



17-4 PH ve 15-5 PH Paslanmaz Çeliklerinin Tortalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması

Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Cutting Force and Surface Roughness in Turning of 17-4 PH and 15-5 PH Stainless Steels

Saltuk Alper Yaşar* , Gültekin Uzun , İhsan Korkut 

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Ankara, Türkiye

Öz

Çökeltmeyle sertleştirilen (PH) paslanmaz çelikler günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Perçinler, kompresör pervaneleri, enerji santrallerindeki türbinler, yük taşıma özelliği olan miller, nükleer reaktör bileşenleri, petrol, kimyasal, havacılık, deniz, medikal ve savunma sanayii bunlardan başlıca kullanım alanları olarak sayılabilir. Bu çalışmada, çeşitli endüstrilerde aktif olarak kullanılan, çökeltme yoluyla sertleştirilmiş paslanmaz çelik türü olan 17-4 PH ve 15-5 PH paslanmaz çelik malzemelerin işlenebilirliğinde, tornalama yöntemiyle kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılarak optimum kesme parametreleri belirlenmiş ve bu malzemelerin işlenebilirliği kıyaslanmıştır. PVD ve CVD kaplama yöntemleriyle kaplanmış kesici takımlar kullanılarak dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme hızı ve dört farklı kesme derinliğinde işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zaman ve maliyetin en aza indirgenmesi için Taguchi karma seviye deney tasarımı metodu kullanılmıştır. Üretimde işleme maliyetlerinin azaltılmasında yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri gibi faktörlerin büyük önemi vardır. Elde edilen veriler ışığında optimum kesme parametreleri tayin edilerek kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde her bir kesme parametresinin ne kadar etki ettiği ANOVA (Varyans analizi) ile belirlenmiştir. En etkili parametreler kesme kuvveti açısından kesme derinliği iken, yüzey pürüzlülüğü açısından ilerleme oranı olduğu, optimum kesme şartlarında PVD kaplamalı takımın daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 17-4 PH, 15-5 PH, İşlenebilirlik, Kesme kuvveti, Tornalama, Yüzey pürüzlülüğü


Abstract


Precipitation hardened stainless steels are widely used today. The major usage areas of these steels are such as fasteners, compressor wheels, turbines in power plants, load carrying shafts, nuclear reactor components, oil, chemical, and aviation, marine, medical and defense industries. In this study, the optimum cutting parameters were determined in turning of 17-4 PH and 15-5 PH stainless steels which are widely used in various industries, also the effects of cutting parameters on cutting force and surface roughness were investigated and machinability capabilities of the materials were compared. The machinability tests performed with four different cutting speeds, four different feed rates and four different cutting depths by using CVD and PVD coated cutting tools. Taguchi mixed level experimental design method was used for minimizing the processing time and costs. Some factors such as surface roughness and cutting force have great importance for reducing the machining costs in manufacturing. In the light of the obtained data, optimum cutting parameters determined. Thereafter, ANOVA (Analysis of Variance) was performed in order to determine the influence of each cutting parameter on cutting forces and surface roughness. The most effective parameters in terms of cutting force and surface roughness are cutting depth and feed rate, respectively. It is determined that PVD coated cutting tool is more effective at optimum cutting parameters.

Keywords: 17-4 PH, 15-5 PH, Machinability, Cutting force, Turning, Surface roughness

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: saltukalperyasar@gazi.edu.tr

Saltuk Alper Yaşar  orcid.org/0000-0002-1050-5403

Gültekin Uzun  orcid.org/0000-0002-6820-8209

İhsan Korkut  orcid.org/0000-0002-5001-4449

1. Giriş

Yüksek verim ve korozyon direnci ile çalışan malzemelere ilginin artmasıyla, çökeltme yoluyla sertleşebilen martenzitik paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Perçinler, kompresör pervaneleri, enerji santrallerindeki türbinler, yük taşıma özelliği olan miller, nükleer reaktör bileşenleri, petrol, kimyasal, havacılık, deniz, medikal ve savunma sanayii başlıca kullanım alanları olarak sayılabilir. Paslanmaz çeliklerde yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direncini sağlamak için gerekli olan malzeme kompozisyonu paslanmaz çeliklerin işlenmesini zorlaştırmaktadır. Paslanmaz çeliğin sıvanması yığıntı talaş oluşumuna (BUE) yol açmaktadır. BUE kesici uçlardaki aşınmayı artırarak işlenen parçaların yüzeylerinin bozuk çıkmasına sebep olmaktadır. Sıcak talaşlar işlenen iş parçasından uzaklaşırken kesiciyi aşındıran ve işlenen yüzeyi bozan uzun tel halinde oluşurlar. Yüksek krom ve nikel muhtevassından dolayı paslanmaz çelikler diğer karbonlu veya alaşımlı çeliklerden daha yüksek sünekliğe ve daha düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşlarla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesinde hapsolür. Kesme bölgesinde oluşan ısı arttıkça iş parçası ve kesici üzerindeki aşınma mekanizmaları da hız kazanır. Bu durum kesicilerde çatlaklara sebep olabilecek ısı genleşmeyi ve ısı ıyorulma mekanizmasını hızlandırır (Çiftçi vd. 1999). Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısı ı işlem ve içerisindeki inklüzyonlar işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler ve bazı durumlarda kimyasal bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler (Sandvik Coromant 1994). Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelik alaşımlarının işlenebilirliği sertlik seviyelerine ve alaşım türlerine bağlıdır. Martenzitik PH paslanmaz çelik alaşımlar çözelti işlem şartlarında işlenebilirler. Bundan dolayı arzu edilen dayanım seviyesine ulaşmak için yaşlandırma işlemi yapmak gerekir. Bu durumda, yüksek sertlik işlenebilirliği nispeten sınırlar. Bu alaşımların büyük çoğu standart östenitik alaşımlardan daha kötü işlenirler (Yaz 1999). Genel olarak PH paslanmaz çelikleri pekleşme, BUE oluşumu, uzun ve yapışık talaş verme sebepleriyle işlenebilirliği zor bir malzeme olarak tanımlanmaktadır (Mohanty 2014). Açıkça görüldüğü üzere, son yıllarda endüstrideki uygulamalardan dolayı paslanmaz çeliğin kullanımı artmıştır. Ancak bu malzemelerin işlenmesi oldukça zordur. Talaşın zor oluşması, oluşan talaşın zor uzaklaştırılması, yığıntı talaş oluşumu ve soğuk kaynaklanma eğilimi nedeniyle paslanmaz çeliklerin işlenmesi problemlidir.

Palanisamy ve Senthil (2018) yapmış oldukları çalışmada, 15-5 PH paslanmaz çeliğinin kriyojenik ve geleneksel olarak ısı ı işlemi sonrası TiAlN kaplamalı takımlarla tormalanması esnasında oluşan teğetsel kesme kuvveti, takım aşınması, talaş oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Çalışmada mekanik özellikler ve mikro yapıyı farklı ısı ı işlem koşullarında değerlendirmişlerdir. Düşük ilerleme oranı ve yüksek kesme hızlarında düşük kesme kuvveti ve düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Kriyojenik işlem görmüş numunelerde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Yaşar vd. (2017), yaptıkları çalışmada 17-4 PH paslanmaz çeliğinin tormalanmasında farklı kaplama türlerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda düşük kesme hızlarında CVD kaplamalı takımlar daha üstünken, genel olarak PVD kaplamalı takımların CVD kaplamalı takımlara göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde edildiği belirtilmiştir. Palanisamy vd. (2016), ticari olarak kullanılan 15-5 PH çökeltmeyle sertleştirilmiş paslanmaz çeliğinin mekanik özellikleri ve içyapısı arasındaki ilişkiyi farklı yaşlandırma biçimlerinde işlenebilirlik davranışıyla belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. İş parçası sertliğinin talaş oluşumunu oldukça etkilediğini belirtmişlerdir. İstatistiksel analizden, ilerleme oranının hem kesme kuvvetini hem de yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğu belirlenmiştir. Mohanty vd. (2016), kuru işleme şartlarında 17-4 PH çeliğinin tormalanması esnasındaki işleme karakteristiklerini incelemiştir. Bu kapsamda talaş morfolojisi, takım aşınması, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü incelemiştir. Sonuç olarak kaplamasız takımlar için yüksek kesme hızlarının takım aşınmasına sebep olduğunu, tüm kesme hızlarında her iki kesici takımında da artan işleme mesafesiyle takım aşınmasının arttığını, kesme hızındaki artışın sıcaklığı artırdığını, CVD kaplamalı takımın kaplamasız takıma göre daha fazla ısı ürettiğini belirlemiştir. Çelik ve Kıvık (2016), yapmış oldukları çalışmada 17-4 PH çeliğinin minimum miktarda yağlama (MQL) kullanılarak tormalanmasında farklı kesme yağlarının ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırmışlardır. S/N grafikleri sonucunda optimum yüzey pürüzlülük değerini 320 m/dk kesme hızı, 90 ml/sa debisi olan bitkisel esaslı kesme yağı kullanılarak elde edilebileceğini belirlemiştir. Ay ve Basmacı (2016), yaptıkları çalışmada geleneksel ve wiper kaplamalı karbür takımlarla 17-4 PH paslanmaz çeliğinin kuru kesme şartlarında tormalama yöntemiyle işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüğünü ve malzeme yüzey sertliğini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü açısından en etki faktörün her iki kesici uç için de ilerleme

oranı olduğunu, ancak kesme derinliği ve kesme hızının da etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ay ve Kalyon (2011), yaptığı çalışmada 17-4 PH paslanmaz çeliğinin farklı uç yarıçapına sahip PVD kaplamalı (TiAlN) kesici uçlarla ilerleme oranı, takım uç yarıçapı ve kesme derinliğinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. 0.1 mm/dev ilerleme oranı, 1 mm kesme derinliği ve 0.8 mm uç yarıçapı ile en iyi yüzey kalitesinin elde edildiğini, artan ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilediğini, uç yarıçapının büyümesine rağmen yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirlemişlerdir. Pek çok çalışmada (Sivaiah ve Chakradhar 2018, 2017, Çetin ve Kıvak 2017) 17-4 PH ve 15-5 PH çeliklerinin işlenebilirliğinin zor olduğu vurgulanmış ve bu malzemelerin işlenebilirlik parametrelerinin incelenmesinin ve en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Yapılan literatür araştırması değerlendirildiğinde, paslanmaz çelikler üzerinde pek çok çalışmanın olduğu görülmüştür. Ancak, çökellemeyle sertleşebilen paslanmaz çelikler üzerinde sınırlı sayıda işlenebilirlik çalışmasının olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu iki malzemenin işlenebilirliğinin kıyaslandığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu malzemelerin genellikle, perçinlerde, kompresör pervanesinde, enerji santrallerindeki türbinlerde, yük taşıma özelliği olan millerde, nükleer reaktör bileşenlerini içeren endüstrilerde, petrol, kimyasal, havacılık, deniz, medikal ve askeri endüstrilerde kullanıldığı göz önüne alınırsa tormalama işleminin önemi daha belirgin hale gelmektedir.

Bu çalışmada; CVD ve PVD kaplama yöntemleriyle kaplanmış karbür kesici takımlar kullanılarak 17-4 PH ve 15-5 PH paslanmaz çelik malzemelerin tormalanmasında Taguchi L_{16} karma seviye deney tasarımı ile farklı kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılarak karşılaştırılmıştır. Kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri ANOVA ile belirlenmiştir. Optimum kesme parametreleri belirlendikten sonra, tormalama işlemi sonrası ek bir işleme ihtiyaç duyulmadan operasyonun tamamlanmasıyla üretim maliyetlerinin ve işleme süresinin azaltılması, üretim verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Deney Numuneleri

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak çökelleme yoluyla sertleştirilebilen paslanmaz çeliklerden martenzitik yapıda olan 17-4 PH ve 15-5 PH çelikleridir. Deney numuneleri 80 mm çapında 500 mm uzunluğunda silindirik malzemeler

kullanılmıştır. TS ISO 3685 standardı göz önünde bulundurularak boy/çap oranı 10/1'den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Deney malzemesi, ayna ve punta arasında işlemeye uygun olması için alın yüzeylerine 120° koruyucu havşası olan punta delikleri açılmıştır. Belirtilen malzeme özellikleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. 17-4 PH malzemesinin kimyasal bileşenleri (% ağırlık).

C	Mn	Si	P	S	Cr
0.018	0.818	0.318	0.0241	0.0202	15.311
Ni	Mo	Cu	Nb	Co	Ta
4.517	0.142	3.082	0.196	0.063	0.01

Çizelge 2. 15-5 PH malzemesinin kimyasal bileşenleri (% ağırlık).

C	Mn	Si	P	S	Cr
0.011	0.63	0.39	0.025	<0.001	15.22
Ni	Mo	Cu	Nb	Ta	
4.95	0.09	3.09	0.195	0.01	

2.2. Takım Tezgâhı

İşlenebilirlik deneylerinde Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde bulunan 10 kW gücünde, 3500 dev/dk maksimum devir sayısına sahip olan Johnford TC35 marka sanayi tipi CNC torna tezgâhı kullanılmıştır.

2.3. Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Deney tasarımı, kesme parametrelerinin deneysel süreç içerisindeki bilinmeyen özelliklerinin belirlenmesi ve değişkenler arasındaki etkileşimlerin analizi ve modellenmesi için güçlü bir istatistiksel yöntemdir. Endüstriyel alanlarda, Taguchi yöntemi kullanılarak tasarım ve üretim için ürün geliştirme zamanı azaltılmakta ve buna bağlı olarak maliyetler düşürülerek işletmenin kâr oranı artırılmaktadır. Ayrıca, Taguchi yöntemi geleneksel deney tasarımının dikkate almadığı kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirdiği değişkenliğin denetimine izin vermektedir (Günay 2013). Deneysel sonuçlara %80 güven düzeyinde Varyans analizi (ANOVA) uygulanarak kesme parametreleri üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Deneylerde yeni nesil takımlar olan Sumitomo marka PVD kaplamalı WNMG080408NSU AC6040M ve CVD kaplamalı WNMG080408NSU AC6030M kesici takımlar kullanılmıştır. 0.8 mm uç yarıçapına sahip olan bu takımlar ile DWLNR2525M08 takım tutucu kullanılmıştır. Dört farklı

kesme hızı, dört farklı ilerleme oranı ve dört farklı kesme derinliği kesme parametreleri olarak seçilmiştir. Kontrol faktörleri ve seviyeler Çizelge 3'de gösterilmiştir. Bu kontrol faktörleri ile Taguchi L_{16} karma seviye deney tasarımı uygulanmıştır. Oluşturulan deney tasarımı Çizelge 4'de verilmiştir. Burada V kesme hızını, f ilerleme oranını, a kesme derinliğini ve C kaplama türünü ifade etmektedir.

2.4. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Talaş kaldırma esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan; ilerleme kuvveti F_x (F_f), radyal kuvvet F_y (F_r) ve esas kesme kuvvetlerini F_z (F_c) ayrı ayrı ölçebilen Kistler 9257B tipi piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometre Kistler Type 5019 sinyal yükselticiye (Multichannel Charge Amplifier) bağlanmış ve kesme kuvvetleri RS-232C ara

kablo ile bilgisayara gönderilmiştir. Kuvvetlerin bilgisayar ortamında grafik olarak elde edilmesi için ise DynoWare Type 2825Ai-2 adlı program kullanılmıştır. Ölçülen kuvvetlerin bileşkesi alınarak kesme kuvvetleri oluşturulmuştur.

2.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Bu araştırma kapsamında belirlenmiş olan kesme parametrelerinin yüzey kalitesine olan etkileri ve optimum parametrelerin tespiti esastır. Bu amaçla, belirlenmiş kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalar sonucu elde edilen yüzeylerin yüzey kalitesini ölçmek amacıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) esas alınmıştır. 0.8 mm örnekleme uzunluğu ve 5.6 mm ölçüm uzunluğu kullanılarak yüzeylerden altı ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Yüzey kalitesini belirlemek amacıyla, işlenmiş yüzeylerde ortalama

Çizelge 3. Kontrol faktörleri ve seviyeler.

Kontrol faktörleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Kesme hızı (m/dk)	V	150	168	188	210
İlerleme oranı (mm/dev)	f	0.15	0.2	0.25	0.3
Talaş derinliği (mm)	a	1.5	2	2.5	3
Kaplama türü	C	PVD	CVD		

Çizelge 4. Taguchi L_{16} karma seviye deney tasarımı.

17-4 PH						15-5 PH					
Deney no	Değişkenler	V	f	a	C	Deney no	Değişkenler	V	f	a	C
1	$V_{11}f_{11}a_{11}C_{11}$	1	1	1	1	1	$V_{11}f_{11}a_{11}C_{11}$	1	1	1	1
2	$V_{12}f_{12}a_{12}C_{11}$	1	2	2	1	2	$V_{12}f_{12}a_{12}C_{11}$	1	2	2	1
3	$V_{13}f_{13}a_{13}C_{22}$	1	3	3	2	3	$V_{13}f_{13}a_{13}C_{22}$	1	3	3	2
4	$V_{14}f_{14}a_{14}C_{22}$	1	4	4	2	4	$V_{14}f_{14}a_{14}C_{22}$	1	4	4	2
5	$V_{21}f_{21}a_{21}C_{11}$	2	1	2	2	5	$V_{21}f_{21}a_{21}C_{11}$	2	1	2	2
6	$V_{22}f_{22}a_{22}C_{22}$	2	2	1	2	6	$V_{22}f_{22}a_{22}C_{22}$	2	2	1	2
7	$V_{23}f_{23}a_{23}C_{11}$	2	3	4	1	7	$V_{23}f_{23}a_{23}C_{11}$	2	3	4	1
8	$V_{24}f_{24}a_{24}C_{11}$	2	4	3	1	8	$V_{24}f_{24}a_{24}C_{11}$	2	4	3	1
9	$V_{31}f_{31}a_{31}C_{11}$	3	1	3	1	9	$V_{31}f_{31}a_{31}C_{11}$	3	1	3	1
10	$V_{32}f_{32}a_{32}C_{11}$	3	2	4	1	10	$V_{32}f_{32}a_{32}C_{11}$	3	2	4	1
11	$V_{33}f_{33}a_{33}C_{22}$	3	3	1	2	11	$V_{33}f_{33}a_{33}C_{22}$	3	3	1	2
12	$V_{34}f_{34}a_{34}C_{22}$	3	4	2	2	12	$V_{34}f_{34}a_{34}C_{22}$	3	4	2	2
13	$V_{41}f_{41}a_{41}C_{22}$	4	1	4	2	13	$V_{41}f_{41}a_{41}C_{22}$	4	1	4	2
14	$V_{42}f_{42}a_{42}C_{22}$	4	2	3	2	14	$V_{42}f_{42}a_{42}C_{22}$	4	2	3	2
15	$V_{43}f_{43}a_{43}C_{11}$	4	3	2	1	15	$V_{43}f_{43}a_{43}C_{11}$	4	3	2	1
16	$V_{44}f_{44}a_{44}C_{11}$	4	4	1	1	16	$V_{44}f_{44}a_{44}C_{11}$	4	4	1	1

yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerini ölçmek için yüzey pürüzlülük cihazı Mitutoyo SJ-410 cihazı kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.

3. Sonuçlar

Yapılan çalışma kapsamında Taguchi L_{16} karma seviyenin deney tasarımının kullanıldığı deneylerde, dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme oranı, dört farklı kesme derinliği ve iki farklı kaplamalı takım kullanılarak optimum parametreler bulunmuş ve etki oranları belirlenmiştir. Ayrıca ANOVA sayesinde her bir parametrenin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları bulunmuştur. Minitab programında Taguchi L_{16} karma seviye ile oluşturulan matematiksel modeller her bir malzeme için ayrı ayrı hazırlanmıştır.

17-4 PH malzemesi için oluşturulan kesme kuvveti denklemleri için aşağıdaki gibidir:

$$F_{PVD} = -522.675 - 2.26387 \cdot V + 4475.15 \cdot f + 515.396 \cdot a \quad (1)$$

$$F_{CVD} = -491.171 - 2.26387 \cdot V + 4475.15 \cdot f + 515.396 \cdot a \quad (2)$$

15-5 PH malzemesi için oluşturulan kesme kuvveti denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$F_{PVD} = -504.431 - 2.45364 \cdot V + 4687.45 \cdot f + 512.358 \cdot a \quad (3)$$

$$F_{CVD} = -471.013 - 2.45364 \cdot V + 4687.45 \cdot f + 512.358 \cdot a \quad (4)$$

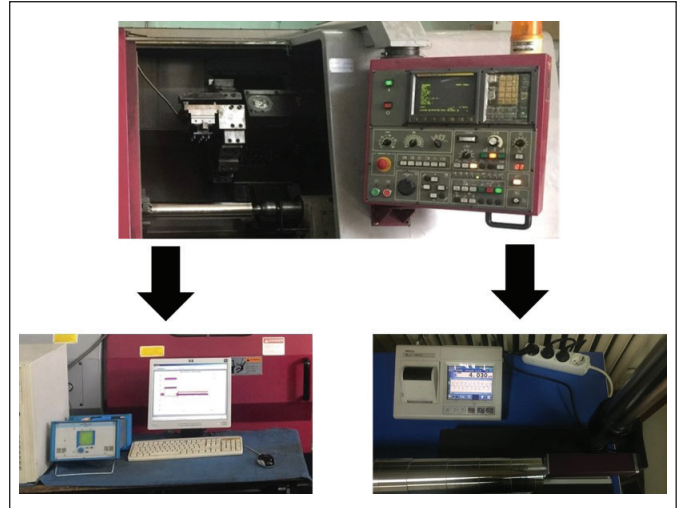
17-4 PH malzemesi için elde edilen güvenilirlik oranı %98.38 olup, 15-5 PH malzemesi için %99.24 olarak elde edilmiştir.

17-4 PH ve 15-5 PH malzemeleri için kesme kuvvetleri açısından girdi parametrelerinin sinyal gürültü oranları ve ortalama etkileri Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

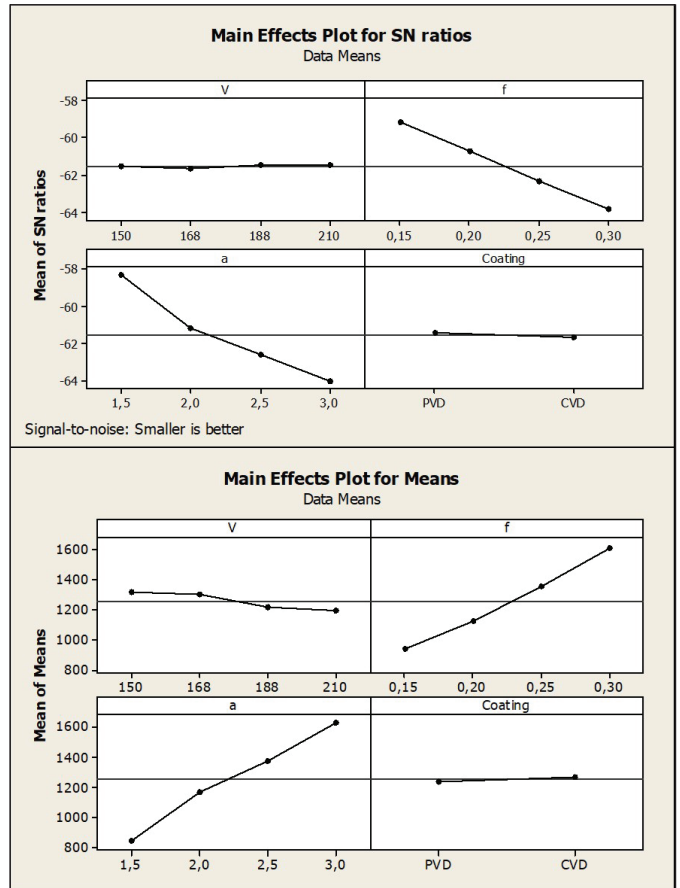
ANOVA ile elde edilen girdi parametrelerinin kesme kuvvetine etki oranları Çizelge 5'de gösterilmiştir.

En küçük-en iyi metoduna göre hesaplanan sinyal-gürültü oranları incelendiğinde; 17-4 PH için kesme kuvveti açısından optimum kesme parametreleri 210 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme oranı ve 1,5 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. Genel olarak ortalama etkiler ve varyans analizi incelendiğinde, en etkin parametrelerin %55.03 ile kesme derinliği ve onu takiben %41.49 ile ilerleme oranı olduğu söylenebilir. 15-5 PH için optimum

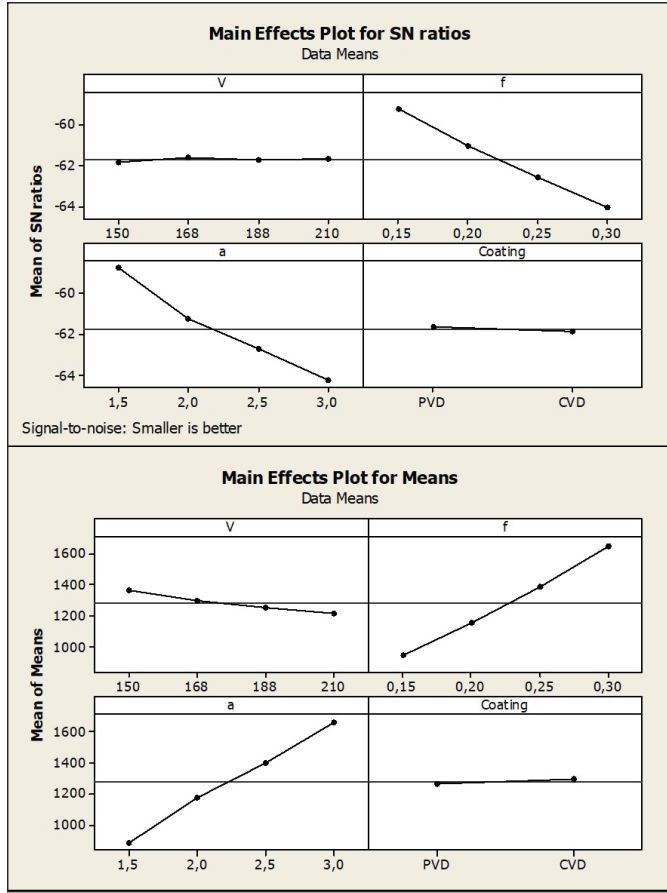
kesme parametreleri 168 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme oranı ve 1,5 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. Genel olarak ortalama etkiler ve varyans analizi incelendiğinde, en etkin parametrelerin %52.87



Şekil 1. Deney düzeneği.



Şekil 2. 17-4 PH için kesme kuvvetleri açısından S-N oranları ve ortalama etkiler.



Şekil 3. 15-5 PH için kesme kuvvetleri açısından S-N oranları ve ortalama etkiler.

ile kesme derinliği ve onu takiben %44.25 ile ilerleme oranı olduğunu söyleyebilir.

17-4 PH malzemesi için oluşturulan yüzey pürüzlülüğü denklemleri için aşağıdaki gibidir:

$$Ra_{PVD} = -1.30389 - 0.000943239 \cdot V + 10.9565 \cdot f + 0.47595 \cdot a \quad (5)$$

$$Ra_{CVD} = -1.24501 - 0.000943239 \cdot V + 10.9565 \cdot f + 0.47595 \cdot a \quad (6)$$

15-5 PH malzemesi için oluşturulan yüzey pürüzlülüğü denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$Ra_{PVD} = -1.33501 - 0.000179111 \cdot V + 14.2889 \cdot f + 0.0049375 \cdot a \quad (7)$$

$$Ra_{CVD} = -1.09473 - 0.000179111 \cdot V + 14.2889 \cdot f + 0.0049375 \cdot a \quad (8)$$

17-4 PH malzemesi için elde edilen güvenilirlik oranı %87.11 olup, 15-5 PH malzemesi için %96.38 olarak elde edilmiştir.

17-4 PH ve 15-5 PH malzemeleri için yüzey pürüzlülüğü açısından girdi parametrelerinin sinyal gürültü oranları ve ortalama etkileri Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

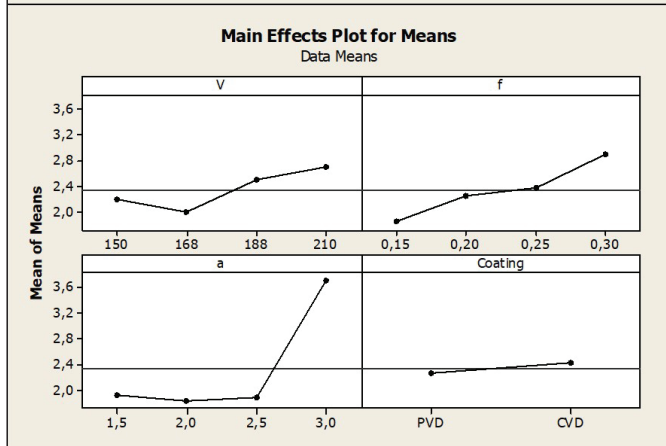
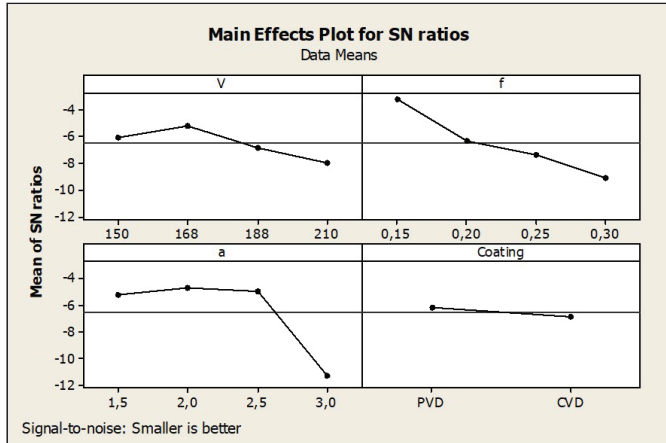
ANOVA ile elde edilen girdi parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. Kesme kuvvetleri açısından girdi parametrelerinin etki oranları.

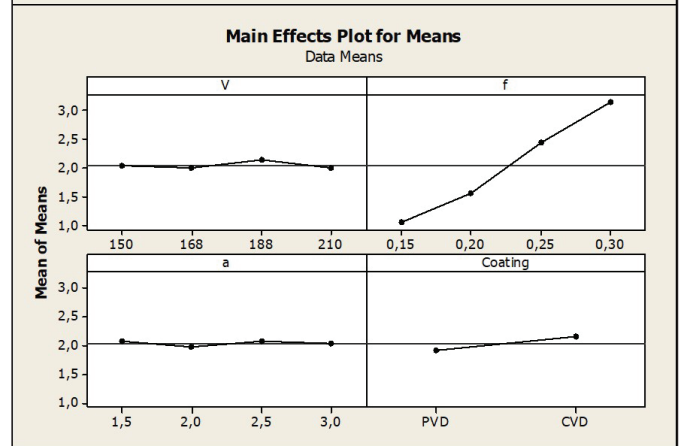
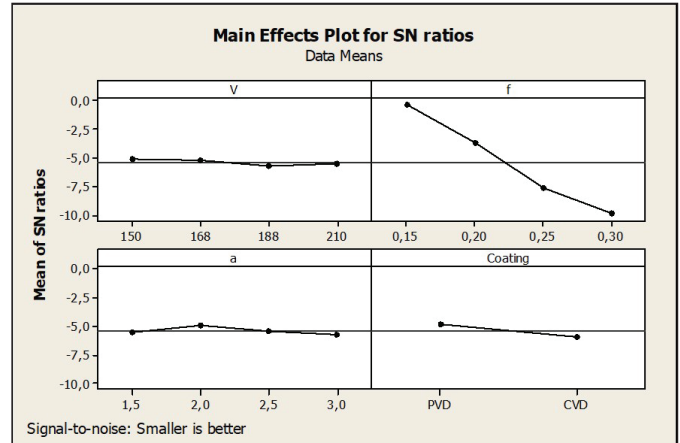
17-4 PH						
Kaynak	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	%Etki
V	1	41083	41083	11.557	0.005	%1.70
f	1	1001350	1001350	281.682	0	%41.49
a	1	1328167	1328167	373.616	0	%55.03
C	1	3970	3970	1.117	0.313	%0.16
Hata	11	39104	3555			%1.62
Toplam	15	2413673				%100
15-5 PH						
Kaynak	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	%Etki
V	1	48259	48259	28.062	0	%1.94
f	1	1098608	1098608	638.821	0	%44.25
a	1	1312554	1312554	763.227	0	%52.87
C	1	4467	4467	2.598	0.135	%0.18
Hata	11	18917	1720			%0.76
Toplam	15	2482806				%100

Çizelge 6. Yüzey pürüzlülüğü açısından girdi parametrelerinin etki oranları.

17-4 PH						
Kaynak	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	%Etki
V	1	0.00713	0.00713	0.0741	0.790	%0.09
f	1	6.00224	6.00224	62.3361	0	%73
a	1	1.13264	1.13264	11.763	0.005	%13.7
C	1	0.01387	0.01387	0.144	0.711	%0.17
Hata	11	1.05917	0.09629			%12.89
Toplam	15	8.21506				%100
15-5 PH						
Kaynak	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	%Etki
V	1	0.0003	0.0003	0.007	0.933	%0
f	1	10.2086	10.2086	286.423	0	%94.24
a	1	0.0001	0.0001	0.003	0.954	%0
C	1	0.2309	0.2309	6.48	0.027	%2.13
Hata	11	0.3921	0.0356			%3.62
Toplam	15	10.832				%100



Şekil 4. 17-4 PH için yüzey pürüzlülüğü açısından S-N oranları ve ortalama etkiler.



Şekil 5. 15-5 PH için yüzey pürüzlülüğü açısından S-N oranları ve ortalama etkiler.

Çizelge 7. Deneylerde elde edilen sonuçlar.

17-4 PH			15-5 PH		
Deney no	Kesme kuvveti (N)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)	Deney no	Kesme kuvveti (N)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)
1	1789.63	2.946	1	1775.78	2.093
2	1434.81	2.466	2	1473.86	1.648
3	2103.36	3.494	3	2163.15	3.139
4	1201.26	1.919	4	1243.91	1.283
5	1716.69	2.544	5	1765.46	3.140
6	1023.29	0.954	6	1012.48	0.990
7	1516.27	2.387	7	1548.08	2.735
8	1250.05	1.690	8	1266.21	1.469
9	1017.13	1.740	9	1094.17	1.309
10	1222.89	1.937	10	1222.03	2.295
11	906.87	0.949	11	855.43	0.996
12	1512.82	2.736	12	1530.83	3.334
13	619.28	1.131	13	645.47	0.954
14	1085.43	2.789	14	1121.56	2.958
15	774.94	1.547	15	789.20	1.757
16	895.62	2.256	16	981.33	2.595

Çizelge 8. Doğrulama deneyleri ve optimum sonuçlar.

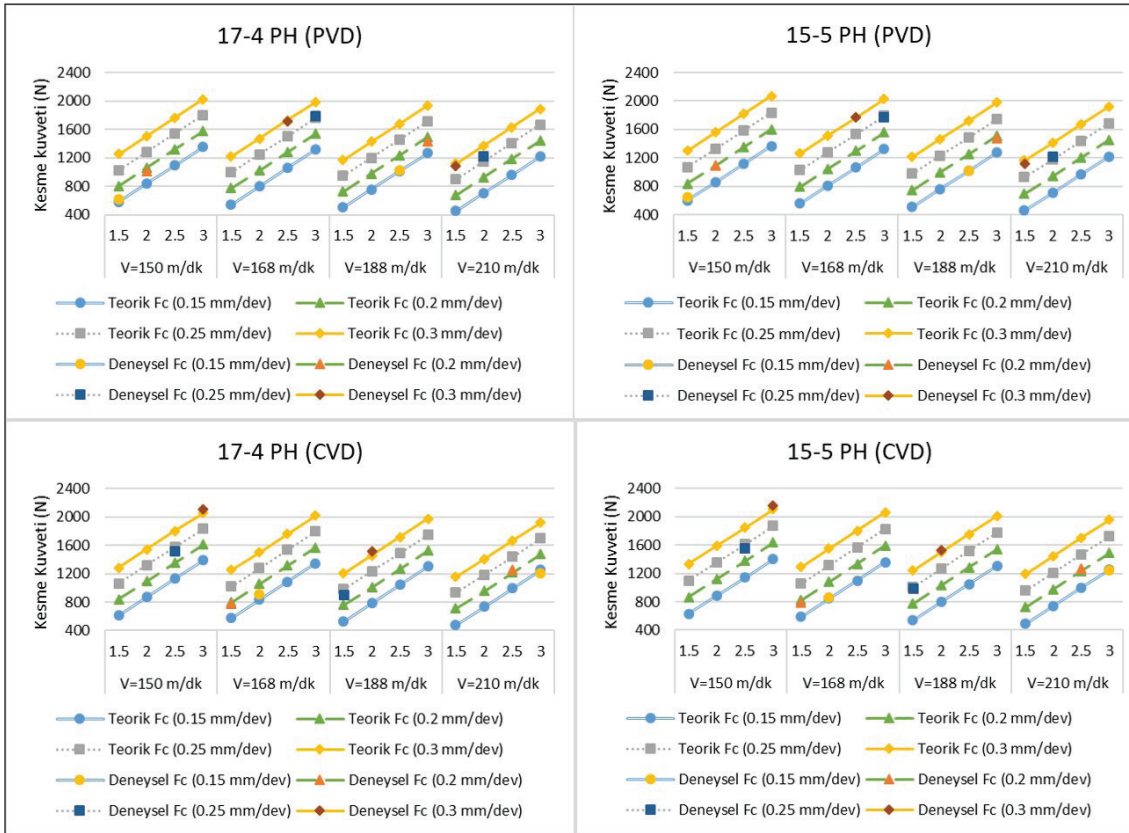
	Kesme kuvveti (N)		Yüzey pürüzlülüğü (μm)	
	Tahmin edilen	Doğrulama deneyleri	Tahmin edilen	Doğrulama deneyleri
17-4 PH	446.28	460.56	1.133	1.146
		466.83		1.235
		472.57		1.339
15-5 PH	555.01	588.85	0.845	0.895
		595.94		0.969
		601.28		1.028

En küçük-en iyi metoduna göre hesaplanan sinyal-gürültü oranları incelendiğinde; 17-4 PH için yüzey pürüzlülüğü açısından optimum kesme parametreleri 168 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme oranı ve 2 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. Genel olarak ortalama etkiler ve varyans analizi incelendiğinde, en etkin parametrenin %73.06 ile ilerleme oranı olduğunu söylenebilir. 15-5 PH için optimum kesme parametreleri

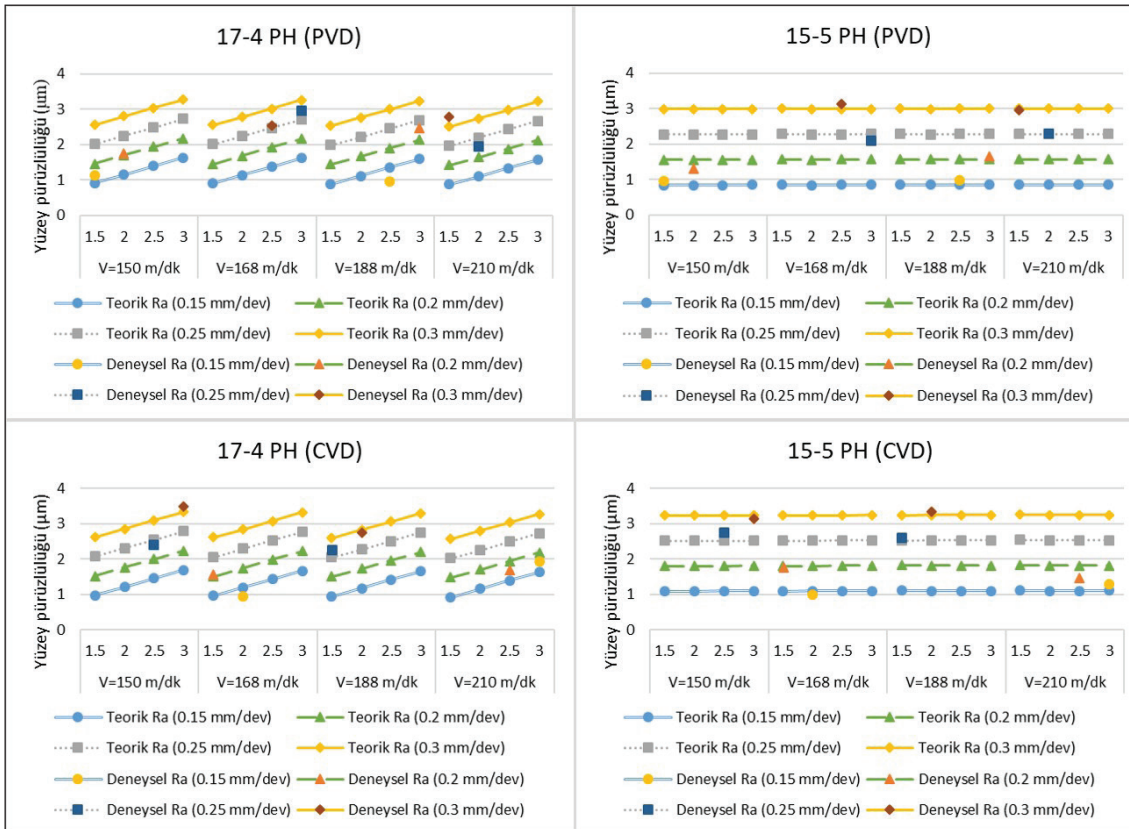
150 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme oranı ve 2 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. Genel olarak ortalama etkiler ve varyans analizi incelendiğinde, en etkin parametrenin %94.24 ile ilerleme oranı olduğunu söylenebilir.

Kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde matematiksel modellerden elde edilen denklemlerde belirlenen kesme parametreleri yerine konularak, her bir malzeme için toplamda 128 adet değer elde edilmiştir. Bu değerler deneysel veriler ile kıyaslanmış ve yorumlanmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen değerler matematiksel modeller ile örtüşmektedir. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Bulunan optimum parametreler, Taguchi deney tasarımı içinde bulunmadığı için doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiş olup, bu deney sonuçları Çizelge 8'de sunulmuştur. Her bir sonuç için üç adet doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deney sonuçları incelendiğinde, optimizasyonun başarı ile uygulandığı görülmektedir.



Şekil 6. Malzeme ve kaplama türüne göre oluşan kesme kuvvetleri.



Şekil 7. Malzeme ve kaplama türüne göre oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri.

4. Tartışma

Artan kesme derinliği ve ilerleme oranı ile kesme kuvvetlerinin her iki malzeme ve kaplama türünde arttığı görülmektedir. İlerleme oranı ve kesme derinliğinin artışı ile kesme kuvvetinin artmasının talaş kesit alanının artışı olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (Uzun vd. 2017, Gürbüz vd. 2011). Ayrıca her iki kaplama türünde de kesme hızının artması ile kesme kuvvetinde bir miktar azalma görülmektedir. Artan kesme hızı ile kesme kuvvetindeki azalma, sıcaklığın artması ile takım talaş yüzey alanının ve ikinci deformasyon bölgesi olan akma bölgesinde kayma dayanımının azalmasından ve buna ek olarak sıcaklık artışıyla talaş akma bölgesinin oluşumu ile talaşın akışının kolaylaşmasından dolayı gözlemlendiği düşünülmektedir (Uzun vd. 2017, Gürbüz vd. 2011). En düşük kesme kuvveti PVD kaplamalı takımında, en yüksek ise CVD kaplamalı takımında gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise PVD kaplamalı takımın CVD kaplamalı takıma göre daha keskin bir kesme kenarına sahip olması olduğu düşünülmektedir (Koyilada vd. 2016, Thakur ve Gandopadhyay 2016).

Artan ilerleme oranı ile her iki malzeme ve kaplama türünde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. Her iki kaplama türünde artan ilerleme oranı ile yüzey pürüzlülüğünün artışı yine literatür ile benzeşmektedir. İlerleme oranının karesinin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Yaşar vd. 2017, Günay 2013, Gürbüz vd. 2011). 17-4 PH malzemesinde her iki kaplama türünde artan kesme derinliği ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülürken, 15-5 PH malzemesinde değişim gözlemlenmemiştir. Artan kesme derinliğinde 17-4 PH malzemesinde yüzey pürüzlülüğünün artmasının sebebinin, artan talaş kesit alanı ve artan talaş yükü olduğu düşünülmektedir (Gürbüz vd. 2011). Artan kesme hızının her iki malzeme ve kaplama türünde belirgin bir etkisi gözlemlenmemiştir.

Sonuç olarak 17-4 PH ve 15-5 PH için kesme kuvveti açısından optimum kesme parametreleri 210 m/dk ve 168 m/dk kesme hızları, 0.15 mm/dev ilerleme oranı, 1.5 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. En etkin parametreler %55.03 ve %52.87 ile kesme derinliği ve onu takiben %41.49 ve %44.25 ile ilerleme oranı olarak tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından optimum kesme parametreleri 168 m/dk ve 150 m/dk kesme hızları, 0.15 mm/dev ilerleme oranı, 2 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. En etkin parametre %73.06 ve %94.24 ile ilerleme oranı olarak belirlenmiştir. Artan kesme derinliği ve ilerleme oranlarının kesme kuvvetlerini her iki

malzeme ve kaplama türünde de arttırdığı görülmektedir. Ayrıca artan ilerleme oranı ile her iki malzeme ve kaplama türünde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir.

5. Teşekkür

Yapılan çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 07/2018-14 kodu ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- 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. *Online J Sci Technol*, 6(1):33–39.
- Ay, M., Kalyon, A. 2011.** CNC torna tezgahında 17-4 PH paslanmaz çeliğin işleme parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), s. 197–201, Elazığ.
- Çelik, E., Kıvık, T. 2016.** 17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri. 7th International Symposium On Machining, s. 214–221, İstanbul.
- Çetin, Ş., Kıvık, T. 2017.** Optimization of the machining parameters for the turning of 15-5 PH stainless steels using the Taguchi method. *Mater Technol*, 51(1):133–140.
- Çiftçi, İ., Kasap, M., Şeker, U. 1999.** Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi üzerine yapılmış deneysel çalışmalar. *Z.K.Ü. Karabük Tek Eğitim Fakültesi Teknol Derg*, 3–4:130–141.
- Günay, M. 2013.** Optimization with Taguchi method of cutting parameters and tool nose radius in machining of A 316L steel. *J Fac Eng Archit Gazi Univ*, 28(3):437–444.
- Koyilada, B., Gangopadhyay, S., Thakur, A. 2016.** Comparative evaluation of machinability characteristics of Nimonic C-263 using CVD and PVD coated tools. *Measurement*, 85:152–163.
- Mohanty, A., Gangopadhyay, S., Thakur, A. 2016.** On applicability of multilayer coated tool in dry machining of aerospace grade stainless steel. *Mater Manuf Process*, 31(7):869–879.
- Mohanty, A. 2014.** Influence of CVD multilayer coating on machinability characteristics of aerospace grade stainless steel. *Yüksek Lisans Tezi*, National Institute of Technology, 97 s.
- Palanisamy, D., Senthil, P. 2018.** A comparative study on machinability of cryo-treated and peak aged 15Cr-5Ni precipitation hardened stainless steel. *Measurement*, 116:162–169.

- Palanisamy, D., Senthil, P., Senthilkumar, V. 2016.** The effect of aging on machinability of 15Cr-5Ni precipitation hardened stainless steel. Arch Civ Mech Eng, 16(1):53-63.
- Sandvik Coromant. 1994.** Modern Metal Cutting: A Practical Hand Book, Sandvik Coromant, 960 s.
- Sivaiah, P., Chakradhar, D. 2018.** Comparative evaluations of machining performance during turning of 17-4 PH stainless steel under cryogenic and wet machining conditions. Mach Sci Technol, 22(1):147-162.
- Sivaiah, P., Chakradhar, D. 2017.** Machinability studies on 17-4 PH stainless steel under cryogenic cooling environment. Mater Manuf Process, 32(15):1775-1788.
- Thakur, A., Gangopadhyay, S. 2016.** Influence of tribological properties on the performance of uncoated, CVD and PVD coated tools in machining. Tribol Int, 102:198-212.
- Uzun, G., Yagmur, S., Korkut, İ., Şeker, U. 2017.** Hastelloy X süper alaşımının tornalanmasında kriyojenik işlem uygulanan PVD ve CVD kaplamalı takımların performansının incelenmesi. Gazi Univ J Sci Part C, 5:231-9.
- Yaşar, SA., Uzun, G., Korkut, İ. 2017.** 17-4 PH paslanmaz çeliklerin tornalanmasında farklı kaplama tiplerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. II. International Academic Research Congress, s. 1410-1416, Antalya.
- Yaz, M. 1999.** Mangan ve silisyum katkılı yüksek Cr-Ni'li paslanmaz çelik dökümlerin talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 84 s.