

AISI 316Ti PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASINDA KESİCİ UÇ ETKİSİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

*Yunus KAYIR, **Sıddık ASLAN ve *Ahmet AYTÜRK

*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 06500 ANKARA

**Gazi Üniversitesi Ticaret Turizm Fakültesi, 06500 ANKARA

ykavir@gazi.edu.tr, sarslan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 07.08.2012; Kabul/Accepted: 28.02.2013)

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 316Ti paslanmaz çelik malzemesinin tornalanmasına yönelik bir Taguchi modeli oluşturulmuştur. Klasik bir tornalama tezgahında deneyler yapılmıştır. Deneylerde, farklı uç geometrisine sahip ve TiCN-Al2O3-TiN kaplamalı karbür kesiciler kullanılmıştır. Kesici uç yarıçapı, kesici uç formunun ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Taguchi ve ANOVA analizleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülükleri için S/N ve etki grafikleri oluşturulmuştur. Sonuçlar, yüzey pürüzlülüğüne en etkili faktörlerin ilerleme (%73,97) ve kesici uç yarıçapı (%13,26) olduğunu göstermiştir. Deneylerde, uç yarıçapı küçük olan kesicilerin daha çok aşındığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz çelikler, AISI 316Ti, tornalama, kaplamalı takımlar, yüzey pürüzlülüğü, Taguchi metot, ANOVA.

ANALYZING THE EFFECTS OF CUTTING TOOLS GEOMETRY ON THE TURNING OF AISI 316Ti STAINLES STEEL WITH TAGUCHI METHOD

ABSTRACT

In this study, A Taguchi model were designed for turning AISI 316 Ti stainless steel. Experimental works were made on the conventional machine tools. Cutting tools that were manufactured with different edge geometries and coated with TiCN-Al2O3-TiN were used in the experimental works. Effects of edge geometry of cutting tools and used cutting parameters on the roughness of machined surfaces were investigated. Taguchi and ANOVA analysis were carried out. Graphs that are main effects and S/N ratios of factors were done. The experimental results have shown that main effects are feed rate (73.97%) and radius of edge (13.26%) for surface roughness. It was seen that cutting tools with smaller edge radius were wearier than others.

Key Words: Stainless steel, AISI 316Ti, turning, coated carbide cutting tools, surface roughness, Taguchi method, ANOVA.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Paslanmaz çelikler, yüksek korozyon direnci, çevre dostu ve hijyenik olma gibi özelliklere sahiptirler [1]. Piyasada, çok çeşitli paslanmaz çelikler bulunmaktadır. Fakat makine-imalat sanayisinde en yaygın kullanılanları ise, östenitik ve ferritik paslanmaz çelikleridir.

AISI 316Ti östenitik paslanmaz çeliğin etkili alaşım elementi titanyum'dur. AISI 316Ti paslanmaz çeliği,

kimya, ilaç, sağlık, gıda, makine, nükleer, gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir [2].

Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde çelik malzemelerin talaşlı imalat yöntemleri (tornalama, frezeleme, delme, vb.) ile şekillendirilmesi halen önemini korumaktadır. Dolayısı ile çelik malzemelerin işlenebilirliğine yönelik deneysel ve teorik birçok çalışma yapılmaktadır. Paslanmaz çeliklere yönelik işlenebilirlik çalışmalarında genellikle östenitik paslanmaz çelikler tercih edilmektedir. Bu gruptan da AISI 304 ve 303 oldukça

yaygın kullanılan paslanmaz çelikler olmuştur. Östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek çekme mukavemeti, yüksek korozyon direnci, düşük ısı iletkenliğine sahip olması, yüksek miktarda krom-nikel ve molibden gibi mukavemet artırıcı elementler içermesi, işlenebilirliği olumsuz etkilediği bilinmektedir [3, 4].

Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğine yönelik yapılan bazı çalışmalarda, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde azot oranının takım ömrüne etkisi olduğu belirtilmiştir. %0.91 azot içeren paslanmaz çelikteki takım ömrünün, %0.57 oranında azot içeren paslanmaz çelikteki takım ömründen daha uzun olduğu ifade edilmiştir [5]. Malzemenin düşük ısı iletkenliğinin kesme işleminin gerçekleştiği bölgede yüksek sıcaklıkları meydana getirdiği, artan sıcaklığında difüzyon aşınmasına sebep olduğu ifade edilmiştir [6,7]. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli faktörün ilerleme ve en az etkili olan parametrenin ise kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. İlerlemenin ve talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, kesme hızının belli bir değere kadar artması ile yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin (eğilim yavaş da olsa) azalma eğilimine girdiği ifade edilmiştir [8-11]. Artan ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızının takım aşınmasını artırdığı belirtilmiştir [12, 13]. Paslanmaz çeliklerin işlenmesinde meydana gelen sesin yorumlanmasına yönelik yapılan çalışmalarda, ses ile titreşimlerin yakın ilişki içinde olduğu ifade edilmiştir. Artan ses ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerinde arttığı belirtilmiştir. En uygun seslerin, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüklerini azaltan kesme hızı ve ilerleme değerlerine ait olduğu belirlenmiştir. Titreşimin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir [14-16]. Paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici kaplama tipinin takım ömrü açısından önemli olduğu, CVD ile kaplanmış TiN/TiCN/TiN, TiN/TiCN/Al₂O₃ kesici takımlar ile PVD ile kaplanmış TiAlN kesici takımlardan en dayanıklı kaplamanın TiAlN olduğu ve bunu sırası ile TiN/TiCN/TiN, TiN/TiCN/Al₂O₃ takip ettiği belirtilmiştir [17].

Taguchi metodu kullanılarak yapılan işlenebilirlik çalışmalarında, kesme parametrelerinin, kesme kuvvetlerine, yüzey pürüzlülüğüne etkisinin belirlenmesine yönelik istatistiksel analizler yapılmıştır. Değişik programlar kullanılarak (MINITAB, SPSS, MATLAB, vb.); kesme parametrelerine göre elde edilen deney sonuçları değerlendirilerek S/N oranlar hesaplanmış ve ANOVA analizleri yapılmıştır. İşlenebilirlik alanında yapılan çalışmalarda genelde, kesme parametrelerinin deney sonuçları (yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, vb.) üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır [18-23].

Literatür çalışmalarında, AISI 316 paslanmaz çelik grubuna ait araştırmaların çok yeni olduğu görülmüştür. Az sayıdaki bu çalışmalar incelendiğinde ise, titanyum içeren AISI 316Ti malzemesine yönelik çalışmaların olmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada, AISI 316Ti paslanmaz çelik malzemesi, farklı uç yarıçapına sahip kaplamalı karbür kesici takımlarla klasik torna tezgahında tornalanmıştır. Deneyler için Taguchi L18 karma (mixed) modeli kullanılmıştır. Deneyler, 3 farklı kesme hızı ve 3 farklı ilerleme ve 2 farklı kesici uç yarı çapı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Elde edilen deney sonuçları, kesme hızı, ilerleme ve kesici uç yarıçapı açısından Taguchi ve ANOVA analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.

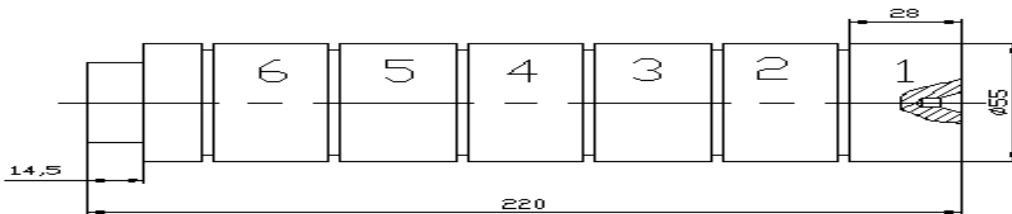
2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Yapılan deneysel çalışmada, AISI 316Ti Östenitik paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Deney numuneleri, piyasadan Ø60 mm çapta alınan silindirik çubukların, Şekil 1’de verilen şekil ve boyutlarda hazırlanmıştır. Yapılan sertlik ölçümlerinde deney numunelerinin sertliği, 230 BHN bulunmuştur.


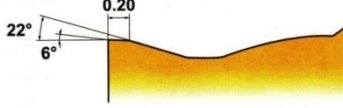




Tablo 1. AISI 316Ti Paslanmaz malzemenin kimyasal kompozisyonu (AISI 316 Ti Stainless steel chemical composition)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
0,02	1,778	0,497	0,035	0,019	16,74	10,92	2,150	0,536	0,318



Şekil 1. Deney numunelerinin şekil ve boyutları (Dimension and geometry of experimental parts)

Tablo 2. Kesici takım özellikleri (Properties Cutting Tools)

Kod	Form	Şekil	Uç Geometri	Tip	Uç Yarıçap R (mm)
MA				TTCN-AI203-TiN	0,4 0,8
MS					
ES					

Tablo 3. Kesme parametreleri (Table 3. Cutting parameters)

Kesici Formu	Takım Uç Yarıçapı R (mm)	Kesme Hızı V (m min ⁻¹)	İlerleme f (mm rev ⁻¹)	Talaş Derinliği a (mm)	Kesme Şartları
MA	0,4	85	0,1	1,5	Kuru kesme
MS	0,8	120	0,2		
ES		165	0,4		

Deney numunelerinin işlenmesinde, östenitik paslanmaz çelikler için önerilen (kesici katalogu ve firma çalışanları ile birlikte karar verilmiştir) kesici uç ve bu uçlara uygun bir takım tutucu seçilmiştir. Takım tutucunun iş parçası yaklaşma açısı 90°'dir.

Deneylerde, MA, MS ve ES olmak üzere üç farklı kesici uç formu, 0,4 mm ve 0,8 mm olmak üzere de iki farklı kesici uç yarıçapına sahip kaplamalı karbür kesici uçlar kullanılmıştır (Tablo 2). Kesici uçların talaş kaldırma işleminde her 3 köşesi de kullanılabilir. Her bir deneyde, kesici ucun yeni bir köşesi kullanılarak kesicinin aşınmasından kaynaklanan etkiler giderilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin seçimi ISO 3685 (TS 10329), üretici firma katalog verileri ve deneylerde kullanılacak olan tezgah dikkate alınarak belirlenmiştir (Tablo 3). Deneylerde, talaş derinliği 1,5 mm sabit tutularak üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarı kullanılmıştır. Belirlenen kesme hızı ve ilerleme değerlerinin kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır.

Tablo 3'de görüldüğü gibi, bu çalışmada toplamda; 3x2x3x3x1=54 adet deney yapılması gerekmektedir. Deneylerin güvenilirliği için de, deneylerin 2 (iki) kere tekrarlanması durumunda toplamda 108 adet deneyin yapılacağı ortaya çıkmaktadır. Deney maliyetleri açısından yapılması gereken deney sayısı, ortaya oldukça yüksek bir maliyet çıkarmaktadır. Bu nedenle, deney maliyetlerini azaltarak hızlı ve

optimum deney sonuçlarının elde edilmesinde Taguchi metodunun kullanılmasına karar verilmiştir. Deneyler, Gazi üniversitesi, teknik eğitim fakültesi, makine eğitimi bölümü, talaşlı üretim Ana Bilim Dalı laboratuvarlarında yapılmıştır.

Kullanılan tezgah, klasik bir tornalama tezgahı olduğundan üzerinde, arzu edilen her devir (S) ve ilerleme (f) değerleri bulunmamaktadır. Deneyler için belirlenen kesme hızları için (Tablo 4), tezgah üzerinde belirlenen devirlerle eşleştirilmesinde deney numune çaplarının (Şekil 1) uyarlanması gerekmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde, deney numune çapları Tablo 4'te verildiği gibi belirlenmiştir. Hazırlanan deney numuneleri, torna tezgahında aynapunta arasına bağlanarak işlenmiştir (Şekil 2). İşlenen yüzeylerin pürüzlülüklerinin ölçülmesinde Ra (ortalama: µm) değeri kullanılmıştır.

Tablo 4. Kesme hızı için (V) hesaplanan devir (S) ve iş parçası çapları (Ø)
(Calculated Speed (S) and Diameter (Ø) of parts for Cutting speed (V))

V (m min ⁻¹)	S (rev min ⁻¹)	Ø (mm)
85	500	54,1
120	710	53,8
165	1000	52,5



Şekil 2. Deney numunelerinin torna tezgahına bağlanması (Holding of experimental parts on the lathe)

2.1. Taguchi Metodu (The Taguchi Method)

Yapılan çalışmada, bir Taguchi modeli kullanılmıştır. Model için deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri dikkate alınmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Taguchi L₁₈ modeli için faktörler ve seviyeleri (Factors and levels for Taguchi L18 model)

Faktör	Birim	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
Rfak	mm	0,4	0,8	-
Formfak		MA	MS	ES
ffak	mm rev ⁻¹	0,1	0,2	0,4
Vfak	m min ⁻¹	85	120	165

Tablo 5’te faktörler için verilen kodlamalar aşağıda açıklanmıştır.

Rfak : Kesici uç yarıçapı (R: mm),
 Formfak . Kesici uç tipi,
 ffak : İlerleme (f: mm rev⁻¹),
 Vfak : Kesme hızı (v: m min⁻¹).

Deneylerde kullanılan faktörler (4) ve seviyelerine bakıldığında, faktörlerden biri hariç (Rfak) her faktörün üç seviyesi bulunmaktadır. Farklı seviyeye sahip olan Rfak, model dışı bırakılabilir. Fakat, kesici uç yarı çapının (Rfak) yüzey pürüzlülüğüne etkisinin görülmesi için modele dahil edilmesinin daha doğru olacağı düşünülmüştür. Bu durumda, Taguchi için karma (mixed) bir modelin oluşturulması gerekmiştir. Yapılan incelemelerde, Taguchi için en uygun modelin karma L18 (2**1 3**3)’in olacağına karar

verilmiştir (Tablo 6). Elde edilen Taguchi modeline göre Toplamda 18 adet deney yapılmıştır.

Tablo 6. Taguchi, L18 modeli (L18 Model of Taguchi)

Deney	Rfak	Formfak	ffak	Vfak
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	1
5	1	2	2	2
6	1	2	3	3
7	1	3	1	2
8	1	3	2	3
9	1	3	3	1
10	2	1	1	3
11	2	1	2	1
12	2	1	3	2
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2

L18 Taguchi modeline göre deneyler yapılmış ve deney sonuçları Tablo 7’de verildiği gibi elde edilmiştir. Elde edilen yüzey pürüzlülükleri (Ra) için Taguchi analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, Taguchi analiz yöntemlerinden biri olan “Smaller is better” kullanılmıştır. “Smaller is better” taguchi analizi eşitlik 1’e göre yapılmaktadır. (Ra) yönelik yapılan Taguchi analizi sonuçları, Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 3’te faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri (main effects), Şekil 4’te ise, faktörlerin Ra üzerindeki S/N (Signal/Noise) oranları verilmiştir. Bununla birlikte, Ra sonuçları için hesaplanan S/N oranları, Tablo 7’de deney sonuçları ile birlikte de verilmiştir.

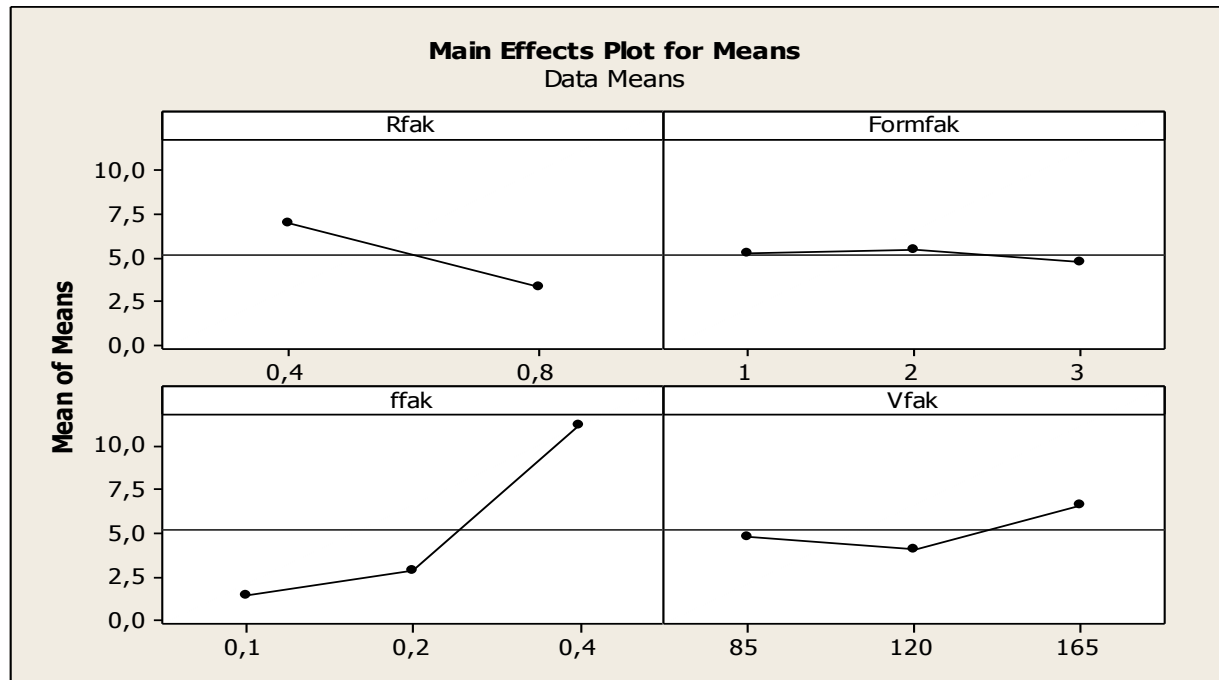
$$\eta = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

Tablo 7. Deney sonuçları ve S/N oranları (Results of works and S/N ratios)

Deney	Rfak (mm)	Formfak	ffak (mm rev ⁻¹)	Vfak (m min ⁻¹)	Ra(μm)	S/N
1	0,4	1	0,1	85	1,65	-4,35
2	0,4	1	0,2	120	4,21	-12,49
3	0,4	1	0,4	165	15,22	-23,65
4	0,4	2	0,1	85	1,59	-4,03
5	0,4	2	0,2	120	4,02	-12,08
6	0,4	2	0,4	165	16,5	-24,35
7	0,4	3	0,1	120	1,46	-3,29
8	0,4	3	0,2	165	3,68	-11,32
9	0,4	3	0,4	85	14,6	-23,29
10	0,8	1	0,1	165	1,3	-2,28
11	0,8	1	0,2	85	1,86	-5,39
12	0,8	1	0,4	120	7,34	-17,31
13	0,8	2	0,1	120	1,35	-2,61
14	0,8	2	0,2	165	1,79	-5,06
15	0,8	2	0,4	85	7,64	-17,66
16	0,8	3	0,1	165	1,16	-1,29
17	0,8	3	0,2	85	1,57	-3,92
18	0,8	3	0,4	120	6	-15,56

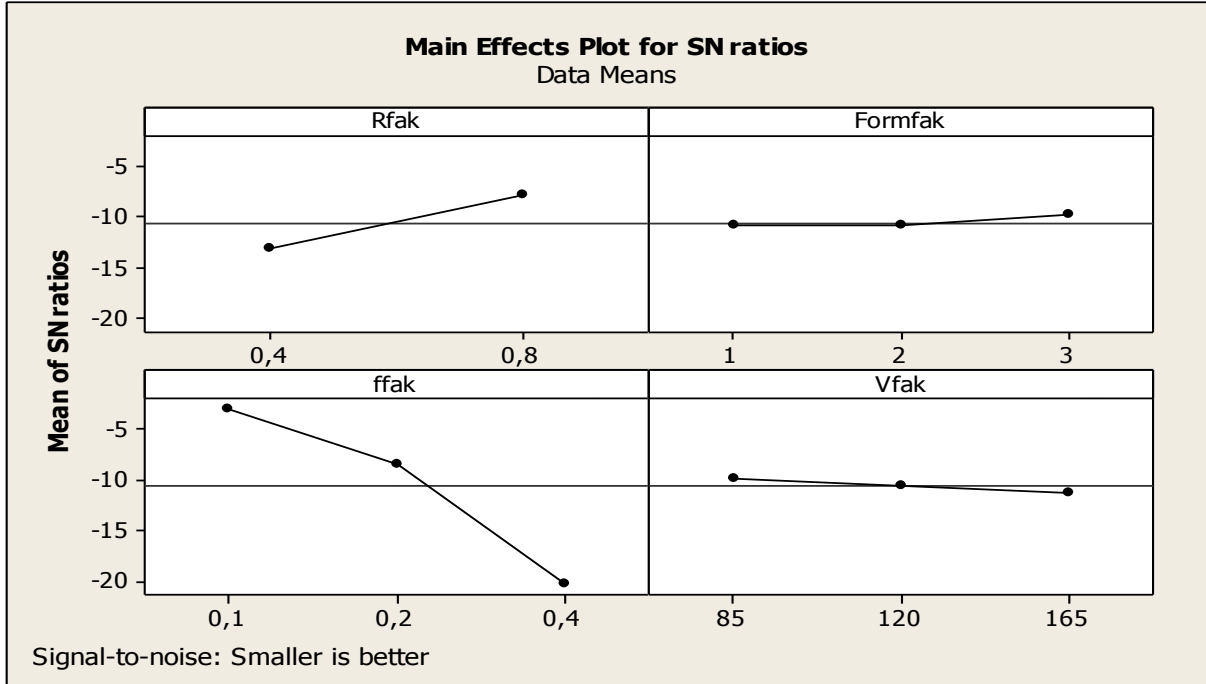
Şekil 3'te verilen grafikte en fazla değişim, ffak düzeylerinde (0,1; 0,2 ve 0,4 mm rev⁻¹) görülmektedir. Bunu Rfak faktörü ve Vfak faktörü

izlemektedir. Formfak faktörünün düzeyleri (1, 2 ve 3) arasında ise dikkate değer bir değişimin olmadığı görülmektedir.

**Şekil 3.** Faktörler için Ra ortalamaları (Means of Ra for factors)

Aynı durum Şekil 4'te verilen S/N oranları değişim grafiğinde de kendini göstermektedir. S/N oranlarındaki değişim en çok ffak ve Rfak

faktörlerinde görülmektedir (Faktörlerin grafik eğilimi diğerlerine göre yüksektir).



Şekil 4. Ra için S/N oranlarının etkisi (Main effects of S/N ratios for Ra)

Faktörler ve seviyelerinin Ra üzerindeki etkilerini daha rahat görebilmek için, şekil 3'teki S/N oranları grafiği ve şekil 4'teki ortalama etki grafiği (main effects), tablolaştırılmıştır (Tablo 8 ve Tablo 9). Tablo 8'de Ra ortalamasının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde; en fazla değişimin (Delta) ffak faktöründe olduğu görülmektedir. Değişim, 1,418 ile 11,217 (değişim: 9,798) arasındadır. Tablo 9'da S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde ise en fazla değişim (Delta) aynı şekilde ffak faktöründe meydana gelmiştir. Değişim, -2,973 ile -20,304 (değişim:17,331) arasında gerçekleşmiştir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise (büyükten-küçüğü doğru), Rfak faktörü, Vfak faktörü ve Formfak şeklinde sıralanmaktadır. Dolayısı ile bu oranlar, yüzey pürüzlülüğü için en etkili faktörün ilerleme (ffak) ve en az etkili faktöründe kesici formu (Formfak) olduğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 8 ve Tablo 9'de verilen değerler, faktörlerin (Rfak, Formfak, ffak ve Vfak) her bir seviyesinin (Level) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki değişim etkisini de ortaya koymaktadır. Tablo 8 ve Tablo 9'da Ra'daki en büyük değişim, ffak faktörünün 3. (level 3) seviyesi ile meydana gelmiştir. Tablo 8'de ffak faktörünün 3. seviyesi = 11,217 ve Tablo 9'da ffak faktörünün 3. Seviyesi = -20,304 olarak elde edilmiştir. Tablo 9'daki S/N oranlarının yüksek olduğu faktör seviyeleri, yüzey pürüzlülüğünü artıran (kötüleştiren) parametreler olmaktadır. En küçük S/N oranları ise (smaller is better) yüzey pürüzlülüğünü azaltan faktör seviyeleri olmaktadır.

Sonuç olarak, yüzey pürüzlülüğünün düşürülmesinde en etkili faktörler ve seviyeleri: ffak(1) ve Rfak(2), Vfak(1) ve Formfak(3) şeklinde olduğu rahatlıkla söylenebilir. Fakat daha kesin konuşabilmek için, faktörlerin yüzey pürüzlülüğündeki değişime katkısının kesin olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunun içinde ANOVA analizleri yapılmıştır.

Tablo 8. Faktörlerinin ortalamaları (Response for Means)

Level	Rfak	Formfak	ffak	Vfak
1	6,992	5,263	1,418	4,818
2	3,334	5,482	2,855	4,063
3		4,745	11,217	6,608
Delta	3,658	0,737	9,798	2,545
Rank	2	4	1	3

Tablo 9. Faktörler için S/N oranları (Response for Signal to Noise ratios)

Level	Rfak	Formfak	ffak	Vfak
1	-13,204	-10,911	-2,973	-9,772
2	-7,898	-10,965	-8,375	-10,557
3		-9,777	-20,304	-11,323
Delta	5,306	1,188	17,331	1,551
Rank	2	4	1	3

ANOVA analiz sonuçları Tablo 10'da verilmiştir. ANOVA analizi tablosu incelendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir. Dört faktörün birlikte incelendiği modelde ffak ve Rfak faktörlerinin düzeyleri arasında Ra ortalamaları için istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p < 0,05$), Formfak ve Vfak faktörlerinin düzeyleri arasında ise istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($p > 0,05$) görülmektedir. Ayrıca faktörlerin yüzde olarak etkileri incelendiğinde; ffak faktörünün etkisinin %73,98; Rfak faktörünün etkisinin %13,26; Vfak faktörünün etkisinin %4,51;

Formfak faktörünün etkisinin %0,37 ve Hata teriminin etkisinin ise %7,89 olduğu görülmektedir. Ayrıca model için belirleme katsayısı (R-Sq(adj)): %86,60 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, ANOVA tablosuna göre, yüzey pürüzlülüğü için dikkate alınacak olan faktörlerin, ffak ve Rfak olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç, literatüre uygundur [8-11].

Faktörlerin doğrudan deney sonuçlarına göre yapılan ANOVA analizi (Tablo 10) dışında, faktörlerin S/N oranlarına için de bir ANOVA analizi yapılmıştır (Tablo 11). S/N oranları için yapılan ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R-Sq(adj)): % 96,74 çıkmıştır. Belirleme katsayısının yüksek çıkması, S/N oranına göre ANOVA analizi yapmanın daha açıklayıcı sonuçlar verebileceğini göstermektedir. AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımlarda, talaş yapışmaları, talaş sıvanmaları ve aşınmaları meydana gelmiştir (Şekil 5'de SEM görüntüleri verilmiştir). Kesici uçlardaki talaş yapışmaları, Şekil 5.b'de B harfi ile işaretlenmiştir. Talaş sıvanmaları, Şekil 5.b, 5.c ve 5.d'de A harfi ile işaretlenmiştir. Kesici aşınmaları ise, Şekil 5.c ve 5.d'de "ok" şekli ile işaretlenmiştir.

Yapılan deneylerde en fazla aşınma, uç yarıçapı 0,4 mm olan kesici takımlarda olmuştur. 0.8 mm uç

yarıçapına sahip kesici takımlar ise, daha az aşınmıştır. 0,4 mm uç yarıçaplı kesicilerde aşınmalar, kesici kenar boyunca oluşmamıştır. Aşınma, Şekil 5.a'da verilen kesicinin CAD modeli üzerinde görülmektedir. Aşınmalar, kesici takım ucundan belirli bir uzaklıkta (Bu uzaklık Şekil 5.c'de L harfi ile belirtilmiştir) meydana gelmiştir. Yapılan ölçümlerde bu uzaklığın yaklaşık talaş derinliği (L=1,5 mm) kadar olduğu tespit edilmiştir.

Aşınmanın kesici kenar boyunca değil de yan yüzeyde üstten aşağıya bir hat boyunca meydana gelmesi (Şekil 5.a) ısıl birikmesi ile açıklanabilir. Düşük ısıl iletkenliğe sahip AISI 316Ti paslanmaz çelik malzemesinin [3-4] uç yarı çapı R:0,4 mm olan kaplamalı kesicilerle tornalanmasında takım-talaş ara yüzünde meydana gelen yüksek sıcaklık, iş parçası, talaş ve kesici arasında hızlı bir şekilde dağılamamıştır. Bu sonuç, ısıl dağılımda, iş parçası ile temasta olan kesici yüzey alanının etkisinin büyük olduğunu göstermektedir. Çünkü R:0,4 mm kesicilerin yüzey alanı, R:0,8 mm olan kesicilere göre daha küçük olmaktadır. Dolayısı ile dağılamayan ısı, talaş çıkışı ile ani boşalmaktadır. Isı boşalması olan noktada ise ani kesici aşınmaları (diffusion) meydana gelmektedir [6-7]. Fakat uç yarı çapı R:0,8 mm olan kesicilerde ise, bu aşınma söz konusu olmamaktadır

Tablo 10. Ra için ANOVA tablosu (Analysis of Variance for Ra)

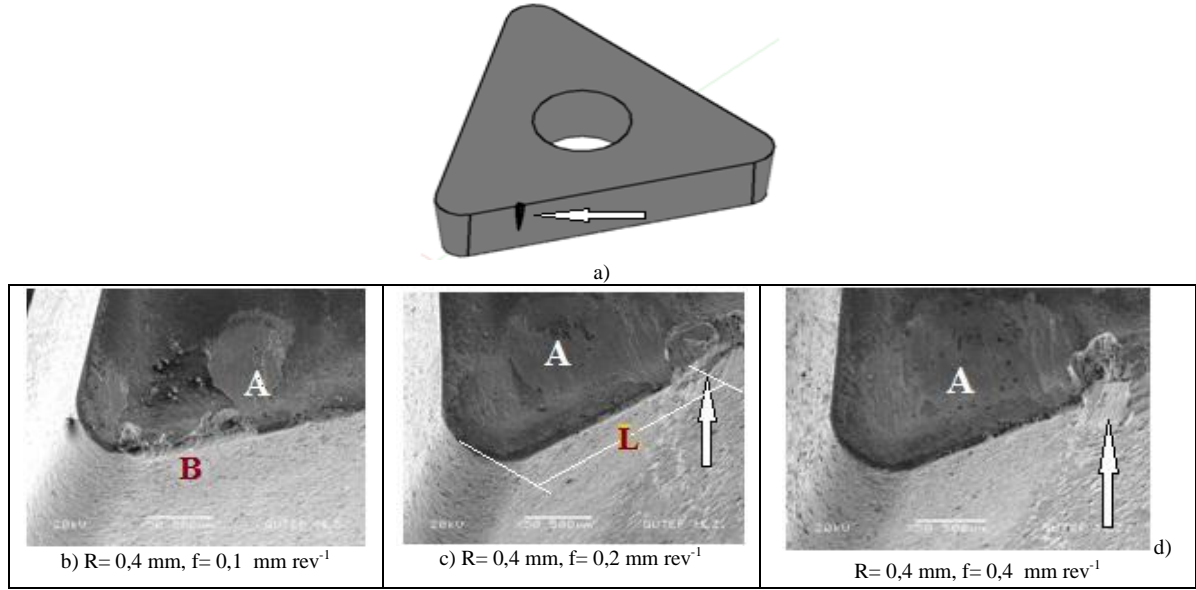
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Faktör etkisi (%)
Rfak	1	60,207	60,207	60,207	16,81	0,002	13,26
Formfak	2	1,718	1,718	0,859	0,24	0,791	0,37
Ffak	2	335,978	335,978	167,989	46,91	0,000	73,97
Vfak	2	20,502	20,502	10,251	2,86	0,104	4,51
Error	10	35,814	35,814	3,581			7,89
Total	17	454,219					100

R-Sq = % 92,12 R-Sq(adj) = % 86,60

Tablo 11. S/N oranları için ANOVA tablosu (Analysis of Variance for S/N ratios)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Faktör etkisi (%)
Rfak	1	126,78	126,78	126,78	59,83	0,000	11,48
Formfak	2	5,39	5,39	2,70	1,27	0,322	0,49
ffak	2	943,39	943,39	471,69	222,60	0,000	85,45
Vfak	2	7,22	7,22	3,61	1,70	0,231	0,65
Error	10	21,19	21,19	2,12			1,92
Total	17	1103,97					100,00

R-Sq = % 98,08 R-Sq(adj) = % 96,74



Şekil 5. Bazı kesicilere ait SEM görüntüleri (Pictures of SEM of the cutting tools)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada AISI 316 Ti paslanmaz çelik malzemesi, üç farklı ilerleme, üç farklı kesme hızı, sabit talaş derinliği kullanılarak üç farklı uç formuna ve iki farklı kesici uç yarıçapına sahip kaplamalı karbür kesici uçlar ile tornalanmıştır. Elde edilen yüzey pürüzlülüklerine yönelik yapılan Taguchi ve ANOVA analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

AISI paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğünün düşürülmesinde öncelikle ilerleme (ffak) ve kesici uç yarıçapı (Rfak) faktörlerinin dikkate alınması gerektiği ANOVA analizi (Tablo 10) ile ortaya çıkmıştır. Yapılan ANOVA analizi ile yüzey pürüzlülüğüne, ilerlemenin (ffak) katkısı: %73,97; kesici uç yarıçapının (Rfak) katkısı: %13,26; kesme hızının (Vfak) katkısı: %4,51 ve kesici uç formunun katkısı (Formfak) ise sadece %0,37 olduğu belirlenmiştir.

AISI 316Ti malzemesinin tornalanmasında, en düşük yüzey pürüzlülüğünün (smaller is better) elde edilmesinde kullanılacak faktörlerin en uygun seviyelerinin ise, ffak(1) ve Rfak(2) olduğu Taguchi analizi (Tablo 8 ve 9) ile tespit edilmiştir. Tablo 9’da elde edilen en düşük S/N oranları bu durumu ispatlamaktadır. Dolayısı ile AISI 316Ti paslanmaz çelik kaplamalı karbür uçlarla tornalanmasında en düşük yüzey pürüzlülüğü için öncelikle, düşük ilerlemenin (ffak = 0,1 mm/dev) ve büyük kesici uç yarı çapının (Rfak = 0,8 mm) kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar literatüre uygundur [8-11].

AISI 316Ti paslanmaz çelik malzemesinin küçük uç yarıçaplı (R:0,4 mm) kesicilerle, yüksek ilerleme (0,2 ve 0,4 mm rev⁻¹) ve yüksek kesme hızlarında (120 ve 165 m min⁻¹) işlenmesinin, yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve

takım ömrü açısından uygun olmadığı ortaya çıkmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan tüm kesme parametrelerinde, 0,8 mm uç yarıçapına sahip kesici uçlar ile daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiş ve daha az kesici aşınmaları meydana gelmiştir. Bununla birlikte, düşük ilerlemelerde (0,1 mm rev⁻¹) ve düşük kesme hızlarında (85 m min⁻¹) kesici uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin daha az olduğu görülmüştür. Özellikle 0,1 mm rev⁻¹ ilerleme kullanılarak yapılan deneylerde, elde edilen Ra değerleri birbirine yakındır. Fakat, ilerleme (0,2-0,4 mm rev⁻¹) ve kesme hızları artıkça (120-165 m min⁻¹) elde edilen Ra değerleri arasındaki fark da artmıştır. 0,4 mm uç yarıçaplı kesicilerle elde edilen yüzey pürüzlük değerlerinde ise ani artışlar meydana gelmiş ve kesici daha fazla aşınmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Internet, "Paslanmaz Çeliklerin İç Yapıları ve Temel Türleri" www.saritas.com.tr.
2. Internet, "Paslanmaz Çelik Nedir?", www.ozmetalozkanoz.com.tr.
3. Coromant S. **Modern Metal Cutting-A Practical Handbook**, Sandvik Coromant Inc, Sweden, 1997.
4. Outeiro, J.C., Dias, A.M., Lebrun, J.L., Astakhov, V.P., "Machining residual stresses in AISI 316L steel and their correlation with the cutting parameters", **Machining Science and Technology**, 6 (2): 251–270 2002.
5. Paro, J., Hannien, H. And Veijo, "Tool Wear and Machinability of X5 CrMnN 18 Stainless Steels", **Journal of Materials Processing Technology**, 14-20, 2001.
6. Mills, B. And Redford, A. H., **Machinability Of Engineering Materials**, University of Salford, , 107-108, UK, 1983.

7. Korkut, I., Kasap, M., Ciftci, I. and Seker, U., "Determination of Optimum Cutting Parameters during Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel", **Materials & Design**, 25(4): 303-305, 2004.
8. Özses B., **Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 2002.
9. Zeyveli, M. ve Demir, H., "AISI 01 Soğuk İş Takım Çeliğinin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Araştırılması", **E-Journal of New World Sciences Academy**, 4, 2: 323-331, 2009.
10. Özek, C., Taşdemir, V., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Varyans Analizi İle Modellenmesi", **E-Journal of New World Sciences Academy**, 4, 3: 305-313, 2009.
11. Tekaslan, Ö., Gerger, N. Ve Şeker, U., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması", **BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 10(2): 3-12, 2008.
12. Kasap M., **AISI 304 Östenitik Paslanmaz çeliklerin İşlenebilirliğinde En Uygun Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi ve İşleme Şartlarının Deneysel Olarak Araştırılması**, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, 34-35, 2001.
13. Özek, C., Haşçalık, A., Çaydaş, U. ve Karaca, F., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Tornalanması", **Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 117-121, 2006.
14. Zafer Tekiner, Z. And Yeşilyurt, S., "Investigattion of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 Austenitic stainless Steel", **Journal of Materials Processing Technology**, 25:507-513(2004).
15. Yeyen H.E., **AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması**, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
16. Yeyen, H.E., Korkut, İ., Turgut, Y. ve Çiftçi, İ., "AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesme Hızı ve İlerlemenin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri", **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, 2009.
17. Altınkaya E., **AISI 316 Östenitik :Çeliğin İşlenmesinde Kesme Değerlerinin ve Takım Kaplamasının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Takım Aşınmasına Etkilerinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
18. Nalbant M., Gökçaya H. Sur G., "Application of Taguchi mrtod in the optimization of cutting parameters, for roughness in turning", **Materials and Design**, 28, 1379-1385, 2007.
19. Nian C.Y., Yang W.H., Tarn Y.S., "Optimization of turning operations with multiple performance characteristics", **Journal of Material Processing Technology**, 95, 90-96, 1999.
20. Manna A. and Salodkar S., "Optimization of machining conditions for effective turning of E0300 alloy steel", **Journal of Material Processing Technology**, 203, 147-153, 2008.
21. Davim J. P., "Study of drilling metal-matrix composites based on the Taguchi techniques", **Journal of Material Processing Technology**, 132, 250-254, 2003.
22. Göloğlu C. Sakarya N., "The effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method", **Journal of Material Processing Technology**, 206, 7-15, 2008.
23. Sahin Y., "Optimal testing parameters on the wear behavior of various steels", **Material and Design**, 27, 455-460, 2006.

