

## KANAL TORNA KALEMİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU

Ahmet Murat PİNAR<sup>a,\*</sup>, Korcan FIRAT<sup>b</sup>, A. Faruk PİNAR<sup>c</sup> Serhat FİLİZ<sup>d</sup>

<sup>a,\*</sup> Celal Bayar Üniversitesi Turgutlu MYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü  
Tel: 0-312-3135502 ahmet.pinar@bayar.edu.tr Turgutlu-Manisa/TÜRKİYE

<sup>b</sup> Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tel: 0-236-2012700 korcanf@hotmail.com Muradiye-Manisa/TÜRKİYE

<sup>c</sup> Celal Bayar Üniversitesi Turgutlu MYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü  
Tel: 0-312-3135502 faruk.pinar@bayar.edu.tr Turgutlu-Manisa/TÜRKİYE

<sup>d</sup> Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tel: 0-236-2012700 serhat.filiz@bayar.edu.tr Muradiye-Manisa/TÜRKİYE

### Özet

Gagalama hareketiyle oluşturulan kanal açma çevrimlerinde oldukça yüksek işleme zamanı, düşük yüzey kalitesi ve oluşan istenmeyen kademeli yüzey izleri dolayısıyla ekstra operasyonlara ihtiyaç doğmaktadır. Son dönemlerde, kanal kesici takımları, normal sağ/sol yan kalem olarak kullanılabilen ve bunların kullanımı ile yüksek talaş kaldırma oranları elde edilebilmektedir. Bu amaçla, işlenebilirlik çalışmalarında referans malzeme olan, AISI 1040 çeliğin bu takımla tormalanmasında kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yüzey Pürüzlülüğü, Optimizasyon, ANOVA (Varyans Analizi) Kanal Torna Kalem, Taguchi Metodu

### 1. Giriş

Talaş kaldırma işleminde yüzey pürüzlülüğünün tahmini ve kontrolü işlemin doğası gereği oldukça karmaşık ve modellenmesi güç bir işlemdir. Bu sebeple işlenebilirlik çalışmalarında, istatistiksel metotlara sıklıkla başvurulmaktadır. Taguchi metodu az deney sayısında karmaşık matematiksel hesaplamalara ihtiyaç duymamasından dolayı bu alanda yaygın bir kullanıma sahiptir. Aşağıda çelik malzemelerin Taguchi metoduyla gerçekleştirilen yüzey pürüzlülük çalışmaları değerlendirilmektedir.

Tzeng vd. SKD 11 yüksek karbonlu yüksek kromlu alaşım takım çeliğinin tormalanmasında, dairesellik ve yüzey pürüzlülüğü kalite karakteristiklerini Taguchi ve gri ilişki analizi yöntemleri ile optimize etmişlerdir. İşleme parametresi olarak 3 farklı seviyede kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği ve kesme sıvısı oranı kullanılmıştır. L9 ortogonal diziyeye göre gerçekleştirilen deneyler ve istatistiksel analizler sonucunda kesme hızının birinci seviyede (155m/min) ilerlemenin ikinci (0.12mm/devir), talaş derinliğinin üçüncü seviyesinde (0.8mm) ve kesme sıvısı oranının üçüncü. seviyesinde (%12) dairesellik ve pürüzlülük optimize edilmiştir. Kalite karakteristiklerinin değişimindeki etki derecesine göre işlem parametreleri; talaş derinliği, kesme hızı, kesme sıvısı oranı ve ilerleme oranı olarak sıralanmaktadır [1].

Manna ve Salodkar EO300 alaşım çeliğinin PVD kaplı sementit karbürle tormalanmasında ortalama pürüzlülüğü dinamik programlama, Taguchi yöntemi ve regresyon analizi ile araştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği faktörlerinin farklı seviyelerinde L27 ortogonal dizi esas alınarak gerçekleştirilen deneyler Taguchi 'ye ait S/N oranı ve ANOVA ile değerlendirilmiştir. Buna göre elde edilen optimum faktör seviyelerinde, doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait sonuçlar

teorik ve regresyon modelleri karşılaştırılmıştır. Buna göre regresyon modelin tahmin doğruluğunun daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [2].

Kopac vd. sıcak haddelenmiş C15E4 çeliklerin Sermet takımlarla tormalanmasında yüzey pürüzlülüğünü Taguchi yöntemiyle incelemişlerdir. Deney sisteminde iki seviyeli kesme hızı, (250 ve 400m/dk), kesici takım malzemesi (Cermet ve Cermet+TiN) çekme çapı ( $\varnothing 40$  ve  $\varnothing 34$ ), talaş derinliği (0.3 ve 0.5mm) ve Ardışık kesme (birinci talaş ve ikinci talaş) parametreleri ile birlikte L16 ortogonal dizi kullanılmıştır. Buna göre TiN (PVD) kesici takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğü üzerinde pozitif bir etkisinin olduğu, buna ek olarak, kesme hızının en anlamlı parametre olduğu gözlemlenmiştir [3].

Davim 95MnPb28k serbest imalat çeliği malzemenin sementit karbür uçla işlenmesinde, yüzey kalitesine göre optimum kesme şartlarını Taguchi yöntemiyle belirlemiştir. Kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği faktörlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve maksimum profil yüksekliği üzerindeki etkileri L27 ortogonal dizi, varyans analizi ve regresyon analizi ile incelenmiştir. Buna göre iki pürüzlülük kriteri için de talaş derinliğinin anlamlı olmadığı ilerleme oranı, kesme hızı ve kesme hızı-ilerleme oranı faktör ve etkileşimlerinin anlamlı olduğu elde edilmiştir. İlerleme oranının dominant etkisi açıkça görülmektedir. Son olarak gerçekleştirilen doğrulama deney sonuçları regresyon ve teorik model kullanılarak kıyaslanmıştır [4].

Davim ve Figueira ısıtılmış soğuk iş takım çeliğinin (60HRc) seramik takımla işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve özellikli kesme basıncı üzerindeki etkileri Taguchi metoduyla değerlendirmişlerdir. İşlem parametresi olarak kesme hızı ilerleme oranı ve diğer çalışmalardan farklı olarak işleme zamanı 3 farklı seviyede incelenmiştir. Taguchi 'ye ait L27 ortogonal diziyeye göre oluşturulan deney sistemi %95 güven seviyesinde varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Buna göre kesme zamanı faktörünün pürüzlülük üzerinde %32, ilerleme oranının %29.6'lık, kesme hızının %9.9, kesme hızı-kesme zamanı %9.3 Kesme hızı-ilerleme oranı %6.6 ve ilerleme oranı-işleme zamanı %0.2'lik paya sahiptir [5].

Nalbant vd. AISI 1030 çeliğinin TiN kaplı sementit karbür takımla işlenebilirliğini yüzey pürüzlülüğüne göre araştırmışlardır. Uç radyüsü, talaş derinliği ve ilerleme oranı faktörlerinin ana etkileri ve optimum seviyeler Taguchi metoduyla belirlenmiştir. Çalışmada 9 adet deneyden oluşan L9 ortogonal dizi kullanılmış ve deneysel sonuçlar sinyal gürültü oranı analizi ve ANOVA ile değerlendirilmiştir. Uç radyüsü ve ilerleme oranının anlamlı olduğu ve sırasıyla pürüzlülük üzerinde %48.54 ve %46.95'lik etkiye sahip oldukları gözlemlenmiştir. Diğer yandan talaş derinliğinin anlamlı olmadığı elde edilmiştir [6].

Yang ve Tarng Taguchi metodunu kullanarak S45C çeliğinin tungsten karbür takımla tormalanmasında optimum yüzey pürüzlülüğünü ve takım ömrünü ve bunları sağlayan parametreleri belirlemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği faktörlerinin 3 farklı seviyelerinin kullanıldığı L9 ortogonal diziyeyi, sinyal gürültü oranı ve varyans analizini kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün değişiminde, tüm faktörlerin anlamlı olduğu %81.99'lük oranla ilerleme oranının en yüksek etkiye sahip olduğu bu parametreyi talaş derinliği (%12.46) ve kesme hızı (%5.29) izlemektedir [7].

Aslan vd. sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin tormalanmasında kesme hızı ilerleme oranı ve talaş derinliği faktörlerinin yanak aşınması ve yüzey pürüzlülüğü performansını Taguchi metoduyla araştırmışlardır. Deneyler kuru şartlarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiCN karışımı seramik kesici takımla gerçekleştirilmiştir. L27 ortogonal dizinin kullanıldığı deney sistemine ait sonuçlar varyans ve çoklu regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Varyans analizine göre sadece kesme hızı, ilerleme oranı ve ilerleme oranı-talaş derinliği etkileşimlerinin anlamlı olduğu elde edilmiştir. Regresyon analizinde %47'lik korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu durum işlem parametreleriyle ve pürüzlülük arasında lineer bir ilişkinin olmadığını göstermektedir [8].

Çalışmada, son dönemde hem kesme hem kanal hem de profil tornalama operasyonlarında kullanılan, böylelikle imalata büyük esneklik getiren kanal kaleminin AISI 1040 çeliğinin işlenmesindeki yüzey pürüzlülük performansı Taguchi metoduyla değerlendirilmiştir.

## 2. Yüzey Kalitesinin Değerlendirilmesi

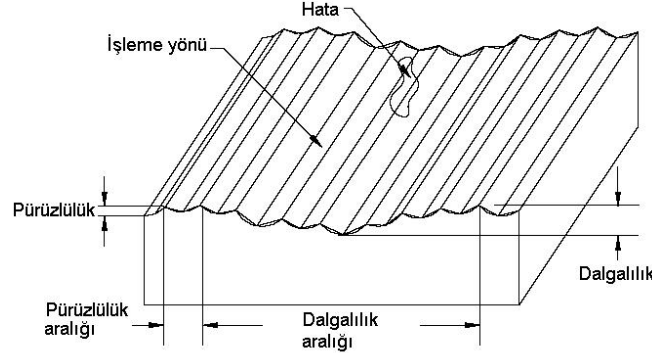
Talaşlı imalattaki en önemli kalite karakteristiklerinden biri de yüzey kalitesidir ve yüzey pürüzlülüğü ile değerlendirilmektedir. Aşağıda işlenmiş bir yüzeye ait önemli yüzey parametreleri ASME B46.1 ve ISO 4287 standartları esas alınarak verilmiştir [9, 10]. Şekil 1'de işlenmiş bir yüzeyin yapısı görülmektedir.

### Pürüzlülük

Kesici ya da aşındırıcı bir takımın, yüzeyin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan pek çok çizikli, düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarıdır.

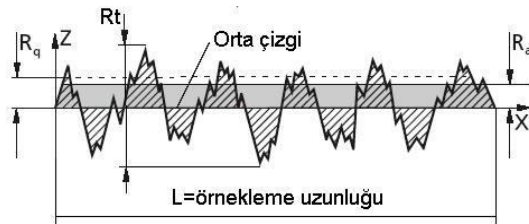
### Dalgalık

Pürüzlülüğe göre yüzeyde daha geniş bir alanda yer almaktadır ve tezgâhta ya da işte meydana gelen sapma ve titreşimlerden meydana gelebilmektedir.



Şekil 1. İşlenmiş bir yüzeyin yapısı.

Şekil 2'de yüzey pürüzlülüğü ile ilgili önemli parametreler verilmiştir.



Şekil 2. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili önemli parametreler.

### Orta çizgi

Örnekleme uzunluğu boyunca yüzeye ait tepe ve çukurların alanlarının eşitlendiği çizgidir.

### Ra (Ortalama pürüzlülük)

En sık kullanılan yüzey pürüzlülük parametresidir. Örnekleme uzunluğu boyunca orta çizgiden itibaren gerçekleşen sapmaların aritmetik ortalaması olup, aşağıdaki formülle elde edilmektedir.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx \quad (1)$$

**R<sub>q</sub> (RMS pürüzlülüğü)**

Örnekleme uzunluğu boyunca orta çizgiden itibaren gerçekleşen sapmaların geometrik ortalamasıdır ve aşağıdaki eşitlikle elde edilmektedir.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L Z^2(x) dx} \quad (2)$$

**R<sub>t</sub> (Maksimum profil yüksekliği)**

Örnekleme uzunluğu boyunca en yüksek tepe noktası ile en derin çukur arasında kalan sapma mesafesidir.

**3. Malzeme ve Metot**

Bu çalışmada Ø65x60mm boyutlarındaki AISI 1040 çelik çubuk deney malzemesi olarak kullanılmış olup, buna ait kimyasal içerik Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi ( % ağı.).

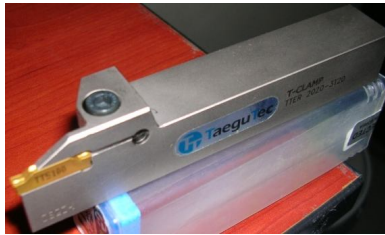
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0.40	0.70	0.22	0.006	0.008	-	-	-

Numuneler, Fanuc kontrol ünitesine göre programlanan, fener mili maksimum hızı ve gücü sırasıyla 6000dev/min ve 5.5kW olan Goodway GLS 150 CNC torna tezgâhında işlenmiştir (Şekil 3).



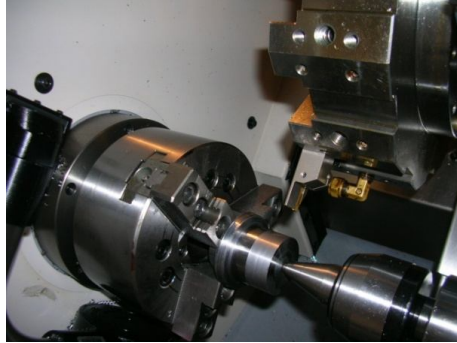
Şekil 3. İşlenebilirlik testlerinin yapıldığı CNC torna tezgâhı.

Kesici takım olarak Taegutec firmasına ait CVD yöntemiyle TiAlN kaplanmış sementit karbür kanal kalemi kullanılmıştır (Kater sipariş kodu: TCLAMP TTER 2020-3T20 ve Uç sipariş kodu: TDT3E-0.4TT5100). Takım yanaşma açısı, ön boşluk açısı ve uç yarıçapı sırasıyla 90, 7 ve 0.4mm’ dir. Şekil 4’de kesici takıma ait resim verilmiştir.



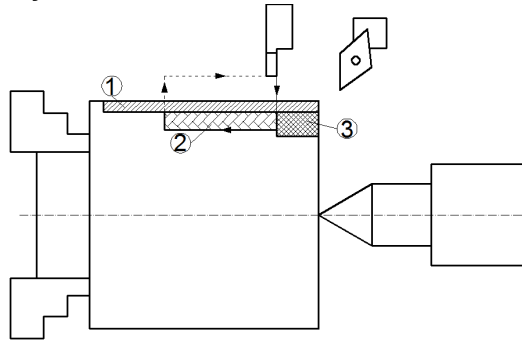
Şekil 4. Kullanılan kesici takım.

Deney planında 100, 140 ve 180m/min'lık 3 farklı kesme hızı, 0.05, 0.15 ve 0.25 mm/devir'lik üç ilerleme oranı ve 0.6, 1.3 ve 2 mm'lik üç farklı talaş derinliği ıslak şartlarda kullanılmıştır. Şekil 5'de tornalama işlemi sırasında numunenin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Tornalama işlemi sırasında numunenin görüntüsü.

Parça işlenmeden önce ilk olarak Teagutec firmasına ait TiN kaplı sementit karbür sağ yan takımla boyuna tornalama işlemiyle ham malzeme  $\varnothing 64$  mm çapa getirilmiş (Şekil 6'daki 1 no'lu bölge). Kanal kalemi kullanım doğasına uygun olarak deney planına uygun olarak istenen çapa dalma hareketi ve sonrasında boyuna tornalama hareketi ile Şekil 6'daki 2 no'lu bölgeyi işlemiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri bu bölgede gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemini kolaylaştırmak amacıyla sağ yan kalem tekrar çağrılarak 3 no'lu bölge işlenmiştir.



Şekil 6. Numunenin işlendiği kısımlar.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri izleyici uç prensibi ile çalışan Mitutoyo Surftest 311 profilometreyle kesme ve örnekleme uzunluğu sırasıyla 0.8 ve 5mm alınarak gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm ( $R_a$ ) üçer kez tekrar edilmiş olup, istatistiksel analizlerde bunlara ait aritmetik ortalamalar ( $R_{aort}$ ) kullanılmıştır.

#### 4. Deney Tasarımı ve İstatistiksel Analiz

Deney tasarımı ve istatistiksel analiz metodu olarak Taguchi kullanılmıştır. Kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği faktörlerinin farklı seviyelerinde gerçekleştirilen deneyler %95 güven seviyesinde değerlendirilmiştir. Taguchi metodunun ana uygulama adımları aşağıda verilmiştir.

- Faktör ve bunlara ait etkileşimlerin belirlenmesi
- Her bir faktöre ait seviyelerin belirlenmesi
- Uygun ortogonal dizinin seçilmesi
- Seçilen ortogonal diziyeye faktör ve etkileşimlerin atanması
- Deneylerin yapılması
- Verilerin analizi
- Faktörlerin optimal seviyelerinin belirlenmesi
- Doğrulama deneylerinin yapılması
- Metodun güven aralığının belirlenmesi

Deney sistemimizde işlem parametresi olarak, kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği kullanılmıştır. Bunlara ait seviyeler (Tablo 2) takım üretici katalog verileri ve tezgâh kapasitesi dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Kullanılan işlem parametreleri ve bunlara ait seviyeler.

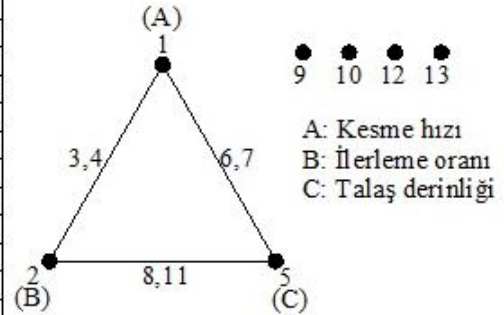
İşlem Parametreleri	Seviyeler		
	1	2	3
Kesme hızı (A), m/min	100	140	180
İlerleme oranı (B), mm/devir	0.05	0.15	0.25
Talaş derinliği (C), mm	0.6	1.3	2

Uygun ortogonal dizinin seçimi deney sayısını ve analizin doğruluğunu ve maliyeti etkileyen önemli bir işlemdir. Her bir Taguchi metodu için seçilen ortogonal dizinin toplam serbestlik derecesi deney için gerekli toplam serbestlik derecesinden büyük ya da eşit olmalıdır [11]. Eşit seviyeli faktörlerden oluşan bir deney sistemi için serbestlik derecesi aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$TDF = (n_f - 1) \cdot n_f + (n_i - 1) \cdot (n_i - 1) \cdot n_i \quad (3)$$

Burada  $n_f$  faktörlere ait seviye sayısı,  $n_f$  faktör sayısı ve  $n_i$  de etkileşim sayısını ifade etmektedir. Buna göre, deney sisteminin serbestlik derecesi 18 olarak hesaplanmıştır. Bu değere uygun olarak, 27 satır ve 13 sütundan oluşan 26 serbestlik dereceli L27 ortogonal dizi seçilmiştir (Şekil 7) Matrisin sütunlarına faktör ve etkileşimler atamakta ve satırlarda yapılacak deneyleri ve bunlara ait sıraları ifade etmektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi faktör ve etkileşimler lineer grafik yöntemiyle atanmıştır. Buna göre dizinin birinci sütunu kesme hızına, ikincisi ilerleme oranına, beşinci sütun talaş derinliğine ve geri kalanlarda etkileşimlere atanmıştır. (Şekil 7).

Test no	Sütun no												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	A	B	AXB	AXB	C	AXC	AXC	BXC	-	-	BXC	-	-
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2



Şekil 7. Kullanılan L27 ortogonal dizi ve lineer grafikte faktör ve etkileşimlerin atanması.

#### 4.1. S/N (Sinyal/Gürültü) Oranı Analizi

Dr. Taguchi tarafından geliştirilen S/N oranı, gürültü ile en iyi başa çıkan kontrol seviyelerini seçmek için bir performans ölçümüdür S/N oranı, hem ortalamayı hem de değişkenliği dikkate almaktadır. En basit formda, S/N oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır. Sıklıkla küçük değer iyi (SB), büyük değer iyi (LB), nominal değer iyi (NB) olmak üzere 3 farklı S/N kullanılmaktadır. Amacımız minimum yüzey pürüzlülüğünün minimizasyonu olduğu için SB seçilmiştir ve buna ait eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (4)$$

Tablo 3'de pürüzlülük ölçümlerine ait pürüzlülük ölçümleri bunlara ait ortalamalar ve S/N oranları verilmiştir.

Tablo 3. Deney sonuçları, ortalamalar ve S/N oranları.

Deney no	Kesme hızı (A)	İlerleme oranı (B)	Talaş derinliği (C)	Ra <sub>1</sub>	Ra <sub>2</sub>	Ra <sub>3</sub>	Ra <sub>ort</sub>	S/N
1	100	0.05	0.6	0.4	0.4	0.38	0.393	8.10229
2	100	0.05	1.3	0.45	0.39	0.35	0.397	7.98512
3	100	0.05	2	0.55	0.59	0.57	0.570	4.87894
4	100	0.15	0.6	0.78	0.78	0.83	0.797	1.97067
5	100	0.15	1.3	1.16	0.92	0.9	0.993	-0.00289
6	100	0.15	2	0.74	0.8	0.77	0.770	2.26579
7	100	0.25	0.6	1.2	1.18	1.16	1.180	-1.43847
8	100	0.25	1.3	1.28	1.3	1.3	1.293	-2.23444
9	100	0.25	2	1.5	1.49	1.46	1.483	-3.42535
10	140	0.05	0.6	0.39	0.34	0.39	0.373	8.54079

Tablo 3. Deney sonuçları, ortalamalar ve S/N oranları (devam).

Deney no	Kesme hızı (A)	İlerleme oranı (B)	Talaş derinliği (C)	Ra <sub>1</sub>	Ra <sub>2</sub>	Ra <sub>3</sub>	Ra <sub>ort</sub>	S/N
11	140	0.05	1.3	0.42	0.32	0.41	0.383	8.26911
12	140	0.05	2	0.5	0.54	0.46	0.500	6.00211
13	140	0.15	0.6	0.55	0.59	0.58	0.573	4.82804
14	140	0.15	1.3	0.63	0.68	0.69	0.667	3.51510
15	140	0.15	2	0.84	0.8	0.78	0.807	1.86197
16	140	0.25	0.6	1.08	1.05	1.05	1.060	-0.50689
17	140	0.25	1.3	1.06	1.08	1.06	1.067	-0.56091
18	140	0.25	2	1.4	1.42	1.39	1.403	-2.94356
19	180	0.05	0.6	0.32	0.33	0.31	0.320	9.89417
20	180	0.05	1.3	0.33	0.34	0.34	0.337	9.45515
21	180	0.05	2	0.4	0.42	0.41	0.410	7.74260
22	180	0.15	0.6	0.49	0.47	0.4	0.453	6.84030
23	180	0.15	1.3	0.58	0.59	0.59	0.587	4.63189
24	180	0.15	2	0.89	0.92	0.8	0.870	1.19472
25	180	0.25	0.6	0.9	0.9	0.9	0.900	0.91515
26	180	0.25	1.3	1.01	1.02	1.01	1.013	-0.11514
27	180	0.25	2	1.3	1.27	1.14	1.237	-1.85873

## 4.2. Varyans Analizi (ANOVA)

İşlem parametrelerinin ve bunlara ait ikili etkileşimlerinin kalite karakteristiği yani yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini ölçmek için ANOVA uygulanmaktadır. Ortalamalar ve sinyal gürültü oranlarına ait ANOVA'lar Tablo 4 ve 5'de sırasıyla verilmiştir. ANOVA'da ilgili işlem parametresinin anlamlılığı ona ait varyans değerinin hatanın varyansına oranı ile belirlenmektedir ki bu işlem  $F_{test}$  olarak da adlandırılmaktadır. Bu değer belli güvenlik seviyesinde  $F_{tablo}$  değeriyle mukayese edilerek parametrenin kalite karakteristiği üzerinde anlamlı olup olmadığı belirlenir.  $F_{test}$  değeri  $F_{tablo}$  değerinden büyük ise parametre anlamlı kabul edilmektedir. Buna göre iki ANOVA da kesme hızı, ilerleme oranının ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı tüm ikili etkileşimlerin de anlamlı bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmiştir. Tabloların son sütunları her bir parametreye ait yüzdelik dağılımı göstermektedir. Ortalamalara ait varyans analizine göre ilerleme oranının yüzey kalitesi üzerinde en dominant etkiye sahip olup (%82.22), bunu anlamlılık sırasına göre talaş derinliği (%6.48) ve kesme hızı (%4.74) işlem parametreleri izlemektedir. Aynı durum S/N için gerçekleştirilen varyans analizinde de görülmektedir. İlerleme oranı en anlamlı parametredir (%83.86) ve bunu etkinlik sırasına göre talaş derinliği (6.53) ve kesme hızı parametreleri (4.81) izlemektedir.

Tablo 4. Ortalamalar için ANOVA sonuçları.

Kaynak	SD	KT	V	$F_{test}$	$F_{tablo}$	KT'	YD
Kesme hızı (A)	2	0.17224	0.08612	10.41	3.49	0.155692	4.74
İlerleme oranı (B)	2	2.71670	1.35835	164.17	3.49	2.700152	82.22
Talaş derinliği (C)	2	0.22949	0.11475	13.87	3.49	0.212942	6.48
A*B	(4)	(0.02939)	-	Pooled	-	Pooled	-
A*C	(4)	(0.02596)	-	Pooled	-	Pooled	-
B*C	(4)	(0.04598)	-	Pooled	-	Pooled	-
Hata	20	0.16548	0.008274		-	0.215134	6.55
Toplam	26	3.28392				3.28392	100

SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, V: Varyans, KT': Saf kareler toplamı, YD: Yüzde dağılım

Tablo 5. S/N için ANOVA sonuçları.

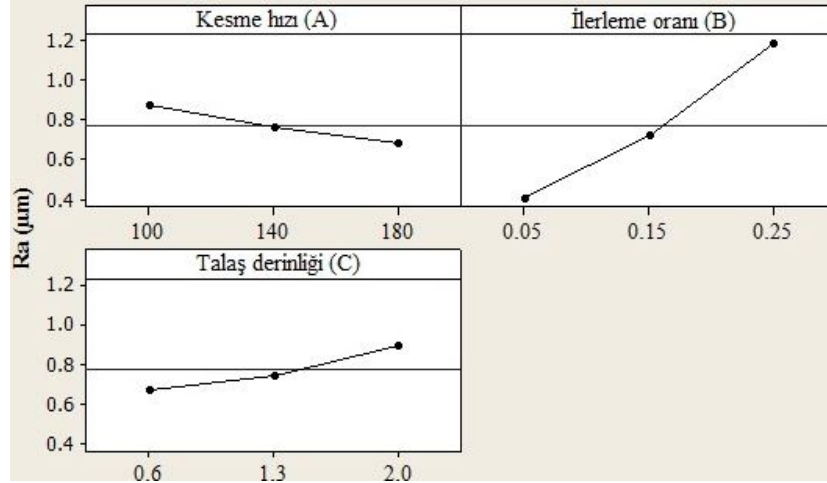
Kaynak	SD	KT	V	$F_{test}$	$F_{table}$	KT'	YD
Kesme hızı (A)	2	23.599	11.800	14.04344	3.49	21.9185	4.81
İlerleme oranı (B)	2	383.452	191.726	228.1773	3.49	381.7715	83.86
Talaş derinliği (C)	2	31.405	15.702	18.6873	3.49	29.7245	6.53
A*B	(4)	(1.602)	-	Pooled	-	Pooled	-
A*C	(4)	(3.581)	-	Pooled	-	Pooled	-
B*C	(4)	(2.423)	-	Pooled	-	Pooled	-
Hata	20	16.805	0.84025				4.80
Toplam	26	455.261				455.261	100

SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, V: Varyans, KT': Saf kareler toplamı, YD: Yüzde dağılım

## 5. Optimum Seviyelerin Belirlenmesi Ve Pürüzlülüğün Tahmini

Taguchi optimum yüzey pürüzlülüğün tahmininde iki ANOVA'da da anlamlı parametreleri kullanmaktadır. Bunlara ait seviyeleri de ana etkiler ve/veya etkileşimler grafiklerini kullanarak belirlenmektedir. Şekil 8'de işlem parametrelerine ait ana etkiler grafiği verilmiştir. Buna göre, kesme hızı yüzey pürüzlülüğü ile ters ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değişmektedir.





Şekil 8. Faktörlere ait ana etkiler grafiği.

Şekil 8'de görüldüğü gibi minimum yüzey pürüzlülüğü 180m/min'lik kesme hızında, 0.05 mm/rev ilerleme oranında ve 0.6mm'lik talaş derinliğinde elde edileceği açıktır. Aşağıda Taguchinin optimum yüzey pürüzlülüğünün tahmini için önerdiği eşitlik verilmektedir.

$$P_{opt} = M_{A3} + M_{B1} + M_{C1} - 2.M_o \quad (5)$$

Burada,  $P_{opt}$  tahmin edilen optimum pürüzlülük,  $M_{A3}$  Faktör A'nın üçüncü seviyesinde gerçekleştirilen deneylere ait ortalamalar,  $M_{B1}$  Faktör B'nin birinci seviyesinde gerçekleştirilen deneylere ait ortalamalar,  $M_{C1}$  Faktör C'nin birinci seviyesinde gerçekleştirilen deneylere ait ortalamalar ve  $M_o$  genel ortalamayı ifade etmektedir. Her bir faktör seviyesi için verilen ortalama pürüzlülük değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre optimum pürüzlülük 0.218 mikron olarak tahmin edilmiştir.

Tablo 6 Faktör seviyelerine ait ortalamalar.

Seviye	Kesme hızı (A)	İlerleme oranı (B)	Talaş derinliği (C)
1	0.8752	0.4093	0.6722
2	0.7593	0.7241	0.7485
3	0.6807	1.1819	0.8944
Fark	0.1944	0.7726	0.2222
Derece	3	1	2

$M_o = 0.772$

Bundan sonraki aşamada sistemin optimizasyonu yeterli doğrulukta gerçekleştirip gerçekleştirmediğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla tahmin edilen yüzey pürüzlülüğü için güven aralığının (CI) belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda bunun hesaplandığı eşitlik verilmektedir.

$$CI = \left( F_{0.05}(1, DF_e) \cdot V_e \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right] \right)^{1/2} \quad (6)$$

Burada  $F_{0.05}(1, DF_e)$  0.05 anlamlılık seviyesinde 1'e ve hatanın serbestlik derecesine göre tablolardan elde edilen F değeridir ve 4.35'dir.  $V_e$  Tablo 4'deki hatanın varyansı olup, 0.008274 olarak hesaplanmıştır. R doğrulama deney sayısıdır ve 3 adet gerçekleştirilmiştir.  $n_{eff}$  ise etkin tekrar sayısıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (7)$$

Burada. N toplam deney sayısını (27) .  $V_t$  de ortalamanın hesaplandığı işlem parametrelerine ait toplam serbestlik derecesidir (6). Buna göre.  $n_{eff}$  3.857 olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda  $CI=\pm 0.146$  olarak elde edilmiş olup doğrulama deneylerine ait sonuçların ortalaması aşağıdaki aralıkta yer almalıdır.

$$0.072 < Rd_{ort} < 0.364$$

Deney planına göre 19 no'lu deney istatistiksel analiz sonucunda Taguchi tarafından önerilen optimum faktör seviyelerinde (A=180m/dk. B=0.05mm/devir ve C=0.6mm) gerçekleştirilmiştir. Deney planına göre 3 deneye ait ortalama pürüzlülük ortalaması 0.32 $\mu$ m dur. Bu değer 0.05 anlamlılık seviyesinde güven aralığı sınırlarında olduğu görülmektedir. Buna göre Taguchi sistemin optimizasyonunu başarı ile gerçekleştirmiştir.

## 6. Sonuçlar

Sunulan çalışmada, AISI 1040 çeliğin kanal torna kalemiiyle tornalanmasında kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği işlem parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri Taguchi deney tasarımı ve analiz metoduyla değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Faktörlere ait ana etkiler grafiğine göre, yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile ters, ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olarak değiştiği açıkça görülmektedir

Her iki varyans analizine göre, Kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğu, buna karşın tüm ikili etkileşimlerin anlamlı bir etkiye sahip olmadığı elde edilmiştir.

Ortalamalara ait varyans analizi sonuçlarına göre, İlerleme oranının %82.22'lik oranla yüzey pürüzlülüğünü üzerinde en fazla etkiye sahiptir. Bunu etki derecesine göre, talaş derinliği (6.48) ve kesme hızı (4.74) parametreleri izlemektedir.

Sinyal/gürültü oranlarına ait varyans analizinde ortalamalar için yapılanla oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre Kesme hızı %83.86'lık oranla dominant bir etkiye sahiptir. Bu parametreyi talaş derinliği (%6.53) ve kesme hızı (%4.81) izlemektedir.

ANOVA'lar ve ana etkiler grafiği dikkate alınarak yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının üçüncü (A=300m/dk), ilerleme oranı ve talaş derinliğinin birinci seviyelerinde (B=0.05mm/devir ve C=0.6mm) elde edilmiştir. Taguchi metodu bu seviyelerde yüzey pürüzlülüğünü 0.218 $\mu$ m olarak tahmin etmiştir. Deney planında 19 no'lu testte optimum seviyelerde ortalama 0.32 $\mu$ m 'luk pürüzlülük elde edilmiş olup bu değer hesaplanan güven aralığında olduğundan sistemin optimizasyonu başarı ile gerçekleştirilmiştir.

## Kaynaklar

[1] Tzeng,C.J., Lin, Y.H. and Yang,Y.K., (2009) "Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and Grey relational analysis", Journal of Materials Processing Technology, Volume:209, pp:2753- 2759.

[2] Manna,A. and Salodkar,S., (2008) "Optimization of machining conditions for effective turning of E0300 alloy steel", Journal of Materials Processing Technology, Volume:203, pp:147-153.

[3] Kopac, J., Bahor, M. and Sokovic, M., (2002) "Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces", International Journal of Machine & Manufacture, Volume:42, pp:707-716.

- [4] Dawim, J.P., (2001) "A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments", *Journal of Materials Processing Technology*, Volume:116, pp:305-308.
- [5] Dawim, J.P. and Figueira,L., (2007). Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques. *Science Direct Materials and Design*, Volume:28, pp:1186-1191.
- [6] Nalbant, M., Gökkaya,H., and Sur, G. (2007). Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. *Science Direct Materials and Design*, Volume:28, pp:1379-1385.
- [7] Yang, W.H. and Tarn, Y.S., (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume:84, pp:122-129,.
- [8] Aslan, E., Camuşcu, N. and Birgören, B., (2007). Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel ( 63 HRC ) with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiCN mixed ceramic tool. *Science Direct Materials and Design*, Volume:28 pp:1618-1622.
- [9] ASME B46.1-1995 (1996). *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay): An American National Standard*" American Society of Mechanical Engineers, New York.
- [10] ISO 4287, (1997). *Geometrical Product Specification (GPS)-Surface texture: Profile method-Terms, definitions and surface texture*".
- [11] Aggarwala, A., Singh, H., Kumar, P. and Singh, M., (2008). Optimizing power consumption for CNC turned parts using response surface methodology and Taguchi's technique—A comparative analysis. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume:200, pp:373–384.