

Experimental Investigation of the Effects of Cutting Parameters on Geometric Tolerances in Machining

Hasan Hüseyin Akyıl*, Osman Bican

Kırıkkale University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Kırıkkale, 71000, Türkiye

*Received Date: Jun 23, 2022

Revised Date: Jul 23, 2022

Accepted Date: Aug 04, 2022


Published Online: Oct 21, 2022

Abstract

In the machining process, which is of great importance in the manufacturing industry, the most crucial aim is to be able to manufacture parts in the desired sensitive tolerance range and low surface roughness values. Surface quality and dimensional accuracy significantly affect the strength and performance of machine parts operating in contact and interaction. During these studies, of the geometric tolerance values, cylindricality, circularity and linearity values of SAE 1040 materials, which are produced by the CNC turning process and are widely used primarily in the manufacturing sector, were analysed. The effect of cutting parameter variables, which have a high impact on the process and have great importance in turning operations, were investigated. The experiments were carried out on a DOOSAN Lynx 2100 CNC Lathe by using Q8 Brunel XF 450 coolant. WIDIA DWLNR-2525M08 as a tool holder and WNMG0804086P TN20P as a cutting insert were used. The operations were performed at three different depths of cut (1 mm, 1.5 mm, 2 mm), three different cutting speeds (150 m/min, 200 m/min, 275 m/min), and three different feeds (150 m/rev, 200 m/rev, 240 m/rev). The cylindricality, circularity and linearity values of the sample parts obtained after the experiments were measured in the DEA GLOBAL CMM 3D measuring device. The Taguchi method, which is a statistical method, was used to evaluate the obtained data. With respect to the Taguchi method, time and cost savings were efficiently used, and the data obtained from the experiment were interpreted. In addition, analysis of variance (ANOVA) was used to determine the most influential parameters between dependent and independent variables.

Keywords

Machining, Turning, Cutting parameters, SAE 1040, Geometric tolerance, Cylindricity, Circularity, Linearity, CMM.

*Corresponding Author: Hasan Hüseyin Akyıl, h.akyil@outlook.com,  [0000-0001-9498-4968](https://orcid.org/0000-0001-9498-4968)

Talaşlı İmalatta Kesme Parametrelerinin Geometrik Toleranslar Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Hasan Hüseyin Akyıl*, Osman Bican

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Kırıkkale, 71000, Türkiye

*Gönderi Tarihi: 23 Haz 2022

*Düzeltilme Tarihi: 23 Tem 2022

*Kabul Tarihi: 04 Ağu 2022

*Çevrimiçi Yayın Tarihi: 21 Eki 2022

Özet

İmalat sanayinde büyük öneme sahip olan talaşlı imalat prosesinde istenilen, hassas tolerans aralığında ve düşük yüzey pürüzlülük değerlerinde parça imal edebilmek en önemli amaç olarak görülmektedir. Yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı, temas ve etkileşim halinde çalışan makine parçalarının dayanımını ve performansını önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmalar esnasında CNC tornalama işlemi ile üretilen ve özellikle imalat sektöründe genişçe kullanım alanına sahip olan SAE 1040 malzemelerin geometrik tolerans değerlerinden silindiriklik, dairesellik ve doğrusalık değerleri analiz edilmiştir. Prosese etkisi yüksek olan bu bağımlı değişkenler üzerine etki eden, tornalama işlemlerinde büyük öneme sahip olan kesme parametre değişkenlerinin etkisi incelenmiştir. Deneyler DOOSAN Lynx 2100 CNC torna tezgâhında Q8 Brunel XF 450 soğutma sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Takım tutucu olarak WIDIA DWLNR-2525M08 ve kesici uç olarak WNMG0804086P TN20P tercih edilmiştir. İşlemler üç farklı talaş derinliğinde (1 mm, 1.5 mm, 2 mm), üç farklı kesme hızında (150 m/dak, 200 m/dak, 275 m/dak) ve üç farklı ilerlemede (0.15 mm/dev, 0.2 mm/dev, 0.24 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrası elde edilen numune parçalarının silindiriklik, dairesellik ve düzlemsellik değerleri DEA GLOBAL CMM 3D ölçüm cihazında ölçülmüştür. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi için, istatistiksel yöntem olan Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu metot ile deneylere harcanacak zaman ve maliyetten tasarruf sağlanmış, deney sonuçlarından elde edilen veriler yorumlanmıştır. Ek olarak bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki etkili olan parametreleri belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler

Talaşlı imalat, Tornalama, Kesme parametreleri, SAE 1040, Geometrik tolerans, Silindiriklik, Dairesellik, Doğrusallık, CMM

*Sorumlu Yazar: Hasan Hüseyin Akyıl, h.akyil@outlook.com,  [0000-0001-9498-4968](https://orcid.org/0000-0001-9498-4968)

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişiminin ve bu teknolojilere olan ilginin her geçen gün artmasıyla birlikte işletmeler, müşterilerine daha kaliteli ürün imal edebilmek için üretim ve kalite stratejilerinde değişiklikler yapmak; farklı stratejiler uygulamak zorunda kalmışlardır. İşletmelerin rekabet ortamında başarıya ulaşabilmesi için öncelikle müşterilerine istenilen kalitede ve istenilen şartlarda üretim yapması gerekir. Bunu yapabilmenin yolu, mevcut müşterilerin karşısına rakip işletmelerden daha düşük maliyet ile daha kaliteli üretim yapılmasına bağlıdır [1]. İşletmeler müşterilerinin karşısına rakip işletmelerden daha donanımlı çıkabilmek için imalatta kullanılan makinelere, kalite kontrol ekipmanlarına, kalite süreçlerine yatırım yapmakta ve çabalarını bu yaklaşım üzerine yoğunlaştırmaktadırlar. Müşteriler, işletmelerinde ihtiyaç ve isteklerini karşılayacak ürünlerin kalite açısından uygun olmasını, bunun yanı sıra verimliliğin artmasını, kalite maliyetlerinin azalmasını beklemektedirler [2]. Bu etkenlerin sonucunda zaman içerisinde tolerans kavramları işletmeler arasında aktif olarak kullanılmaya başlamıştır. Makine üreticilerinin bu çerçevede tasarladıkları makineler, montaj esnasında veya çalışma esnasında arızalarla karşılaşmamak için makine üreticilerinin ya da standart makine elamanı üreticilerinin belirlediği ölçü toleranslarına uygun olmalıdır. Makinelerin veya üretilen parçaların kalitesini arttırarak, verimlilik ve işletme maliyetine olumlu katkılar sağlanmaktadır [3]. Talaşlı imalat yöntemi ile imal edilen ürünlerde kalite artışını belirlemede kullanılan önemli etkenler bulunmaktadır. Bunlar: kullanılan takım tezgâhı, kesici takımların özellikleri ve kaplaması, soğutucu sıvı kullanımı, kesme şartları, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği gibi etkenlerdir. Bu unsurlar üretilen malzemenin kalitesini doğrudan etkileyen parametrelerdir [4]. Talaşlı imalatta sık sık kullanılmakta olan tornalama işlemi, talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en sık kullanılan yöntemlerdendir. Tornalama işlemi genel olarak silindirik parçaları torna tezgâhının bağlama aparatı olan aynaya bağlanmasıyla aynanın iş parçası ile birlikte dönmesi ve takımın ilerleme hareketi yaparak malzeme üzerinden talaş kaldırması işlemidir [5]. Üretimde zamanı ve maliyeti azaltmak açısından bilimsel metotların kullanılması günden güne yaygınlaşmaktadır. Deneysel tasarım metotları da işletmeler için artan rekabet koşullarında pazar paylarını arttırabilmeleri ve etkin çalışabilmeleri için önemli bir rol oynamaktadır [6].

Bu araştırmada, kesme parametrelerinden kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliklerinin farklı kombinasyonlarına bağlı olarak silindiriklik, dairesellik ve doğrusalık tolerans değerlerindeki değişimler deneysel olarak incelenecektir. Bu çalışmada Taguchi metodu ve ANOVA metodu kullanılarak elde edilen ölçüm verileri analiz edilecektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Deney Numuneleri

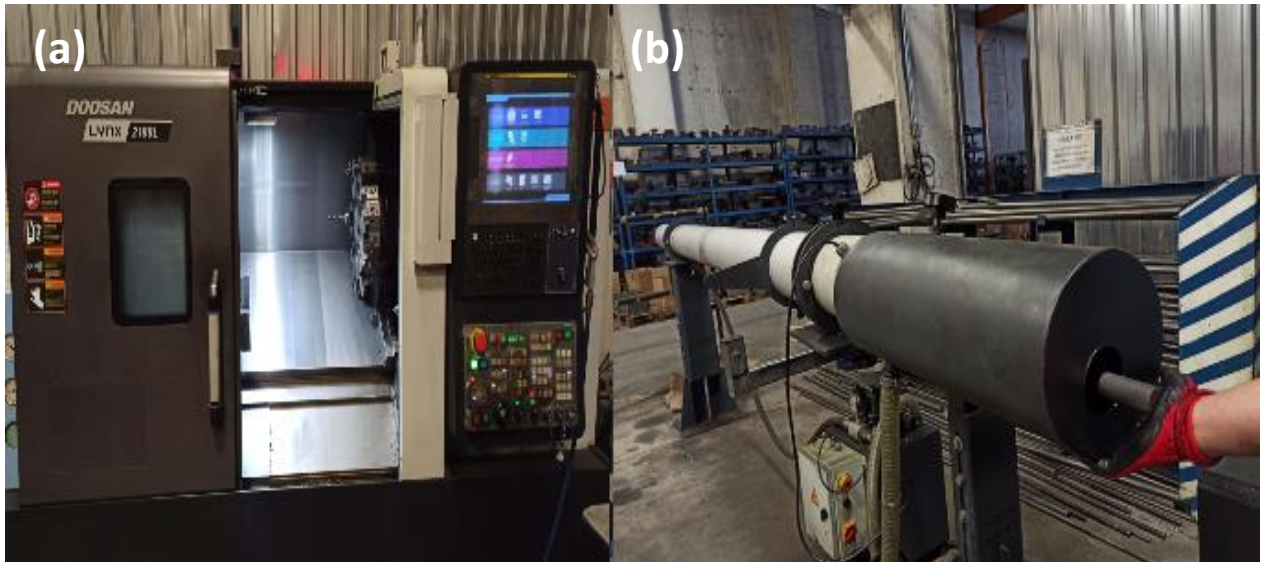
Deneylerde SAE 1040 malzeme kullanılmıştır. SAE 1040 çeliği ısıtılma işlemler sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilme yeteneğine; mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada bulunmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca araçların birçok parçasında, millerin ve dişlilerin imalatında sıklıkla tercih edilen bir malzemedir [7]. Tablo 1’de SAE 1040 çeliğinin kimyasal birleşimi ve sertlik değeri verilmiştir.

Tablo 1. SAE 1040 imalat çeliğinin kimyasal bileşimi.

Çelik Kalitesi : C40E / 1,1186 / 1040						
Pota Analizi / Ladle %	C	Si	Mn	P	S	Sertlik (HV)
Max	0.440	0.400	0.800	0.025	0.035	255
Min	0.370	0.100	0.500	0.000	0.000	-
Değer / Value	0.410	0.150	0.730	0.017	0.023	181

2.2 Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı ve Yardımcı Aparatları

Yapılan deneyler Şekil 1’de bulunan Doosan markasının Lynx 2100 CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Zaman ve işgücü kaybını azaltmak için CNC tornalarda sıklıkla tercih edilen çubuk sürücü kullanılmıştır. Çubuk sürücüler, seri imalatı kolaylaştırmakta ve adet olarak fazla işlerin imalatını kısa sürede tamamlamaktadır.



Şekil 1. a) CNC torna tezgâhı b) Çubuk sürücü

2.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Uç ve Takım Tutucu

Deneylerde kesici uçları bağlamak için, DWLNR-2525M08-KC04 NF5 kodu ile tanımlanan Şekil 2’deki kater kullanılmıştır. Yapılacak deneylerde kesici uç olarak Şekil 2’deki WIDIA WNMG0804086P TN20P kesici uç tercih edilmiştir. Bu ucun tercih edilmesindeki sebepler:

1040 imalat çeliğinde talaşı iyi kırması ve seçilen kesici uç ömrünün yüksek adetlere kadar dayanmasıdır.



Şekil 2. a) Takım tutucu b) Kesici uç

2.4 Deneylerde Kullanılan Kesme Sıvısı

Deneylerde Q8 BRUNEL XF 450 soğutma sıvısı kullanılmıştır. Soğutma sıvısı kullanımıyla talaşlı imalat problemlerinin çözümlenmesinde kesme sıvısı uygulamaları önemli bir yer tutmaktadır. İşlem süreçlerinde kesme sıvısı, kesme bölgesinde oluşan ısıyı düşürürken; yağlama etkisi ile takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmaktadır. Çıkan talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılmasında da etkin rol oynamaktadır. Dolayısıyla kesme sıvıları takım ömrünün uzamasını ve ürün kalitesinde artışı sağlar [8, 9].

2.5 Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazı

Elde edilen numune parçaların hassas bir şekilde doğrusalık, dairesellik ve silindiriklik ölçümlerini almak için yüksek doğruluk değerleri veren Şekil 3'teki DEA Global köprü tipi CMM cihazı kullanılmıştır. Bu tip CMM cihazları en yaygın olarak kullanılan, uzayda 3D ölçüm yapabilen, hem boyutsal hem de geometrik toleransların ölçümünü alabilen CMM cihazlarıdır [10]. CMM tezgâhlarının ayrıca otomatik çalışabilme özellikleri olduğu için operatörün ölçüm cihazı üzerinde kişisel becerilerini ve el hassasiyetini ortadan kaldırır. Bu sayede ölçüm sonuçlarında operatör kaynaklı hatalar engellenmektedir [11].

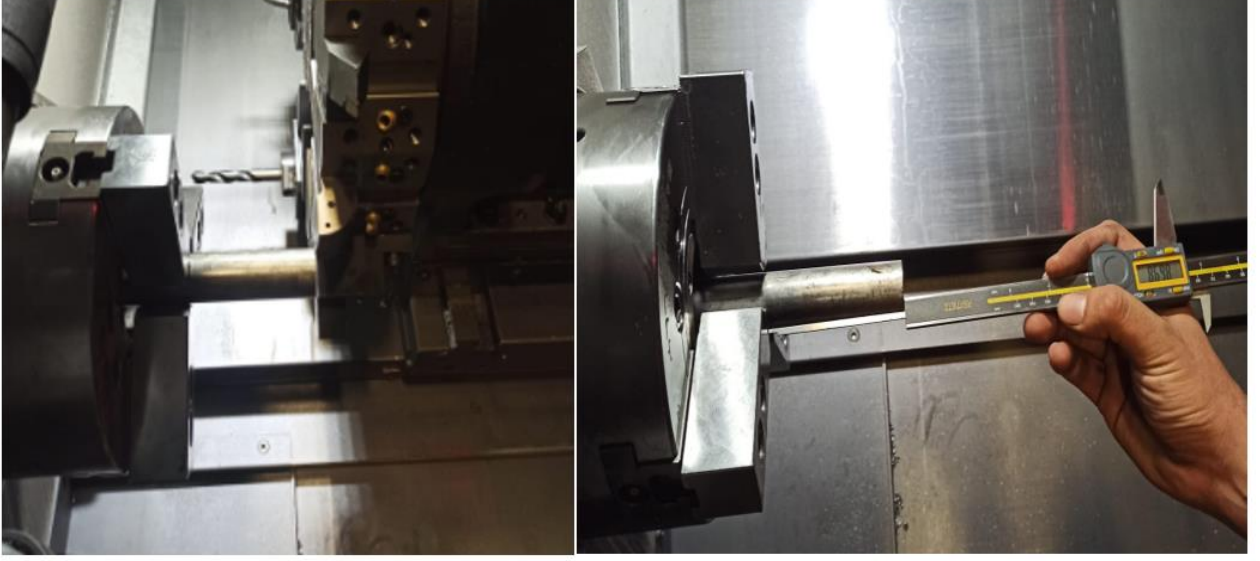


Şekil 3. DEA Global CMM 3D Ölçüm Cihazı

2.6 Deney Numunelerinin Hazırlanması

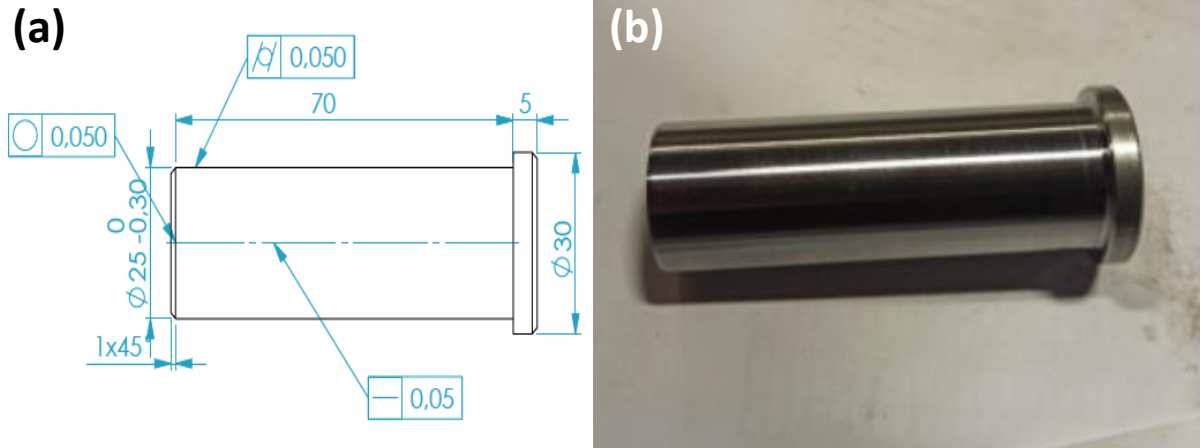
Deneylerde numunelerin hazırlanması için 3 boy $\text{Ø}30 \times 1500$ mm boyutlarında SAE 1040 malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin $\text{Ø}25 \times 80$ mm'ye işlenmesi için $\text{Ø}30 \times 1500$ mm malzeme

çubuk sürücüye yerleştirilir ve böylece programda belirlenmiş olan sınırlayıcıya temas edene kadar otomatik çubuk sürme işlemi Şekil 4'teki gibi devam eder.



Şekil 4. Malzemenin sınırlayıcıya sürülmesi

Toplamda farklı parametre değerleri içeren 9 adet deney yapılmıştır ve deneylerden güvenilir sonuçlar elde edebilmek için yapılan deneyler üzerine 9 adet deneyin tekrarı yapılmıştır. Deney numunesinin teknik resmi ve bitmiş hali Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. a) Numune parça teknik resim b) Bitmiş numune parça

2.7 Deney Faktörlerinin Belirlenmesi ve Ortogonal Dizin

SAE 1040 malzemelerinin işlenmesinde kullanılacak parametrelerden; talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı gibi özellikler dikkate alınmıştır. En uygun parametre değerleri seçilerek, en uygun geometrik toleranslar elde edilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen parametreler ve bu parametrelerin değerleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Kesme Derinliği a (mm)	1	1.5	2
İlerleme f (mm/dev)	0.15	0.2	0.24
Kesme hızı V (m/dk)	150	200	275

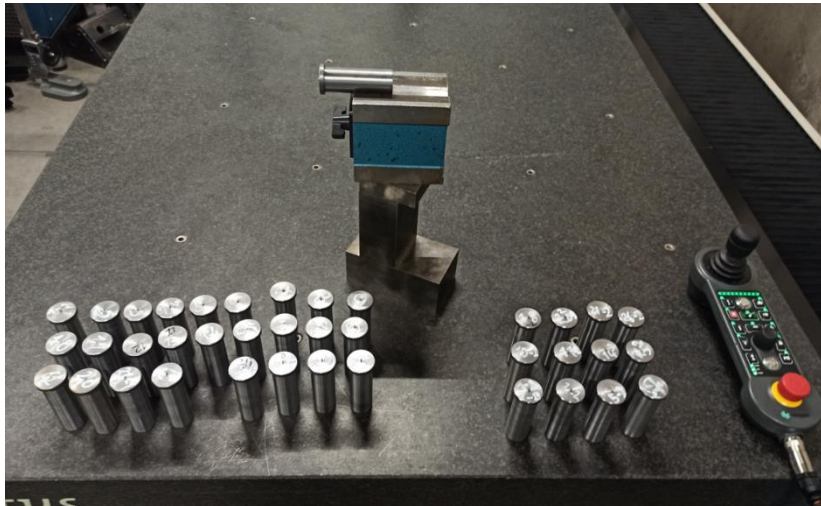
Yapılan deneysel çalışma için en uygun tasarım olarak Taguchi L₉ ortogonal dizin seçilmiştir. Tablo 3'te Minitab 21 istatistik yazılımı ile belirlenen L₉ deney tasarımı görülmektedir.

Tablo 3. Taguchi L₉ deney tasarımı tablosu

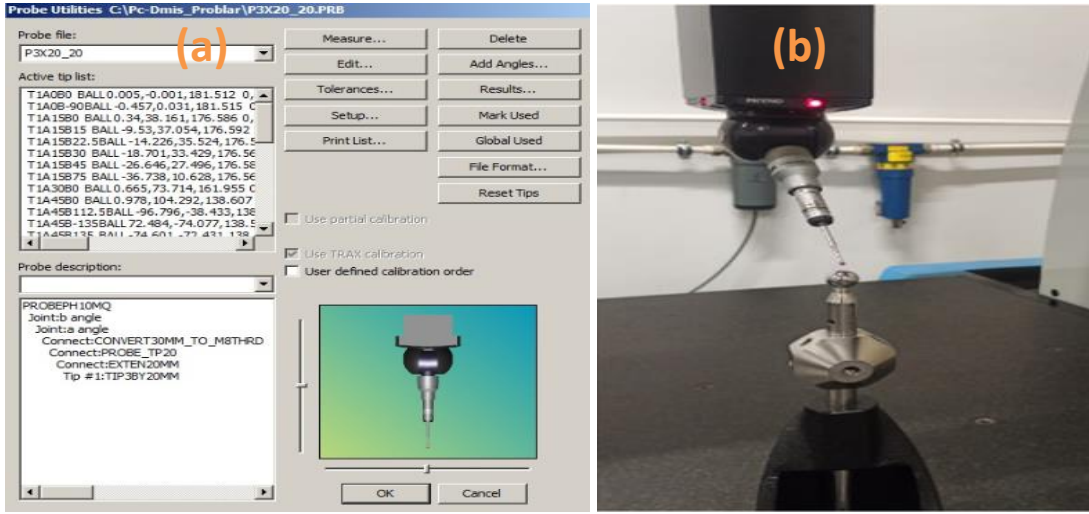
Deney Faktörleri ve Seviyeleri				
Deney Numarası	Değişkenler	A Talaş Derinliği	B İlerleme	C Kesme Hızı
1	A ₁ B ₁ C ₁	1	1	1
2	A ₁ B ₂ C ₂	1	2	2
3	A ₁ B ₃ C ₃	1	3	3
4	A ₂ B ₁ C ₂	2	1	2
5	A ₂ B ₂ C ₃	2	2	3
6	A ₂ B ₃ C ₁	2	3	1
7	A ₃ B ₁ C ₃	3	1	3
8	A ₃ B ₂ C ₁	3	2	1
9	A ₃ B ₃ C ₂	3	3	2

2.8 3D Ölçüm Cihazında (CMM) Geometrik Toleransların Ölçülmesi

CMM cihazı ile ölçüm yapılacak olan parçanın sabit bir şekilde bağlanması ölçüm sonuçlarının doğruluğu için önemli bir etkidir. Ölçüm yapılırken prob ucunun temasıyla, parçanın yerinden oynaması ölçüm sonuçlarını ciddi oranda değiştirecektir. Bundan dolayı CMM'de ölçüm yapılırken parçanın tablaya çeşitli aparatlar yardımı ile hareket etmeyecek şekilde sabitlenmesi gerekmektedir [12]. Bu koşulların sağlanabilmesi için, ilk adım olarak CNC torna tezgâhında işlenmiş olan numune parça sabitleyici mıknatısa Şekil 6'daki gibi bağlanır.

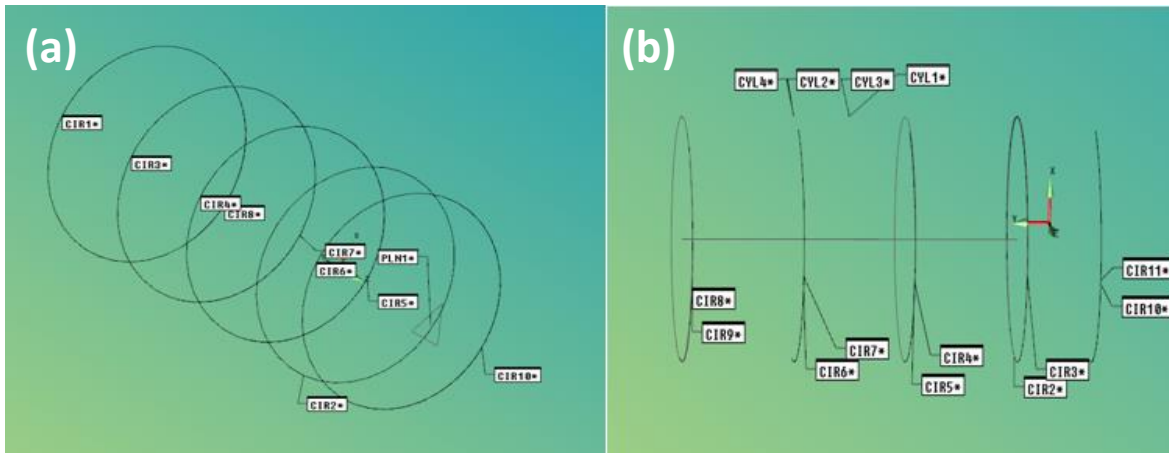
**Şekil 6.** Deney numunelerinin ölçüm cihazına bağlanması

PC-DMIS programında yeni ölçüm sayfası açılarak prob, ölçüsel hassasiyetinde kaçıklıklar olmaması için PC-DMIS üzerinden prob kalibrasyon sayfası açılmıştır. Kalibrasyon küresi yardımı ile prob açılarının seçimi ve kalibrasyonu yapılmıştır (Bkz. Şekil 7).



Şekil 7. a) Kalibrasyon ekranı b) Kalibrasyon küresi ile açılar doğrulanması

Sonrasında numune parçanın konumu, ölçüm probu ile programa tanıtılarak referanslanır. Referansı alınan parça üzerinden dairesellik, silindiriklik ve doğrusalık değerlerinin ölçümü için Şekil 8'deki gibi parçanın başlangıç noktasının 2 mm ilerisinde ve 2 mm gerisinde olacak şekilde eşit aralık ile 4 konumdan daire ve silindiriklik ölçümleri alınmıştır. Daireler alınırken maksimum doğruluk değerine ulaşabilmek için prob, her daire ölçümü için parça üzerinden 16 noktaya dokundurulmuştur. Doğrusallık ölçümü için parçanın başlangıç noktasının 2 mm ilerisinden ve bitişinin 2 mm gerisinden pay bırakılacak ve eşit aralık olacak şekilde 5 farklı konumda aralıkları sabit olacak ve doğrusal olacak şekilde her konum için farklı 16 nokta alınmıştır. Her bir numune parça ölçümü üçer kez tekrarlanmıştır ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 8. a) Dairesellik ölçümünün gösterimi b) Silindiriklik ölçümünün PC-DMIS programı üzerinde gösterimi

3. BULGULAR

Deneyisel çalışmalarda her işlenen parçanın silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık değerleri CMM cihazında ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Ölçülen silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık tolerans değerleri

Deney Numarası	Değişkenler	Silindiriklik (mm)	Dairesellik (mm)	Doğrusallık (mm)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.019	0.006	0.003
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.031	0.019	0.004
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.014	0.007	0.007
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.017	0.009	0.004
5	A ₂ B ₂ C ₃	0.017	0.012	0.005
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.013	0.007	0.004
7	A ₃ B ₁ C ₃	0.012	0.006	0.004
8	A ₃ B ₂ C ₁	0.016	0.009	0.004
9	A ₃ B ₃ C ₂	0.024	0.014	0.008

3.1. Deney Sonuçlarının Analizi

Bu çalışma analizinde, Taguchi metodunun kalite karakteristiklerinden oranı en küçük olan en iyidir prensibi ile ölçülen silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık tolerans değerleri analiz edilmiştir [13]. Ayrıca ANOVA analizi kullanılarak kesme parametrelerinden toleranslar üzerine en etkili olan parametreler tespit edilmiştir [14].

3.1.1 Silindiriklik Toleransının Sonuçları

Silindiriklik sembolü, bir nesnenin gerçek bir silindire benzerliğinin ne kadar yakın olduğunu açıklamak için kullanılmaktadır. Silindir eksenini boyunca parçanın yeterince yuvarlak ve yeterince düz olmasını sağlamak için silindirik, bir parçanın genel biçiminin doğruluğunu kontrol eden üç boyutlu bir toleranstır [15]. Silindiriklik toleransının kontrolü verilen yüzey boyunca bütün yüzeye uygulanırken, dairesellik toleransının kontrolü kesit alınıp belirli bir noktaya uygulanmaktadır. Tablo 5'te numune parçaların işlenmesinde oluşan silindiriklik değerinin S/N oranları görülmektedir. Bu deneylerde ölçülen en yüksek silindiriklik değeri 0.031 mm iken en küçük silindiriklik değeri 0.012 mm olmuştur. Elde edilen bu sonuç, minimum silindiriklik toleransı elde etmeye olanak sağlamaktadır.

Taguchi deney tasarımının kurulmasında ve kalite ile ilgili faktörlerin değerlendirilmesinde S/N oranları kullanılmaktadır. Taguchi metodu ile elde edilen S/N oranından optimum kesme şartları belirlenmektedir [16]. S/N değerlerine bağlı olarak, Delta ve sıralama değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

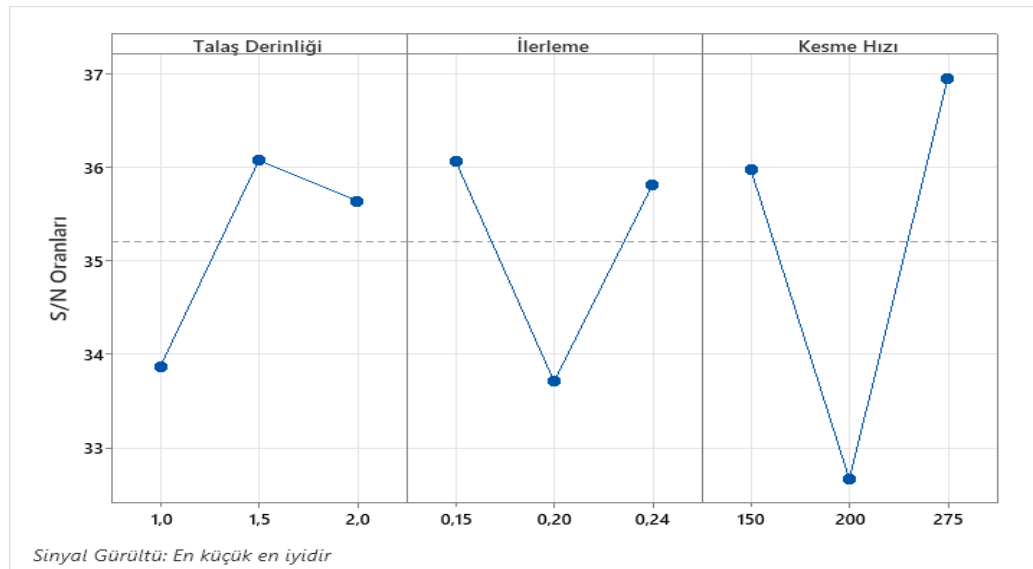
Tablo 5. Silindiriklik toleransı değerlerinin S/N oranları

Deney Numarası	Değişkenler	Silindiriklik (mm)	S/N Oranı (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.019	34.368
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.031	30.225
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.014	37.039
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.017	35.202
5	A ₂ B ₂ C ₃	0.017	35.202
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.013	37.847
7	A ₃ B ₁ C ₃	0.012	38.646
8	A ₃ B ₂ C ₁	0.016	35.716
9	A ₃ B ₃ C ₂	0.024	32.579

Tablo 6. Silindiriklik toleransı değerlerinin S/N oranları

Seviye	A	B	C
1	33.88	36.07	35.98
2	36.08	33.71	32.67
3	35.65	35.82	36.96
Delta	2.21	2.36	4.29
Sıra	3	2	1

Şekil 9'da talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı değerlerinin silindiriklik üzerindeki etkisini ifade eden sinyal gürültü oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.

**Şekil 9.** Silindiriklik toleransı değeri sinyal gürültü oranları

ANOVA analizi, bu çalışma için kesme parametrelerinden silindiriklik toleransı üzerine en etkili olan parametreleri bize göstermektedir. Tablo 7'de etki oranları yer almaktadır. Silindiriklik tolerans değeri için en etkili kesme parametresi, %54.88 oranı ile ilerleme değeri olarak belirlenmiştir.

Tablo 7. Silindiriklik toleransı için ANOVA sonuçları

Kaynaklar	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Talaş Derinliği	2	0.000049	17.42%	0.000049	0.000024	1.94	0.34
İlerleme Hızı	2	0.000053	18.74%	0.000053	0.000026	2.09	0.323
Kesme Hızı	2	0.000154	54.88%	0.000154	0.000077	6.13	0.14
Hata	2	0.000025	8.96%	0.000025	0.000013		
Toplam	8	0.000281	100.00%				

Silindiriklik toleransı için yapılan ANOVA analizi model özeti değerleri $S=0.0035493$ ve $R-sq= \%91.04$ olarak bulunmuştur.

3.1.2 Dairesellik Toleransının Sonuçları

Parçalarda hassasiyet gereksinimi arttıkça sadece boyut toleranslarını dikkate almak yeterli değildir. Dairesellik, bir eş merkezli iki daire arasında kabul edilebilir dairesel sapmayı belirtmektedir [17]. Tablo 8’de numune parçalarının işlenmesinde oluşan dairesellik değerinin S/N oranları görülmektedir. Bu deneylerde ölçülen en yüksek dairesellik değeri 0.019 mm iken en küçük dairesellik değeri 0.006 mm olarak tespit edilmiştir.

S/N değerlerine bağlı olarak, Delta ve sıralama değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

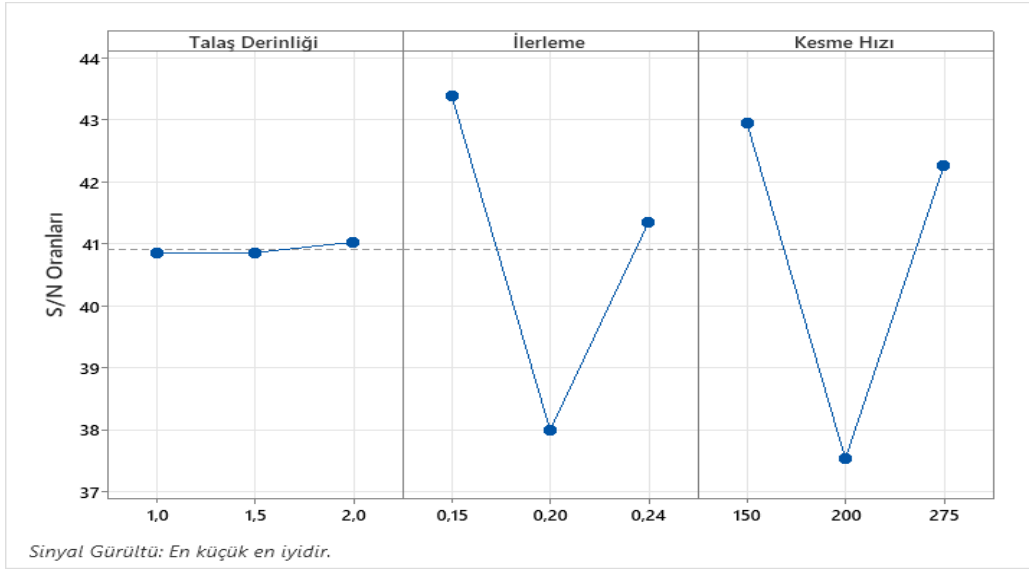
Tablo 8. Dairesellik toleransı değerlerinin S/N oranları

Deney Numarası	Değişkenler	Dairesellik (mm)	S/N Oranı (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.006	44.620
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.019	34.340
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.007	43.576
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.009	40.915
5	A ₂ B ₂ C ₃	0.012	38.553
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.007	43.098
7	A ₃ B ₁ C ₃	0.006	44.620
8	A ₃ B ₂ C ₁	0.009	41.098
9	A ₃ B ₃ C ₂	0.014	37.353

Tablo 9. Dairesellik toleransı değerlerinin S/N oranları

Seviye	A	B	C
1	40.85	43.38	42.94
2	40.86	38	37.54
3	41.02	41.34	42.25
Delta	0.18	5.39	5.4
Sıra	3	2	1

Şekil 10’da talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı değerlerinin dairesellik üzerindeki etkisini ifade eden sinyal gürültü oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. Dairesellik toleransı değeri sinyal gürültü oranları

Tablo 10’da dairesellik toleransı üzerine etki eden kesme parametresi değerlerinin oranları verilmektedir. Buna göre en büyük etki eden kesme parametresi %50.60 oranıyla kesme hızıdır.

Tablo 10. Dairesellik toleransı için ANOVA sonuçları

Kaynaklar	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Talaş Derinliği	2	0.000003	1.92%	0.000003	0.000002	0.26	0.796
İlerleme Hızı	2	0.000063	40.02%	0.000063	0.000031	5.36	0.157
Kesme Hızı	2	0.000079	50.60%	0.000079	0.00004	6.78	0.129
Hata	2	0.000012	7.46%	0.000012	0.000006		
Toplam	8	0.000157	100.00%				

Dairesellik toleransı için yapılan ANOVA analizi model özeti değerleri $S=0.0024177$ ve $R-sq=92.54\%$ olarak bulunmuştur.

3.1.3 Doğrusallık Toleransının Sonuçları

Doğrusallık bir yüzeyde veya bir ekseninde kabul edilebilecek derecede olan boylamasına dalgalanmayı ifade etmektedir. Tablo 11’de numune parçaların işlenmesinde oluşan doğrusallık değerinin S/N oranları görülmektedir. Bu deneylerde ölçülen en yüksek doğrusallık tolerans değeri 0.008 mm iken en küçük doğrusallık tolerans değeri 0.003 mm olarak tespit edilmiştir.

S/N değerlerine bağlı olarak Delta ve sıralama değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

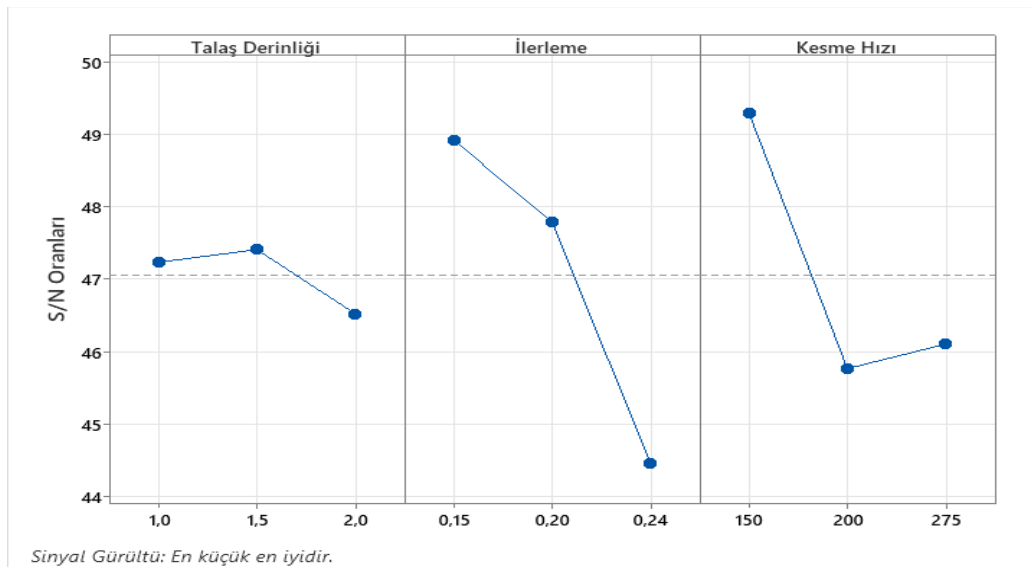
Tablo 11. Doğrusallık toleransı değerlerinin S/N oranları

Deney Numarası	Değişkenler	Doğrusallık (mm)	S/N Oranı (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.003	50.458
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.004	47.959
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.007	43.307
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.004	47.604
5	A ₂ B ₂ C ₃	0.005	46.315
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.004	48.328
7	A ₃ B ₁ C ₃	0.004	48.715
8	A ₃ B ₂ C ₁	0.004	49.119
9	A ₃ B ₃ C ₂	0.008	41.759

Tablo 8. Doğrusallık toleransı değerlerinin S/N oranları

Seviye	A	B	C
1	47.24	48.93	49.3
2	47.42	47.8	45.77
3	46.53	44.46	46.11
Delta	0.89	4.46	3.53
Sıra	3	1	2

Şekil 11’de talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı değerlerinin doğrusallık toleransı üzerindeki etkisini ifade eden sinyal gürültü oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.

**Şekil 11.** Doğrusallık toleransı değeri sinyal gürültü oranları

Tablo 13’te doğrusallık toleransı üzerine etki eden kesme parametre değerlerinin oranları verilmiştir. Buna göre doğrusallık değerine en büyük etki eden kesme parametresi %51.30 oranıyla ilerleme hızıdır.

Tablo 9. Doğrusallık toleransı için ANOVA sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Talaş Derinliği	2	0.000001	4.49%	0.000001	0.000001	0.3	0.768
İlerleme Hızı	2	0.000012	51.30%	0.000012	0.000006	3.44	0.225
Kesme Hızı	2	0.000007	29.31%	0.000007	0.000003	1.97	0.337
Hata	2	0.000004	14.89%	0.000004	0.000002		
Toplam	8	0.000024	100.00%				

Doğrusallık toleransı için yapılan ANOVA analizi model özeti değerleri $S=0.0013229$ ve $R-sq= \%85.11$ olarak bulunmuştur.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, SAE 1040 malzeme tornalanması işlemindeki kesme parametrelerinin geometrik toleranslar (silindiriklik, dairesellik, doğrusallık) üzerine etkileri incelenmiştir. İşlenmiş numune parçalarının, istenilen geometrik tolerans değerleri içerisinde ve hassas tolerans aralığında olması amaçlanmıştır. Sonuçlar Taguchi ortogonal dizisi ve ANOVA metodu kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak Taguchi yönteminin kullanıldığı bu çalışmada geometrik tolerans değerleri minimize edilerek imalat performansı ve elde edilen ürün kalitesi arttırılmıştır.

Bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Silindirik toleransı değerinin en uygun elde edildiği kesme parametresi değerleri: talaş derinliği 1.5 mm, ilerleme hızı 0.15 mm/dev ve kesme hızı 275 m/dk olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan ANOVA analizi sonucunda silindiriklik toleransına en büyük etki eden parametrenin % 54.88 ile kesme hızı değeri olduğu gözlemlenmiştir.
- Dairesellik toleransı değerinin en uygun elde edildiği kesme parametresi değerleri: talaş derinliği 1.5 mm den çok az bir fark ile 2 mm, ilerleme hızı 0.15 mm/dev ve kesme hızı 150 m/dk olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan ANOVA analizi sonucunda silindiriklik toleransına en büyük etki eden parametrenin % 50.60 ile kesme hızı değeri olduğu gözlemlenmiştir.
- Doğrusallık toleransı değerinin en uygun elde edildiği kesme parametresi değerleri: talaş derinliği 1.5 mm, ilerleme hızı 0.15 mm/dev ve kesme hızı 150 m/dk olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan ANOVA analizi sonucunda doğrusallık toleransına en büyük etki eden parametrenin % 51.30 ile ilerleme hızı değeri olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Simga-Mugan, C., Erel, E. (2000). Distribution of Quality Costs: Evidence From An Aeronautical Firm. *Total Quality Management*, 11:2, 227-234.
- [2] Ağın, K. (2020). Toplam Kalite Yönetimi Bağlamında Kaizen Felsefesinin Örgütlerin Maliyet, Verimlilik ve Kalite Düzeylerine Etkileri. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24:3, 1191-1207.
- [3] Erdoğan, E. (2009). Geometrik Boyutlandırma ve Ölçü Toleranslarının Arıza ve Periyodik Bakıma Etkisi. *Mühendis ve Makina*, 50:598, 25-38.
- [4] Debnath, S., Reddy, M.M., Yi, Q.S. (2016). Influence of Cutting Fluid Conditions and Cutting Parameters on Surface Roughness and Tool Wear in Turning Process Using Taguchi Method. *Measurement*, 78, 111-119.
- [5] Thamizhmanii, S., Saparudin, S., Hasan, S. (2007). Analyses of Surface Roughness by Turning Process Using Taguchi Method. *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*, 20:1-2, 503-506.
- [6] Canıyılmaz, E., Kutay, F. (2003). Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18:3, 51-63.
- [7] Köse, S., Sakin, R. (2010). AISI-1040 ve AISI-P20 Çeliklerinde Alaşım Oranları ve Mikro Yapının Sertleşme Kabiliyetine Etkisi. 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 170-182.
- [8] Beno, T., Isaksson, M., Pejryd, L. (2007). Investigation of Minimal Quantity Lubrication in Turning of Waspaloy. In: Takata, S., Umeda, Y. (eds) *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*. (Springer, London) pp. 305-310.
- [9] Liao, Y.S., Lin, H.M. (2007). Mechanism of Minimum Quantity Lubrication in High-Speed Milling of Hardened Steel. *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 47:11, 1660-1666.
- [10] H.Chena, S. Z. (2014). A Comprehensive Study of Three Dimensional Tolerance Analysis Methods. *Computer-Aided Design*, 1-13.
- [11] Zhu, L.-R. (2010). Estimation of Uncertainty in Spatial Straightness Measurement According to Next Generation of GPS Standard System. *Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence*, 666-669.
- [12] Işık, U. (2019). Üç Boyutlu Koordinat Ölçme Cihazı (CMM) ile Optik Tarama Cihazının Performanslarının Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi*.
- [13] Karna, S.K., Sahai, R. (2012). An Overview on Taguchi Method, *International Journal of Engineering and Mathematical Sciences*, 1, 11-18.
- [14] Cvijović, Z.Z., Radenković, G., Maksimović, V., Dimčić, B. (2005). Application of ANOVA Method to Precipitation Behaviour Studies. *Materials Science and Engineering: A*, 397:1-2, 195-203.

- [15] Dawson, D.J.W. (1992). Cylindricity and Its Measurement. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32:1-2, 247-253.
- [16] Krishankant, Taneja, J. Bector, M., Kumar, R. (2012). Application of Taguchi Method for Optimizing Turning Process by the Effects of Machining Parameters. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2:1, 263-274.
- [17] N. Cho, N., Tu, J.F. (2002). Quantitative Circularity Tolerance Analysis and Design for 2D Precision Assemblies. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42:13, 1391–1401.