:10.1016/j.procir.2013.01.003
8. Prohaszka, J., Mamalis, A.G., Vaxevanidis, N.M. (1997). The effect of electrode material on machinability in wire electro-discharge machining, *Journal of Materials Processing Technology*, 69, 233-237. doi:10.1016/S0924-0136(97)00024-1
9. Rao Parameswara, C.V.S., Sarcar, M.M.M. (2009). Evaluation of optimal parameters for machining brass with wire cut EDM, *Journal of scientific and industrial research*, 68, 32-35.
10. Sandeep, Rana, A., Manderna, A., Dhankhar. S. (2014). Effect of Various Process Parameters for Wire-Electrical Discharge Machining (WEDM) of D2 Die Steel, *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 3(10), 127-138.
11. Thomas, D., Kumar, R., Singh, G.K., Sinha, P., Mishra, S. (2015). Modelling of Process Parameters in Coated Wire Electric Discharge Machining Through Response Surface Methodology, *Materials Today: Proceedings*, 2, 1642-1648. doi: 10.1016/j.matpr.2015.07.091
12. Tosun, N. (2003). The Effect of the Cutting Parameters on Performance of WEDM, *ASME International Journal*, 17, 816-824. doi:10.1007/BF02983395