



## INCONEL 718 ALAŞIMININ SERAMİK TAKIMLA TORNADA İŞLENEBİLİRLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN TAGUCHI METHODU İLE ARAŞTIRILMASI

Ayhan AYTAÇ<sup>1</sup>, Kadir AZTEKİN<sup>2</sup>

### Öz

*Inconel 718 süper alaşımı sahip olduğu mekanik özellikler nedeniyle yüksek sıcaklıklarda şiddetli mekanik gerilmelere dayanabilen ısı direnci yüksek, demir-nikel, nikel ya da kobalt esaslı alaşımlardır. Sahip olduğu bu üstün özellikler nedeniyle uçak motorlarında, endüstriyel gaz türbinlerinde, uzay araçlarında, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, denizaltılarda, buhar üretme tesislerinde, petrokimyasal cihazlarda ve diğer ısıya dayanıklı uygulamalarda kullanılmaktadır. İyi yüzey kalitesinin gerekli olduğu bazı durumlarda Inconel 718 malzemesinin talaşlı imalatı zorunlu hâle gelmektedir. Tornalama işlemi talaşlı imalat yöntemlerinin en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Yüzey kalitesi bir malzemenin işlenebilirliğini değerlendirmek açısından önemli bir kriterdir. Tornalamada işlenebilirliği etkileyen en önemli faktörler kesici takım malzemesi, kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızı olup Inconel 718 gibi işlenmesi zor olan bir malzeme için araştırılmasında fayda vardır. Tornalamada en uygun işleme koşullarının tespiti için mühendislik istatistiği yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Taguchi metodu optimum faktör seviyelerini belirlemek için mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Üstün mekanik özelliklerinden dolayı işlenmesi zor olan Inconel 718 alaşımının optimum işleme koşullarının araştırılmasında fayda vardır. Bu çalışmada Inconel 718 alaşımının tornalanmasında işlenebilirliğine etki eden faktörlerin optimum seviyesinin bulunması için Taguchi metodu ile optimizasyon yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü işlenebilirlik kriteri olarak kabul edilmiştir. İlerleme hızı (0,025, 0,050, 0,075 ve 0,10 mm/dev), talaş derinliği (0,5 ve 1 mm) ve kesme hızı (125 ve 250 m/dak) işlenebilirlik faktörleri olarak seçilmiştir. Deneylerde kesici takım olarak seramik takım kullanılmıştır. Deneyler sonucunda ilerleme hızı % 65 etki yüzdesi ile yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden faktör olmuştur. Faktör etkileşimleri arasında ise ilerleme hızı ile talaş derinliğinin etkileşimi % 10 ile en büyük olmuştur. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ilerleme hızının 0.025 mm/dev, talaş derinliğinin 1 mm ve kesme hızının 125 m/dak olduğu seviyelerde 0,6356 µm olarak elde edilmiştir.*

**Makalenin Türü:** Araştırma makalesi

**Anahtar sözcükler:** Inconel 718, Taguchi, ANOVA, seramik takım, yüzey pürüzlülüğü, işlenebilirlik, tornalama

**Jel Kodu:** I-10

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Üyesi, MSÜ Kara Harp Okulu Dekanlığı, aytac@kho.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6323-9401  
<sup>2</sup> Dr.Öğr.Üyesi, MSÜ Kara Harp Okulu Dekanlığı, kaztekin@kho.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6323-9401

## Investigation of the Factors Affecting the Machinability of Inconel 718 Alloy in Turning by Ceramic Tool with Taguchi Method

### Abstract

*Inconel 718 super alloys are iron-nickel, nickel or cobalt based alloys with high thermal resistance, which can withstand severe mechanical stresses at high temperatures due to their mechanical properties. Due to these superior properties, they are used in aircraft engines, industrial gas turbines, space vehicles, rocket engines, nuclear reactors, submarines, steam generating plants, petrochemical devices and other heat-resistant applications. In some cases where good surface quality is required, machining of Inconel 718 material becomes mandatory. Turning is one of the most widely used methods of machining. Surface quality is an important criterion for evaluating the machinability of a material. The most important factors affecting machinability in turning are cutting tool material, cutting speed, depth of cut and feed rate, and it is useful to search for a material that is difficult to machine such as Inconel 718. Engineering statistics methods are frequently used to determine the most suitable machining conditions in turning. The Taguchi method is often used in engineering applications to determine optimum factor levels. Due to its superior mechanical properties, it is useful to investigate the optimum machining conditions of the Inconel 718 alloy, which is difficult to machine. In this study, optimization of the factors affecting the machinability of Inconel 718 alloy in turning with Taguchi method was performed. Surface roughness is accepted as the machinability criterion. Feed rate (0.025, 0.050, 0.075 and 0.10 mm/rev), depth of cut (0.5 and 1 mm) and cutting speed (125 and 250 m/min) were selected as machinability factors. In the experiments, ceramic tool was used as cutting tool. As a result of the experiments, the feed rate was the most effective factor for surface roughness with 65% effect percentage. Among the factor interactions, the interaction of feed rate and depth of cut was the largest with 10%. The lowest surface roughness value was obtained as 0.6356  $\mu\text{m}$  at the feed rate of 0.025 mm/rev, depth of cut of 1 mm and cutting speed of 125 m/min.*

**Article Type:** Research Article

**Keywords:** Inconel 718, Taguchi, ANOVA, ceramic tool, surface roughness, machinability, turning

**Jel Code:** I-10

## GİRİŞ

Inconel 718, %50-55 Ni, %17-23 Cr, %4.8-5.5 Nb, %2.8-3 Mo ve Fe (balans) içeren çökeltme sertleşmeli nikel-demir alaşımıdır. Yüksek sıcaklıklarda olağanüstü dayanıklılık ve yorulma, aşınma, sıcak korozyon ve uygun kaynak kabiliyetine karşı mükemmel direnç nedeniyle, uçakta, gaz türbinlerinde, turbo şarjlı rotorlarda, nükleer reaktörlerde, sıvı yakıtlı roketlerde ve çok çeşitli yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılır. Bununla birlikte, alaşımın yüksek sertliği ve düşük ısı iletkenliği, özellikle karmaşık parçaların imalatı için geleneksel işleme ve biçimlendirme işlemlerini kullanırken güçlükler doğurur (Hosseini ve Popovich, 2019).

Üstün özellikleri nedeniyle Inconel 718 malzemesinden üretilecek parçalara sıklıkla talaşlı imalat yöntemleri ile son şekli verilmek zorunda kalmaktadır. Özellikle iyi yüzey kalitesinin gerekli olduğu durumlarda talaşlı imalat çoğunlukla en iyi çözüm yöntemlerinin başında gelir.

Tornalama işlemi Inconel 718 alaşımının işlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. (Reddy, Kosaraju, ve Nuka, 2019).

İşlenebilirlik göreceli bir kavram olmakla birlikte talaş biçimi, yüzey kalitesi, sıcaklık, takım aşınması ve güç tüketimi öne çıkan kriterlerdir. Yüzey kalitesinin iyi olmasının zorunlu olduğu durumlarda ise yüzey pürüzlülüğü kaçınılmaz olarak en önemli işlenebilirlik kriteri olmaktadır (Marques, Suarez, Sales, ve Machado, 2019).

Tornalamada işlenebilirliği etkileyen en önemli faktörler kesici takım malzemesi, kesme hızı, talaş derinliği, kesici takım uç yarıçapı ve ilerleme hızı olup, Inconel 718 gibi işlenmesi zor olan bir malzeme için araştırılmasında fayda vardır. Inconel 718 malzemesinin işlenmesi zor olduğu için genellikle Kübik Boron Nitrit (CBN) ve seramik takımlar kullanılmaktadır. Bu takımlar yüksek sıcaklık gerektiren ve yüksek sertlik değerlerine sahip malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır (Marques vd., 2019).

Deney tasarımı mühendislik ve fen bilimlerinde deney parametrelerini optimize etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Aztekin, Işık, Aytaç, Özdemir, Çakır ve Çanakçı, 2018; Dean ve Voss, 1999; Montgomery, Runger ve Hubele, 2011).

Deney tasarımında faktör ve faktör seviyeleri arttıkça deney sayısı da artmaktadır. Bu durum deney maliyetlerinin artmasına ve deney sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. Bu sorunu çözmek için kesirli faktöriyel deney tasarımı geliştirilmiştir. Kesirli deney tasarımı deney sayılarını azaltmakla birlikte farklı araştırmacıların aynı kesirli deneylerde farklı seviye seçebilmeleri nedeniyle farklı sonuçlar elde etmelerine neden olmaktadır. Bu sorunu Genichi Taguchi geliştirmiş olduğu standart ortogonal diziler ile çözmüştür. Böylelikle farklı araştırmacılar aynı faktör ve seviyeleri için aynı ortogonal tabloları kullanma imkanı bulmuştur. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş olan bu yöntem Taguchi Metodu denmektedir. Deneysel tasarımdan farklı olarak Taguchi Metodu, deney faktörlerini kontrol edilebilir ve kontrol edilemez faktörler olarak ikiye ayırmıştır. Taguchi, kontrol edilemeyen ya da kontrolü zor faktörlerin deney çıktılarına etkilerini azaltmak için üç adet logaritmik Sinyal/Gürültü (Signal to Noise) fonksiyonu geliştirmiştir. Fonksiyonun seçimi: Deneyde istenen çıktının durumuna göre en küçük-en iyi, en büyük-en iyi ve nominal-en iyi olacak şekilde uygun fonksiyon seçilir. Örneğin yüzey pürüzlülüğü deneylerinde en küçük-en iyi fonksiyon seçilmektedir. Taguchi S/N fonksiyonlarının kullanılabilmesi için kontrol edilemeyen faktörlerin en az iki tekrarlı yapılması gerektiğini belirtmiştir (Kuram ve Ozelik, 2017;

Rathod, Khedkar ve Jatti, 2014; Roy, 2010; Şirvancı, 1997; Thirumalai, Senthilkumaar, Selvarani, ve Ramesh, 2013).

Taguchi metodu araştırmacılara faktörlerin ana etkileri ile faktör etkileşimlerinin deney çıktıları üzerine etkilerini vermektedir. Faktörlerin etki yüzdelerini elde etmek için ise varyans analizi (ANOVA) yapmak gerekmektedir. Böylece faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin etki dereceleri de belirlenmiş olmaktadır.

Yukarıda bahsedildiği üzere İconel 718 alaşımı işlenmesi zor bir malzeme olup tornalama işlemindeki işleme parametrelerinin araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Taguchi metodu ve ANOVA istatistiksel yöntemleri kullanılarak İconel 718 alaşımının tornalama işleminde iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilmesi için kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği faktörleri ve bu faktörlerin etkileşimleri araştırılmıştır.

### Materyal ve Metot

#### *Deney Tasarımı ve Ortogonal Dizi Seçimi*

İconel 718 alaşımının tornada işlenebilirliğini etkileyen faktörler olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği seçilmiştir. İlerleme hızı için dört, kesme hızı ve talaş derinliği için ikişer seviye belirlenmiştir. Tablo 1’de Faktörler ve seviyeleri görülmektedir. Taguchi metodu bu üç faktör için karışık seviyeli L8 ve L16 ortogonal dizilerini önermektedir. L8 seçilmesi durumunda sistemin toplam serbestlik derecesi yedi (8-1) olacağından sadece faktörlerin ana etkilerine bakılabilecektir. Şöyle ki faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin serbestlik dereceleri toplamı ortogonal dizinin serbestlik derecesinden fazla olmamalıdır. Faktörlerin ve faktör etkileşimlerinin serbestlik derecelerinin gösterildiği Tablo 2 incelendiğinde faktör ve faktör etkileşimlerinin serbestlik dereceleri toplamının 12 olduğu görülmektedir. Bu yüzden çalışmada L8 yerine L16 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Böylelikle faktörler arası etkileşimlerin yüzey pürüzlüğü üzerine etkilerini inceleyebilmek mümkün hâle gelmiştir. L16 ortogonal dizisi ve faktör seviyeleri Tablo 3’te görülmektedir.

Tablo 1. Faktörler ve Seviyeleri

Faktör	Simgesi	Birimi	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
İlerleme Hızı	<i>f</i>	mm/dev	0,025	0,05	0,75	0,1
Kesme Hızı	<i>v</i>	m/dak	125	250	-	-
Talaş Derinliği	<i>a</i>	mm	0,5	1	-	-

Tablo 2. Faktörler ve Faktör Etkileşimlerinin Serbestlik Dereceleri

Faktör	Seviye Sayısı	Hesaplama Yöntemi	Serbestlik Derecesi
İlerleme Hızı ( $f$ )	4	4-1	3
Kesme Hızı ( $v$ )	2	2-1	1
Talaş Derinliği ( $d$ )	2	2-1	1
İlerleme Hızı*Kesme Hızı ( $f*v$ )	Faktörün serbestlik dereceleri çarpılır	3*1	3
İlerleme Hızı*Talaş Derinliği ( $f*a$ )		3*1	3
Kesme Hızı*Talaş Derinliği ( $v*a$ )		1*1	1
Faktör ve Faktör etkileşimleri Toplamı	-	-	11
L8 Ortogonal Dizisi	8	8-1	7 (uygun değil)
L16 Ortogonal Dizisi	16	16-1	15

Tablo 3. L16 Ortogonal Dizisi

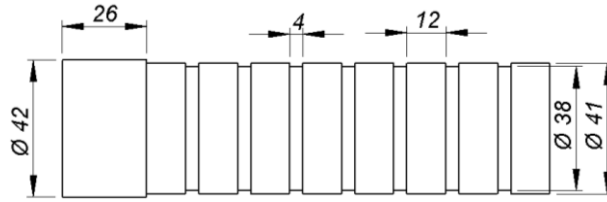
Sıra No	İlerleme Hızı (mm/dev) ( $f$ )	Kesme Hızı (m/dak) ( $v$ )	Talaş Derinliği (mm) ( $a$ )
1	0,025	125	0,5
2	0,025	125	1
3	0,025	250	0,5
4	0,025	250	1
5	0,05	125	0,5
6	0,05	125	1
7	0,05	250	0,5
8	0,05	250	1
9	0,075	125	0,5
10	0,075	125	1
11	0,075	250	0,5
12	0,075	250	1
13	0,1	125	0,5
14	0,1	125	1
15	0,1	250	0,5
16	0,1	250	1

**Malzeme**

Deneylerde kullanılacak olan İncel 718 alaşımının kimyasal özellikleri Tablo 4'te görülmektedir. Deneylerin sağlıklı olarak gerçekleştirilebilmesi için tornada işlenecek silindirik deney numunesi ilk önce 41 mm çapa tormalanarak işleme hazır hâle getirilmiştir. Numune üzerinde 7 kanal açılarak 8 yüzey oluşturulmuştur. Toplamda 16 deney için 2 adet numune işlenmiştir. Deney numunesinin teknik resmi Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 4. İncel 718 Alaşımının Kimyasal Analizi

Ni	Cr	Mo	Ti	Al	Nb	Cu	Fe	Co	Mn	C ve Diğer
53.37	18.37	3.04	0.98	0.50	5.34	0.04	17.80	0.23	0.08	Balans



Şekil 1. Deney Numunesinin Ölçüleri

### Seramik Takım ve Kater

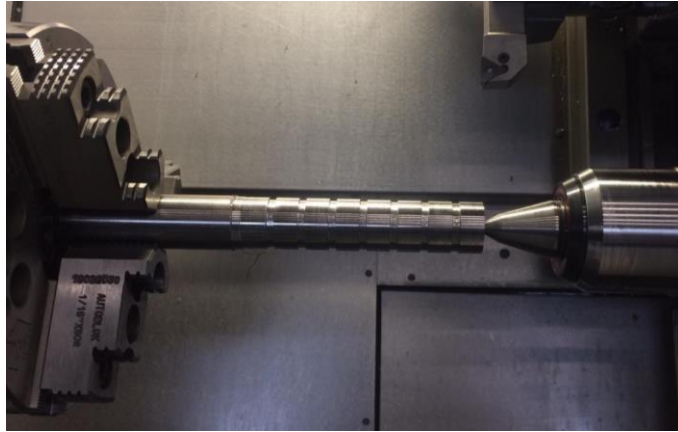
Deneylerde TPUN 040408 Kennametal marka seramik takım ile PTJNL 2020 K16 Akko marka kater kullanılmış olup Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Seramik Takım ve Kater

### ***Deney Düzeneđi ve CNC Tezgâh***

Deneyler SPINNER marka TC-400 tezgâhında ve numune karşı punta ile desteklenerek gerçekleştirilmiştir. Her yüzey için CNC tezgâh gerekli faktör seviyelerine göre ayarlanmıştır. İşleme esnasında çıkan talaşların yüzeyleri bozmaması için deneylerde soğutma sıvısı kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Deney Düzeneđi ve CNC Tezgâh

### ***Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü***

Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğü ölçümleri TMTeck TMR200 model hareketli yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. İş parçalarının 12 mm'lik 8 yüzeyinden ve her yüzeyin 3 farklı bölgesinden ortalama pürüzlülük (Ra) değeri ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

### ***Taguchi ve ANOVA Analizleri***

Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri Minitab 18 istatistik programına girilerek Taguchi ve ANOVA analizleri yapılmıştır. Taguchi analizlerinde faktörlerin etkinliği ve etkileşimlerine bakılırken ANOVA analizi ile faktörlerin etkinlik yüzdeleri belirlenmiştir.

## Deney Sonuçları ve Tartışma

### Deney Sonuçları

Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile en küçük-en iyi logaritmik fonksiyonu ile elde edilen ortalama (Mean) ve S/N oranları Tablo 5'te görülmektedir. Minitab 18 programında yapılan istatistiksel ve Taguchi analizleri sonucunda elde edilen regresyon denklemi Denklem 1'de, regresyon katsayıları Tablo 6'da, faktörlerin etkinlik sıralaması Tablo 7'de, S/N oranlarının varyans analizi (ANOVA) Tablo 8'de, faktörlerin ortalama ve S/N oranlarına göre ana etkinlik grafikleri sırasıyla Şekil 4'te ve Şekil 5'te ve faktörlerin ortalama ve S/N oranlarına göre etkileşim grafikleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir.

Tablo 5. Deney Sonuçları ve S/N Oranları

Sıra No	İlerleme Hızı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Talaş Derinliği (mm)	Ra 1 (µm)	Ra 2 (µm)	Ra 3 (µm)	Mean	S/N Oranı
1	0,025	125	0,5	0,632	0,612	0,615	0,620	4,156
2	0,025	125	1	0,645	0,624	0,638	0,636	3,935
3	0,025	250	0,5	0,762	0,782	0,778	0,774	2,225
4	0,025	250	1	0,782	0,786	0,799	0,789	2,058
5	0,05	125	0,5	0,812	0,845	0,840	0,832	1,593
6	0,05	125	1	0,907	0,945	0,912	0,921	0,710
7	0,05	250	0,5	1,115	1,109	1,099	1,108	-0,888
8	0,05	250	1	1,285	1,312	1,300	1,299	-2,272
9	0,075	125	0,5	1,456	1,470	1,466	1,464	-3,311
10	0,075	125	1	1,562	1,532	1,555	1,550	-3,805
11	0,075	250	0,5	2,295	2,305	2,312	2,304	-7,250
12	0,075	250	1	1,945	2,012	2,002	1,986	-5,962
13	0,1	125	0,5	2,731	2,730	2,740	2,734	-8,735
14	0,1	125	1	1,168	1,184	1,175	1,176	-1,406
15	0,1	250	0,5	2,833	2,812	2,824	2,823	-9,014
16	0,1	250	1	1,240	1,238	2,350	1,609	-4,570



$$y = -2,03358 + f_{0,025}x5,12691 + f_{0,050}x1,81911 - f_{0,075}x3,04833 + v_{125}x1,17568 - a_{0,5}x0,61951 - f_{0,025} * v_{125}x0,22373 + f_{0,050} * v_{125}x0,19026 + f_{0,075} * v_{125}x0,34825 + f_{0,025} * a_{0,5}x0,71649 + f_{0,050} * a_{0,5}x1,18618 + f_{0,075} * a_{0,5}x0,42113 - v_{125} * d_{0,5}x0,09687 \quad (1)$$

Tablo 6. Regresyon Katsayıları

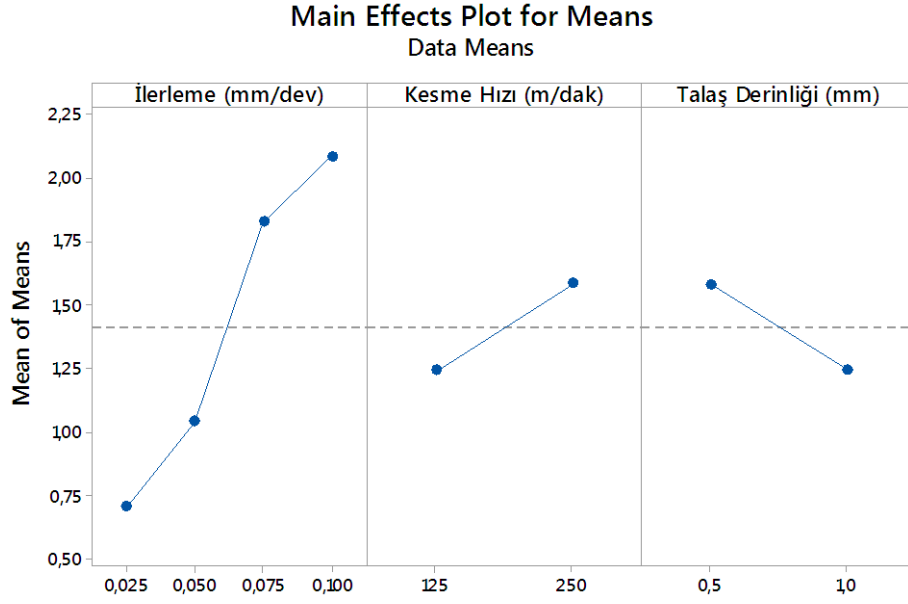
S	R-Sq	R-Sq(adj)
0,9640	99,00%	95,00%

Tablo 7. Faktörlerin Etkinlik Sıralaması (S/N) (en küçük-en iyi)

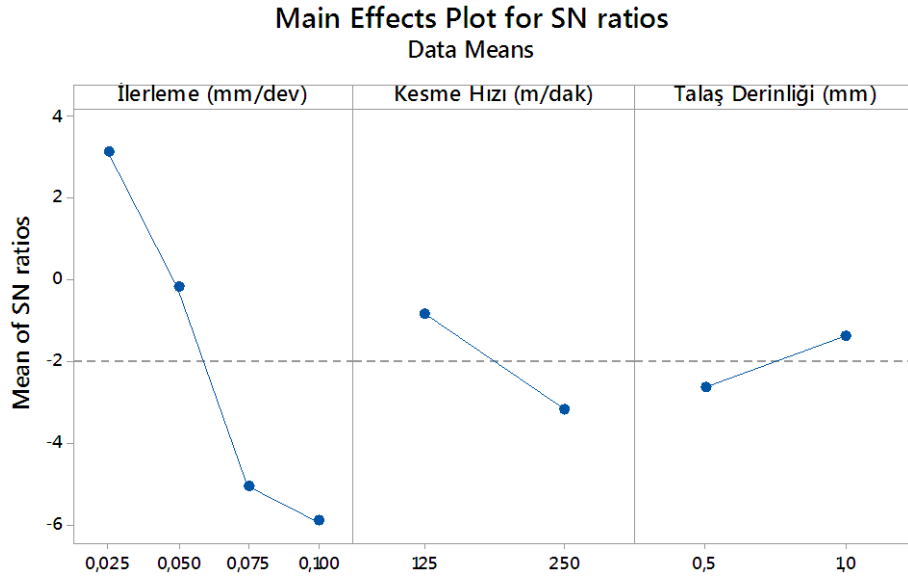
Seviye	İlerleme (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dak)	Talaş Derinliği (mm)
1	3,0933	-0,8579	-2,6531
2	-0,2145	-3,2093	-1,4141
3	-5,0819	-	-
4	-5,9313	-	-
Fark	9,0246	2,3514	1,2390
Derece	1	2	3

Tablo 8. S/N oranlarının Varyans Analizi (en küçük-en iyi)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	%	P
İlerleme Hızı (f)	3	216,315	216,315	72,1048	77,59	65,01	0,002
Kesme Hızı (v)	1	22,116	22,116	22,1157	23,80	19,94	0,016
Talaş Derinliği (d)	1	6,141	6,141	6,1407	6,61	5,54	0,082
f*v	3	1,226	1,226	0,4088	0,44	0,37	0,741
f*a	3	29,991	29,991	9,9971	10,76	9,01	0,041
v*a	1	0,150	0,150	0,1501	0,16	0,13	0,715
Hata (Error)	3	2,788	2,788	0,9293			
Total	15	278,727					

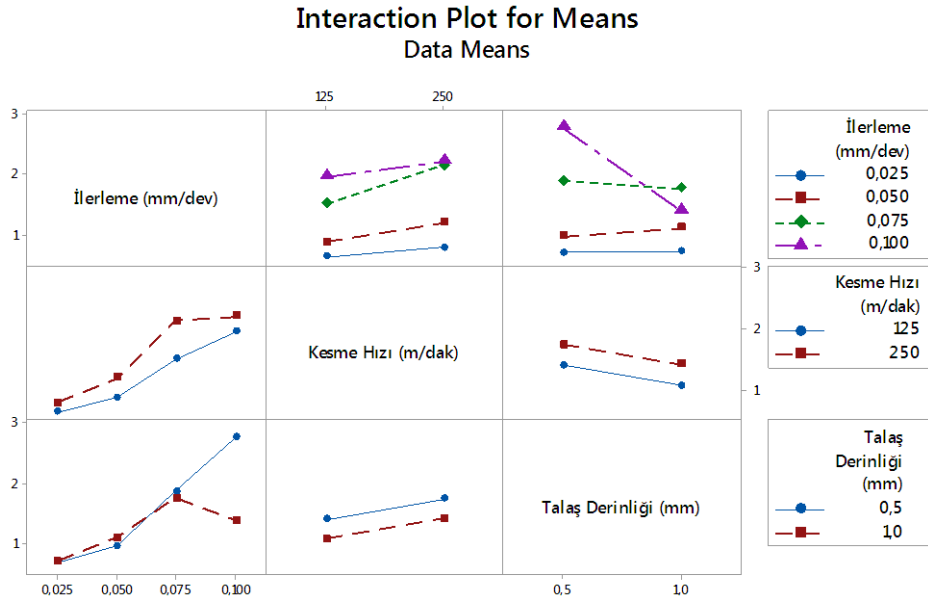


Şekil 4. Faktörlerin Bireysel Etkileri (Ortalama)

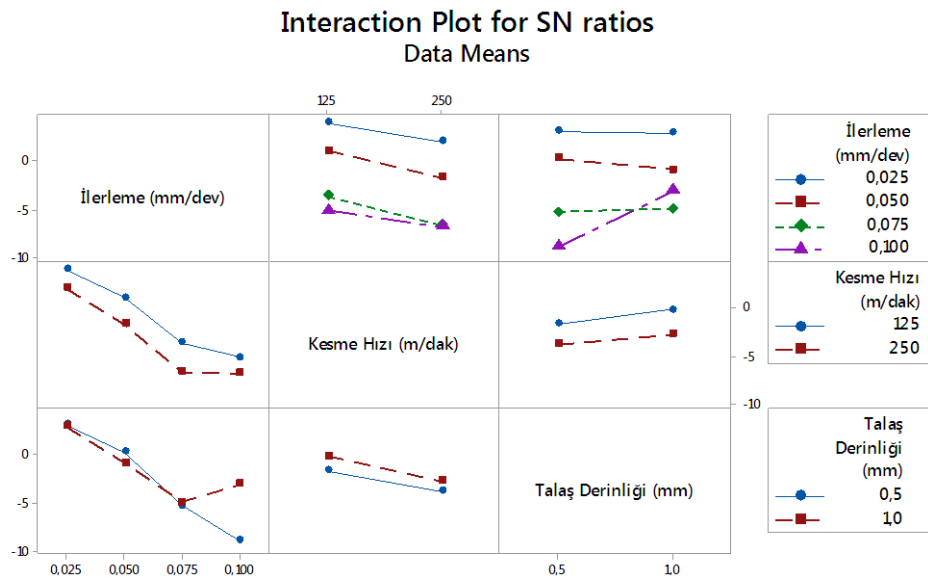


Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 5. Faktörlerin Bireysel Etkileri (S/N Oranları)



Şekil 6. Faktör Etkileşimleri (Ortalama)



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7. Faktör Etkileşimleri (S/N Oranları)

Korelasyon katsayılarının verildiği Tablo 6 incelendiğinde  $R^2$  değerinin %99 olduğu görülmektedir. Bu değer, verilerin istatistiksel olarak anlamlı ve geçerli olduğunu göstermektedir.

Tablo 7 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen faktörlerin sırasıyla ilerleme hızı, kesme hızı ve talaş derinliği olduğu görülmektedir. Özellikle ilerleme hızının diğer iki faktörden daha fazla etkili olduğu, seviyeler arasındaki fark değerinin yüksek (9,0246) olmasından anlaşılmaktadır.

Tablo 8 incelendiğinde ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü etkileme yüzdesinin %65 olduğu ve sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu ( $P < 0,05$ ) görülmektedir. Yine aynı tablodan talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü %5,5 ve kesme hızının %20 civarında etkilediği görülmektedir. Faktör etkileşimlerine bakıldığında ise ilerleme hızı ile talaş derinliğinin %9 gibi bir etkisi varken diğer etkileşimlerin önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Şekil 4 ve Şekil 5'teki grafikler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü için en uygun faktör seviyelerinin ilerleme hızı için 0,025 mm/dev, kesme hızı için 125 m/dak ve talaş derinliği için 1 mm olduğu görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus ana etki grafiğinde en küçük değerler (en küçük-en iyi seçildiği için) alınırken S/N oranlarının yer aldığı grafikte her zaman en üst değerler alınmaktadır. Ayrıca ilerleme hızı ile kesme hızının düşük olduğu seviyelerde yüzey pürüzlülüğü düşüş göstermekte fakat talaş derinliğinde aynı eğilim ters yönde görülmektedir.

Şekil 6 ve Şekil 7'deki faktör etkileşimleri grafikleri incelendiğinde kesme hızı ile talaş derinliği eğrilerinin birbirine paralel olduğu görülmektedir. Bu paralellik iki faktörün çıktı üzerinde etkisinin olmadığı anlamına gelmektedir. %9'luk ilerleme hızı-talaş derinliği etkileşiminin, talaş derinliğinin 1 m ve ilerleme hızının 0,1 mm/dev olduğu değerlerde anlam kazandığı bu değerlerdeki sert eğimden anlaşılmaktadır. Diğer ilerleme hızı ve talaş derinliği seviyelerinde eğriler paralel olduğu için etkileşimden bahsetmek zordur. İlerleme hızı ile kesme hızının etkileşimine bakıldığında ise eğrilerin tüm seviyelerde birbirlerine paralel olduğu rahatlıkla görülebilmektedir ve etkileşim olmadığı rahatlıkla söylenebilir.

## ***İnceleme***

### ***Faktörlerin Ana Etkilerinin Değerlendirilmesi***

Daha küçük ilerleme hızlarında da düşük pürüzlülüğüne neden olduğu bilinen bir gerçektir. Literatür çalışmalarında çoğu geleneksel metal malzemelerde ilerleme hızı ve kesme hızı yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrelerdir. Ancak geleneksel olmayan işlenmesi zor olan metallerde bu durum değişebilmektedir. Bu çalışmada da ilerleme hızı en önemli faktör olarak çıkmıştır ve beklenen bir sonuçtur.

Kesme hızının 125 m/dak'dan 250 m/dak'ya yükselmesi ile yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmektedir. Bu kapsamda deneydeki ilerleme hızları değerleri için düşük kesme hızı değerlerinin daha uygun olduğunu göstermektedir.

Talaş derinliğinin 0,5 mm'den 1 mm'ye artması ile yüzey pürüzlülüğünde %10'luk bir artış meydana gelmektedir. Literatür çalışmalarında geleneksel metallerde talaş derinliğinin küçük olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünün düştüğü bilinmektedir. Bu kapsamda 1 mm talaş derinliğinin düşük yüzey pürüzlülüğüne sebep olması beklenen bir sonuçtur. Başka bir çalışmada maksimum talaş derinliğinin ne olması gerektiğinin belirlenmesi adına daha yüksek değerler çalışabilir

### ***Faktör Etkileşimlerinin Değerlendirilmesi***

İlerleme hızı ile kesme hızı arasında bir etkileşim olmadığı görülmektedir. Kesme hızının ana etkisinin minimum olduğu değerlendirildiğinde bu sonuç normaldir. Bu kapsamda kesme hızı talaş derinliği ile de etkileşim oluşturmaması beklenen bir sonuçtur. İlerleme hızı ile talaş derinliğinin etkileşimi ilerleme hızının 0,1 mm/dev ve talaş derinliğinin 1 mm olduğu değerlerde çıkmıştır. Diğer ilerleme hızı ve talaş derinliği seviyeleri arasında etkileşim görünmemektedir.

## SONUÇ

İşlenmesi zor olan İnconel 718 malzemesinin seramik takımla işlenmesi ve sonuçların Taguchi metodu ile analizi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

İşleme faktörlerinin yüzey pürüzlülüğünü bireysel etkileme derecesi sırasıyla %65 oranında ilerleme hızı, %10 oranında talaş derinliği ve %5,5 oranında kesme hızı şeklinde gerçekleşmiştir.

İlerleme hızı ile talaş derinliğinin etkileşiminin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi %10 ile en büyük olmuştur.

En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ilerleme hızının 0.025 mm/dev, talaş derinliğinin 1 mm ve kesme hızının 125 m/dak olduğu seviyelerde 0,6356 µm olarak elde edilmiştir.

## KAYNAKÇA

### Kitaplar

- Dean, A. ve Voss, D. (1999). *Design and analysis of experiments*. New York: Springer.
- Hosseini, E., ve Popovich, V. A. (2019). A review of mechanical properties of additively manufactured inconel 718. *Additive Manufacturing*, 30, 100877. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100877>
- Montgomery, D. C., Runger, G. C. ve Hubele, N. F. (2011). *Engineering Statistics* (5th ed). Hoboken, NJ: John Wiley.
- Roy, R. K. (2010). *A primer on Taguchi method* (2nd ed.). Society of Manufacturing Engineers.
- Şirvancı, M. (1997). *Kalite için deney tasarımı "Taguchi yaklaşımı"*. Literatür Yayıncılık.

### Makaleler

- Kuram, E., ve Ozcelik, B. (2017). Optimization of machining parameters during micro-milling of ti6al4v titanium alloy and inconel 718 materials using Taguchi method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231(2), 228–242. <https://doi.org/10.1177/0954405415572662>
- Marques, A., Suarez, M. P., Sales, W. F. ve Machado, Á. R. (2019). Turning of inconel 718 with whisker-reinforced ceramic tools applying vegetable-based cutting fluid mixed with solid lubricants by MQL. *Journal of Materials Processing Technology*, 266, 530–543. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.11.032>
- Rathod, B. S., Khedkar, N. K. ve Jatti, V. K. S. (2014). Optimization of turning process parameters for surface roughness and MRR based on the Taguchi method during machining of inconel-718. *International Journal of Applied Engineering Research*, 9(1), 83–92.
- Reddy, T. K., Kosaraju, S. ve Nuka, R. (2019). Experimental study and optimization of turning inconel 718 using coated and uncoated inserts. *Materials Today: Proceedings*, 19(2), 512-516. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.645>
- Thirumalai, R., Senthilkumaar, J., Selvarani, P. ve Ramesh, S. (2013). Machining characteristics of inconel 718 under several cutting conditions based on Taguchi method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 227(9), 1889–1897. <https://doi.org/10.1177/0954406212466193>

**Kongre Bildirileri**

Aztekin, K., Işık, M. S., Aytaç, A., Özdemir, T., Çakır, U. ve Çanakçı, B. (2018, July). *Effects of heat treatment conditions and surface roughness on fatigue strength of AISI 4140 steel*. International Multidisciplinary Congress of Eurasia-IMCOFE 2018, Barcelona, Spain, 298–311.



## **EXTENDED SUMMARY**

### **Investigation of the Factors Affecting the Machinability of Inconel 718 Alloy in Turning by Ceramic Tool with Taguchi Method**

Inconel 718 super alloys are iron-nickel, nickel or cobalt based alloys with high thermal resistance, which can withstand severe mechanical stresses at high temperatures due to their mechanical properties. Due to these superior properties, they are used in aircraft engines, industrial gas turbines, space vehicles, rocket engines, nuclear reactors, submarines, steam generating plants, petrochemical devices and other heat-resistant applications.

In some cases where good surface quality is required, machining of Inconel 718 material becomes mandatory.

Turning is one of the most widely used methods of machining. Surface quality is an important criterion for evaluating the machinability of a material.

The most important factors affecting machinability in turning are cutting tool material, cutting speed, depth of cut and feed rate, and it is useful to search for a material that is difficult to machine such as Inconel 718.

Engineering statistics methods are frequently used to determine the most suitable machining conditions in turning. The Taguchi method is often used in engineering applications to determine optimum factor levels.

ANOVA is widely used in engineering statistics to investigate the effects of factors and inter-factor interactions on outcomes.

Due to its superior mechanical properties, it is useful to investigate the optimum machining conditions of the Inconel 718 alloy, which is difficult to machine.

### **Experimental Studies**

The cutting speed, feed rate and depth of cut were chosen as the factors affecting the machinability of inconel 718 alloy. Four levels were determined for feed rate and two levels for cutting speed and depth of cut. L16 was selected for orthogonal sequence and test factors.

Inconel 718 alloy with 8 working surfaces of 40 mm diameter was used as the test sample. TUPN 040408 Kennametal ceramic tool, PTJNL 2020 K16 Akko tool and SPINNER TC-400 machine were used in the experiments.

Surface roughness measurements were measured by using TMTeck TMR200 moving surface roughness tester.

### **Results and Discussions**

It is a known fact that smaller feed rates lead to lower roughness. In the literature studies, the feed rate and cutting speed are the most important parameters affecting the surface roughness in most traditional metal materials. However, this may change in non-conventional metals which are difficult to machine. In this study, the rate of progress was the most important factor and it was an expected result.

As the cutting speed increases from 125 m/min to 250 m/min, surface roughness increases. In this context, it shows that low cutting speed values are more suitable for feed rate values in the experiment.

Increasing the depth of cut from 0.5 mm to 1 mm affects surface roughness about 10%. In literature studies, it is known that surface roughness decreases when the depth of cut is small in traditional metals. In this context, it is expected that a depth of cut of 1 mm will lead to low surface roughness. In another study, higher values may work to determine what the maximum depth of cut should be.

### **Conclusion**

As a result of the machining of Inconel 718 alloy, which is difficult to machine, with ceramic tool and the analysis of the results with Taguchi method, the following results were obtained:

Feed rate was the most effective factor for surface roughness with 65% effect percentage.

Among the factor interactions, the interaction of feed rate and depth of cut was the largest with 10%.

The lowest surface roughness value was obtained as 0.6356  $\mu\text{m}$  at the feed rate of 0.025 mm/rev, depth of cut 1 mm and cutting speed of 125 m / min.