

Inconel 718'in Sialon Esaslı Seramik Kesicilerle Frezelenmesinde Minimum Miktarda Yağlamanın Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin Araştırılması

*¹Turgay Kıvak, ²Çağrı Vakkas Yıldırım ve ³Ulvi Şeker

*¹ Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

² Bolu Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye

³ Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Özet

Minimum Miktarda Yağlama (MMY) sistemi, imalat sürecindeki üretim maliyetlerini düşürmenin yanı sıra çevre ve çalışan sağlığını korumak için önemli iyileştirmeler sunan bir soğutma-yağlama yöntemidir. Seramik takımlarla yapılan metal kesme operasyonlarında kesme sıvısı önerilmediği bilindiğinden MMY sisteminin bu prosese dâhil edilmesi seramik takımlarla yapılan işlenebilirlik çalışmalarında önemli bir gelişme sağlayacaktır. Bu çalışmada, Inconel 718'in Sialon esaslı seramik takımlarla frezelenmesi esnasında MMY sisteminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, üç farklı kesme hızı (500, 600 ve 700 m/dak), üç farklı ilerleme (0.03, 0.06 ve 0.09 mm/dev) ve iki farklı soğutma/yağlama şartı (kuru, MMY) işleme parametresi olarak belirlenmiştir. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmak için istatistiksel analiz yöntemi olarak sinyal-gürültü oranı (S/N) ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda ortaya çıkan deney sonuçları için regresyon analizi aracılığı ile tahmin denklemleri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Inconel 718, Yüzey Pürüzlülüğü, Frezeleme, MMY, Seramik

Investigation of the effect of minimum quantity lubrication (MQL) on surface roughness in milling of Inconel 718 with Sialon based ceramic cutting tools

Abstract

Minimum Quantity Lubrication (MQL) system is a cooling-lubrication method that offers significant improvements to reduce environmental and employee health while reducing manufacturing costs in the manufacturing process. Since it is known that cutting fluids are not recommended for metal cutting operations with ceramic tools, the inclusion of the MQL system in this process will provide a significant improvement in machinability studies with ceramic tools. In this study, the effects of MQL system on surface roughness were investigated in the milling of Inconel 718 with Sialon based ceramic inserts. For this purpose, the machining parameters were considered as the three different cutting speed (500, 600 ve 700 m/min), three different feed rate (0.03, 0.06 ve 0.09 mm/rev) and two different cooling method (dry, MQL). Signal-to-noise ratio (S/N) and variance analysis (ANOVA) were used as statistical analysis methods to investigate the effects of processing parameters on surface roughness. Estimation equations were obtained by means of regression analysis for the results of the experiments that occurred as a result of the study.

Key words: Inconel 718, Surface Roughness, Milling, MQL, Ceramic

1. Giriş

En çok kullanılan süper alaşımlardan biri olan Inconel 718, mükemmel ısıl direnci, yüksek korozyon ve oksidasyon direnci, sürtünme ve yorulma özelliği iyi olan Nikel esaslı bir süper

*Corresponding author: Address: Faculty of Thecnology, Department of Manufacturing Engineering Duzce University, 81620, Duzce TURKEY. E-mail address: turgaykivak@duzce.edu.tr, Phone: +903805421133

alaşımıdır [1]. Inconel 718, yaşlandırma sertleştirilmesi sonrasında matris içerisinde düzenli bir şekilde dağılan $Ni_3(Al, Ti)$ bileşimine sahip γ' ve $Ni_3(Al, Ti, Nb)$ bileşimine sahip γ'' intermetalik fazların varlığından dolayı 500 °C'ye kadar özelliklerini korumaktadır. Bu özelliği nedeniyle uzay endüstrisi, uçak, deniz ve endüstriyel gaz türbin motorlarının yapısal parçaları, roket motorları, nükleer reaktörler, denizaltılar, basınç tankları, buhar türbin jeneratörleri gibi yüksek sıcaklığın bulunduğu uygulamalarda yoğun olarak tercih edilmektedir [2, 3]. Yüksek kullanım alanına karşın Inconel 718'in sahip olduğu düşük termal iletkenlik, sertlik, sıcak sertlik ve mikro yapısında yer alan aşındırıcı karbür partiküllerin varlığı bu malzemenin işlenebilirliğini son derece zorlaştırmaktadır [4]. Konvansiyonel işleme yöntemleri ile işlenmesi esnasında hızlı deformasyon sertleşmesinin oluşması ve mikro yapıdaki abrasif partiküller kesici takımın ömrünü oldukça azaltmaktadır. Takım ömrünü azaltan bir başka etken ise malzemenin bilinen özelliklerinden biri olan düşük termal iletkenliğidir. Düşük termal iletkenlik nedeniyle takım-iş parçası ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıklar talaş ile kesici takım arasında adhezyon ve difüzyona neden olmakta, bunun sonucu olarak da, kesici takım yüzeyinde bozulma ve takım ömründe azalma meydana gelmektedir [5]. Inconel 718 gibi Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kullanılacak kesici takımların aşınma direnci, mukavemet ve tokluk özelliklerinin yüksek, termal şok özelliği ve yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruyabilme özelliklerine sahip olması işlemin verimliliği açısından son derece önemlidir. Bu tür malzemelerin işlenmesinde genellikle sert metal karbürler, seramik takımlar (Al_2O_3 -TiC karışımli seramikler, Si_3N_4 seramikler ve SiC takviyeli Al_2O_3 seramikler) , kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar, CVD tekniğiyle yüzeyleri kaplanan çok katmanlı ($TiCN+ Al_2O_3+ TiN$) kaplamalı karbür takımlar tercih edilmektedir [6]. Ayrıca, süper alaşımların işlenebilirliğini artırmak için kesme sıvısı kullanımı da oldukça yaygın bir yöntemdir.

Kesme sıvısı, takım-iş parçası ara yüzeyinin soğutulması ve yağlanması ile işlenebilirliğin artırılması için talaş kaldırma operasyonlarında yaygın olarak tercih edilen bir opsiyondur. Ancak, mineral ve petrol esaslı kesme sıvılarının artan kullanımı çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır ve bu etki kesme sıvısı kullanımının artması ile paralellik göstermektedir [7]. İçeriğindeki tehlikeli maddeler nedeniyle toksik etki barındıran ve biyolojik olarak zor parçalanabilen kesme sıvıları, akciğer kanseri, solunum yolu hastalıkları, dermatolojik ve genetik hastalıklar gibi birçok çevre problemlerine ve ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır [8]. Örneğin, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), heterosiklik ve poliaromatik halkaları içeren petrol bazlı kesme sıvılarının kanserojen etkiye sahip olduğunu ve bu kesme sıvılarına maruz kalanların cilt kanserine yakalanma risklerinin yüksek olduğunu ifade etmiştir [9]. Bütün bunların yanında, satın alma, depolama, geri dönüşüm sistemine entegre etme ve/veya atığı yok etme gibi etkenler kesme sıvılarının üretim maliyetlerine olumsuz etkilerini de gözler önüne sermektedir. Bütün bu nedenlerden dolayı üretici ve araştırmacılar kesme sıvısı kullanımını azaltacak yeni yöntemler üzerine yoğunlaşmış durumdadırlar [10]. Bu yöntemlerden biri de minimum miktarda kesme sıvısının kullanıldığı Minimum Miktarda Yağlama (MMY) yöntemidir.

Minimum Miktarda Yağlama, son yirmi yıldır işleme operasyonlarında kullanılan, yarı kuru işleme ya da mikro yağlama olarak da bilinen bir soğutma yağlama yöntemidir [11]. Talaş kaldırma operasyonlarında kullanılan kesme sıvısı miktarını azaltmak için yaygın bir yöntem olarak kullanılan MMY sisteminde, çok az miktarda bitkisel yağ veya biyolojik olarak parçalanabilir sentetik ester basınçlı hava ve nozul yardımıyla kesme bölgesine püskürtülmektedir. MMY sisteminde kullanılan yağ miktarı yaklaşım olarak 10-100 ml/h arasındadır ve bu konvansiyonel

kesme sıvısı kullanımının yaklaşık 1/10000'i kadardır [12].

Bu çalışmada, nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımının frezelenmesinde işleme parametrelerinin (soğutma/yağlama yöntemi, kesme hızı, ilerleme) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için Taguchi S/N oranı kullanılmıştır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi görebilmek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Regresyon analizi ile tahmin denklemi oluşturulmuştur.

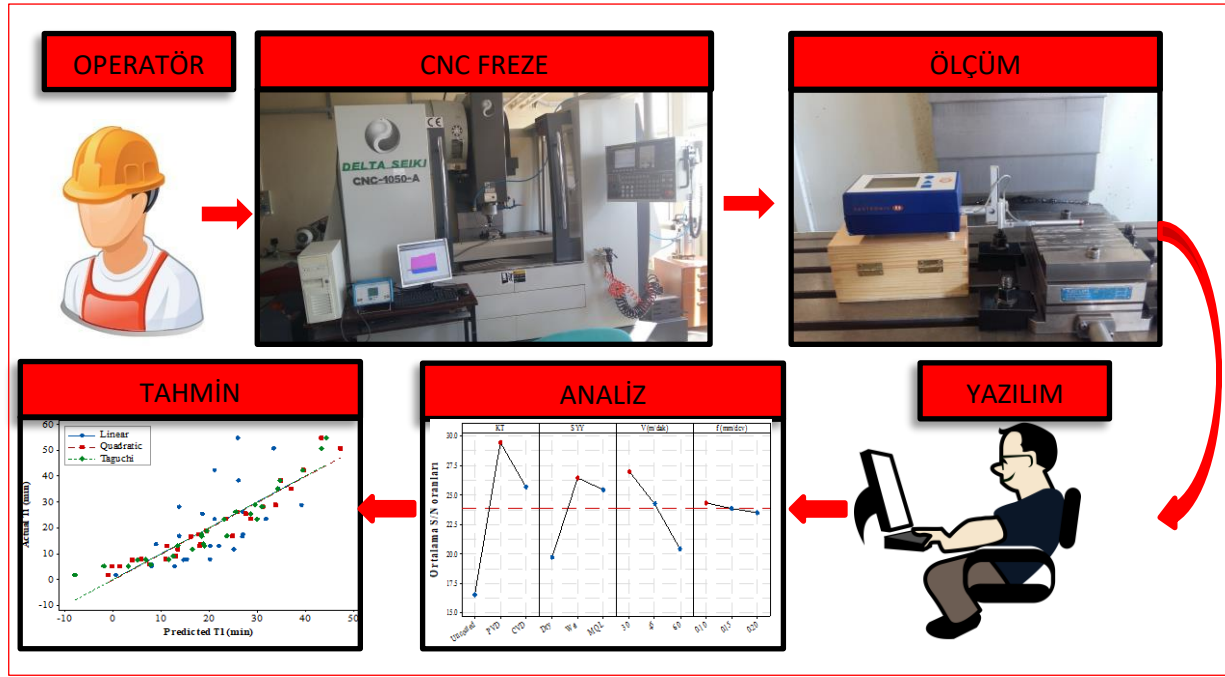
2. Malzeme ve Metod

Deneyler, 11 kW motor gücü ve 10000 dev/dak maksimum devir sayısına sahip DELTA SEIKI CNC-1050 A marka üç eksenli CNC dik işleme merkezinde Inconel 718 süper alaşımının farklı kesme hızı (V_c), ilerleme (f) ve farklı soğutma-yağlama sistemi altında işlenmesi ile yapılmıştır. Deneylerin yapılmasındaki temel amaç, kesme hızı, ilerleme ve soğutma-yağlama sisteminin Inconel 718 süper alaşımının frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini irdelemektir. İşleme parametreleri Tablo 1'de verilmektedir. Kesme hızı ve ilerleme değerleri kesici takım firmasının tavsiyeleri ve literatür araştırması sonucu belirlenmiştir. Kesme derinliği 0.5 mm ile sabit tutulmuştur.

Tablo 1. Deney Şartları

Makine	: DELTA SEIKI CNC-1050 A
İş Parçası	:
<i>Kimyasal Özellik</i>	: Inconel 718 (Al=0.2-0.8%, C=0.8%, Cr= 17-21%, Co=1%, Cu=0.3%, Fe=17%, Mn=0.35%, Mo=2.8-3.3%, Ni=50-55%, Nb=4.75-5.5%, P=0.015%, Si=0.35%, S=0.015%, Ti=0.65-1.15%)
<i>Ölçü</i>	: 120X100X15 mm
Kesici Takım	:
<i>Kesici Uç</i>	: Sialon esaslı seramik, ISO: RPGN090300E, Sandvik (CC 6060 kalite)
<i>Takım Tutucu</i>	: R300C-025A20-09M
İşleme Parametreleri	:
<i>Kesme Hızı, V_c</i>	: 500, 600 ve 700 m/dak
<i>İlerleme, f</i>	: 0.03, 0.06 ve 0.09 mm/dev
<i>Kesme Derinliği, a_p</i>	: 0.5 mm
MMY Parametreleri	:
<i>Basınç</i>	: 8 bar
<i>Yağ Cinsi</i>	: Bitkisel (Yoğunluk: 0.895 g/cm ³ , 20°C, Kinematik Viskozite: 5 mm ² /sn, 40 °C, Parlama Noktası: 170 °C) ve Mineral (Yoğunluk: 0.854 g/cm ³ , 20°C, Kinematik Viskozite: 10.5 mm ² /sn, 40 °C, Parlama Noktası: 212 °C)
<i>Debi</i>	: 100 ml/h
<i>Püskürtme Mesafesi</i>	: 30 mm

MMY kesme koşulları altında yapılan işlenebilirlik deneylerinde, az miktarda kesme yağı 8 bar basınçlı hava ile beraber pulverize bir şekilde nozul yardımıyla kesme bölgesine püskürtülmüştür. SKF firmasına ait Vario model MMY sisteminin kullanıldığı frezeleme deneylerinde, 100 ml/h debide bitkisel esaslı yağ tercih edilmiştir. İş akış şeması ve deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.



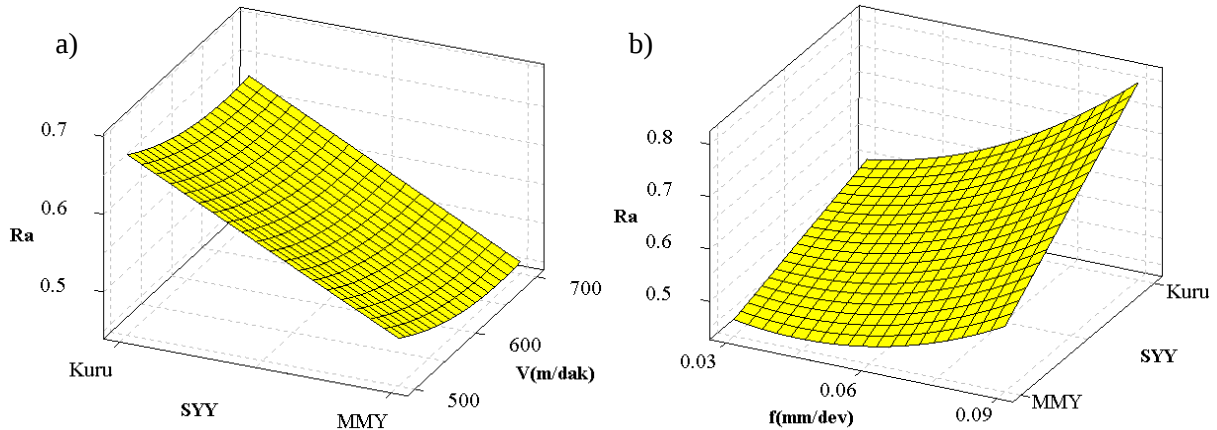
Şekil 1. Deney akış şeması

Yürütülen deneyler sonunda elde edilen yüzeylere ait ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) Taylor Hobson (Surtronic 25) marka taşınabilir ölçüm cihazı aracılığıyla ölçülmüştür. Cihaz ölçme işleminden önce kalibrasyon blokları ile kalibre edilmiştir. Her yüzey daha önce kullanılmamış bir takım ile işlenmiştir. Ölçüm yapılacak yüzeylerin oksitlenmemesi ve ölçüm değerlerini etkilememesi amacıyla ölçme bekletilmeden yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri, işlenen yüzey üzerinden işleme yönünde, dört noktadan birer kez ölçülmüş ve ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Deney Sonuçlarının Analizi

Yüzey Pürüzlülüğü, imalat endüstrisi için en önemli kalite kriterlerinden birisidir. İşleme esnasında işlenen yüzeyin kalitesi işleme parametrelerinin doğru kombinasyonu ile son derece verimli çıkabilmektedir. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü deney sonuçları 3D yüzey grafikleri kullanılarak değerlendirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi a) Soğutma/yağlama yöntemi-Kesme hızı, b) İlerleme-Soğutma/yağlama yöntemi

Şekil 2a'daki soğutma-yağlama yöntemi ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki incelendiğinde, en az yüzey pürüzlülük değerinin MMY sistemi ile elde edildiği görülmektedir. Kesme esnasında oluşan yüksek sıcaklık, iş parçasında ve kesici takımda termal yumuşamayla beraber yüzey kalitesinin kötü çıkmasına neden olmaktadır. Daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için kesme bölgesindeki sıcaklığın kontrol altına alınması önemli bir gereksinimdir. Bu da kesme sıvısı kullanımı ile olmaktadır. Kesme sıvısı, kesme bölgesindeki ısıyı absorbe ederek sıcaklığı uygun seviyeye çekmektedir. Bu nedenle de kesme sıvısının kullanıldığı durumlarda daha iyi yüzey kalitesi ortaya çıkmaktadır [13]. Kuru işleme ile MMY sistemi altında yapılan işleme kıyaslandığında, MMY sistemi %23.36 daha iyi sonuç vermiştir. Yine Şekil 2a'da yer alan ve kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi gösteren bölüm incelendiğinde, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve en iyi yüzey pürüzlülük değerinin 700 m/dak ile elde edildiği görülmektedir. Artan kesme hızı ile birlikte yüzey pürüzlülüğünde görülen iyileşme, sıcaklığın talaş kaldırmayı kolaylaştıracak noktaya kadar artması ile açıklanabilir [14-15]. Ayrıca, kesme bölgesindeki sıcaklığın bir noktaya kadar artması built-up-edge (BUE) ve built-up-layer (BUL) oluşumunu geciktireceği için kesici takım aşınmasını da geciktirmektedir. Bu durum da yüzey kalitesinin artma sebeplerindendir [16]. 500 m/dak kesme hızına göre 600 m/dak kesme hızı %6.48 daha iyi sonuç verirken 700 m/dak kesme hızı %7.45 daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 2b'de yer alan ve yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile ilişkisini gösteren kısım incelendiğinde, en düşük yüzey pürüzlülük değerinin 0.03 mm/dev ilerleme ile sağlandığı görülmektedir. İlerleme miktarının artması yüksek ilerleme kuvvetine, düşük kayma açısına ve kaldırılan talaş hacminin artmasına neden olduğundan yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz bir etki bırakmaktadır [17-20]. Ayrıca, literatürde ilerlemedeki artışla yüzey pürüzlülüğünde de artışın beklenen bir durum olduğu ve yüzeyi iyileştirmek için ilerleme değerinin azaltılması gerektiği belirtilmektedir [21]. En fazla yüzey pürüzlülük değerinin veren 0.09 mm/dev ilerleme ile diğer ilerleme değerleri kıyaslandığında 0.06 mm/dev ilerleme %19.1 daha iyi yüzey pürüzlülük değeri verirken 0.03 mm/dev %25.07 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

3.2. Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı Analizi

Bu çalışmada deney verilerinin optimizasyonu için Taguchi yöntemi tercih edilmiştir. Taguchi yöntemi, sonuçları incelemek için S/N oranı denilen istatistiksel bir ölçü kullanmaktadır. Bu yöntemde, “Sinyal” çıkış karakteristiği için istenen değeri belirtirken “gürültü” istenmeyen değeri ifade etmektedir [22]. S/N oranlarının analizinde “en büyük en iyi”, “en küçük en iyi” ve “nominal en iyi” olmak üzere üç ana karakteristik değeri vardır [23]. Çalışmanın amacı en düşük yüzey pürüzlülük değerini hesaplamak olduğundan “en küçük en iyi” seçilmiştir ve Eşitlik 1’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır;

$$S / N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

Burada, Y: Performans karakteristik değeri (yüzey pürüzlülüğü), n : Y değerlerinin sayısıdır [24].

Deney sonuçları ve bunlara ait S/N oranları Tablo 2’de verilmiştir. Tablodan yararlanarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0.588 μm hesaplanırken ortalama S/N oranı 4.78 dB hesaplanmıştır.

Tablo 2. Deney sonuçları ve bunlara ait S/N oranları

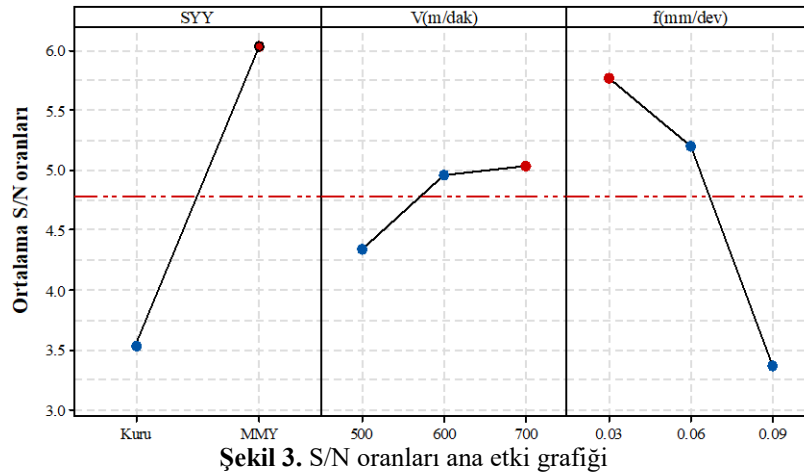
Dn. No.	Kontrol faktörleri			Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	S/N oranı (dB)
	A Soğutma/Yağlama Yöntemi (SYY)	B Kesme hızı (m/dak)	C İlerleme (mm/dev)		
1	Kuru	500	0.03	0.58	4.73
2	Kuru	500	0.06	0.70	3.10
3	Kuru	500	0.09	0.82	1.72
4	Kuru	600	0.03	0.54	5.35
5	Kuru	600	0.06	0.64	3.88
6	Kuru	600	0.09	0.82	1.72
7	Kuru	700	0.03	0.56	5.04
8	Kuru	700	0.06	0.61	4.29
9	Kuru	700	0.09	0.80	1.94
10	MMY	500	0.03	0.48	6.38
11	MMY	500	0.06	0.52	5.68
12	MMY	500	0.09	0.60	4.44
13	MMY	600	0.03	0.46	6.74
14	MMY	600	0.06	0.46	6.74
15	MMY	600	0.09	0.54	5.35
16	MMY	700	0.03	0.48	6.38
17	MMY	700	0.06	0.42	7.54
18	MMY	700	0.09	0.56	5.04

Deneyler sonucu elde edilen verilerin S/N (sinyal/gürültü) oranları optimize edilmiştir. Tablo 3’te deney sonuçları için ortalama S/N tablosu verilmiştir ve optimum yüzey pürüzlülüğü değeri için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri görülmektedir.

Tablo 3. S/N yanıt tablosu

Seviyeler	Kontrol faktörleri		
	A	B	C
Seviye 1	3.530	4.341	5.769
Seviye 2	6.031	4.966	5.205
Seviye 3		5.036	3.368
Delta	2.501	0.695	2.401

En düşük yüzey pürüzlülük değerini veren faktörlere ait seviyeler ve S/N oranları; faktör A için (Seviye 2, S/N=6.031 dB), faktör B için (Seviye 3, S/N=5.036 dB) ve faktör C için (Seviye 1, S/N=5.769 dB) olarak belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 3'te yüzey pürüzlülüğü değerleri için kontrol faktörlerinin S/N oranları ana etki grafiği verilmiştir.



Şekil 3 incelendiğinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini veren optimum kesme parametrelerinin; minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi (A_2), 700 m/dak kesme hızı (B_3) ve 0.03 mm/dev ilerleme (D_1) olduğu görülmektedir.

3.2. Varyans Analizi

ANOVA olarak da bilinen varyans analizi işleme parametrelerinin etkilerini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. ANOVA analizi, %95 güven düzeyi ve %5 anlamlılık düzeyi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kontrol faktörlerinin F değerleri, ANOVA analizi ile belirlenen kontrol faktörlerinin önemini göstermektedir. Her bir parametrenin katkısı, ANOVA tablosunun son sütununda gösterilmektedir [16].

Bu çalışmaya ait ANOVA sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde faktör A, B, ve C'nin yüzde katkıları sırasıyla %50.6, %2.3 ve %34.2 olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında mevcut girdi değerleri içerisinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün soğutma-yaglama yöntemi (A) olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü için hata yüzdesi %12.9 bulunmuştur. İstatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları doğrular nitelikte olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Anova tablosu

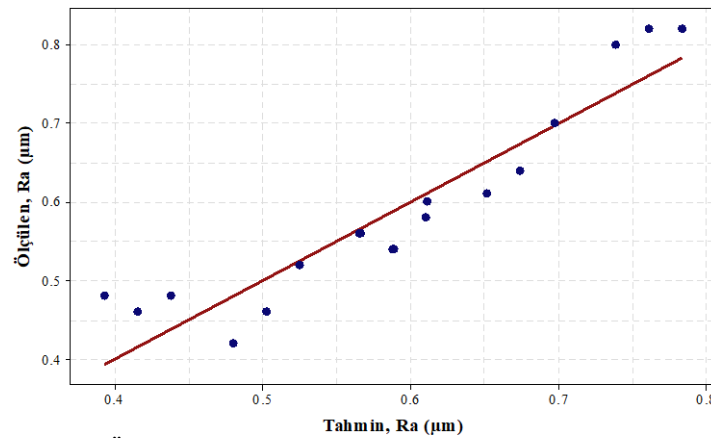
Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	1	0.133472	0.133472	55.01	0.000	50.6
B	1	0.006075	0.006075	2.50	0.136	2.3
C	1	0.090133	0.090133	37.15	0.000	34.2
Hata	14	0.033969	0.002426	-	-	12.9
Toplam	17	0.263650	-	-	-	100

3.3. Regresyon Analizi

Birçok çalışmada regresyon analizi, kontrol faktörleri ve deney sonuçları arasındaki ilişkiyi saptamak için kullanılmıştır. Bu çalışmada, soğutma-yaglama yöntemi (A), kesme hızı (B) ve ilerleme (C) kontrol faktörlerini oluştururken ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) yanıtı oluşturmaktadır. Ra'nın tahmin edilmesi için regresyon analizi kullanılarak matematiksel bir model oluşturulmuştur. Elde edilen tahmin denklemi Eşitlik 2'de gösterilmektedir;

$$Ra = 0.8083 - 0.1722*SY - 0.000225*V_c + 2.889*f \quad (2)$$

Elde edilen bu denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0.871$ olarak hesaplanmıştır. Belirleme katsayısı tahmin için kullanılan denklemin güvenilirliğini göstermektedir. Literatürde denklemin güvenilir olması için R^2 değerinin 0.8 ile 1 arasında olması önerilmektedir [25]. Bu çalışmada elde edilen R^2 değeri (0.871) yeterince yüksektir ve tahmin modelinin geçerliliğini ortaya koymaktadır. Yüzey pürüzlülüğü için olasılık grafiği Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, tahmin değerlerinin düz bir çizgi etrafında kümelenmeye eğilimli olduğu görülmektedir bu da hataların normal dağılım gösterdiği anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle, bu durum tahmin modelinin tatminkâr olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4. Ölçülen değerler ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Sonuçlar

Bu çalışma, Inconel 718'in seramik takımlarla frezelenmesinde soğutma-yağlama yöntemi, kesme hızı ve ilerlemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine odaklanmıştır. Deney Sonuçlarının optimizasyonu için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Optimum kesme parametresini elde etmek için “en küçük en iyi” yaklaşımı benimsenmiş ve bunu hayata geçirmek için Taguchi S/N oranı tercih edilmiştir. Sonuçların elde edilmesinde işleme parametrelerinin önemini tanımlamak için varyans analizi yapılmıştır. Regresyon analizi kullanılarak ortalama yüzey pürüzlülük değerini tahmin etmek için birinci dereceden bir denklem ile tahmin modeli oluşturulmuştur. Ayrıca, bu çalışmadan elde edilen sonuçları aşağıda madde madde verilmiştir;

- ✓ En iyi yüzey pürüzlülük değerini veren parametre grubu $A_2B_3C_1$ şeklinde bulunmuştur. Bir başka deyişle, en iyi sonucu veren parametreler minimum miktarda yağlama sistemi (MMY), 700 m/dak kesme hızı ve 0.03 mm/dev ilerleme olmuştur.
- ✓ Inconel 718'in seramik takımlarla frezelenmesinde Minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi kuru işlemeye nazaran daha iyi sonuç vermiştir ve daha sonraki çalışmalar için önerilmektedir.
- ✓ İlerleme hızı yüzey pürüzlülüğü için önemli bir parametredir ve ilerleme hızındaki artışla beraber yüzey pürüzlülük kalitesi önemli ölçüde azalmaktadır.
- ✓ ANOVA kullanılarak yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün soğutma-yağlama yöntemi olduğu (%54.6), bunu ilerleme (%34.2) ve kesme hızının (%2.3) takip ettiği görülmüştür. Ayrıca, soğutma-yağlama yöntemi ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü için istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve güvenilirlik seviyesinin %95 olduğu görülmüştür.
- ✓ Regresyon modeli, deneysel ve tahmini değerler arasında yüksek bir korelasyon göstermiştir.

Kaynakça

- [1] Kronovsky GA, Cieslak MC, Headley TJ, Roming AD, Hammetter WF. Inconel 718: A solidification diagram. Metallurgical transactions A 1989;20A:2149-2158.
- [2] Sharman A, Dewes RC, Aspinwall DK. Tool life when high speed ball nose end milling Inconel 718. Journal of Materials Processing Technology 2001;118:29-35.
- [3] Ezugwu EO. Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys. International Journal of Machine Tools & Manufacture 2005; 45:1353-1367.
- [4] Anderson M, Patwa R, Shin YC. Laser-assisted machining of Inconel 718 with an economic analysis. International Journal of Machine Tools & Manufacture 2006;46:1879-1891.
- [5] Li L, He N, Wang M, Wang ZW. High speed cutting of Inconel 718 with coated carbide and ceramic inserts. Journal of Materials Processing Technology 2002;129:127- 130.
- [6] Ay M. Inconel 718 Nikel Alaşımının Elektro-Termal İşleme Yöntemleriyle İşlenebilirliğinin

Araştırılması. Doktora Tezi; Fırat Üniversitesi; Elazığ; 2013.

- [7] Debnath S, Reddy MM, Yi QS. Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning process using Taguchi method. *Measurement* 2016;78:111-119.
- [8] Ozcelik B, Kuram E, Cetin MH, Demirbas E. Experimental investigations of vegetable based cutting fluids with extreme pressure during turning of AISI 304L. *Tribol. Int.* 2011; 44:1864–1871.
- [9] Abdalla HS, Baines W, McIntyre G, Slade C. Development of novel sustainable neat-oil metal working fluids for stainless steel and titanium alloy machining. Part 1. Formulation development, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2007;34:21–33.
- [10] Fratila D. Evaluation of near-dry machining effects on gear milling process efficiency. *Journal of Cleaner Production* 2009;17:839–845.
- [11] Kamata Y, Obikawa T. High speed MQL finish-turning of Inconel 718 with different coated tools. *Journal of Materials Processing Technology* 2007;192-193:281-286.
- [12] Yazid MZA, CheHaron CH, Ghani JA, Ibrahim GA, Said AYM. Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL. *Procedia Engineering* 2001;19:396-401.
- [13] Mahadi MA, Choudhury IA, Azuddin M, Nukman Y. Use of Boric Acid Powder Aided Vegetable Oil Lubricant in Turning AISI 431 Steel. *Procedia Engineering* 2017;184:128-136.
- [14] Sarıkaya M, Güllü A. Multi-response optimization of minimum quantity lubrication parameters using Taguchi-based grey relational analysis in turning of difficult-to-cut alloy Haynes 25. *Journal of Cleaner Production* 2015;91:347-357.
- [15] Suresh R, Basavarajappa S, Gaitonde VN, Samuel GL. Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 2012;33:75-86.
- [16] Sarıkaya M. Optimization of the surface roughness by applying the Taguchi technique for the turning of stainless steel under cooling conditions. *Materials and Technology* 2015; 49:941-948.
- [17] Şahin Y. Talaş kaldırma prensipleri 1, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2000.
- [18] Trent EM. Metal cutting, Butterworths Press, London, 1 -171, 1989.
- [19] Garmo EP, Black JT, Kohser RA. Materials and processes in manufacturing, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 214-652, 1997.
- [20] Sandvik Coromant, Modern metal cutting–A practical handbook. English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, I-III, 1994.
- [21] Lalwani DM. Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel. *Journal of Materials Processing Technology* 2008;206:167-179.
- [22] Pinar AM, Filiz S, Ünlü BS. A comparison of cooling methods in the pocket milling of AA5083-H36 alloy via Taguchi method. *Int J Adv Manuf Technol* 2016;83:1431–1440.
- [23] Gupta A, Singh H, Aggarwal A. Taguchi-fuzzy multi output optimization (MOO) in high speed CNC turning of AISI P-20 tool steel. *Expert Syst. Appl.* 2011;38:6822–6828.
- [24] Kivak T. Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts. *Measurement* 2014;50:19–28.
- [25] Cetin MH, Ozcelik B, Kuram E, Demirbas E. Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method. *Journal of Cleaner Production* 2011; 19:2049-2056.