

AISI 4140 Çeliğin Çok Yönlü Takımla Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülük Performansının Optimizasyonu

Ahmet Murat PİNAR^{*1}, Korcan FIRAT²

¹Celal Bayar Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Manisa/Turgutlu

²Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Muradiye/Manisa

(Geliş / Received : 10.02.2016 ; Kabul / Accepted : 30.04.2016)

ÖZ

Sunulan çalışma, AISI 4140 malzemenin kaba işleme şartlarında, (yüksek ilerleme ve talaş derinliği) kanal takımıyla tornalanmasını istatistiksel olarak tartışmaktadır. Taguchi'nin L8 ortogonal dizisi esas alınarak, kesme hızı, talaş kırıcı tipi ve uç yarıçapı faktörlerinin farklı seviyelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. %95 güven seviyesinde yapılan analizler sonucunda, uç yarıçapının pürüzlülük üzerinde en anlamlı etkiye sahip olduğu, bunu talaş kırıcı tipi ve uç yarıçapı etkileşiminin izlediği ve optimum pürüzlülüğün 0,572 µm olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca her bir deney şartı için takım aşınma performansları araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüzey Pürüzlülüğü, Talaş Kırıcı Formları, Taguchi Metodu, Tornalama

Optimization of Surface Roughness Performance in The Turning of AISI 4140 Steel With Multi Directional Cutting Tool

ABSTRACT

Presented study discusses the turning of AISI 4140 steel with groove cutting tool at the rough machining conditions (high feed rate and depth of cut). Experiments based on Taguchi's L8 orthogonal array at the different levels of cutting speed, chip breaker type and nose radius conducted. As a result of the analyses carried out at the confidence level of 95%, nose radius has the most significant effect on the roughness followed by chip breaker type and chip breaker type–nose radius interaction, and optimum roughness is obtained as 0,572 µm. Furthermore, tool wear performances are observed for each experiment condition.

Keywords: Surface Roughness, Chip Breaker Forms, Taguchi Method, Turning

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

4140 çeliği, yüksek tokluk özelliği ve elverişli sertleştirme performansı ile endüstride çok tercih edilen bir malzemedir. Bu sebeple bu malzemelerin işlenebilirlik performansları birçok araştırmacı için çalışma konusu olmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmında yüzey pürüzlülüğü ve aşınma en çok araştırılan kalite karakteristiklerindedir. Aşağıda bu tür malzemelerin tornalanmasındaki işlenebilirlik karakteristiklerinin modellendiği ve optimizasyonlarının gerçekleştirildiği çalışmalar değerlendirilmektedir.

Sarma ve Dixid [1] gri dökme demirin tornalanmasında katkılı seramik kesici takım performansını yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü kriterlerine göre kuru ve hava soğutmalı olarak araştırmışlardır. Sinir ağlarının kullanıldığı analizler neticesinde, hava ile soğutmanın yüksek kesme hızlarında takım aşınmasını anlamlı olarak

azalttığı gözlemlenmiştir. Özel ve Karpaz [2] sertleştirilmiş AISI H13 ve 52100'ün CBN'le bitirme olarak işlenmesindeki deneysel verileri kullanarak yüzey pürüzlülüğünü ve takım aşınmasını sinir ağları ile modellemişlerdir. Bağımsız değişken olarak kesme kenar geometrisi, iş parçası sertliği, ilerleme oranı ve kesme hızı faktörleri seçilmiştir. Ayrıca, elde edilen model regresyon modelleri karşılaştırılmıştır. Risbood vd. [3] düşük karbonlu çeliğin kuru ve ıslak şartlarda HSS ve karbür takımlarla işlenebilirliğini yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal doğruluk kriterine göre incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, farklı kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliklerinde gerçekleştirilen deneylerde takım tutucunun radyal titreşiminin ve kesme kuvvetinin ivmelenmesinin geri besleme olarak alınmasıyla sinir ağları metoduyla modellenmiştir. Karayel [4] St52 çeliğin sementit karbür takımla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği parametrelerinin yüzey kalitesi değişimine olan etkisini tahmin eden bir yazılım gerçekleştirmiştir. Pürüzlülük parametreleri olarak, R_a (ortalama yüzey pürüzlülüğü), R_t (maksimum

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ahmet.pinar@cbu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.4 491-498

profil yüksekliği) ve R_q (profilin karelerin ortalamasının karekökü) parametreleri, ileri besleme çok katmanlı sinir ağları kullanılarak modellenmiştir. Abburi ve Dixit [5] Düşük karbonlu çeliğin HSS ve karbür takımla tormalanmasında sinir ağları ve bulanık küme teorisi kullanılarak bilgi tabanlı sistemi geliştirmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri kuru ve ıslak şartlar için modellenmiş ve tahmin sonuçları sinir ağları metodu ile karşılaştırılmıştır. Ahmari [6] AISI 302 Ostenitik çeliğinin karbür takımla tormalanmasında takım ömrü, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü kalite karakteristiklerini incelemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği ve kesici uç yarıçapı faktörlerinin farklı seviyelerinde gerçekleştirilen 28 adet deney sonucu sinir ağları, yüzey yanıt ve regresyon analizi metotlarıyla değerlendirilmiştir. Ho vd [7]. adaptif sinirsel bulanık sonuç sistemini kullanarak yüzey resmi ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi belirlemişler ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini modellemişlerdir. S45C çelik malzemenin tungsten karbür takımla işlenmesinde kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini yüzey görüntüsünün gri seviyesi kullanılarak tahmin edilmiştir. Davim vd. [8] otomat çeliğinin sementit karbür takımla işlenmesini R_a ve R_t kriterlerine göre incelemişlerdir. İlerleme oranı, kesme hızı ve talaş derinliği faktörlerinin farklı seviyelerinde Taguchi'ye ait L27'lik ortogonal dizi esas alınarak gerçekleştirilen deney sonuçlarını ANN ile modellemişlerdir. Tzeng vd. [9] 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. Manna ve Salodkar [10] 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 sinyal/gürültü (S/N) oranı ve ANOVA ile değerlendirilmiştir. Kopac vd. [11] sıcak haddelenmiş C15E4 çeliklerin sermet takımlarla tormalanmasında yüzey pürüzlülüğünü Taguchi yöntemiyle incelemişlerdir. Deney sisteminde iki seviyeli kesme hızı, (250 ve 400 m/dak), kesici takım malzemesi (sermet ve sermet+TiN) çekme çapı (Ø40 ve Ø34), talaş derinliği (0,3 ve 0,5 mm) 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. Davim [12] 95MnPb28k serbest imalat çeliği malzemenin sementit karbür ucla 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. Davim ve Figueira [13] ısıtma işlem görmüş soğuk iş takım çeliğinin (60 HRC) seramik takımla işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve özellikli kesme basıncı üzerindeki etkileri Taguchi metoduyla değerlendirmişlerdir. İşleme 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. Nalbant vd. [14] AISI 1030 çeliğinin TiN kaplı sementit karbür takımla işlenebilirliğini yüzey pürüzlülüğüne göre araştırmışlardır. Uç radüsü, talaş derinliği ve ilerleme oranı faktörlerinin ana etkileri ve optimum seviyeler Taguchi metoduyla belirlenmiştir. Yang ve Tang [15] 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, S/N 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. Aslan vd. [16] 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 Al₂O₃+TiCN karışımı seramik kesici takımla gerçekleştirilmiştir. L27 ortogonal dizinin kullanıldığı deney sistemine ait sonuçlar varyans ve çoklu regresyon analizi ile değerlendirilmiştir.

Yukarıda özetlenen çalışmalar klasik sağ yan takımla gerçekleştirilmekte olup son dönemde hem kanal hem kesme hem de profil işleyebilen çok yönlü takımlar (MDT) giderek artan bir kullanıma sahip olmakta ve böylelikle takım sıfırlama ve değişimi gibi gereksiz zamanlar minimize edilmektedir. Pinar [17] AISI 1040 malzemenin bu takımlarla tormalanmasında yüzey pürüzlülüğü performansını geri yayınlı öğrenme algoritmasının kullanıldığı yapay sinir ağları ile modellemiştir. Kesme hızı ilerleme oranı ve talaş derinliği işlem parametrelerinin farklı seviyelerinde gerçekleştirilen deney sonuçları %8,14'lük hata ile tahmin edilmiştir. Aynı deney planının kullanıldığı bir başka çalışmada Pinar vd [18] %95 güven seviyesinde pürüzlülüğün optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. L27 ortogonal dizi esas alınarak gerçekleştirilen deney sonuçları ANOVA ve S/N oranı ile değerlendirilmiştir. Çok yönlü takımlara ait işlenebilirlik çalışmaları değerlendirilecek olursa; genel olarak çelik malzemelerin bitirme, orta ve kaba tormalanmasında kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği faktörlerine ait modelleme ve optimizasyon çalışmalarının gerçekle-

tirildiği gözlemlenmiştir. Sunulan çalışmada, kaba işleme şartlarında (yüksek ilerleme ve talaş derinliği) kesme hızı, talaş kırıcı tipi ve uç radüsü parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve aşınma davranışı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Özellikle talaş kırıcı tipi ve uç yarıçapı bu takımlar için ilk kez araştırılmıştır. Deneyler kuru işleme şartları altında Taguchi L9 ortogonal dizi esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Sunulan çalışmada çok amaçlı kanal kalemyle AISI 4140 çeliği (Çizelge 1) iş parçasının işlenebilirliği istatistiksel olarak araştırılmıştır. İşlenebilirlik testleri, Fanuc OiTc kontrol ünitesine göre programlanan, fener mili maksimum hızı ve gücü sırasıyla 6000 dev/dak ve 5,5 kW olan Goodway GLS 150 CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri (The chemical composition and mechanical properties of AISI 4140)

Kimyasal İçerik							
Element	C	Mn	Si	Cr	S	P	Mo
%	0,41	0,83	0,21	0,9	0,027	0,027	0,18
Mekanik Özellikler							
Çekme Dayanımı (daN/mm ²)	115			Sertlik (HB30) (Yumuşak tavlama durumunda)			214
Akma Sınırı (daN/mm ²)	75			Sıcak Şekil Verme Sıcaklığı (C ⁰)			1020
Kopma Uzaması (%5d)	12						

Yüzey pürüzlülük ölçümleri Mahr M300 ölçme donanımı ve RD18 sürücü ünitesi ile kesme ve ölçme uzunluğu sırasıyla 0,8 mm ve 5,6 mm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri görülmektedir.



Şekil 1. Numunelerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi (Surface roughness measurement of specimens)

Takım görüntüleme işlemi 20 ila 230 kat büyütebilen Dino-lite pro dijital mikroskopta gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Kesici uçların görüntülenmesi (Monitoring of the inserts)

Kullanılan takımlar hem kesme hem kanal açma hem de profil tornalama işlemlerinde kullanılabilir olduğundan çok yönlü kesiciler olarak anılmaktadır. Aşağıda sipariş

numarası ve boyutsal özellikleri verilen SECO firmasına ait kater ve kesici uçlar kullanılmıştır (Şekil 3) Kesici uçlar (Ti(C,N)+Al₂O₃) Kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle elde edilmiştir.

Kater: CFIR 2020 K04

Talaş Kırıcı tipi: FT, MT

Kesici Uç : LCMF160408/04-0400-MT/FT TGP25

Part No.	Dimensions in mm						Weight kg	Seat size
	h	b	l ₁	f ₁	l ₂	a ₂		
CFIR/L 1616 H04	16	16	100	17,5	31	12	0,2	4
2020 K04	20	20	125	21,5	31	12	0,4	4
2525 H04	25	25	150	26,5	31	12	0,7	4
3225 P04	32	25	170	26,5	31	12	1,0	4

Size	Dimensions in mm		
	b ₁	l	s
160304	3,00	16,00	4,50
160360	3,00	17,13	4,50
160424	4,00	16,00	4,50
160488	4,00	17,24	4,50
160554	5,00	16,00	4,50

Tolerances:
 b₁ ± 0,05
 l ± 0,08
 s ± 0,04

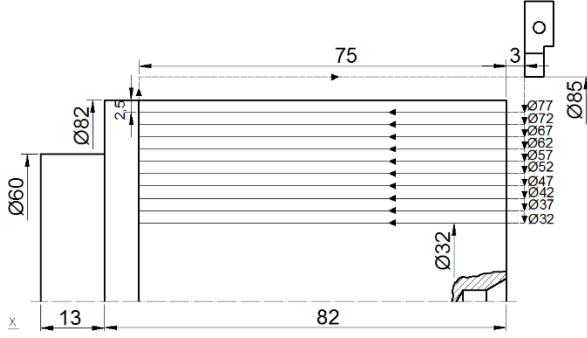
mm-version

Distance cutting edge near support

Şekil 3. Kullanılan kater ve uçlara ait özellikler (Properties of cutting tool)

Her bir deney daha önce belirtildiği gibi 2,5 mm talaş derinliğinde, 75 mm işleme uzunluğunda ve 0,25 mm/dev ilerleme oranında gerçekleştirilmiştir. Aşınma ile ilgili resimler ve pürüzlülükteki artış oranları (%R_{art}) yukarıda belirtilen işleme şartlarının 20 pasoda gerçekleştirilmesiyle belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle

Ø82 mm'lik iki adet deney numunesi Ø32 olacak şekilde tormalanmıştır. Şekil 4'de deney numunesi boyutları ve deneylerde kullanılan CNC çevrimine ait takım yolları verilmiştir.



Şekil 4. Deney numunesi boyutları ve deneylerde kullanılan CNC çevrimine ait takım yolları (Dimensions of specimen and tool paths of CNC cycle employed in the trials)

Çalışmamızda Taguchi istatistiksel tasarım ve analiz metodu Minitab yazılımıyla kullanılmıştır. Taguchi yönteminin, karmaşık matematiksel hesaplamalara ihtiyaç duymaması, çok az sayıda deneyle gerçekleştirilebilmesi ve işlem parametrelerinin optimum seviyelerinin kolaylıkla belirlenmesinden ötürü endüstriyel ve bilimsel çalışmalarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır [19]. Metot sistem, parametre ve tolerans tasarımı olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Taguchi metodunun uygulama adımları [19] (Application steps of Taguchi method)

Sistem tasarımı, kalite karakteristiğini etkileyen faktörlerin ve bunlara ait seviyelerin belirlendiği kısımdır ve bu alandaki teknik bilgi ve tecrübeye ihtiyaç duyulmaktadır. Parametre tasarımı, Taguchi metodunun en detaylı ve önemli kısmıdır. Burada, faktörlere ait optimum seviyeler belirlenmekte; bu seviyelerdeki bağımlı değişken (cevap) tahmin edilmekte ve yine bu seviyelerdeki doğrulama testleri gerçekleştirilmektedir. Tolerans tasarımı, belli güven seviyesinde, tahmin edilen cevabın alt ve üst sınırları belirlenmektedir. Son olarak, doğrulama deneylerine ait ortalama, bu aralığın içerisindeyse, metot sistemin optimizasyonunu yeterli doğrulukta gerçekleştirdiği kabul edilmektedir [19].

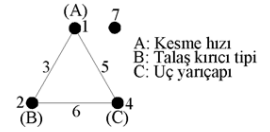
Gerçekleştirilen çalışmada, AISI 4140 çeliğinin çok amaçlı kanal kalemıyla kuru şartlarda tormalanmasında işlem parametrelerinin (Kesme hızı, talaş kırıcı tipi ve uç yarıçapı) ve bunlara ait ikili etkileşimlerin yüzey pürüzlülüğü (R_a , μm) ve takım aşınması üzerindeki etkileri Taguchi metoduyla istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bunlara ait işlem parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. İşlem parametreleri ve bunlara ait özellikler (Process parameters and their properties)

İşlem Parametreleri	Birimler	Seviyeler	
		1	2
Kesme hızı (A)	m/dak	205	280
Talaş kırıcı tipi (B)	-	FT	MT
Uç yarıçapı (C)	mm	0,4	0,8

Çalışmadaki deney sayısını ve doğruluğunu direkt olarak etkileyen OD'nin seçimi faktör ve etkileşimlerin toplam serbestlik derecesine dayalı olarak belirlenmektedir. Seçilen OD'ye ait serbestlik derecesi sistemin serbestlik derecesinden büyük ya da eşit olmalıdır [20, 21]. Deney sisteminin serbestlik derecesi, faktör ve etkileşimlerin serbestlik derecelerinin toplanmasıyla belirlenmektedir [20, 22]. İlgili faktöre ait serbestlik derecesi, o faktöre ait seviye sayısı-1 olarak belirlenmektedir. Buna göre, deney sistemimizde üç faktör bulunduğu için, faktörlere ait serbestlik derecesi $3 \times 1 = 3$ dür. Etkileşimlerde ise, etkileşimi oluşturan faktörlere ait serbestlik dereceleri çarpılarak hesaplanmaktadır. Sistemde 2 adet etkileşim bulunduğu için, bunlara ait serbestlik derecesi $2 \times 1 = 2$ dir. Bu veriler ışığında, sisteme ait serbestlik derecesi $3 + 2 = 5$ olarak hesaplanmaktadır. Deneylerde 7 sütun ve 8 satırdan oluşan 7 serbestlik dereceli L8'lik OD seçilmiştir (Şekil 6).

DENEY NO	SÜTUN NO						
	1	2	3	4	5	6	7
	A	B	AXB	C	AXC	BXC	-
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2



Şekil 6. L8 OD ve lineer grafik yöntemiyle faktör ve etkileşimlerin sütunlara atanması. (L8 OA and assigning the factors and interactions to the columns via linear graph)

Bu dizi aynı zamanda deney planını oluşturmada ve dizideki 8 satır, parametrelerin farklı kombinasyonlarındaki deneyleri ifade etmektedir. Dizinin sütunlarına da faktör ve etkileşimler atanmaktadır. Şekil 6'da lineer grafik yöntemi kullanılarak elde edilen atanma işlemi görülmektedir. Burada çokgenin köşelerindeki noktalar faktörleri ve bunları birleştiren çizgilerde etkileşimleri ifade etmektedir. Buna göre, dizideki birinci sütun kesme hızına, ikinci sütun talaş kırıcı tipine, dördüncü sütun uç yarıçapına ve geri kalanlar da ikili etkileşimlere atanmıştır.

3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ (STATISTICAL ANALYSIS)

L8 OD esas alınarak gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar, Çizelge 3'de verilmektedir. Daima minimum yüzey pürüzlülüğü amaçlandığından her bir deneyin en düşük pürüzlülük sonuçları alınmıştır. Deneysel veriler, Minitab istatistik yazılımı kullanılarak S/N oranı ve varyans analizi (ANOVA) ile %95 güven seviyesinde analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. Yüzey pürüzlülüğü deney sonuçları, ortalamalar ve S/N oranları

Deney no	Kesme hızı (A)	Talaş kırıcı tipi (B)	Uç yarıçapı (C)	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{aort}	S/N	%R _{art}
1	205	FT	0,4	1,887	1,898	1,962	1,916	-5,646	60,96
2	205	FT	0,8	0,719	0,667	0,565	0,650	3,737	37,38
3	205	MT	0,4	0,994	1,008	0,934	0,979	0,187	104,09
4	205	MT	0,8	0,812	0,787	0,824	0,808	1,855	43,07
5	280	FT	0,4	1,624	1,682	1,688	1,665	-4,427	184,44
6	280	FT	0,8	0,585	0,548	0,596	0,576	4,787	43,92
7	280	MT	0,4	1,267	1,234	1,245	1,249	-1,929	91,19
8	280	MT	0,8	0,923	0,991	0,901	0,938	0,553	38,49

3.1. S/N Oranı Analizi (S/N Ratio Analysis)

Taguchi metodu, sonuçları analiz etmek için elektrik kontrol teorisinden esinlenen sinyal-gürültü oranı olarak adlandırılan bir istatistiksel performans ölçümü kullanmaktadır [20, 23-24]. Bu teknikte, sinyal terimi çıkış karakteristiği için istenen değeri (ortalama) ve gürültü terimi de istenmeyen değeri (standart sapma) ifade etmektedir. S/N hedeflenen amaç fonksiyonuna (karakteristik değere) göre değişmektedir. S/N küçük değer iyi (SB), büyük değer iyi (LB), nominal değer iyi (NB) olmak üzere üç farklı kriterden biri olarak seçilir. Düşük yüzey pürüzlülüğü daima tercih edildiğinden SB sinyal gürültü oranı seçilmiş olup, aşağıda buna ait eşitlik verilmektedir:

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

Burada n ölçüm sayısı, y_i ölçülen karakteristik değer (yüzey pürüzlülüğü), S/N birimi db (desibel) dir. Deney sonuçlarına ait S/N oranı değerleri Çizelge 3'de verilmekte olup, yüksek S/N oranları daima tercih edilmektedir.

3.2. Varyans Analizi (ANOVA) (Analysis of Variance (ANOVA))

ANOVA, deney tasarımıdaki işlem parametrelerinin kalite karakteristiği üzerindeki anlamlılığını belli bir güven seviyesinde ölçen istatistik tabanlı bir araçtır. Ortalamalara ve S/N oranlarına ait ANOVA'lar Çizelge 4 ve 5'de sırasıyla verilmektedir. Çizelgedeki kısaltmalara ait

açıklamalar bunlara ait son satırlarda belirtilmiştir. ANOVA'da anlamlı parametreler, çizelgenin beşinci sütununda ilgili işlem parametresi ya da etkileşime ait F değeri (ilgili parametreye ait varyansın toplam varyansa oranı) ile belirlenmektedir. İlgili parametreye ait F değeri belli anlamlılık seviyesindeki F çizelge değeri (F_{0,05}) ile karşılaştırılır; F_{0,05} belli anlamlılık seviyesinde (0,05 olarak belirlenmiştir) parametreye ait serbestlik derecesi ve hatanın serbestlik derecesi dikkate alınarak belirlenmektedir. Şayet F değeri büyükse parametre cevap üzerinde anlamlı kabul edilmektedir. Ortalamalar için yapılan ANOVA'da anlamlı parametre ortalama değeri etkilerken S/N için olanda ortalama civarındaki değişimi etkilemektedir [19]. Çizelgelerin son sütunu parametrelerin cevap üzerindeki yüzdelik dağılımını ifade etmektedir bir başka ifade ile anlamlılık oranı olarak da adlandırılabilir. Yüzdelik dağılımlar ilgili parametreye ait KT' değerinin toplam KT'ye oranının 100 ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Ortalamalar için gerçekleştirilen ANOVA'ya göre sadece uç yarıçapı ve talaş kırıcı tipi-uç yarıçapı parametrelerinin anlamlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki anlamlılık oranları sırasıyla %60,38 ve %25,17 olarak elde edilmiştir. Diğer yandan, S/N için yapılan ANOVA'da kesme hızı, ve talaş kırıcı dışındaki tüm faktör ve etkileşimlerin anlamlı olduğu görülmektedir. Diğer ANOVA'yla benzer olarak, uç yarıçapı %67,29'luk oranla en dominant parametre olup, bunu anlamlılık sırasına göre talaş kırıcı tipi-uç yarıçapı (%27) ve kesme hızı-talaş kırıcı tipi (%3,97) etkileşimleri izlenmektedir.

Çizelge 4. Yüzey pürüzlülüğü ortalamaları için ANOVA sonuçları (ANOVA results for surface roughness averages)

Kaynak	SD	KT	V	F	F _{0,05}	KT'	YD
Kesme hızı (A)	(1)	(0,00072)	-	Çekilmiş	-		
Talaş kırıcı tipi (B)	(1)	(0,08688)	-	Çekilmiş	-		
Uç yarıçapı (C)	1	1,00465	1,00465	30,24	6,61	0,971428	60,38
A*B	(1)	(0,06582)	-	Çekilmiş	-		
B*C	1	0,43820	0,43820	13,19	6,61	0,404978	25,17
Hata	5	0,16611	0,033222	-	-	0,232554	14,45
Toplam	7	1,60896				1,60896	100

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

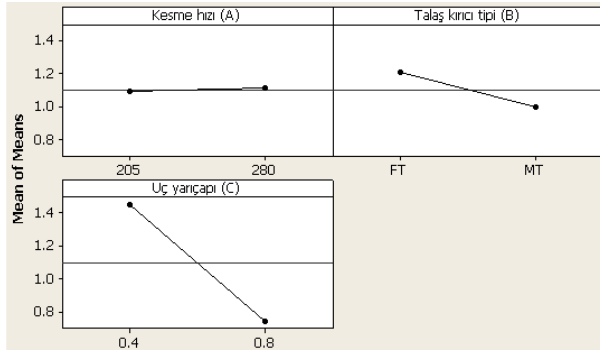
Çizelge 5. Yüzey pürüzlülüğü S/N oranları için ANOVA sonuçları (ANOVA results for S/N ratios of surface roughness)

Kaynak	SD	KT	V	F	F _{0,05}	KT'	YD
Kesme hızı (A)	(1)	(0,1652)	-	Çekilmiş	-	-	-
Talaş kırıcı tipi (B)	(1)	(0,6137)	-	Çekilmiş	-	-	-
Uç yarıçapı (C)	1	64,6759	64,6759	271,86	7,71	64,438	67,29
A*B	1	4,0439	4,0439	17,00	7,71	3,806	3,97
B*C	1	26,0891	26,0891	109,66	7,71	25,8512	27,00
Hata	4	0,9517	0,2379	-	-	1,6655	1,74
Toplam	7	95,7607	-	-	-	95,7607	100

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

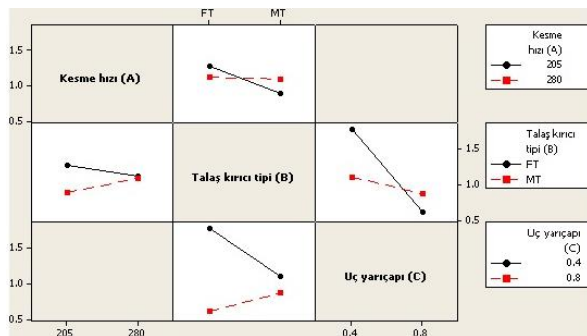
3.3. Optimum Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi (Determination of Optimum Surface Roughness)

Optimum yüzey pürüzlülüğü, ortalamalar ve S/N değerlerine ait ANOVA'lar, faktörlere ait ana etkiler ve etkileşimler grafikleri (Şekil 7 ve 8) dikkate alınarak belirlenmiştir.



Şekil 7. İşlem parametrelerine ait ana etkiler grafiği (Main effects plots of process parameters)

Buna göre kesme hızının yataya yakın bir eğime sahip olduğu ve ANOVA'ya göre de anlamlı olmadığı görülmektedir. Buna karşın az da olsa birinci seviyede daha düşük pürüzlülük ortalamaları elde edilmiştir. Uç yarıçapı en anlamlı parametre olup, grafiğe göre, pürüzlülükle ters orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 8. İşlem parametrelerine ait etkileşim grafiği (Interactions plots of process parameters)

Optimum pürüzlülüğün hesaplanmasında ANOVA'daki anlamlı parametreler kullanılmaktadır. Buna göre uç yarıçapı ve talaş kırıcı tipi-uç yarıçapı parametreleri tahmini optimum pürüzlülüğün hesaplanmasında kullanılacaktır. Ana etkiler grafiğine göre uç yarıçapının ikinci (C=0,8 mm) etkileşim grafiğine göre de talaş kırıcının birinci ve uç yarıçapının ikinci seviyesine ait ortalamalar kullanılacaktır. Taguchi optimum pürüzlülüğü aşağıdaki eşitlikle tahmin etmektedir.

$$R_{at} = C_2 + B_1 C_2 - M \quad (2)$$

C₂ uç yarıçapının ikinci seviyesinde gerçekleşen deneylere ait ortalama pürüzlülük değeri. (2, 4, 6 ve 8 no'lu deneylere ait ortalamalar olup, C₂=0,743 µm). B₁C₂ Talaş kırıcının birinci, uç yarıçapının ikinci seviyesinde gerçekleştirilen deneylere ait ortalamalar (2 ve 6 no'lu deneylere ait pürüzlülük ortalamaları olup B₁C₂=0,613 µm) ve M'de tüm deneylere ait pürüzlülük ortalamalarını ifade etmekte ve 1,098 µm olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre Taguchi optimum yüzey pürüzlülüğünü 0,258 µm olarak tahmin etmektedir.

Bundan sonraki işlem, Taguchi'nin son uygulama basamağı olan tahmin edilen optimum değer için güven aralığının (CI) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmasıdır [20, 25].

$$CI = \left(F_{0,05}(1, df_e) \cdot V_e \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right] \right)^{1/2} \quad (3)$$

Eşitlikteki F_{0,05}(1,df_e), 0,05 anlamlılık seviyesinde 1'e ve hatanın serbestlik derecesine (5) göre çizelgelerden elde edilmekte olup, 6,61'dir. V_e hataya ait varyans değeridir ve 0,033222 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4). R optimum seviyede gerçekleştirilen doğrulama deney sayısıdır ve 3 adet deney yapılmıştır. Son olarak n_{eff}, etkin tekrar sayısı olup, Eş. 4 vasıtası ile hesaplanmaktadır.

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (4)$$

Burada, N (8) toplam deney sayısını, V_t (2) de, ortalamının hesaplandığı işlem parametrelerine ait toplam serbestlik derecesini ifade etmektedir. Buna göre,

n_{eff} , 2,667 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda, $CI=\pm 0,394$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan 3 adet doğrulama deneyine ait ortalama sonucun $0 < R_{at} < 0,662$ aralığında yer alması gerekmektedir. Sonuç olarak optimum şartlarda ($A=205$ m/dak, $B=FT$, $C=0,8$ mm) gerçekleştirilen doğrulama deneylerinde $0,572$ μm pürüzlülük ortalaması elde edilmiştir. Buna göre, önerilen metodun tahmini ile doğrulama deneyleri arasında yaklaşık %55'lik bir sapma gözlemlenmiştir. Buna karşın, Taguchi metodunda optimizasyonun geçerli olup olmaması, doğrulama deneylerine ait ortalamanın belirlenen CI 'nin içinde olup olmamasıyla belirlenmektedir. Bu veriler ışığında, sistemin optimizasyonu yeterli doğrulukta gerçekleştirilmiştir.

4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Deney planı esas alınarak gerçekleştirilen deneyler, maksimum üretimi amaçlayan, parametreler seçilip, parçaların kaba işlenmesinde kullanılmak üzere düşünülmüştür. Bir endüstriyel ürünün talaşlı imalatında kaba işleme üretimin oldukça fazla bir kısmını içermekte ve işleme süresini dolayısıyla maliyeti direkt olarak etkilemektedir. Buna karşın bitirme operasyonları sıklıkla tek paso olarak gerçekleştirilmektedir. Deney planına göre en düşük pürüzlülük ve pürüzlülük artışları 2, 6 ve 8 no'lu deneylerde elde edilmiştir. Buna göre; kesme hızının birinci ($A=205$ m/dak), talaş kırıcı tipinin birinci ($B=FT$), ve uç yarıçapının ikinci ($C=0,8$ mm) seviyesinde yapılan 2 no'lu deneyde $0,572$ μm 'luk pürüzlülük ve %56,11'lik pürüzlülük artışı; kesme hızının ikinci ($A=280$ m/dak) talaş kırıcı tipinin birinci ($B=FT$) ve uç yarıçapının ikinci seviyesinde ($C=0,8$ mm) yapılan 6 no'lu deneyde $0,576$ μm 'luk pürüzlülük ve %43,92'lik pürüzlülük artışı; ve kesme hızının ikinci ($A=280$ m/dak) talaş kırıcı tipinin ikinci ($B=MT$) ve uç yarıçapının ikinci seviyesinde ($C=0,8$ mm) 8 no'lu deneyde $0,938$ μm 'luk pürüzlülük ve %38,48'lik pürüzlülük artışı elde edilmiştir. Bu değerler oldukça yakındır. Aşağıda bu şartlarda gerçekleştirilen deneye ait 50 kat büyütülmeli dijital mikroskopla alınan uç görüntüleri verilmektedir (Şekil 8).

Şekil 8a ve b'de en düşük pürüzlülüklerin elde edildiği açıktır. Bu iki durumda da FT tipi talaş kırıcı kullanılmıştır. ANOVA değerleri dikkate alındığında Talaş kırıcı tipi-uç yarıçapı etkileşiminin anlamlı olduğu düşünüldüğünde $0,8$ mm'lik radius değerlerinin tamamında düşük pürüzlülük için "FT" talaş kırıcı tipinin tercih edilmesi gerekmektedir. Diğer yandan en düşük % pürüzlülük artışı dikkate alındığında "MT" tipi talaş kırıcının tercih edilmesi gerektiği açıkça görülmektedir. 2 ve 6 no'lu deneylerde ciddi krater aşınması ve plastik deformasyon başlangıcı gözlemlenirken 8 no'lu deneyde talaş kırıcı bölgesinde çok küçük bir aşınma başlangıcı elde edilmiştir. Ayrıca 2 no'lu şartla karşılaştırıldığında 280 m/dak'lık kesme hızının kullanılmasıyla daha düşük işleme zamanı elde edilebilecektir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Ortalamalar için gerçekleştirilen varyans analizine göre sadece uç yarıçapı ve talaş kırıcı tipi-uç yarıçapı faktör ve etkileşimlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı olduğu; uç yarıçapının %60,38'lik anlamlılık oranıyla en dominant etkiye sahip olduğu, bu parametreyi %25,17 ile adı geçen etkileşim izlemektedir.
- Faktörlere ait ana etkiler grafiğine göre, kesme hızının çok az bir eğime sahip olmasına ve anlamlı olmamasına rağmen yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı değiştiği; uç yarıçapının artışı ile yüzey pürüzlülüğünde keskin bir düşüş olduğu ve talaş kırıcı tipinin ikinci seviyesi olan MT de daha düşük pürüzlülük ortalamaları elde edildiği gözlemlenmiştir.
- Faktörlere ait etkileşimler grafiğine göre, talaş kırıcı tipi-uç yarıçapı etkileşiminde, talaş kırıcı tipinin birinci ($B=FT$) ve uç yarıçapının ikinci seviyesinde ($C=0,8$ mm) gerçekleştirilen deneylerde, daha düşük pürüzlülük ortalamaları elde edilmiştir.
- Optimum pürüzlülük kesme hızının ve talaş kırıcı tipinin birinci ($A=205$ m/dak ve $B=FT$), ve uç yarıçapının ikinci seviyesinde ($C=0,8$ mm) $0,572$ μm olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Düşük pürüzlülük ve pürüzlülük artışına sahip deneylere ait uç görüntüleri (Insert images of experiments with low roughness and roughness increase)

- Minimum takım aşınması, takım aşınma görüntüleri ve pürüzlülükteki % artış miktarlarına göre, kesme hızının, talaş kırıcı tipinin ve uç yarıçapının ikinci seviyelerinde (A=280 m/dak, B=MT ve C=0,8 mm) gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Maddi katkılarından dolayı Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje no: 2011-019) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sarma D.K., Dixit U.S., "A comparison of dry and air-cooled turning of grey cast iron with mixed oxide ceramic tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 190: 160–172, (2007).
2. Özel T., Karpat, Y., "Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 467–479, (2005).
3. Risbood K.A., Dixit U.S., Sahasrabudhe A.D., "Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process". *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 203–214, (2003).
4. Karayel D., "Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network", *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 3125-3137, (2009).
5. Abburi N.R., Dixit U.S., "A knowledge-based system for the prediction of surface roughness in turning process". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 22: 363–372, (2006).
6. Al-Ahmari A.M.A., "Predictive machinability models for a selected hard material in turning operations", *Journal of Materials Processing Technology*, 190: 305–311, (2007).
7. Ho, S.Y., Lee K.C., Chen S.S., Ho S.J., "Accurate modeling and prediction of surface roughness by computer vision in turning operations using an adaptive neuro-fuzzy inference system". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42: 1441–1446, (2002).
8. Davim J.P., Gaitonde V.N., Karnik S.R., "Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models". *Journal of Materials Processing Technology*, 205: 16–23, (2008).
9. Tzeng, C.J., Lin, Y.H., Yang Y.K., "Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and Grey relational analysis", *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 2753-2759, (2009).
10. Manna A., Salodkar S., "Optimization of machining conditions for effective turning of E0300 alloy steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 203: 147-153, (2008).
11. Kopac J., Bahor M., Sokovic M., "Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42: 707-716, (2002).
12. Dawim J.P., "A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments", *Journal of Materials Processing Technology*, 116: 305-308, (2001).
13. Dawim J.P., Figueira L., "Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques", *Materials and Design*, 28: 1186-1191, (2007).
14. Nalbant M., Gökkaya H., and Sur G., "Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning", *Materials and Design*, 28: 1379-1385, (2007).
15. Yang W.H., Tarn Y.S., "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 84: 122-129 (1998).
16. Aslan E., Camuşcu N., Birgören B., "Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃+TiCN mixed ceramic tool". *Materials and Design*, 28: 1618-1622, (2007).
17. Pinar A.M., "Modelling of Surface Roughness Performance of Coated Cemented Carbide Groove Cutting Tool Via Artificial Neural Networks", *Gazi University Journal of Science*, 24(4): 901-910, (2011).
18. Pinar A.M., Fırat K., Pinar A.F., Filiz, S., "Kanal Torna Kaleminin Yüzey Pürüzlülük Performansının Optimizasyonu", *3. Ulusal Talaş İmalat Sempozyumu*, 04-05 Ekim, Ankara, Türkiye, 240-250, (2012).
19. Pinar A.M., "Optimization of process parameters with minimum surface roughness in the pocket machining of AA5083 aluminium alloy via Taguchi method", *The Arabian Journal for Science and Engineering B: Engineering*, 38 (3): 705-714, (2013).
20. Çavdar U., Pinar A.M., Atik E., Ünlü B.S., "İndüksiyonla sinterlenen demir esaslı toz metal parçaların korozyon davranışının optimizasyonu". *13th International Materials Symposium (IMSP'2010)*, Pamukkale University–Denizli–Turkey. 13-15th October, 715-723, (2010).
21. Pinar A.M., ve GÜLLÜ A., "Sayısal denetimli hidrolik pozisyonlama sisteminin Taguchi metodu ile optimizasyonu", *Journal of Faculty of Engineering and Architecture Gazi University*, 25 (1): 93-100, (2010).
22. Pinar A.M., "AA 6013 alüminyum alaşımının frezelenmesinde ortalama ve toplam yüzey pürüzlülüğüne göre kesme parametreleri etkilerinin incelenmesi". *e-Journal of New World Sciences Academy*, 5(1): 15-27, (2010).
23. Phadke S.M., "Quality engineering using robust design", *Prentice Hall*, Englewood Cliffs. New Jersey, (1989).
24. Ünal R., Dean E.B., "Taguchi Approach to design optimization for quality and cost: An Overview", *13th Annual Conference of the International Society of Parametric Estimators*, 1-10, (1991).
25. Ross P.J., "Taguchi technique for quality engineering". *McGraw-Hill*, New York. (1988).