

AISI 316L ÇELİĞİNİN İŞLENMESİNDE TAKIM RADYÜSÜ VE KESME PARAMETRELERİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

Mustafa GÜNAY

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 78050, Karabük, TÜRKİYE
mgunay@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 20.07.2011; Kabul/Accepted: 06.06.2013)

ÖZET

Yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı, temas halinde çalışan makine parçalarının dayanımını ve performansını önemli miktarda etkilemektedir. Bununla birlikte, talaşlı imalatta kullanılan kesici takım geometrisi ve kesme parametreleri; kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve işleme verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğinin işlenmesinde oluşan F_c ve R_a için kesici takım radyüsü ve kesme parametrelerinin (değişkenler) optimizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla, Taguchi'nin L_9 dikey dizini kullanılarak işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. İşleme deneyleri sırasında ölçülen F_c ve R_a değerleri üzerinde değişkenlerin etkilerini ve önem seviyelerini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. S/N oranları kullanılarak tespit edilen değişkenlerin optimum değerleri, F_c ve R_a için farklı seviyelerde bulunmuştur. ANOVA sonuçlarına göre, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli değişken ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Taguchi Yöntemi, AISI 316L, Takım Radyüsü, Kesme Kuvveti, Yüzey Pürüzlülüğü

OPTIMIZATION WITH TAGUCHI METHOD OF CUTTING PARAMETERS AND TOOL NOSE RADIUS IN MACHINING OF AISI 316L STEEL

ABSTRACT

Surface quality and dimensional precision significantly affect to strength and performance of working machine parts that are contacted one another. Additionally, cutting tool geometry and cutting parameters are the most important factor affecting to cutting force, surface roughness and productivity in machining. In this paper, optimization of cutting parameters and tool nose radius (variables) was performed for which F_c and R_a are occurred in machining of AISI 316L austenitic stainless steel. For this purpose, the machinability experiments were carried out using Taguchi's L_9 orthogonal array. An analysis of variance (ANOVA) was employed to determine the level of contribution and effects of variables on F_c and R_a values measured during the machining experiments. Optimal values of variables which were obtained using the S/N ratios were found at different levels for F_c and R_a . According to the ANOVA results, the most significant variable affecting to cutting force and surface roughness values was determined as feed rate.

Keywords: Taguchi Method, AISI 316L, Tool Nose Radius, Cutting Force, Surface Roughness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Paslanmaz çelikler, farklı mikroyapı ve kimyasal bileşimlerine bağlı olarak yüksek mekanik özellikler, yüksek korozyon direnci ve düşük ısı iletkenlikler sergilemekte ve bu avantajlarıyla imalat sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [1]. Mekanik özellikler ve korozyon direncinin eşsiz kombinasyonu

sayesinde sağlık, kimya ve elektronik endüstrisi ile nükleer santrallerde kritik yapıdaki parçaların imalatında kullanılan bu çeliklerin işlenebilirliğinde, yüzey kalitesi önemli bir faktördür. Genelde, paslanmaz çelikler %12-25 Cr (Korozyon direncinden sorumludur), %25'e kadar Ni (Östenitik yapının oluşmasını sağlar) içermekte olup, Ni oranının artması işleme sırasında deformasyon sertleşmesinin

artmasına neden olmaktadır. Bu süreçte, S, Pb, Te gibi elementlerin ilavesiyle malzemenin korozyon direnci düşürülmeden işlenebilirliği iyileştirilebilmektedir [2-4].

Paslanmaz çeliklerin üç karakteristiği (yüksek mekanik özellikler, yüksek deformasyon sertleşmesi ve süneklik) işlenebilirlikleri üzerinde en büyük etkiye sahiptir [5]. Bu çelikler, düşük ısı iletkenlik özellikleriyle işlenmesi zor malzemeler sınıfına girmektedir. Bu özellikler yüksek kesme kuvvetleri, yüksek kesme sıcaklığı, hızlı takım aşınması, zor talaş kırılabilirliği, takım kesici kenarına talaş yapışması ve kötü yüzey kalitesine sebep olmaktadır [6]. Talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen termomekanik etki ile oluşan deformasyon sertleşmesi talaşın istenilmeyen biçimde oluşmasına ve titreşimlere neden olabilmektedir. Ayrıca, işleme sırasında meydana gelen yüzey üzerindeki mekanik oluşumlar (BUE vb.) ve deformasyon sertleşmesi parçanın yüzey bütünlüğünü etkileyerek işlenmiş yüzeylerde pürüzlülüğün artmasına ve kalıcı gerilmelere neden olmaktadır [4]. Yapılan çalışmalarda, özellikle kesici takım radyüsünün artması ile artan deformasyon sertleşmesinin işlenmiş yüzeylerde oluşan çekme tipi kalıcı gerilmeleri arttırdığı vurgulanmıştır [7]. Bu bağlamda, talaş kaldırma mekaniğinin anlaşılmasında kesme kuvvetleri anahtar rol oynamaktadır. Özellikle, enerji tüketiminin ve işleme sürecindeki parametrelere (takım malzemesi ve geometrisi, iş parçası vb.) göre gerekli gücün belirlenmesinde kesme kuvvetlerinin önemi büyüktür [8]. Ayrıca, tormalama işleminde iş parçasının plastik deformasyonu için kullanılan enerji ısıya dönüşmekte olup, bu ısının çoğunlukla birinci deformasyon bölgesinde meydana geldiği bilinmektedir. Ancak, deformasyon sırasında meydana gelen sıcaklık, takım geometrisi ve kesme parametrelerine göre değişen takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme ve kesme kuvvetleriyle yakından ilişkilidir. Takım-talaş temas uzunluğu, dolayısıyla takım geometrisi, takım ömrü ve işleme verimliliğini doğrudan etkilemektedir [9]. Diğer yandan, büyük kesici takım radyüsünün kesme bölgesinde kazıma şeklindeki plastik deformasyona neden olması, kesme kuvvetlerinin önemli miktarda artışına ve dolayısıyla enerji tüketimine bağlı işleme maliyetinin yükselmesine sebep olabilmektedir [10].

Son yıllarda, farklı paslanmaz çeliklerin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde, kesme parametrelerinin etkilerinin incelendiği birçok deneysel çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği incelenmiş ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme hızının önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada, AISI 316 paslanmaz çeliğinin tormalanmasında ölçülen esas kesme kuvveti (F_c)'nin daha yüksek olduğu ve bunun malzeme

kimyasal bileşimindeki %2 Mo'den kaynaklandığı vurgulanmıştır [11]. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiC kaplamalı kesici takımla tormalanmasında oluşan F_c 'nin, teorik olarak hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki sapmaların değerlendirilmesi sonucunda, teorik yaklaşımın ortalama %80 doğrulukla kullanılabileceği vurgulanmıştır [12]. AISI 410 martenzitik paslanmaz çeliğin kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür ve CBN kesici takımlar kullanılarak işlenebilirliği incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda, en düşük F_c ve R_a değerlerinin CBN takımla elde edildiği, ancak kısa süreli işlemlerde talaş kırılmaları oluştuğu belirtilmiştir [13]. AISI 304 paslanmaz çeliğin tormalanmasında oluşan kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra kesme sesi üzerinde kesme parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Düşük ilerleme ve yüksek kesme hızında kesme sesi basınç seviyesindeki azalmaya paralel olarak R_a 'nın azaldığı belirtilmiştir [14]. Diğer bir çalışmada, östenitik paslanmaz çeliğin tormalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Optimum kesme parametrelerine göre yapılan doğrulama deneyleri sonucunda, %23,4'lük bir iyileştirme sağlandığı belirlenmiştir [15]. AISI 304 paslanmaz çeliğinin işlenmesinde oluşan R_a için Taguchi yöntemine göre tormalama deneyleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlara göre yapılan varyans analizi sonucunda, R_a üzerinde ilerleme miktarının %51,84 etkili olduğu tespit edilmiştir [16].

Literatürden anlaşılacağı gibi, paslanmaz çelik gibi sünek malzemelerin işlenmesinde kesici takımların yüksek verimlilikte kullanılması için kesme parametrelerinin uygun kombinasyonu gereklidir. Çalışmalarda, genellikle kesme parametreleri ve kesici takım malzemesinin F_c ve R_a gibi işlenebilirlik kriterleri üzerindeki etkilerinin incelendiği, kesici takım geometrisinin çok fazla değerlendirilmediği belirlenmiştir. Bu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çelik malzemelerin orta kesme şartlarında işlenmesi sırasında oluşan F_c ve R_a için kesici takım radyüsü, kesme hızı ve ilerleme miktarının optimizasyonu yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Deneysel Tasarım ve Analizi (Design of Experiment and Analysis)

Deneysel tasarım, kesme parametrelerinin deneysel süreç içerisindeki bilinmeyen özelliklerinin belirlenmesi ve değişkenler arasındaki etkileşimlerin analizi ve modellenmesi için güçlü bir istatistiksel yöntemdir [17]. Endüstriyel alanlarda, Taguchi yöntemi kullanılarak tasarım ve üretim için ürün geliştirme zamanı azaltılmakta ve buna bağlı olarak maliyetler düşürülerek işletmenin kar oranı

artırılabilir [18]. Ayrıca, Taguchi yöntemi geleneksel deney tasarımının dikkate almadığı kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirdiği değişkenliğin denetimine izin vermektedir. Taguchi, bu faktörlere karşı kontrol faktörlerinin seviyelerinin performans karakteristiğini ölçmek için amaç fonksiyonu değerlerini sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürür. S/N oranı, istenilmeyen rastgele gürültü değeri için istenilen sinyal oranı olarak tanımlanmakta olup, deneysel verilerin kalite karakteristiklerini göstermektedir [19, 20]. Amaç fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda S/N oranı olarak ifade edilen “en küçük en iyi, en büyük en iyi ve hedef değer en iyi” olmak üzere üç farklı fonksiyon kullanılmaktadır. Ayrıca, kesme parametrelerinin istatistiksel önemini belirlemek için varyans analizi uygulanmaktadır. Varyans analizi ve S/N oranı yardımıyla kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu belirlenmektedir. Son olarak, Taguchi optimizasyonu ile bulunan optimum işleme parametreleri kullanılarak doğrulama deneyi yapılmakta ve optimizasyonun geçerliliği test edilmektedir [17].

Bu çalışmada, AISI 316L paslanmaz çeliğinin işlenmesinde meydana gelen esas kesme kuvveti (F_c) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Kesici takım radyüsü (r), kesme hızı (V) ve ilerleme miktarı (f) değişken olarak seçilmiş olup, değişkenlerin her biri için üç farklı seviye belirlenmiştir. Deney tasarımında, Taguchi yönteminin L_9 dikey dizisi kullanılmıştır. Değişkenler ve değişken seviyeleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Değişkenler ve seviyeleri (Levels of independent variables)

Değişkenler	Birim	Kod	Seviyeler		
			1	2	3
Kesici takım radyüsü (r)	mm	A	0,4	0,8	1,2
İlerleme miktarı (f)	mm/dev	B	0,1	0,2	0,3
Kesme hızı (V)	m/dak	C	120	150	180

Kesici takım radyüsü ve kesme parametrelerinin optimizasyonu, F_c ve R_a için ayrı ayrı yapılmıştır. Değişkenlerin optimum seviyeleri belirlenirken, işleme verimliliğinin artırılması amacıyla F_c ve R_a değerlerinin en küçük olması gerekmektedir. Bu amaçla, S/N oranlarının hesaplanmasında Eş.1’de verilen performans karakteristiğinin “en küçük en iyi” durumunda olduğu amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

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

Deneysel sonuçlara %95 ($\alpha=0,05$) güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) uygulanarak F_c ve R_a üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmaları ve varyans analizleri Minitab15 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

2.2. Kesme Şartları ve Cihazlar (Cutting Conditions and Equipments)

İşleme deneyleri, kuru kesme şartlarında 10 kW gücündeki Johnford TC35 marka CNC torna tezgahında yapılmıştır. İş parçası olarak $\varnothing 200 \times 45$ mm boyutlarında AISI 316L çelik malzeme kullanılmış olup, malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 2’de verilmiştir. Deneyler sabit kesme derinliğinde ($a=1,6$ mm) gerçekleştirilmiştir. Kesici takımlar, Kennametal firmasından CNMG120404, CNMG120408 ve CNMG120412 formunda temin edilmiştir. Üretici firma tarafından paslanmaz çeliklerin işlenmesi için tavsiye edilen KC 935 kalitesindeki kesici takımlar, $Al_2O_3/TiC/TiCN$ kaplıdır. Kesici takımlar, Kennametal ürünü olan PCLNCR/L 2525 M12 kodlu takım tutucu ile yanaşma açısı 75° olacak şekilde tezgaha bağlanmıştır.

İş parçasının tornalanmasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde; üç kuvvet bileşenini (esas kesme kuvveti F_c , ilerleme kuvveti F_f ve radyal kuvvet F_r) aynı anda ölçebilen KISTLER 9257B tipi piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Değişkenlerin optimizasyonunda, talaş kaldırmada enerji tüketimi açısından birinci derecede öneme sahip olan F_c değerleri dikkate alınmıştır.

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde, Mahr marka M1 model bir yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Standard tablolar yardımıyla örnekleme uzunluğu 0,8 mm, ölçüm uzunluğu 4 mm olarak alınmış olup, filtre olarak 2-RC 75 tipi kullanılmıştır. İşlenebilirlik kriterlerinden birisi olan ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri, ISO 4287 [21] standardı dikkate alınarak, işlenmiş yüzeyler üzerindeki pürüzlülük profilindeki sapmaların aritmetik ortalaması sonucu elde edilmektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

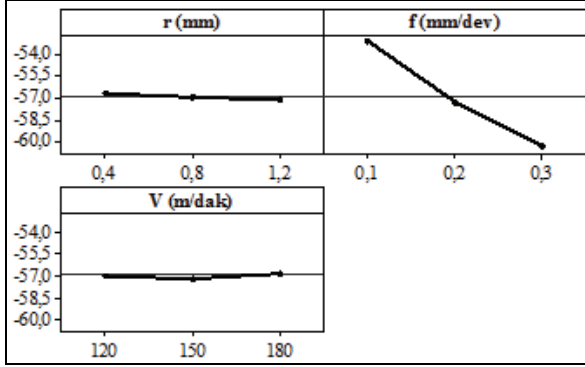
AISI 316L östenitik paslanmaz çelik üzerinde L_9 dikey dizinine göre gerçekleştirilen tornalama işlemleri sırasında oluşan F_c ve R_a değerleri ile Taguchi’nin en küçük en iyi yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. İş parçasının kimyasal bileşimi (Chemical composition of the workpiece)

C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe
0,025	0,454	0,025	0,029	1,777	10,430	16,542	2,295	68,423

3.1. Kesme kuvvetinin analizi (Analysis of cutting force)

F_c 'nin deneysel sonuçları kullanılarak hesaplanan S/N oranları Şekil 1'deki ana etki grafiklerinde gösterilmiştir. Ayrıca, F_c için hesaplanan ortalama S/N oranlarının değişkenlere göre dağılımı Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 1'deki ana etki grafikleri ile Tablo 4'teki S/N oranlarının maksimum ve minimum noktaları incelenecek olursa, F_c üzerinde etkili olan en önemli değişkenin ilerleme miktarı (f) olduğu açıkça görülebilir.



Şekil 1. F_c 'nin S/N oranları için ana etki grafiği (Main effects plot for S/N ratio of F_c)

Şekil 1 ve Tablo 4 incelendiğinde, F_c üzerinde değişkenlerin önem sıralamasının ilerleme miktarı, kesici takım radyüsü ve kesme hızı şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, deneysel olarak ölçülen F_c 'nin r ve f değerlerine göre değişimi Şekil 2'deki yüzey grafiğinde gösterilmiştir.

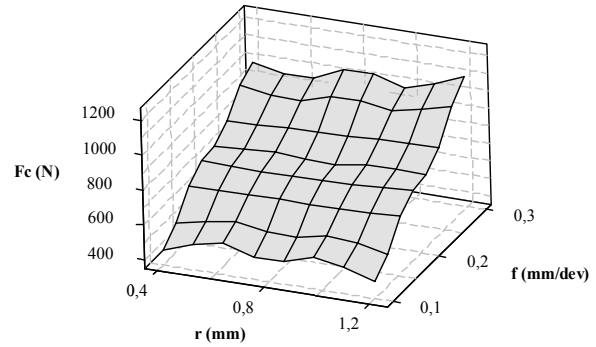
Tablo 4. F_c 'nin ortalama S/N oranları (Mean S/N ratio of F_c)

Değişkenler	S/N oranları			Mak.-Min.
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
r (mm)	-56,67*	-56,97	-57,14	0,47
f (mm/dev)	-53,1*	-57,32	-60,36	7,26
V (m/dak)	-56,94	-57,1	-56,73*	0,21
*Değişkenlerin optimum seviyeleri				

Tablo 3. L_9 dikey dizinine göre deney sonuçları ve S/N oranları (S/N ratios and experimental results according to L_9 orthogonal array)

Deneysel no	A	B	C	F_c (N)	η_{F_c} (dB)	R_a (μ m)	η_{R_a} (dB)
1	0,4	0,1	120	440,56	-52,8801	1,040	-0,3407
2	0,4	0,2	150	726,02	-57,2190	2,328	-7,3397
3	0,4	0,3	180	988,20	-59,8969	3,260	-10,2644
4	0,8	0,1	150	463,18	-53,3150	0,930	0,6303
5	0,8	0,2	180	724,02	-57,1950	2,138	-6,6002
6	0,8	0,3	120	1048,10	-60,4081	2,860	-9,1273
7	1,2	0,1	180	452,05	-53,1037	0,591	4,5683
8	1,2	0,2	120	752,65	-57,5319	1,560	-3,8625
9	1,2	0,3	150	1092,90	-60,7716	2,312	-7,2798

Şekil 2'deki grafik, ilerleme miktarının artışıyla F_c değerlerinin arttığını sergilemekte olup, yukarıda belirtilen sonucu destekler niteliktedir. İlerlemenin artması ile birlikte artan talaş kesit alanına bağlı talaş oluşumu için gerekli kesme gücü ve dolaylı olarak F_c 'nin artışı beklenen bir sonuçtur. Diğer yandan, kesici takım radyüsü arttıkça F_c değerlerinde önemli bir artışın (yaklaşık %2) olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuç, kesici takım radyüsü (r)'nün artmasıyla birlikte azalan yavaşma açısına atıf edilmiş olup, r 'deki artışın daha çok radyal kuvvet (F_r)'i etkileyeceği bilgisi ile paralellik göstermektedir [22]. Ayrıca, kesici takım radyüsünün artmasıyla F_c 'nin doğrusal bir artış eğiliminde olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak, aynı ilerleme miktarı için yapılan deneylerde kesme hızının farklı olmasını göstermek mümkündür (Tablo 3).



Şekil 2. İlerleme miktarı ve radyüsün F_c üzerindeki etkisi (Effect of feed rate and nose radius on F_c)

Değişkenlerin F_c üzerindeki etki seviyelerini belirlemek için yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Burada, her bir değişkenin sonuçlar üzerindeki anlamlılık düzeyini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde katkı oranları (PCR) görülmektedir. ANOVA tablosuna göre, $P < 0,05$ ise değişkenlerin F_c üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilir [20]. ANOVA

tablosundan anlaşılacağı gibi değişkenlerin her biri F_c açısından önemli bulunmuştur. Ancak, değişkenlerin F_c üzerindeki etki oranları (PCR) incelendiğinde en fazla öneme sahip değişken %99,31’lik oranla ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. F_c ’nin S/N oranı için ANOVA sonuçları (ANOVA results for S/N ratio of F_c)

Kaynak	SD	KT	KO	F	P	%PCR
r	2	0,3423	0,1712	127,22	0,008	0,43
f	2	79,7319	39,8659	29628,94	0,000	99,31
V	2	0,2064	0,1032	76,7	0,013	0,26
Hata (e)	2	0,0027	0,0013			0,00
Toplam	8	80,2833				100

Taguchi yönteminde, en uygun sonuçları verecek değişken seviyelerinin belirlenmesinden sonraki aşama, optimizasyonun doğruluğunun test edildiği doğrulama deneylerinin yapılmasıdır. “En küçük en iyi” amaç fonksiyonu ile hesaplanan S/N oranlarına göre F_c için optimum değişken seviyeleri A1, B1 ve C3 olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Bu seviyelere göre elde edilebilecek en düşük kesme kuvveti Eş.2 ve Eş.3 kullanılarak hesaplanmış olup, Tablo 6’da verilmiştir.

$$\eta_G = \bar{\eta}_G + (\bar{x}_o + \bar{\eta}_G) + (\bar{y}_o + \bar{\eta}_G) + (\bar{z}_o + \bar{\eta}_G) \quad (2)$$

$$F_{c_{hes}} = 10^{-\eta_G/20} \quad (3)$$

Optimum değişken seviyeleri ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları Eş.4’ten hesaplanan güven aralığı (CI) değeri dikkate alınarak değerlendirilmektedir [23].

$$CI = \sqrt{F_{0,05}(1, \nu_e) V_e \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (4)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + \nu_T} \quad (5)$$

Toplam deney sayısı ve değişkenlerin serbestlik dereceleri toplamı Eş.5’te yerine konulduğunda $n_{eff} = 1,28$ olarak hesaplanmış olup, deney tekrar sayısı bir olarak uygulanmıştır. $F_{0,05}(1, \nu_e)$ değeri, Tablo 5’teki hata serbestlik derecesi dikkate alınarak ilgili F-tablosundan tespit edilmiştir. Eş.4’deki hata varyansı (V_e), Tablo 5’teki veriler yardımıyla

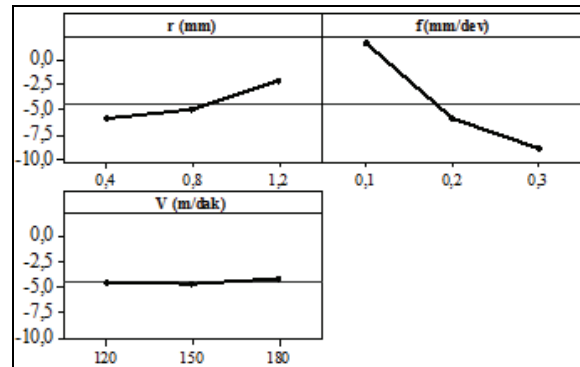
belirlenmiştir. Bulunan değerler Eş.4’te yerine konulduğunda, F_c için güven aralığı (CI) değeri 0,223 dB olarak hesaplanmıştır. Değişkenlerin optimum seviyelerine göre yapılan doğrulama deneyi sonucu ile Eş.2 ve Eş.3 yardımıyla hesaplanan değerlerin karşılaştırılması Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’dan görülebileceği gibi, doğrulama deneyinden elde edilen sonucun S/N oranı ile Eş.2 ve Eş.3 kullanılarak hesaplanan değerlerin S/N oranı arasındaki fark (0,1818 dB), F_c için hesaplanan CI değeri (0,223 dB)’nden küçüktür. Bu sonuç, F_c için gerçekleştirilen optimizasyonun uygunluğunu onaylamaktadır.

3.2. Yüzey pürüzlülüğünün analizi (Analysis of surface roughness)

AISI 316L paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde oluşan R_a değerleri ile değişkenler arasındaki etkileşimler Şekil 3’teki ana etki grafiklerinde S/N oranlarına bağlı olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte, R_a için optimum kesme şartlarının belirlenebilmesi amacıyla hesaplanan ortalama S/N oranları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. R_a ’nın ortalama S/N oranları (Mean S/N ratio of R_a)

Değişkenler	S/N oranları			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Mak.-Min.
r (mm)	-5,982	-5,032	-2,191*	3,791
f (mm/dev)	1,619*	-5,934	-8,890	10,509
V (m/dak)	-4,443	-4,663	-4,099*	0,344
*Değişkenlerin optimum seviyeleri				



Şekil 3. R_a ’nın S/N oranları için ana etki grafiği (Main effects plot for S/N ratio of R_a)

AISI 316L paslanmaz çeliğin tornalanması sonucunda oluşan R_a değerleri üzerinde birincil derecede öneme sahip değişkenin ilerleme miktarı (f) olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3). Tablo 7’deki S/N

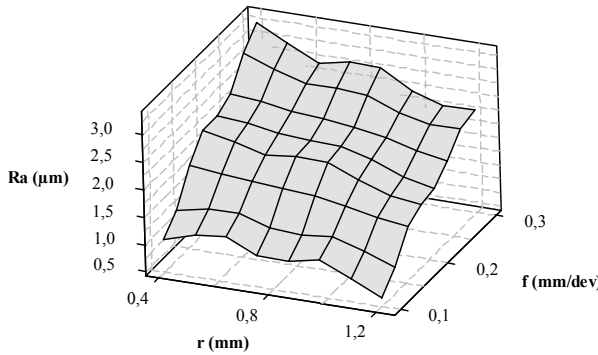
Tablo 6. Doğrulama deneyi sonucu ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması (Comparison of calculated values with confirmatory test result)

Doğrulama deneyi sonuçları		Hesaplanan değerler		Farklar	
$F_{c_{ölç}}$ (N)	S/N ($\eta_{ölç}$, dB)	$F_{c_{hes}}$ (N)	S/N (η_{hes} , dB)	$F_{c_{ölç}} - F_{c_{hes}}$	$\eta_{ölç} - \eta_{hes}$
438,16	-52,8326	429,08	-52,6508	18,08	0,1818

oranlarının maksimum ve minimum noktaları arasındaki fark, bu sonucu destekler niteliktedir. Şekil 3 ve Tablo 7 incelendiğinde, R_a üzerinde değişkenlerin önem sıralamasının f, r ve V şeklinde olduğu görülmektedir.

Şekil 4'te, R_a 'nın kesici takım radyüsü ve ilerleme miktarına göre değişimi yüzey grafiği olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ilerleme miktarındaki artışla beraber R_a değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç, S/N oranlarına göre yapılan değerlendirmeyi desteklemekte olup, R_a 'nın ilerlemenin karesiyle oransal olarak artacağına işaret eden teorik formül ($R_a = 0,321f^2/r$) ile paralellik göstermektedir.

Bununla birlikte, paslanmaz çeliğin işlenmesinde oluşan kalıcı gerilmelerin R_a üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [6]. İlerlemenin artmasıyla birlikte kesme bölgesindeki sıcaklığın arttığı [9] ve oluşan ısının paslanmaz çeliğin düşük ısı iletkenliği nedeniyle takım-talaş ve takım-ışparçası arayüzeyinde yoğunlaştığı bilinmektedir [4]. Bu bağlamda, ilerlemenin artmasıyla işlenen yüzeyde kalıcı gerilmeler artacağından, R_a değerlerinde artışın olması beklenen bir sonuçtur. Diğer taraftan, takım radyüsü (r)'nin artmasıyla R_a 'nın azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu sonuç, r'nin artmasıyla birlikte azalan kesilmemiş talaş kalınlığına bağlı talaş oluşumu ile açıklanabilir. Kesici takım radyüsündeki artışa bağlı olarak, kesici kenar boyunca kesilmemiş talaş kalınlığının azalacağı vurgulanmıştır [24]. Talaş kalınlığının azalmasıyla kesme gücünde ve dolayısıyla kesici takım titreşiminde azalma meydana gelmektedir [25]. Buradan, r'deki artışa bağlı olarak R_a değerlerinin azaldığını söylemek mümkündür.



Şekil 4. İlerleme miktarı ve radyüsün R_a üzerindeki etkisi (Effect of feed rate and nose radius on R_a)

R_a için uygulanan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. ANOVA sonuçları incelendiğinde, R_a üzerinde kesme hızının etkisinin anlamlı olmadığı görülmektedir. Tablo 8 incelendiğinde, R_a için en fazla öneme sahip değişken %87,68 etki oranı ile ilerleme miktarı olurken, kesici takım radyüsünün etki oranı %11,61 olarak bulunmuştur.

Tablo 8. R_a 'nın S/N oranı için ANOVA sonuçları (ANOVA results for S/N ratio of R_a)

Kaynak	SD	KT	KO	F	P	%PCR
r	2	23,338	11,6692	24,8	0,039	11,61
f	2	176,25	88,1249	187,32	0,005	87,68
V	2	0,485	0,2427	0,52	0,660	0,24
Hata (e)	2	0,941	0,4705			0,47
Toplam	8	201,014				100

R_a için optimizasyonun geçerliliğinin test edildiği doğrulama deneyleri, F_c 'de uygulanan yöntemler esas alınarak yapılmıştır. R_a için değişkenlerin optimum seviyeleri, Tablo 7 dikkate alınarak A3, B1 ve C3 olarak belirlenmiştir. Bu seviyelere göre oluşabilecek en düşük yüzey pürüzlülük değeri Eş.2 ve Eş.3 yardımıyla hesaplanmıştır. Optimum değişken seviyeleri (A3B1C3) ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları, Eş. 4'ten hesaplanan güven aralığı (CI) değeri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. R_a için CI değerinin hesaplanmasında, F_c 'de kullanılan hesaplama yöntemi uygulanmıştır. Tablo 8'deki veriler ile hesaplanan V_e değeri hariç, Eş.4'teki diğer sembollerin sayı değerleri aynıdır. Sonuç olarak, R_a için CI değeri 4,17 dB olarak hesaplanmıştır. Optimum seviyelerine göre yapılan doğrulama deneyi sonucu ile Eş.2 ve Eş.3 yardımıyla hesaplanan değerlerin karşılaştırılması Tablo 9'da verilmiştir.

Doğrulama deneyinden elde edilen sonucun S/N oranı ile Eş.2 ve Eş.3 kullanılarak hesaplanan değerlerin S/N oranı arasındaki fark (0,377 dB), R_a için hesaplanan CI değerinden (4,17 dB) oldukça küçüktür. Bu sonuç, R_a için Taguchi optimizasyon yöntemine dayalı olarak tespit edilen optimum değişken seviyelerini onaylamaktadır. AISI 316L östenitik paslanmaz çelik malzemenin orta kesme şartlarında tornalanmasında oluşan ve en önemli işlenebilirlik kriterlerinden olan F_c ve R_a için yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda, en önemli kesme parametresinin ilerleme miktarı (f) olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 9. Doğrulama deneyi sonucu ile hesaplanan değerlerin karşılaştırılması (Comparison of calculated values with confirmatory test result)

Doğrulama deneyi sonuçları		Hesaplanan değerler		Farklar	
$R_{a_{ölç}}$ (N)	S/N ($\eta_{ölç}$, dB)	$R_{a_{hes}}$ (N)	S/N (η_{hes} , dB)	$R_{a_{ölç}} - R_{a_{hes}}$	$\eta_{ölç} - \eta_{hes}$
0,595	4,5096	0,621	4,1326	0,03	0,377

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin tormalanmasında oluşan F_c ve R_a için yapılan optimizasyonda, Taguchi deney tasarımına dayalı optimizasyonun işleme sürecine önemli bir iyileştirme sağladığı belirlenmiştir.
- ANOVA sonuçlarına göre, F_c ve R_a üzerinde en fazla öneme sahip değişken ilerleme miktarı (f) olurken, ikinci sırayı kesici takım radyüsü (r) almıştır. ANOVA sonucuna göre, f 'nin etki oranı F_c için %99,31, R_a için %87,68 olarak belirlenmiştir.
- Kesici takım radyüsündeki artışla birlikte, F_c değerlerinde önemli bir artış olmazken, R_a değerlerinde kayda değer bir azalma meydana gelmiştir.
- F_c ve R_a için değişkenlerin optimum seviyelerinin aynı olmaması, özellikle sünek malzemelerin işlenmesinde, işlenebilirlik kriterine göre değişken seviyelerinin belirlenmesi gereğini ortaya koymaktadır.

SEMOLLER (NOMENCLATURES)

S/N	Sinyal/Gürültü oranı (dB)
Y	Gözlemlenen değer
n	Y değerlerinin sayısı
CI	Güven aralığı değeri
V_e	Hata serbestlik derecesi
V_e	Hata varyansı
n_{eff}	Deney tekrar sayısı
N	Toplam deney sayısı
V_T	Değişkenlerin serbestlik derecelerinin toplamı
r	Doğrulama deneyi sayısı
η_G	Optimum seviyede hesaplanan S/N oranı (dB)
$\bar{\eta}_G$	Değişkenlerin S/N oranları ortalaması (dB)
\bar{x}_o	x 'in optimum seviyesi S/N oranı (dB)
\bar{y}_o	y 'nin optimum seviyesi S/N oranı (dB)
\bar{z}_o	z 'nin optimum seviyesi S/N oranı (dB)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kosa, T., Ronald, P., "Machining of stainless steels", **Handbook: Machining**, Vol. 16, 9th Edition, Editor: J. R. Davis, Metals Park, Ohio, 1989.
2. M'Saoubi, R., Outeiro, J.C., Changeux, B., Lebrun, J.L., Dias, A.M., "Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels", **Journal of Materials Processing Technology**, 96, 225-233, 1999.
3. Darwin, J.D., Lal, D.M., Nagarajan, G., "Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18%Cr martensitic stainless steel", **Journal of Materials Processing Technology**, 195, 241-247, 2008.
4. Outeiro, J.C., Umbrello, D., M'Saoubi, R., "Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 46, 1786-1794, 2006.
5. Chang, C.S., Tsai, G.C., "A force model of turning stainless steel with worn tools having nose radius", **Journal of Materials Processing Technology**, 142, 112-130, 2003.
6. Maranhao, C., Davim, J.P., "Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: Numerical simulation and experimental validation", **Simulation Modelling Practice and Theory**, 18, 139-156, 2010.
7. Nasr M.N.A., Ng, E.G., Elbestawia, M.A., Modelling the effects of tool-edge radius on residual stresses when orthogonal cutting AISI 316L, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 47, 401-411, 2007.
8. Kamely, M.A., Noordin, M.Y., "The impact of cutting tool materials on cutting force", **World Academy of Science Engineering and Technology**, 75, 904-907, 2011.
9. Korkut, I., Boy, M., Karacan, I., Seker, U., "Investigation of Chip-back temperature during machining depending on cutting parameters", **Materials and Design**, 28, 2329-2335, 2007.
10. Dogra, M., Sharma, V.S., Dureja, J., "Effect of tool geometry variation on finish turning-A Review", **Journal of Engineering Science and Technology Review**, 4 (1), 1-13, 2011.
11. Ciftci, İ., "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools", **Tribology International**, 39, 565-569, 2006.
12. Tekaslan, Ö., Gerger, N., Günay, M., Şeker, U., "AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin titanyum karbür kaplamalı kesici takım ile tormalama işleminde kesme kuvvetlerinin incelenmesi", **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 13 (2), 129-286, 2007.
13. Özer, A., Bahçeci, E., "AISI 410 martensitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplamasına bağlı işlenebilirliği", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 24 (4), 693-698, 2009.
14. Tekiner, Z., Yeşilyurt, S., Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, **Materials and Design**, 25, 507-513, 2004.
15. Li, S., Liu, Y., Zhu, R., Li, H., Ding, W., "Study on turning parameter optimization of austenitic stainless steel", **Applied Mechanics and Materials**, 34-35, 1829-1833, 2010.
16. Selvaraj, D.P., Chandramohan, P., "Optimization of surface roughness of AISI 304 austenitic stainless steel in dry turning operation using

- Taguchi design method”, **Journal of Engineering Science and Technology**, 5 (3), 293-301, 2010.
17. Taguchi, G., Chowdhury, S., Wu, Y., **Taguchi's Quality Engineering Handbook**, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 2005.
 18. Zhang, J.Z., Chen, J.C., Kirby, E.D., “Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method”, **Journal of Materials Processing Technology**, 184, 233–239, 2007.
 19. Gologlu, 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 Materials Processing Technology**, 206, 7–15, 2008.
 20. Günay, M., Yücel, E., “Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron”, **Measurement**, 46 (2), 913–919, 2013.
 21. ISO 4287:1997, **Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: profile** method-terms, definitions and surface texture parameters, international organisation for standardisation, Geneva, 1997.
 22. Chen, W., “Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 40, 455–466, 2000.
 23. Ross, P.J., **Taguchi Techniques for Quality Engineering**, McGraw Hill, New York, 1996.
 24. Abdullah, M.F., Sulong, A.B., Chua, I. H., Haron, C.H.C., Ghani, J. A., Effects of insert nose radius and processing cutting parameter on the surface roughness of AISI 316 stainless steel, **Key Engineering Materials**, 447-448, 51-54, 2010.
 25. Nath, C., Rahman, M., Neo, K.S., “A study on the effect of tool nose radius in ultrasonic elliptical vibration cutting of tungsten carbide”, **Journal of Materials Processing Technology**, 209, 5830–5836, 2009.