



## AISI 420 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ve Taguchi Deney Tasarımıyla İncelenmesi

Barış ÖZLÜ<sup>1</sup> , Levent UĞUR<sup>2</sup> , Aytaç YILDIZ<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Aksaray, Türkiye

<sup>2</sup>Amasya Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Amasya, Türkiye

<sup>3</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

### Anahtar Kelimeler:

AISI 420,  
Tornalama,  
Yüzey pürüzlülüğü,  
Sonlu elemanlar  
analizi,  
Taguchi

### Özet

AISI 420 martensitik paslanmaz çelik, yüksek korozyon direnci nedeniyle makine, petrol ve petro kimya endüstrilerinde, gıda ve gıda üretim tesislerinde, otomotiv sanayinde, buhar türbin kanatlarında ve tıbbi aletlerin üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çelik türünün tornalanması, özellikle yüksek yüzey kalitesine sahip parçaların üretiminde önemli bir prosestir. Son ürünün yüzey kalitesi, ürünün genel kalitesini ve işleme sürecinin verimliliğini belirleyen kritik bir faktördür. Bu nedenle bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ve Taguchi deney tasarımı kullanılarak AISI 420 martensitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) mutlak yüzey pürüzlülük değerine (Rz) etkileri araştırılmıştır. İşleme deneyleri sonlu elemanlar analizi yazılımı olan ThirdWave AdvantEdge programında yapılmıştır. Çalışmanın sonlu elemanlar analizi sonucunda kesme hızının artırılması ile Rz değerinin azaldığı, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin artırılması ile Rz değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Yapılan Taguchi deney tasarımı sonucu elde edilen istatistiksel analizler sonucu optimum kesme parametreleri 0.1 mm/rev ilerleme miktarı, 230 m/min kesme hızı ve 0.9 mm kesme derinliği olarak belirlenmiştir. Ayrıca, Rz'ye etki eden en önemli kesme parametresinin ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir.

\*e-posta: [aytac.yildiz@btu.edu.tr](mailto:aytac.yildiz@btu.edu.tr)

Bu makaleye atıf yapmak için:

Barış ÖZLÜ; Levent UĞUR; Aytaç YILDIZ, "AISI 420 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ve Taguchi Deney Tasarımıyla İncelenmesi", Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, C. 6, s 1, ss. 232-241

How to cite this article:

Barış ÖZLÜ; Levent UĞUR; Aytaç YILDIZ, "Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in Turning of AISI 420 Steel Using Finite Element Analysis and Taguchi Experimental Design", Bayburt University Journal of Science, vol. 6, no 2, pp. 232-241

## Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in Turning of AISI 420 Steel Using Finite Element Analysis and Taguchi Experimental Design

### Keywords:

AISI 420,  
Turning,  
Surface roughness,  
Finite element  
analysis,  
Taguchi

### Abstract

AISI 420 martensitic stainless steel is frequently used in the machinery, petroleum and petrochemical industries, food and food production facilities, automotive industry, steam turbine blades and the production of medical instruments due to its high corrosion resistance. Turning of this type of steel is an important process, especially in the production of parts with high surface quality. The surface quality of the final product is a critical factor that determines the overall quality of the product and the efficiency of the processing process. Therefore, in this study, the effects of cutting parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) on absolute surface roughness value (Rz) in turning AISI 420 martensitic stainless steel were investigated using the finite element method and Taguchi experimental design. Machining experiments were carried out in the ThirdWave AdvantEdge program, which is a finite element analysis software. As a result of the finite element analysis of the study, it was determined that the Rz value decreased by increasing the cutting speed, and the Rz values increased by increasing the feed rate and depth of cut. As a result of the statistical analysis obtained as a result of the Taguchi experimental design, the optimum cutting parameters were determined as 0.1 mm/rev feed amount, 230 m/min cutting speed and 0.9 mm cutting depth. Additionally, it has been determined that the most important cutting parameter affecting Rz is the feed rate.

## 1 GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesi sunan önemli malzemelerden biridir. Bu malzemeler, mükemmel korozyon direnci, mekanik dayanıklılık ve estetik özelliklerini bir araya getirerek birçok sektörde tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir [1]. AISI 420 martensitik paslanmaz çelik, yüksek sertlik seviyeleri ve mükemmel aşınma direnci ile dikkat çeken bir alt gruptur. Otomotiv, tıbbi cihazlar, kesici aletler ve havacılık gibi birçok uygulamada bu çelik türüne olan talep artmıştır [2, 3]. AISI 420 martensitik paslanmaz çelik çok sayıda mühendislik uygulamalarında kullanılan parçalarda, korozyon direncini sağlamak amacıyla nikel ve krom ile %13 ile %30 oranları arasında değişen krom elementli eklenmektedir. Bu nedenle bu tür çelikler, süneklilik, yüksek mukavemet, belirgin iş sertleşme hızları ve nispeten düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle işlenmesi zor malzeme sınıfına girmektedir [4, 5]. İşlenmesi zor malzeme sınıfına malzemeleri işleme sırasında kesme bölgesinde yüksek sıcaklıklar oluşturur ve yüksek takım aşınmasına neden olur. Bu durumlar işleme verimliliğini azaltırken işleme maliyetinin ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olurlar. Özellikle talaşlı imalat yöntemleri ile şekillendirilen mühendislik parçalarının en önemli kalite göstergelerinden biri yüzey pürüzlülüğüdür. İşlenen parçaların yüzey pürüzlülük değerleri son ürün için kritik öneme sahiptir. Yüzey pürüzlülüğünün düşük olması üretilen parçaların yorulma mukavemetini, korozyon direncini ve sürtünme ömrünü önemli ölçüde artırmaktadır. Bunlara ek olarak düşük yüzey pürüzlülüğü üretilen parçaların temas durumu, aşınma, ısı iletimi, yağ filminin korunması ve dağılması, kaplama ve direnç ömrü gibi özellikleri de doğrudan etkilemektedir. İşlenmiş parçalarda istenen yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen pek çok işleme parametresi vardır. Bu nedenle kontrol edilebilen en uygun işleme parametrelerinin seçilmesi işleme sürecinin etkin olarak yürütülmesinde önemlidir [6-11].

Yapılan literatür taramasında sonlu elemanlar yöntemi ile farklı malzemelerin farklı parametrelerde tornalanması sonucu kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri, kesme sıcaklıkları, takım aşınması ve güç tüketimi tahmininin yapıldığı farklı çalışmaların olduğu görülmüştür. Örneğin; Özel ve Altan [12] yaptığı çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile P-20 kalıp çeliğinin kaplamasız karbür takım kullanılarak frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin, takım gerilimlerinin ve kesme sıcaklıklarının tahminine odaklanmışlardır. Sonuç olarak tahmin edilen ve ölçülen kesme kuvveti değeri karşılaştırıldığında kabul edilebilir değerler arasında olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca takım gerilimlerinin ve kesme sıcaklıklarının da kabul edilebilir bir doğrulukta tahmin edildiğini ifade etmişlerdir. Cui ve diğ. [13] yaptığı çalışmada, H13 çeliğinin yüksek ve ultra yüksek hızlarda frezelenmesinde talaş oluşumunu ve bunun kesme kuvveti, takım sıcaklığı, takım gerilimi ve kesici kenar aşınması üzerine etkilerini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, kesme hızı arttıkça talaş tırtıllarının giderek daha belirgin hale geldiğini tespit etmişler ve yüksek kesme sıcaklıklarının talaşlar üzerinde çatlaklara sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Mevcut çalışmada kullanılan her kesme hızında, kesme kuvvetinin, takım sıcaklığının ve takım

geriliminin dalgalanma frekansı, testere dişi oluşumuyla tutarlı olduğunu görmüşlerdir. Testere dişli talaşların oluşmasının, kesme kuvveti, takım sıcaklığı ve takım geriliminin döngüsel dalgalanmaları üzerinde büyük etkisi olmuştur. Kesme hızının artması ile kesme kuvveti genliğinin ve takım sıcaklığının sırasıyla %116 ve %93 arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca deneysel ve sonlu elemanlar sonuçlarının iyi bir uyum gösterdiğini bildirmişlerdir. Korkmaz ve Günay [14] yaptığı çalışmada, deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile AISI 420 martensitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme kuvvetleri ve güç tüketimini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, deneysel sonuçlarla sonlu elemanlarla elde edilen sonuçlar arasında kesme kuvveti için ortalama %7'lik ve güç tüketimi için ortalama %4.5'lik bir sapmanın olduğunu görmüşlerdir. Bu sonuçlarda deneysel ve sonlu elemanlar yönteminin oldukça uyumlu olduğunu rapor etmişlerdir. Uğur ve diğ. [15] yaptığı çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile AISI 52100 rulman çeliğinin tornalanmasında kuru, kriyojenik soğutma (LN<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin güç tüketimine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, kriyojenik soğutma (LN<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) ortamında güç tüketiminin tüm kesme parametrelerinde kuru ortama göre azaldığını bildirmişlerdir. Kuru ve kriyojenik soğutmalı (LN<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) ortamlarda minimum güç tüketiminin düşük kesme hızlarında ve yüksek ilerlemede 72 W olarak rapor etmişlerdir. Özlü ve Uğur [16], sonlu elemanlar yöntemi ile işlenmesi zor malzemeler olarak bilinen Ti-6Al-4V alaşımının tornalanmasında farklı kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etkilerini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, optimum kesme parametresinin 1 mm kesme derinliği, 55 m/dak kesme hızının ve 0.12 mm/dev ilerleme miktarı olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan ANOVA analizi sonucuna göre de kesme derinliğinin kesme kuvvetine en etkin parametre olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca literatürde benzer çalışmalarla yaptıkları çalışmaların benzer sonuçları verdiğinin rapor etmişlerdir. Akgün [17], yaptığı çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile Monel K-500 alaşımının sıcak işlenmesinde kesme kuvveti ve talaş oluşum sürecinin incelemiştir. Sonuç olarak, oda sıcaklığı koşullarına kıyasla sıcak işleme koşullarında kesme kuvvetlerinin azaldığı ve oda sıcaklığı koşullarında talaş dilimli talaş şeklinde oluşur iken sıcak işleme koşullarında ise sürekli talaş şeklinde oluştuğu görülmüştür. Uğur [18] yaptığı çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile Ti-6Al-4V (grade 5) alaşımının delinmesinde güç ve itme kuvvetine farklı kesme parametreleri ve farklı helis açılarının etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak, en düşük itme kuvveti 40° helis açısında, 2000 rpm devir hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında 1241,39 N olduğunu tespit etmiştir. Tüketilen en düşük güç ise 30° helis açısında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 1500 rpm devir sayısında 765,025 W olduğunu bildirmiştir. Ayrıca güç ve itme kuvveti açısından en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğunu belirlemiştir.

Literatürde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak işlenen parçaların yüzey pürüzlülüklerinin tahmini üzerine yapılan çalışmaların neredeyse yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemi ile tornalama işlemlerindeki deneylerin yapılması hem maliyet hem de zaman açısından tasarruf sağlar. Ayrıca, çeşitli tasarım parametrelerini analiz edip optimizasyon süreçlerine olanak tanır. Yöntem, matematiksel modeller aracılığıyla detaylı analizler yaparak daha yüksek hassasiyet elde etme imkânı sunar ve çeşitli koşulları simüle ederek farklı çalışma şartlarında nasıl davranılacağını anlamak mümkün olur. Bu nedenle yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile AISI 420 martensitik paslanmaz çeliğin farklı kesme parametrelerinde tornalanması sonucu kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, talaşlı imalatta işleme sonrası yüzey kalitesini artırmak isteyen endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek değerli bilgiler sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca, işleme sırasında kesme parametrelerinin doğru bir şekilde seçilmesinin, iş parçası yüzeyinin istenen kaliteye ulaşmasında kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Çalışmanın bundan sonraki ikinci bölümünde materyal metot anlatılmış, üçüncü bölümde çalışmadan elde edilen bulgular ve tartışmaya yer verilmiş ve son bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.

## 2 MATERYAL METOT

### 2.1 Sonlu elemanlar analizi

Tornalama işleminin araştırılmasında sonlu elemanlar analizi (Finite Elements Analysis-FEA), malzemelerin kesme işleminin incelenmesinde çok yararlı bir araç olarak görülmektedir [19]. FEA, karmaşık yapıları düğüm ve elemanlara bölünecek şekilde idealize edilmiş yapılara dönüştürerek matematiksel çözümlere olanak sağlayan sayısal bir yaklaşım yöntemidir [20]. Bu çalışmada, maliyet ve kolaylığından ötürü iki boyutlu ortogonal kesme durumunda meydana gelecek yüzey pürüzlülük değerleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Third Wave AdvantEdge sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak AISI 420 martensitik paslanmaz çeliğin tornalama işlemi için bir 3D sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan AISI 420 martensitik paslanmaz çelik malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [14].

**Tablo 1.** AISI 420 çelik malzemenin termal ve mekanik özellikleri [14]

Young modülü (GPa)	200
Yoğunluk (kg/cm <sup>3</sup> )	7.8
Poisson oranı	0.3
Isı kapasitesi (J/kg °C)	460
İletkenlik (W/m K)	24.9
Genişleme (µm/(m °C))	10.3 x 10 <sup>-6</sup>

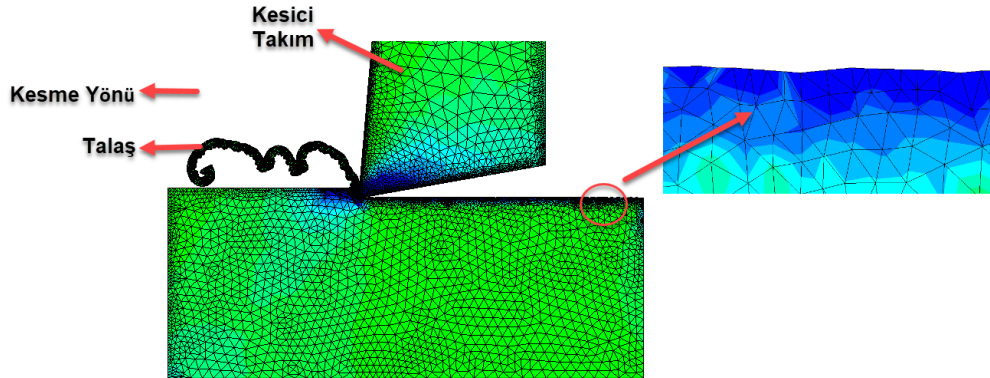
**Tablo 2.** Johnson-Cook malzeme parametreleri [14]

AISI 420	A (MPa)	B (MPa)	C	n	m	ε <sub>0</sub>	T <sub>oda</sub>	T <sub>eriyik</sub>
	450	738	0.02	0.388	0.8	1	27	1454

Third Wave AdvantEdge programında tornalama işleminde kullanılan AISI 420 paslanmaz çeliğin plastik deformasyon davranışı Johnson-Cook (JC) modeli ile tanımlanmıştır. Kullanılan Johnson-Cook malzeme modeli eşitlik 1'de verilmiştir [21, 22]. AISI 420 paslanmaz için Johnson-Cook parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

$$\sigma = \underbrace{[A + B\varepsilon^n]}_{\text{Elasto-Plastik}} \underbrace{\left[1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right]}_{\text{Viskozite}} \underbrace{\left[1 - \left(\frac{T - T_{oda}}{T_{eriyik} - T_{oda}}\right)^m\right]}_{\text{Termal Yumuşama}} \quad (1)$$

Kesici takım malzemesi olarak kaplamasız karbür takım seçilmiş ve tüm deneyler için takım talaş açısı (γ) -6°, boşluk açısı (α) 6°, kenar yarıçapı (r) 0.02 uygulanmıştır. Yapılan çalışma için oluşturulan kesme modeli Şekil 1'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi kesme bölgesinde mesh yoğunluğu artırılmıştır.



**Şekil 1.** Ortogonal kesme modeli

Talaşlı imalat işlemlerinde boyut toleransı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyler arasındaki korelasyon hataları gibi çeşitli kriterler vardır. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için kullanılan iki ortak parametre Ra (ortalama yüzey pürüzlülüğü) ve Rz (mutlak yüzey pürüzlülük değeri) vardır. Bu çalışmada Rz, kesme sonrası yüzey deformasyonundan kolayca belirlenebilen bir özelliği temsil ettiği için seçilmiştir. Şekil 1'deki kesme modeli sonlu elemanlar yöntemi Rz değerlerinin incelenmesi için dikkate alınmıştır. İşlenmiş yüzeydeki en yüksek beş tepe yüksekliğinin ortalama değeri ile en derin beş profil vadisinin ortalama değeri arasındaki farkın aritmetik ortalaması ile belirlenmiştir.

## 2.2 Taguchi deney tasarımı

Taguchi deney tasarımı, yapılan çalışma içerisinde kesme parametrelerinin bilinmeyen özelliklerinin belirlenmesi ve kesme parametreleri arasındaki etkileşimlerin analizi ve modellenmesi için güçlü bir istatistiksel yöntemdir. Ayrıca, Taguchi yöntemi geleneksel deney tasarımının dikkate almadığı kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirdiği değişkenliğin denetimine izin vermektedir [23]. S/N oranı, sinyal-gürültü oranını ifade eder ve Taguchi deney tasarımında kullanılan bir performans ölçütüdür. "En küçük en iyi" yaklaşımı, S/N oranını maksimize etmek amacıyla tasarım parametrelerinin ayarlarının seçilmesine odaklanır. Bu yaklaşım, istenen performansı elde etmek için sinyali artırıp gürültüyü minimize etmeyi hedefler. Yapılan çalışmada S/N oranının belirlenmesi için Eşitlik 2'de verilen "en küçük en iyi" yaklaşımı kullanılmıştır.

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

Çalışmada deney tasarımı, Taguchi'nin L9 ortogonal dizisine göre hazırlanmıştır. Kesme parametresi olarak üç farklı ilerleme miktarı, üç farklı kesme hızı ve üç farklı kesme derinliği seçilmiştir. Seçilen kesme parametreleri ve seviyeleri Tablo 3'te verilmiştir.

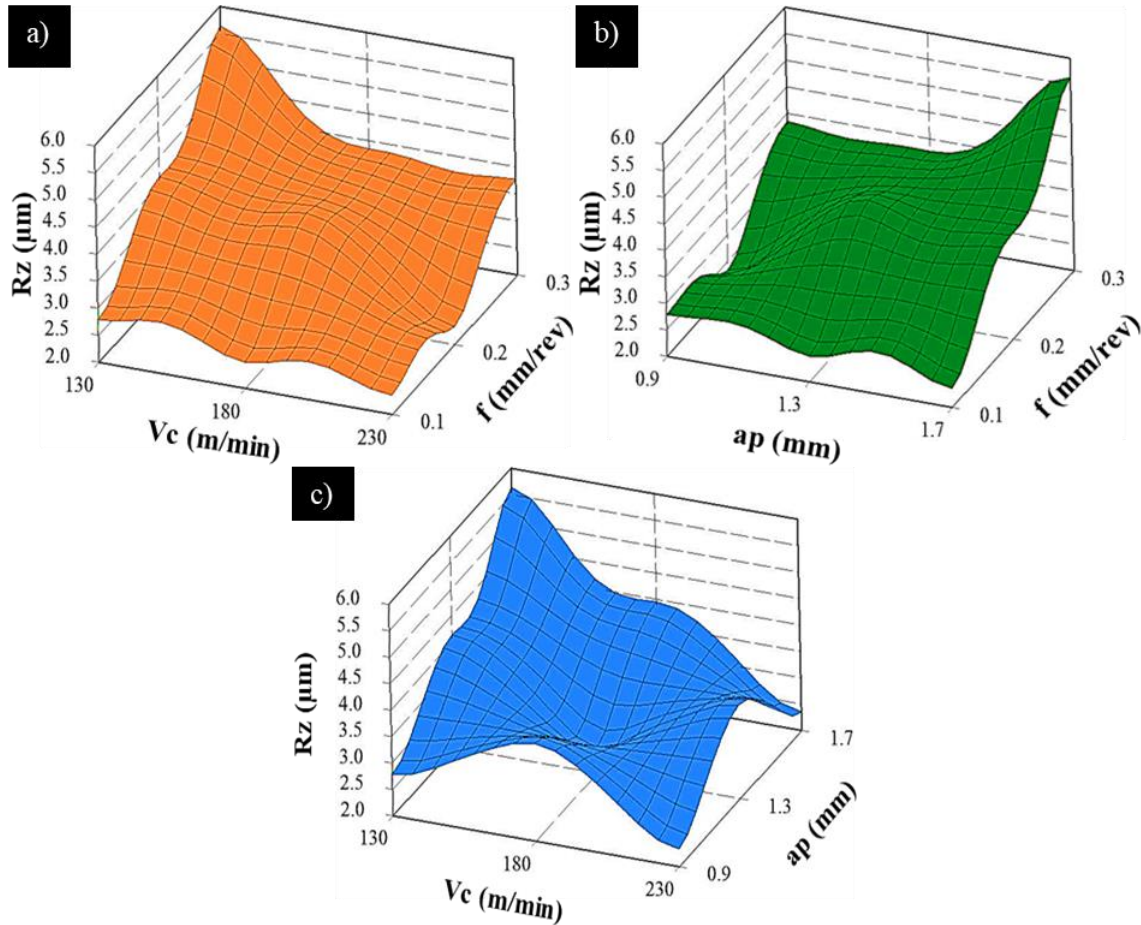
**Tablo 3.** Kesme parametreleri ve seviye değerleri

Kesme parametreleri	Sembol	Seviye		
		Düşük	Orta	Yüksek
İlerleme Miktarı, (mm/dev)	$f$	0.1	0.2	0.3
Kesme Hızı, (m/dak)	$V_c$	130	180	230
Kesme Derinliği, (mm)	$ap$	0.9	1.3	1.7

### 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan çalışma sonucunda kesme parametrelerinin Rz üzerine olan etkileri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, AISI 420 çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülük değerlerinin 2.334  $\mu\text{m}$  ile 5.638  $\mu\text{m}$  arasında olduğu görülmüştür.



**Şekil 2.** Kesme parametrelerinin Rz üzerine etkileri

Şekil 2-a ve 2-c incelendiğinde yüksek kesme hızının Rz değerlerinin azalmasına neden olduğu görülmüştür. Kesme hızının artması ile kesme bölgesinin sıcaklığında artış görülmüştür. Bu durum, ikinci deformasyon bölgesinin kayma dayanımının ve takım-talaş temas alanının azalmasına neden olur [24-26]. Ayrıca sıcaklık artışıyla sürtünme katsayısı da azalır. Böylece kesme kuvvetleri ve yüzeydeki basınç azaltarak yüzey kalitesinde artış izlenir [27]. Ayrıca kesme hızı ve sıcaklık artışı ile talaş deformasyonu ve talaş akışı kolaylaşır ve yığıntı talaş

oluşma eğilimi azalır. Ek olarak, sıcaklık artışı ile iş parçası yüzeyinde mikro çatlak ve yırtık oluşma eğilimi de azalır [25, 28]. Böylece yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma görülmesi beklenir. Ayrıca yığıntı talaş, kesici kenarın yerini almak suretiyle kesici kenar formunu değiştirmekte ve bu durumda yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Artan kesme hızıyla sıcaklık artar ve sıcaklığın artması ile de kesici uçtaki yığıntı talaş sertliğini ve dayanımını kaybederek devam eden kesme sürecinde üzerine gelen gerilmelere dayanamayarak kesici uçtan uzaklaştırılır ve dolayısıyla yüksek kesme hızlarında oluşma eğilimi azalır [29].

Şekil 2-a ve 2-b incelendiğinde yüksek ilerleme miktarının Rz değerlerinin artmasına neden olduğu görülmektedir. Artan ilerleme miktarı, talaş kesitinin artmasına ve bunun sonucunda kesme bölgesinde kesici takımın üzerine gelen yükün artmasına ve dolayısıyla daha fazla ısı oluşumuna neden olarak takımın daha kolay deforme olmasına sebep olarak Rz değerlerinin artmasına olanak sağlamaktadır [30]. Abdullah ve diğ. [31] AISI 316L çeliğin tornalanmasında ilerleme miktarının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de azaldığını bildirmişlerdir [31].

Şekil 2-b ve 2-c incelendiğinde kesme derinliğinin artırılmasının Rz değerlerinin artmasına neden olduğu görülmektedir. Artırılan kesme derinliği kesme kuvvetlerinin artmasına neden olduğu, bunda kesici takımın daha fazla titreşimine ve dolayısı ile tornalanan numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasına neden olacağı rapor edilmiştir [32].

### 3.2 S/N oranlarının analizi

Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen Rz değerleri ve S/N oranları Tablo 4'te sunulmuştur. Tablo 4'de verilen Rz değerleri ve S/N oranları kullanılarak ortalama Rz değeri 3.479  $\mu\text{m}$  ve ortalama S/N oranı -10.4596 dB olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Rz için sonlu elemanlar sonuçları ve S/N oranları

Deney no	f (mm/dev)	Vc (m/dak)	ap (mm)	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Rz S/N (dB)
1	0.1	130	0.9	2.788	-8.9059
2	0.1	180	1.3	2.482	-7.8960
3	0.1	230	1.7	2.355	-7.4398
4	0.2	130	1.3	4.138	-12.3358
5	0.2	180	1.7	3.953	-11.9385
6	0.2	230	0.9	2.334	-7.3620
7	0.3	130	1.7	5.638	-15.0225
8	0.3	180	0.9	3.851	-11.7115
9	0.3	230	1.3	3.769	-11.5245

Yapılan analizler sonucu Rz değerleri için kesme parametrelerinin etkisini gösteren S/N yanıt oranları Tablo 5'te verilmiştir.

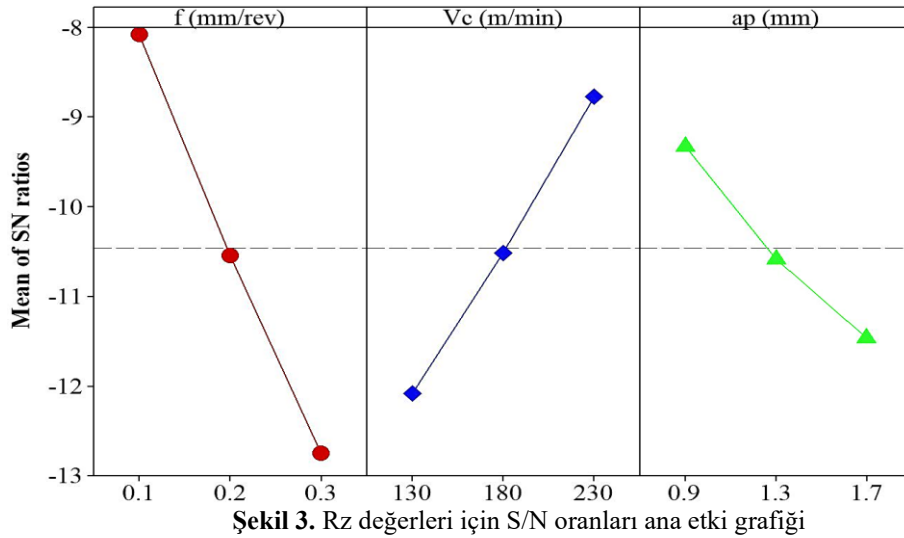
**Tablo 5.** Rz için S/N yanıt tablosu

Seviye	f (mm/dev)	Vc (m/dak)	ap (mm)
1	<b>-8.081</b>	-12.088	<b>-9.326</b>
2	-10.545	-10.515	-10.585
3	-12.753	<b>-8.775</b>	-11.467
Delta	4.672	3.313	2.141
Sıra	1	2	3

Tablo 5 incelendiğinde, ilerleme miktarının Rz değeri üzerinde en etkili kesme parametresi olduğu ve kesme derinliğinin ise en az etkili olduğu görülmektedir.

Ayrıca Rz değerlerine karşılık gelen optimum kesme parametre seviyeleri Şekil 3'te sunulmuştur. Bu şekilde en büyük S/N oranı optimum kesme parametre seviyelerini göstermektedir. Çünkü, Taguchi deney tasarımında en büyük S/N oranının aranması, tasarım ve üretim süreçlerini optimize etmek, istikrarlı ve yüksek kaliteli ürünler elde etmek için kullanılan bir stratejidir.

Şekil 3 incelendiğinde yapılan çalışma için optimum kesme parametreleri ve seviyeleri 0.1 mm/dev ilerleme miktarı, 230 m/dak kesme hızı ve 0.9 mm kesme derinliği olduğu görülmüştür. Ancak, hazırlanan deney tasarımında A1B3C1 kesme parametreleri kombinasyonunun olmadığı görülmüştür. Bunun için bu parametrelerde sonlu elemanlar yöntemi ile tekrar işleme deneyi yapılmış ve Rz değerinin 2.209  $\mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir.



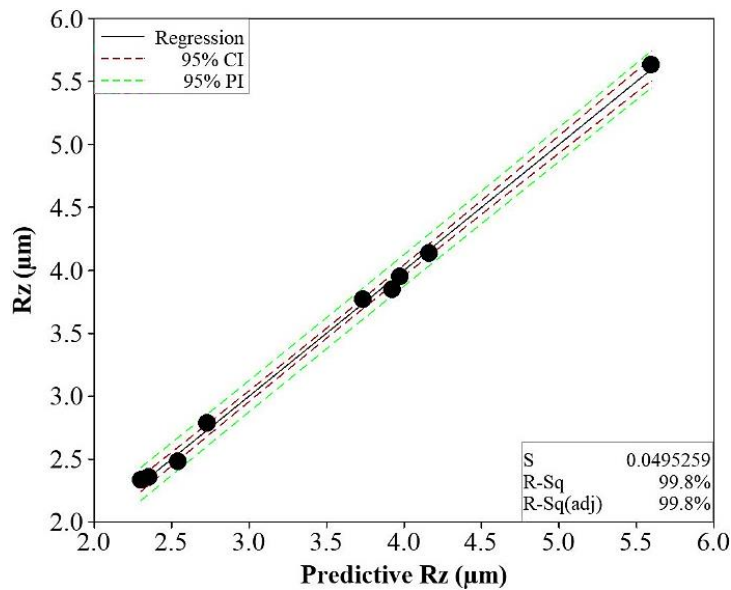
### 3.3 Varyans analizi (ANOVA)

Yapılan çalışmada kullanılan kesme parametrelerinin Rz üzerine etkilerini değerlendirmek üzere varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur. Analizler % 95 güven ve %5 anlamlılık düzeyinde uygulanmış, çalışmada elde edilen sonuçların anlamlı olabilmesi için P değerinin 0.05'den küçük olması gerektiği farklı çalışmalarda rapor edilmiştir. Ayrıca yapılan analizde Rz üzerinde en etkili olan kesme parametresi belirlemek için F değeri en büyük değeri dikkate alınır [33].

Tablo 6 incelendiği zaman sonlu elemanlar analizi ile yapılan tornalama işleminde Rz değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri sırası ile 55.15% ilerleme miktarı, 29.42% kesme hızı ve 15.37% ile kesme derinliği olduğu görülmüştür.

**Tablo 6.** Rz için varyans analiz sonuçları

Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Ortalama kare	F değeri	P değeri	Katkı
f (mm/dev)	2	5.28851	2.64425	1112.28	0.001	55.15%
Vc (m/dak)	2	2.82112	1.41056	593.34	0.002	29.42%
ap (mm)	2	1.47423	0.73711	310.06	0.003	15.37%
Hata	2	0.00475	0.00238			0.05%
Toplam	8	9.58861				100.00%





### 3.4 Yüzey pürüzlülüğünün regresyon analizi

Regresyon analizi, bağımsız bir veya daha fazla değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi hesaplamak için uygulanan istatistiksel bir analiz yöntemidir [34]. Bu çalışmada Rz'nin belirlenmesi için lineer regresyon analizi uygulanmıştır. Şekil 4'te sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen Rz sonuçları ile lineer regresyon sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Yapılan çalışmada bağımsız değişkenler olarak kesme hızı (Vc), ilerleme miktarı (f) ve kesme derinliği (ap) seçilirken bağımlı değişken Rz olmuştur. Rz için elde edilen tahmini lineer regresyon denklemi ise denklem (3)'te verilmiştir.

$$Rz (\mu m) = 2.454 + 9.388 - 0.013687 Vc + 1.2387 ap \quad (3)$$

Rz için lineer regresyon denklemi ile korelasyon katsayısı R<sup>2</sup> 99.82% olmuştur. Sonuç olarak, yapılan çalışmada yüksek korelasyon katsayısının elde edilmesi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin oldukça güçlü olduğunu gösterir.

## 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile AISI 420 martensitik paslanmaz çeliğin farklı kesme parametrelerinde tornalanmasında kesme parametrelerinin Rz değerlerine etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca Rz değerleri için Taguchi yöntemi kullanılarak optimum kesme koşulları belirlenmiş ve regresyon analizi ile matematiksel model geliştirilmiştir. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Yapılan sonlu elemanlar sonucu kesme hızının artırılması ile Rz değeri azalırken, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin artırılmasının Rz değerlerinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir.
- Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan tornalama sonucu 0.2 mm/dev ilerleme miktarında, 230 m/dak kesme hızında ve 0.9 mm kesme derinliğinde en düşük Rz değerinin 2.334 µm olduğu görülmüştür.
- Yapılan istatistiksel analizler sonucu optimum kesme parametreleri; 0.1 mm/rev ilerleme miktarı, 230 m/min kesme hızı ve 0.9 mm kesme derinliği olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerle yapılan tekrar deneylerinde optimum Rz değeri 2.209 µm olarak tespit edilmiştir.
- ANOVA analizi sonucu Rz üzerinde en etkili kesme parametresinin ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir.
- Rz'nin lineer regresyon modeliyle tahmin edilen değeri ile sonlu elemanlar sonucu elde edilen sonuçların çok yakın olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışma, talaşlı imalatta işledikleri ürünlerin yüzey kalitesini artırmak isteyen işletmecilere ve bu konularda araştırma yapan araştırmacılara yol gösterecektir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda sonlu elemanlar analizinden elde edilen verilerin yanıt yüzey yöntemleri ile değerlendirilmesi yapılabilir.

### Yazar Katkıları

**Barış ÖZLÜ:** Kavramlaştırma, Metodoloji, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme

**Levent UĞUR:** Kavramlaştırma, Metodoloji, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme

**Aytaç YILDIZ:** Kavramlaştırma, Metodoloji, Araştırma, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme

Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Kaynakça

- [1] W. F. Smith, and J. Hashemi, *Foundations of materials science and engineering*. McGraw-Hill Publishing, 2006.
- [2] D. Palanisamy, A. Devaraju, D. Arulkirubakaran, and N. Manikandan, "Experimental investigation on surface integrity during machining of AISI 420 steel with tungsten carbide insert," *Materials Today: Proceedings*, vol. 22, pp. 992-997, 2020.



- [3] C. Moganapriya, R. Rajasekar, T. Mohanraj, V. Gobinath, P. S. Kumar, and C. Poongodi, "Dry machining performance studies on TiAlSiN coated inserts in turning of AISI 420 martensitic stainless steel and multi-criteria decision making using Taguchi-DEAR approach," *Silicon*, pp. 1-14, 2021.
- [4] A. El-Tamimi, M. Soliman, T. El-Hossainy, and J. Muzher, "Developed models for understanding and predicting the machinability of a hardened martensitic stainless steel," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 8, pp. 758-768, 2010.
- [5] L. Bouzid, M. A. Yallese, K. Chaoui, T. Mabrouki, and L. Boulanouar, "Mathematical modeling for turning on AISI 420 stainless steel using surface response methodology," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 229, no. 1, pp. 45-61, 2015.
- [6] Ç. V. Yıldırım, Ş. Şirin, T. Kıvak, and M. Sankaya, "A comparative study on the tribological behavior of mono&proportional hybrid nanofluids for sustainable turning of AISI 420 hardened steel with cermet tools," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 73, pp. 695-714, 2022.
- [7] S.-h. Xu, and B. Qiu, "Experimental study on fatigue behavior of corroded steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 584, pp. 163-169, 2013.
- [8] Ş. Şirin, and T. Kıvak, "Effects of hybrid nanofluids on machining performance in MQL-milling of Inconel X-750 superalloy," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 70, pp. 163-176, 2021.
- [9] Ç. V. Yıldırım, "Investigation of hard turning performance of eco-friendly cooling strategies: Cryogenic cooling and nanofluid based MQL," *Tribology International*, vol. 144, p. 106127, 2020.
- [10] M. K. Gupta, *et al.*, "Experimental characterisation of the performance of hybrid cryo-lubrication assisted turning of Ti-6Al-4V alloy," *Tribology International*, vol. 153, p. 106582, 2021.
- [11] M. Sankaya, Ş. Şirin, Ç. V. Yıldırım, T. Kıvak, and M. K. Gupta, "Performance evaluation of whisker-reinforced ceramic tools under nano-sized solid lubricants assisted MQL turning of Co-based Haynes 25 superalloy," *Ceramics International*, vol. 47, no. 11, pp. 15542-15560, 2021.
- [12] T. Özel, and T. Altan, "Process simulation using finite element method—prediction of cutting forces, tool stresses and temperatures in high-speed flat end milling," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 40, no. 5, pp. 713-738, 2000.
- [13] X. Cui, B. Zhao, F. Jiao, and J. Zheng, "Chip formation and its effects on cutting force, tool temperature, tool stress, and cutting edge wear in high-and ultra-high-speed milling," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 83, pp. 55-65, 2016.
- [14] M. E. Korkmaz, and M. Günay, "Finite element modelling of cutting forces and power consumption in turning of AISI 420 martensitic stainless steel," *Arabian Journal for Science & Engineering (Springer Science & Business Media BV)*, vol. 43, no. 9, 2018.
- [15] U. Levent, H. Kazan, and Ö. Barış, "Investigation of the Impacts of Cutting Parameters on Power Usage in Cryogenic-Assisted Turning of AISI 52100 Bearing Steel by FEM," *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, vol. 3, no. 3, pp. 55-61, 2022.
- [16] B. Özlü, and L. Uğur, "Optimization of cutting forces on turning of Ti-6Al-4V Alloy by 3D FEM simulation analysis," *Journal of Engineering Research and Applied Science*, vol. 10, no. 2, pp. 1789-1795, 2021.
- [17] M. Akgün, "Monel K-500 Alaşımının Isı Destekli İşlenmesi Üzerine Sayısal Bir Çalışma," *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, vol. 14, no. 1, pp. 23-29, 2022.
- [18] L. Uğur, "A numerical and statistical approach of drilling performance on machining of ti-6al-4v alloy," *Surface Review and Letters*, vol. 29, no. 12, p. 2250168, 2022.
- [19] H. Wu, and S. Zhang, "3D FEM simulation of milling process for titanium alloy Ti6Al4V," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 71, no. 5-8, pp. 1319-1326, 2014.
- [20] J.-H. Urrea-Quintero, M. Marino, H. Hernandez, and S. Ochoa, "Multiscale modeling of a free-radical emulsion polymerization process: Numerical approximation by the Finite Element Method," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 140, p. 106974, 2020.
- [21] B. Rao, C. R. Dandekar, and Y. C. Shin, "An experimental and numerical study on the face milling of Ti-6Al-4V alloy: Tool performance and surface integrity," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 211, no. 2, pp. 294-304, 2011.

- [22] A. Shrot, and M. Bäker, "Determination of Johnson–Cook parameters from machining simulations," *Computational Materials Science*, vol. 52, no. 1, pp. 298-304, 2012.
- [23] M. Günay, "AISI 316L Çeliğinin işlenmesinde takım radyüsü ve kesme parametrelerinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 28, no. 3, 2013.
- [24] H. Gürbüz, U. Şeker, and F. Kafkas, "Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, no. 1, pp. 225-240, 2020.
- [25] K. Aydın, Ş. Katmer, A. Gök, and U. Şeker, "Experimental and statistical investigation of the machining performance of wave form end mills on AISI 316L stainless steel," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 36, no. 4, pp. 2225-2238, 2021.
- [26] I. Ciftci, "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools," *Tribology international*, vol. 39, no. 6, pp. 565-569, 2006.
- [27] J. Zhao, X. Ai, and Z. L. Li, "Finite element analysis of cutting forces in high speed machining," in *Materials Science Forum*, Switzerland, 2006, vol. 532: Trans Tech Publications, pp. 753-756.
- [28] H. Gökkaya, G. Sur, and H. Dılıpak, "PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parameterlerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi," *Teknoloji*, vol. 7, no. 3, 2004.
- [29] İ. Çiftçi, "Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 20, no. 2, 2013.
- [30] H. Yeyen, İ. Korkut, Y. Turgut, and İ. Çiftçi, "AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri," 2009.
- [31] M. F. Abdullah, M. I. H. Chua Abdullah, A. B. Sulong, and J. A. Ghani, "Effects of insert nose radius and processing cutting parameter on the surface roughness of AISI 316 stainless steel," *Key Engineering Materials*, vol. 447, pp. 51-54, 2010.
- [32] A. Pal, S. Choudhury, and S. Chinchankar, "Machinability assessment through experimental investigation during hard and soft turning of hardened steel," *Procedia Materials Science*, vol. 6, pp. 80-91, 2014.
- [33] T. Kıvak, "Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts," *Measurement*, vol. 50, pp. 19-28, 2014.
- [34] R. Işık, B. Özlü, and H. Demir, "St-37 malzemesinin lazer ile kesme işleminde seçilen parametrelerin etkisinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi," *Fırat University Journal of Engineering*, vol. 33, no. 1, 2021.