

100Cr6 Malzemenin Sert Tornalama İşleminde Pt Cinsinden Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi

Ayhan ETYEMEZ^{1,a}, Kaan Can BAŞ^{1,b}

¹Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

^aORCID: 0000-0001-8188-2743; ^bORCID: 0000-0002-8063-2897

Makale Bilgileri

Geliş : 24.08.2025

Kabul : 23.03.2026

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1771047

Sorumlu Yazar

Kaan Can BAŞ

kaancanbas@gmail.com

Anahtar Kelimeler

Sert tornalama

Yüzey pürüzlülüğü

Pt

Alın tornalama

Atf şekli: ETYEMEZ, A., BAŞ, K.C., (2026). 100Cr6 Malzemenin Sert Tornalama İşleminde Pt Cinsinden Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 41(2), 299-308.

ÖZ

Bu çalışmada sertleştirilmiş çeliklerin talaşlı imalatında taşlama işlemine bir alternatif olarak sert tornalama işleminin uygulanabilirliğine katkı sağlamak amaçlanmıştır. Tam faktöriyel deney dizaynı ile 55 HRC sertlikte 100Cr6 çelikten numuneler üzerinde sert tornalama işlemi yapılarak Pt cinsinden yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler incelenmiştir. Optimum faktör seviyelerinin belirlenmesinde sinyal-gürültü oranı (S/N) yöntemi kullanılmıştır. Faktörlerin etki seviyeleri ise varyans analizi (ANOVA) ile tespit edilmiştir. İncelenen etki faktörleri sırasıyla kater kesme kenar açısı (KAPR), kesici uç köşe yarıçapı (RE), kesme derinliği (Ap) ve ilerleme yönüdür.

Dış çap tornalama işleminde faktörlerinin optimum seviyeleri aynı sıra ile 93°, 0,4 mm, 0,05 mm ve -Z yönü (aynaya doğru)dur. Faktörlerin etki düzeyleri aynı sıra ile %46,39, %3,17, %0,97 ve %0,04'tür.

Alın tornalama işleminde ise faktörlerin optimum seviyeleri aynı sıra ile 100°, 0,8 mm, 0,05 mm ve +X yönüdür (dönme eksenine doğru). Faktörlerin etki düzeyleri aynı sıra ile %20,99, %24,16, %2,81 ve %1,31'dir.

Investigation of Factors Affecting Pt Surface Roughness in Hard Turning of 100Cr6 Material

Article Info

Received : 24.08.2025

Accepted : 23.03.2026

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1771047

Corresponding Author

Kaan Can BAŞ

kaancanbas@gmail.com

Keywords

Hard turning

Surface roughness

Pt

Face turning

How to cite: ETYEMEZ, A., BAŞ, K.C., (2026). Investigation of Factors Affecting Pt Surface Roughness in Hard Turning of 100Cr6 Material. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 41(2), 299-308.

ABSTRACT

This study aims to contribute to the applicability of hard turning as an alternative to grinding in the machining of hardened steels. Using a full factorial experimental design, hard turning was performed on samples of 100Cr6 steel with a hardness of 55 HRC, and the factors affecting surface roughness in terms of Pt were investigated. The signal-to-noise ratio (S/N) method was used to determine the optimal factor levels. The effect levels of the factors were identified using analysis of variance (ANOVA). The investigated effect factors are, in order, the cutting edge angle (KAPR), the cutting edge radius (RE), the cutting depth (Ap), and the feed direction.

In the external diameter turning process, the optimum levels of the factors are, in the same order, 93°, 0,4 mm, 0,05 mm, and -Z direction (towards the mirror). The effect levels of the factors are, in the same order, 46,39%, 3,17%, 0,97%, and 0.04%.

In face turning, the optimal levels of the factors are 100°, 0,8 mm, 0,05 mm, and +X direction (toward the rotation axis), respectively. The effect levels of the factors are 20,99%, 24,16%, 2,81%, and 1,31%, respectively.

1. GİRİŞ

Otomotiv, havacılık, robotik sistemler ve medikal teknolojiler başta olmak üzere, insan yaşamını kolaylaştıran modern makinelerin neredeyse tamamında sertleştirilmiş çelik malzemelerden üretilmiş kritik iş parçaları bulunmaktadır. Bu bileşenler, kol saati mekanizmalarında kullanılan mikro elemanlardan, gemi krank milleri, güç aktarma şaftları veya rulmanlar gibi tonlarca ağırlıktaki makine elemanlarına kadar geniş bir yelpazede çeşitlilik göstermektedir. Söz konusu parçalar, makine üzerindeki fonksiyonlarına bağlı olarak yüksek statik ve dinamik yüklere maruz kalmakta ve özellikle aşınmaya karşı üstün direnç göstermek zorundadır [1-4]; bu gereklilikler nedeniyle belirli sertlik değerlerine sahip çeliklerin kullanımı mühendislik uygulamalarında zorunlu hale gelmektedir. Talaşlı imalat yöntemleri ile şekillendirilen bu makine parçalarının üretim rotasında, sertleştirme işleminin uygulanacağı aşama, imalat maliyeti ve parça kalitesi açısından belirleyici bir faktördür. İmalat sürecinin planlanmasında; işlenebilirlik, operasyonel maliyetler, ısıl işlemin parça boyutlarında ve geometrisinde yaratacağı olası distorsiyonlar ile malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerindeki değişimler bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmelidir. Ayrıca parça geometrisinin tezgaha bağlanabilirliği ile eş merkezlilik, salgı, diklik ve yüzey pürüzlülüğü gibi hassas geometrik toleransların sağlanabilmesi gerekliliği, sertleştirme öncesi ve sonrası uygulanacak yöntemlerin seçiminde etkin rol oynamaktadır [5-8]. Günümüzde uygun kesme şartlarının sağlanması durumunda tornalama, frezeleme ve delik delme gibi talaşlı imalat yöntemlerinin tamamı sertleştirilmiş çeliklere uygulanabilmektedir.

Hassas ölçülere sahip silindirik parçaların imalatında sertleştirme işlemi sonrası sert tornalama işlemi ve taşlama işlemi en yaygın uygulanan işlemlerdir. Sert tornalama işlemi ve taşlama işleminin birbirine göre bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Parçanın imal adedi, boyutları, boyutsal ve geometrik toleransları, sertlik miktarı ve malzeme özellikleri, müşteri özel istekleri, gerek duyulan torna veya taşlama tezgahının amortisman ve işletme maliyetleri, imalat hızı gibi faktörler değerlendirilerek parçanın imalat operasyonlarına karar verilir. Endüstriyel talaşlı imalatla, müşterinin istediği kaliteyi, en hızlı şekilde ve en az maliyet ile imal etmek hedeflenir [9]. Taşlama işlemi, tezgahların yüksek amortisman maliyeti, ayar süresinin uzun olması, işletme maliyeti ve sarf giderlerinin yüksek maliyeti karşısında ancak sipariş hacminin yüksek olduğu durumlarda elverişli olacaktır. Bu gibi durumlarda sert tornalama işlemi çok daha ekonomik ve hızlı bir çözüm olabilmektedir [10].

Galoppi ve arkadaşları [11] hazırladıkları çalışmalarında kaplamalı ve kaplamasız kübik bor nitrür (CBN) uçların 100Cr6 malzemenin sert torna işlemindeki performanslarını incelemişlerdir. Sonuçlara göre kaplamalı uçlarda aşınma gecikerek kesici takım ömrü daha uzundur. Kaplama tamamen aşındıktan sonra krater oluşumu başlamaktadır. Kesici takım ömrüne kesme hızının, ilerleme hızından daha önemli bir etken olduğunu ortaya koymuşlardır.

Benga ve Abrao [12] hazırladıkları çalışmalarında 100Cr6 malzemenin sert torna işleminde seramik ve polikristalin kübik boron nitrit (PCBN) kesici uçların takım ömürlerini ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini karşılaştırmıştır. Sonuçlara göre PCBN uçlar seramik uçlardan daha iyi bir takım ömrü sağlar. Yüzey pürüzlülüğüne ise hem seramik uçlarda hem de PCBN uçlarda en büyük etmen ilerleme hızıdır.

Chou ve Song [13] çalışmalarında kesici takım köşe radyusunun sert tornalama işlemindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre daha büyük uç radyuslu kesici takımlar ile daha iyi yüzey kalitesi elde etmişlerdir. Artan kesici takım köşe radyusu ile birlikte teğetsel kesme kuvveti de bir miktar artmaktadır. Aşınmamış yeni takımlarda beyaz tabaka oluşumu yalnızca 0,3 milimetre/devir (mm/dev) gibi yüksek ilerleme değerinde oluşmuştur. Aşınmış takımlarda ise 0,05 mm/dev gibi düşük ilerlemelerde bile beyaz tabaka oluşumu meydana gelmektedir.

Samardžiova ve Neslušan [14] 100Cr6 çeliğinin sert tornalanması üzerine yaptıkları çalışmada, silici (wiper) geometrilili ve konvansiyonel radyuslu kesici uçların yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları, silici geometriye sahip uçların, konvansiyonel uçlara kıyasla belirgin şekilde daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri sunduğunu ortaya koymuştur.

Kesici takım yanalma açısının kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelenen bir çalışmada 93° yanalma açısı ile 107,5° yanalma açısına göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Ancak küçük yanalma açısı ile kesme kuvvetleri daha yüksektir [15].

Chinchani ve arkadaşları [16] çalışmalarında sert tornalama işleminde kuru kesme, su bazlı kesme sıvısı ve kokonat yağlı bir kesme sıvısı ile testler gerçekleştirip yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Sonuçlara göre düşük kesme hızlarında kuru kesme ile daha iyi yüzey kalitesi elde etmişlerdir. Yüksek kesme hızlarında ise kokonat

bazlı kesme sıvısı kuru kesme ve su bazlı kesme sıvısına göre daha iyi yüzey kalitesi sağlamaktadır. Soğutma yöntemi her ne olursa olsun, yüzey pürüzlülüğü artan kesme hızı ile birlikte hızla düşerken, kesme hızı 150-160 metre/dakika (m/dak) kesme hızını aştığında yüzey pürüzlülüğü tekrar yükselmektedir. Kuru kesme durumunda daha belirgin olmak üzere yüzey pürüzlülüğünü en çok ilerleme hızı, daha sonra talaş derinliği ve son olarak kesme hızı etkilemektedir.

Rulman çeliklerinin birçok çeşidi olmasına rağmen 100Cr6 çeliği, yüksek sertlik, aşınma direnci ve yorulma mukavemeti özellikleri ile en sık tercih edilenidir. Rulmanlardaki kullanımının dışında özellikle otomotiv ve makine imalatında olmak üzere kritik parçaların imalatında vazgeçilmez niteliktedir. Literatürde 100Cr6 malzemenin sert tornalama işlemi ile ilgili çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Ancak alın tornalama işlemi, ilerleme yönü ve toplam profil yüksekliği (Pt) cinsinden yüzey kalitesi daha önce sert tornalama işleminin çalışılmamış yönleridir. Endüstride talaşlı imalat ile üretilen parçalarda Pt yüzey kalitesi kriterine sıkça rastlanmaktadır. Alın tornalama ise talaşlı imalatla hemen her tornalama işleminin olmazsa olmaz işlemi iken literatürde incelenmemiş bir sert tornalama işlemidir.

Bu çalışmada yüzey kalitesinin değerlendirilmesinde, literatürde yaygın olarak kullanılan ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) yerine, Toplam Profil Yüksekliği (Pt) parametresinin tercih edilmesinin temelinde, sertleştirilmiş çeliklerin çalışma koşulları ve hasar mekanizmaları yatmaktadır. Fiziksel açıdan değerlendirildiğinde Ra parametresi, yüzeydeki sapmaların aritmetik ortalamasını aldığından, yüzey bütünlüğünü tehdit eden anlık derin vadileri veya sivri tepeleri maskeleye eğilimindedir. Oysa 100Cr6 gibi dinamik ve çevrimsel yüklere maruz kalan rulman çeliklerinde, yüzeydeki en derin vadi (maksimum çukur derinliği), bir gerilme yığılması (stress concentration) noktası gibi davranarak yorulma çatlaklarının başlangıcına zemin hazırlamaktadır [17-19]. Benzer şekilde, yüzeydeki en yüksek tepe noktaları da montaj hassasiyetini bozmakta ve temas halindeki yüzeylerde abrasif aşınmayı hızlandırmaktadır. Bu nedenle, profilin en tepe ve en dip noktası arasındaki mutlak mesafeyi ifade eden Pt parametresi; parçanın yorulma ömrü, sızdırmazlık kabiliyeti ve tribolojik performansı hakkında Ra parametresine kıyasla fiziksel gerçekliğe çok daha yakın bir gösterge sunmaktadır [20].

Bu çalışma, bu özgün yönleri ile literatürdeki önemli bir boşluğu dolduracaktır. Çalışmanın bir hedefi de alın yüzeyinde 5 mm'lik bir ölçüm mesafesinde toplam profil yüksekliği (Pt) 2µm'den daha az olan yüzeyler elde edilmesidir. Bu seviyede bir yüzey kalitesinin taşlama işlemine alternatif olarak sert torna ile elde edilmesi endüstri için katma değerli olacaktır. Çünkü taşlama işleminde beyaz tabaka oluşumu sert torna işleminden daha fazla olması sebebiyle komponentin yorulma ömrünün kısaldığı bilinmektedir. Talaşlı imalatla yüzey pürüzlülüğü önemli bir kriter olsa da komponentin karmaşık formu ve talep edilen geometrik toleranslar taşlama işleminin uygulanabilirliğini zorlaştırmakta, çoklu operasyonlar gerektirmekte veya maliyet artırmaktadır [20,21]. Bu şartlarda sert tornalama avantajlı bir alternatif olabilmektedir. Bu makale 100Cr6 çeliğin sert tornalama işleminde Pt cinsinden yüzey pürüzlülüğü kriterine etki eden faktörlerin optimum seviyelerini, faktörlerin etki düzeylerini ve sert torna işlemi ile elde edilebilecek yüzey kalitesi seviyesini sunmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, sert tornalama deneyleri için 100Cr6 çelik kullanılmıştır. Deney numuneleri 37 mm çapında ve 70 mm boyunda silindir geometride hazırlanıp ısıtma işlemi ile 55 HRC sertlik değerine sertleştirilmiştir. 100Cr6 çeliğin ISO 683-17 standardına göre kimyasal içeriği Çizelge 1'de farklı uluslararası standartlardaki tanımlanması ise Çizelge 2'de sunulmuştur [21].

Çizelge 1. ISO 681-17 standardına göre 100Cr6 malzemenin kimyasal içeriği

	Karbon (%)	Silisyum (%)	Mangan (%)	Fosfor (%)	Kükürt (%)	Krom (%)	Molibden (%)	Alüminyum (%)	Bakır (%)	Oksijen (%)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Cu	O
Minimum	0,93	0,15	0,25	-	-	1,35	-	-	-	-
Maksimum	1,05	0,35	0,45	0,025	0,015	1,60	0,10	0,050	0,30	0,0015

Çizelge 2. 100Cr6 malzemenin uluslararası standartlardaki tanımlanması

Avrupa EN	Almanya DIN	W.n.	Fransa AFNOR	İspanya UNE	B.K. B.S.	ABD AISI/SEA
100Cr6	100Cr6	1.3505	100Cr6	F1310	535A99	52100

Sert tornalama deneyleri Hwacheon Cutex 160A MC CNC torna tezgahında kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 100 m/dak sabit kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızı sabit parametre olarak uygulanmıştır. Deneylerde kesici takım olarak yalnızca uç radyus ölçüleri (0,4mm ve 0,8mm) birbirinden farklı olan özdeş CBN kesici uçlar (DCMW 11T308 AF-2 HPCBN ve DCMW 11T304 AF-2 HPCBN) kullanılmıştır. Tam faktöriyel deney tasarımı ile 36 deney dış çap tornalama işlemi için 36 deney de alın tornalama işlemi için gerçekleştirilmiştir. Alın tornalama deneylerinde uygulanan kesme şartları ve seviyeler Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Alın ve dış çap tornalama deneylerinde uygulanan kesme şartları ve seviyeler

Seviye	Kater kesme kenarı açısı (KAPR)	Kesici uç köşe radyusu (RE)	Kesme derinliği (Ap)	İlerleme yönü
1	93°	0,4 mm	0,05 mm	-X, -Z
2	100°	0,8 mm	0,10 mm	+X, +Z
3	107,5°	-	0,15 mm	-, -

Deneylerde kullanılan kesici uçların boyutsal ve geometrik özellikleri Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Deneyisel çalışmada kullanılan kesici uçların özellikleri

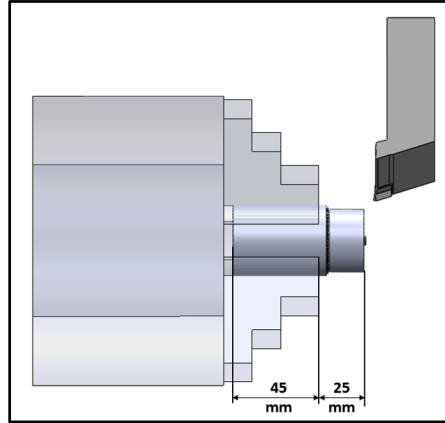
		DCGW 11T304	DCGW 11T308
Köşe radyusu (RE)	0,4 mm	0,8 mm	
Kesme kenarı boyu (L)	11,6 mm	11,6 mm	
Etkin kesme kenar boyu (LE)	2,5 mm	2,1 mm	
İç teğet daire çapı (IC)	9,52 mm	9,52 mm	
Kesici uç kalınlığı (S)	3,97 mm	3,97 mm	
Boşluk açısı	7°	7°	

Deneylerde kullanılan katerlerin boyutsal ve geometrik özellikleri Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Deneyisel çalışmada kullanılan katerlerin özellikleri

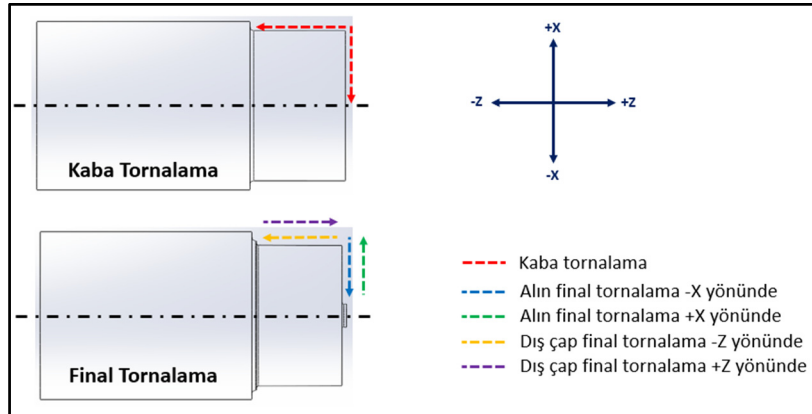
		SDJCR 2525M 11	SDXCR 2525M 11	SDHCR 2525M 11
Takım kesme kenarı açısı KAPR)	93°	100°	107,5°	
Maksimum bağlama boyu (OHX)	24,4 mm	24,4 mm	24,4 mm	
Takım tam boyu (LF)	150 mm	150 mm	150 mm	
Fonksiyonel genişlik (WF)	32 mm	32 mm	32 mm	
Fonksiyonel yükseklik (HF)	25 mm	25 mm	25 mm	
Takım shaft genişliği (B)	25 mm	25 mm	25 mm	
Takım shaft yüksekliği (H)	25 mm	25 mm	25 mm	

Numune parçalar Şekil 1’de gösterildiği gibi 25 mm’lik kısmı dışarda kalacak şekilde 45 mm mesafeden 3 ayaklı ayna ile sıkılarak rijit bir bağlama sağlanmıştır.



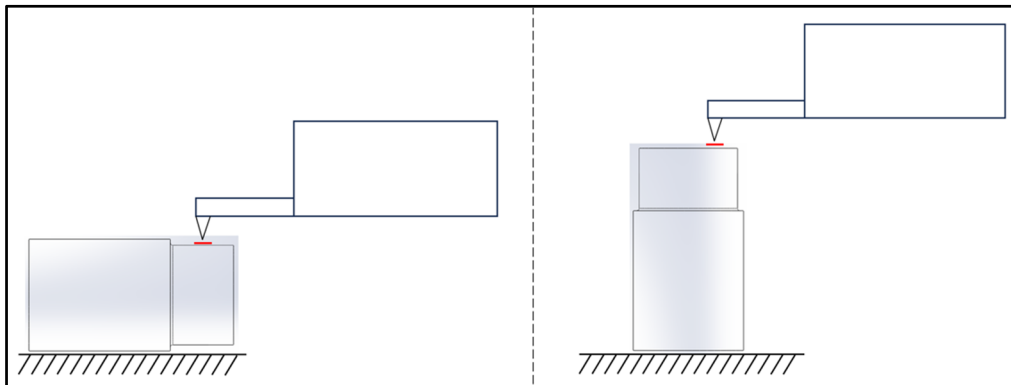
Şekil 1. Numune bağlama şematik gösterimi

Deney sonuçlarının malzemenin yüzeye yakın bölgelerindeki olası inklüzyonlardan ve geometrik kusurlardan etkilenmemesi için Şekil 2’de gösterildiği gibi önce kaba tornalama sonra final tornalama yapılmıştır. Yine Şekil 2’de deneylerde uygulanan farklı ilerleme yönleri renkli oklar ile tarif edilmiştir. Alın tornalama işlemi için kesme hızını sabit tutmak amacıyla G96 NC kodu ile programlama yapılmıştır.



Şekil 2. Tornalama işlemlerinin şematik gösterimi

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü Taylor Hobson Intra Touch yüzey pürüzlülük ve profil ölçme cihazı ile yapılmıştır. Dış çap yüzeyi pürüzlülük ölçümü sert tornalama yapılan yüzeyin orta bölgesinden 5 mm’lik değerlendirme boyu ile yapılmıştır. Alın yüzeyi pürüzlülük ölçümü ise Ø15 ile Ø25 arasında 5 mm’lik değerlendirme boyu ile yapılmıştır. Şekil 3’te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Yüzey pürüzlülük ölçüm bölgeleri şematik gösterimi

3. BULGULAR

3.1. Alın Tornalama Deneyleri Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

Alın tornalama deney numuneleri üzerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları Çizelge 6'da sunulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen Pt yüzey pürüzlülük değerleri 0,91 - 4,38 μm arasındadır.

Çizelge 6. Alın tornalama deneyleri yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Deney no	Pt (μm)	Deney no	Pt (μm)
1	2,85	19	1,05
2	4,38	20	1,48
3	4,32	21	1,30
4	4,17	22	1,13
5	4,09	23	1,20
6	2,77	24	1,15
7	1,52	25	1,70
8	0,91	26	2,44
9	1,87	27	2,83
10	0,96	28	1,29
11	1,11	29	1,17
12	1,10	30	2,42
13	1,74	31	1,97
14	1,62	32	1,88
15	1,44	33	2,13
16	1,60	34	1,14
17	1,53	35	2,01
18	1,69	36	2,89

3.2. Dış Çap Tornalama Deneyleri Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

Dış çap tornalama deney numuneleri üzerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları Çizelge 7'de sunulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen Pt yüzey pürüzlülük değerleri 1,23 - 3,14 μm arasındadır.

Çizelge 7. Dış çap tornalama deneyleri yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Deney no	Pt (μm)	Deney no	Pt (μm)
1	1,48	19	1,67
2	1,43	20	2,33
3	1,53	21	2,16
4	1,34	22	2,35
5	1,46	23	2,30
6	1,37	24	2,55
7	1,32	25	1,41
8	1,59	26	1,51
9	1,82	27	1,62
10	1,89	28	1,26
11	1,75	29	1,96
12	1,74	30	1,47
13	3,14	31	1,77
14	1,23	32	2,02
15	2,12	33	1,97
16	2,00	34	1,30
17	2,28	35	1,58
18	2,29	36	1,52

3.3. Sinyal Gürültü Oranları ve En İyi Seviyeler

Tam faktöriyel deney tasarımı ile elde edilen sonuçlar Taguchi'nin sinyal-gürültü oranı (S/N) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın hedefi en iyi yüzey kalitesini elde etmek olduğundan S/N oranının hesaplanması için “en küçük en iyi” formülü uygulanmıştır [22].

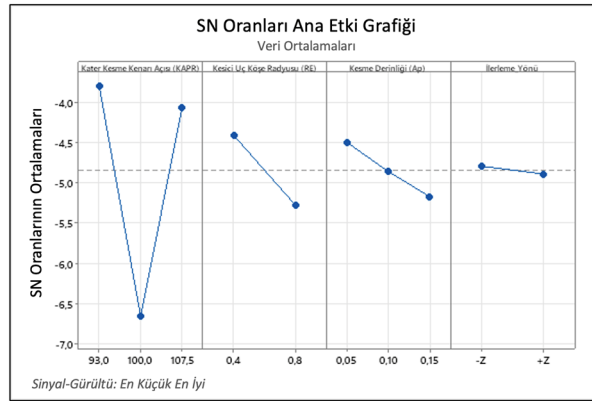
$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

y_i : deney sonucu ölçülen değer
 n : deneyin tekrar sayısı

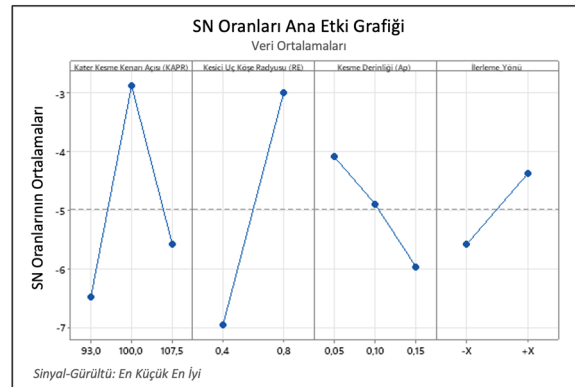
S/N oranları 4 etki parametresinin her seviyesi için analiz edilmiştir. En yüksek S/N oranını veren seviyeler hem düşük ortalama yanıtı hem de düşük değişkenliği gösterir. Bu şu anlama gelir;

- Ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri ne kadar düşükse, S/N oranı o kadar yüksektir.
- Tekrarlanan deneyler arasındaki yüzey pürüzlülük değişkenliği ne kadar düşükse S/N oranı o kadar yüksektir.

Dolayısıyla yüksek S/N oranı iyidir ve tutarlı şekilde düşük ölçümler yapıldığını gösterir. Dış çap tornalama deneylerinin yüzey pürüzlülüğü için S/N oranı grafikleri Şekil 4'te alın tornalama deneylerinin yüzey pürüzlülüğü için S/N oranı grafikleri ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulan Sinyal-Gürültü (S/N) analizleri incelendiğinde, 100Cr6 malzemenin sert tornalama işleminde hedeflenen minimum Pt yüzey pürüzlülüğüne ulaşmak için dış çap ve alın tornalama operasyonlarının birbirinden farklı kesme dinamiklerine sahip olduğu görülmektedir. Dış çap tornalamada yüzey kalitesini belirleyen en baskın faktör kater kesme kenar açısı olup optimum koşullar 93° açı ve 0,4 mm uç radyusu ile sağlanırken; alın tornalama işleminde süreç daha çok kesici uç radyusunun etkisi altındadır ve optimum koşullar 100° açı ve 0,8 mm uç radyusu seviyelerinde gerçekleşmiştir. Her iki operasyonda da kesme derinliğinin minimum seviyede (0,05 mm) tutulması ortak optimum koşul olsa da çalışma bulguları Pt <2 µm hedefine kararlı bir şekilde ulaşılabilmesi için kesici uç geometrisinin ve yanaşma açısının operasyon türüne özgü olarak ayrı ayrı optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.



Şekil 4. Dış çap tornalama deneyleri Pt yüzey pürüzlülüğü SN oranı



Şekil 5. Alın tornalama deneyleri Pt yüzey pürüzlülüğü SN oranı

Dış çap tornalama işleminde Pt cinsinden yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeler Çizelge 8’de, alın tornalama işleminde Pt cinsinden yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeler ise Çizelge 9’da gösterilmiştir. Dış çap tornalama işleminde kater kesme kenar açısı (KAPR) için optimum seviye 93° iken alın tornalama işleminde 100°’dir. Dış çap tornalama işleminde kesici uç köşe radyusu (RE) için optimum seviye 0,4 mm iken alın tornalama işleminde 0,8 mm’dir. Her iki tornalama işleminde de kesme derinliği (Ap) için optimum seviye 0,05 mm’dir. Dış çap tornalama işleminde ilerleme yönü için optimum seviye -Z yönü iken alın tornalama işleminde +X yönüdür.

Çizelge 8. Dış çap tornalama optimum seviyeleri

Faktörler	Pt
Kater kesme kenar açısı (KAPR)	93°
Kesici uç köşe radyusu (RE)	0,4
Kesme derinliği (Ap)	0,05
İlerleme yönü	-Z

Çizelge 9. Alın tornalama optimum seviyeleri

Faktörler	Pt
Kater kesme kenar açısı (KAPR)	100°
Kesici uç köşe radyusu (RE)	0,8
Kesme derinliği (Ap)	0,05
İlerleme yönü	+X

3.4. Varyans Analizi (Analyses of Variance – ANOVA)

Faktörlerin etki seviyelerinin belirlenebilmesi için varyans analizi Minitab 22 istatistik yazılımında gerçekleştirilmiştir [23]. Varyans analizi sonucundaki P değeri 0,05’ten (%95 önem seviyesinden) küçük ise faktörün yanıt üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi var demektir. Dış çap tornalama işlemi için varyans analizi sonuçları Şekil 6’da sunulmuştur. Dış çap tornalama işleminde yüksek etkiye sahip faktör kater kesme kenarı açısıdır ($P < 0,05$). Kater kesme kenar açısı (KAPR), kesici uç köşe radyusu (RE), kesme derinliği (Ap) ve ilerleme yönünün Pt yüzey kalitesine etkileri sırasıyla %46,39, %3,17, %0,97 ve %0,04’tür.

Varyans Analizi							
Kaynak	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Kater Kesme Kenarı Açısı (KAPR)	2	3,03222	46,39%	3,03222	1,51611	13,61	0,000
Kesici Uç Köşe Radyusu (RE)	1	0,20703	3,17%	0,20703	0,20703	1,86	0,183
Kesme Derinliği (Ap)	2	0,06365	0,97%	0,06365	0,03182	0,29	0,754
İlerleme_Yönü	1	0,00234	0,04%	0,00234	0,00234	0,02	0,886
Hata	29	3,23165	49,44%	3,23165	0,11144		
Toplam	35	6,53687	100,00%				

DF: Serbestlik derecesi, Seq SS: Ardışık Kareler Toplamı, Adj MS: Düzeltilmiş Ortalama Kareleri, F-Değeri: İstatistik Değeri, P-Değeri: Olasılık Değeri

Şekil 6. Dış çap tornalama varyans analizi sonuçları

Alın tornalama işlemi için varyans analizleri ise Şekil 7’de sunulmuştur. Alın tornalama işleminde ise yüksek etkiye sahip faktörler kesici uç köşe radyusu (RE) ve kater kesme kenarı açısı (KAPR) dır. ($P < 0,05$). Kater kesme kenar açısı (KAPR), kesici uç köşe radyusu (RE), kesme derinliği (Ap) ve ilerleme yönünün Pt yüzey kalitesine etkileri sırasıyla %20,99, %24,16, %2,81 ve %1,31’dir.

Varyans Analizi							
Kaynak	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Kater Kesme Kenarı Açısı (KAPR)	2	7,1803	20,99%	7,1803	3,5901	6,00	0,007
Kesici Uç Köşe Radyusu (RE)	1	8,2656	24,16%	8,2656	8,2656	13,81	0,001
Kesme Derinliği (Ap)	2	0,9612	2,81%	0,9612	0,4806	0,80	0,458
İlerleme_Yönü	1	0,4467	1,31%	0,4467	0,4467	0,75	0,395
Hata	29	17,3586	50,74%	17,3586	0,5986		
Toplam	35	34,2124	100,00%				

DF: Serbestlik derecesi, Seq SS: Ardışık Kareler Toplamı, Adj MS: Düzeltilmiş Ortalama Kareleri, F-Değeri: İstatistik Değeri, P-Değeri: Olasılık Değeri

Şekil 7. Alın tornalama varyans analizi sonuçları

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

- Dış çap tornalama ve alın tornalama işleminde Pt cinsinden en iyi yüzey kalitesi için optimum koşulların aynı olmadığı ortaya koyulmuştur.
- Dış çap tornalama işleminde optimum seviyeler kater kesme kenar açısı (KAPR) için 93°, kesici uç köşe radyusu için 0,4 mm ve kesme derinliği için 0,05 mm ve ilerleme yönü için -Z yönü olarak tespit edilmiştir.
- Alın tornalamada işleminde optimum seviyeler kater kesme kenar açısı (KAPR) için 100°, kesici uç köşe radyusu için 0,8 mm ve kesme derinliği için 0,05 mm ve ilerleme yönü için +X yönü olarak tespit edilmiştir.
- Dış çap tornalama işleminde Pt yüzey pürüzlülüğüne yüksek etkiye sahip faktör kater kesme kenarı açısı (KAPR)'dır ($P<0,05$). Kater kesme kenarı açısının (KAPR) Pt yüzey pürüzlülüğüne etkisi %46,39'dur.
- Alın tornalama işleminde Pt yüzey pürüzlülüğüne yüksek etkiye sahip faktörler kesici uç köşe radyusu (RE) ve kater kesme kenarı açısı (KAPR)'dır. ($P<0,05$) Kesici uç köşe radyusunun (RE) Pt yüzey pürüzlülüğüne etkisi %24,16'dır. Kater kesme kenarı açısının (KAPR) Pt yüzey pürüzlülüğüne etkisi %20,99'dur.
- Çalışmanın hedefi olan birincil profil yüksekliği $Pt\leq 2 \mu m$ yüzey kalitesi sert tornalama işlemi ile elde edilmiştir.
- Sert tornalama, uygun parametrelerle taşlama işlemine ekonomik bir alternatif olabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Ambhore, N., Naranje, V. & Shelke, S. (2025). Machining performance evaluation in turning of hardened steel using machine learning. *Materials and Manufacturing Processes*, 40(14), 1935-1942.
2. Mallick, R., Kumar, R., Panda, A. & Sahoo, A.K. (2023). Current status of hard turning in manufacturing: Aspects of Cooling Strategy and Sustainability. *Lubricants*, 11(3), 108.
3. Demirdöğen, M.F., Kılıç, S. ve Öztürk, F. (2022). Yüzey pürüzlülüğünün tahmininde farklı yöntemlerin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(2), 531-542.
4. Basmacı, G., Kirbaş, İ., Ay, M. & Peker, M. (2018). Optimization and influence of cutting parameters on surface roughness during turning of ASTM B574 (Hastelloy C-22) using a hybrid of Taguchi and RSM methods. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 761-771.
5. Kamer, M.S. & Uzay, Ç. (2024). Investigation of the effect of CNC milling cutting process on the tensile test of PLA samples produced using two different 3D printers with the FDM method. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(3), 599-608.
6. Ulutan, D. (2020). True variable-depth milling of nickel-based alloy IN-718. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 583-592.
7. Ay, M. & Basmacı, G. (2016). Investigation of the effects of conventional and wiper coated carbide tools with dry cutting on cutting forces, surface roughness, and material hardness in turning 17-4 PH stainless steel. *The Online Journal of Science and Technology*, 6(1), 33-39.
8. Özerkan, H.B. (2018). Tornalamada oluşan yüzey pürüzlülüğünün yorulma ömrüne etkisinin teorik değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 189-198.
9. Aouici, H., Yallese, M.A., Chaoui, K., Mabrouki, T. & Rigal, J.-F. (2012). Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization. *Measurement*, 45(3), 344-353.
10. Girisanekar, S., Senthil Murugan, S. & Shankar, E. (2024). A review of insights and research progress on hard turning. *Annals of Dunarea de Jos University of Galati Fascicle XII Welding Equipment and Technology*, 35, 119-132.
11. Galoppi, G.D.S., Filho, M.S. & Batalha, G.F. (2006). Hard turning of tempered DIN 100Cr6 steel with coated and no coated CBN inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 179(1-3), 146-153.
12. Benga, G.C. & Abrao, A.M. (2003). Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN cutting tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144(1), 237-241.
13. Chou, Y.K. & Song, H. (2004). Tool nose radius effects on finish hard turning. *Journal of Materials Processing Technology*, 148(2), 259-268.
14. Samardžiova, M. & Neslušan, M. (2013). Development of surface roughness in hard turning of 100Cr6 using mixed ceramic cutting tool with wiper geometry and conventional geometry. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 21, 193-198.
15. Boy, M., Günay, M., Demir, H. & Çiftçi, İ. (2014). Effects of the approach angle on cutting force and surface roughness in hard turning of AISI 52100. *Proceedings of 19th International Conference. Mechanika*, 58-63.

16. Chinchani, S., Salve, A.V., Netake, P., More, A., Kendre, S. & Kumar, R. (2014). Comparative evaluations of surface roughness during hard turning under dry and with water-based and vegetable oil-based cutting fluids. *Procedia Materials Science*, 5, 1966-1975.
17. Yıldırım, Ç.V. (2020). Investigation of hard turning performance of eco-friendly cooling strategies: Cryogenic cooling and nanofluid based MQL. *Tribology International*, 144, 106127.
18. Zawada-Tomkiewicz, A. & Zeuschner, E. (2025). Surface roughness in hard turning of EN 100Cr6 with coated PCBN cutting tools at micro cutting depths. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 139(11-12), 5545-5561.
19. Ambhore, N., Kamble, D. & Chinchani, S. (2020). Analysis of tool vibration and surface roughness with tool wear progression in hard turning: An experimental and statistical approach. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 14(1), 6461-6472.
20. International Organization for Standardization, (1997). *Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters* (ISO Standard No. 4287:1997).
21. International Organization for Standardization, (1999). *Heat-treated steels, alloy steels and free-cutting steels - Part 17: Ball and roller bearing steels* (ISO Standard No. 683-17:1999).
22. Kumsal, K.H. (1994). Taguchi metodu. *Yüksek lisans tezi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 134.
23. Aydın, E. (2023). Taguchi optimizasyon metodunun imalat mühendisliği alanında kullanımı: Minitab örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 28 (3).