

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Analysis By Taguchi and ANOVA Methods For The Effect Of The Cutting Tool Height Adjustment On Cutting Forces In Turning AISI304 Stainless Steel Material

Ercan DEMİRER^a, Yunus KAYIR^b

Submitted: 03.11.2021 Revised: 23.12.2022 Accepted: 07.02.2022 doi:10.30855/gmbd.2022.01.07

ABSTRACT

In this study, the effects of cutting tool height adjustment on cutting force components in turning were investigated. The experiments were carried out on a CNC lathe using AISI304 stainless steel material, which is a reference material. In the experiments, carbide inserts with a SNMG form were used. The cutting tools were tested for three different levels: at the part axis (0 mm), above of the part axis (+0.5 mm), and at below of the part axis (-0.5 mm). Moreover, three different cutting speeds (100, 150 and 225 m/min), three different feeds (0.15, 0.25 and 0.35 mm/rev), three different depths of cut (0.8, 1.3 and 2 mm) and two different insert radius (0.4 and 0.8 mm) were considered into experiments. Cutting force components (F_c , F_f , F_r) were measured instantaneously with a standard dynamometer. Taguchi and ANOVA analysis were done to figure out the effect of the setting of the cutting tool height on the cutting forces. As a result of the evaluation, it is seen that the cutting forces were obtained lower when the cutting tool is adjustment at the part axis and above of the part axis. Otherwise, the cutting forces were measured higher, while the setting the height of cutting tool is at below of the part axis. As the depth of cut and feed rate increased in the experiments, the effect of cutting tool height adjustment on cutting forces also increased. The parameters that are the depth of cut and the feed rate were identified the major effect on the cutting forces.

Keywords: Machinability, Stainless steel, Cutting forces, Tool height setting

^a Gazi University,
Technology Faculty,
Dept. of Manufacturing Engineering
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0001-5265-7854

^b Gazi University,
Technology Faculty,
Dept. of Manufacturing Engineering
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0001-6793-7103

*Corresponding author:
ercandemirer06@gmail.com

AISI304 Paslanmaz Çeliğin Tornalamasında Kesici Takım Yükseklik Ayarının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Taguchi ve ANOVA Yöntemiyle Analizi

ÖZ

Bu çalışmada, tornalamada kesici takım yükseklik ayarının kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel CNC torna tezgahında, referans malzeme niteliğindeki AISI304 paslanmaz çelik malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel, SNMG formulu karbür uçlar kullanılmıştır. Karbür uçlar, iş parçası ekseninde (0 mm), iş parçası ekseninden yukarıda (+0.5 mm) ve iş parçası ekseninden altıda (-0.5 mm) olmak üzere üç farklı seviyede bağlanarak denenmiştir. Uygulamalarda, üç farklı kesme hızı (100, 150 ve 225 m/dak), üç farklı ilerleme (0.15, 0.25 ve 0.35 mm/dev), üç farklı kesme derinliği (0.8, 1.3 ve 2 mm) ve iki farklı kesici uç yarıçapı (0.4 ve 0.8 mm) kesme parametresi olarak alınmıştır. Kesme kuvveti bileşenleri (F_c , F_f , F_r) standart bir dinamometre ile anlık olarak ölçülmüştür. Ölçülen kesme kuvvetleri üzerinde kullanılan deney parametrelerinin etkisinin belirlenmesi için Taguchi ve ANOVA analizleri gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, kesici takımın, iş parçası ekseninde ve iş parçası ekseninden yukarıda ayarlanması durumunda kesme kuvvetleri bileşenlerinde değişim miktarı düşük olurken, aşağıda ayarlanmasının kesme kuvvetleri bileşenlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Deneysel kesme derinliği ve ilerleme miktarı arttıkça kesme kuvvetleri bileşenlerinde kesici takım yükseklik ayarının etkisi artmıştır. Kesme kuvveti bileşenlerinin artışında en büyük etkiye sahip faktörlerin kesme derinliği ve ilerleme miktarı olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İşlenebilirlik, Paslanmaz çelik, Kesme kuvvetleri, Takım yükseklik ayarı

1. Giriş (Introduction)

Tornalama işlemlerinde kesici takım ucunun iş parçası ekseninde ayarlanması büyük önem arz etmektedir. İş parçası ekseninde ayarlanmayan bir kesici takımın performansı değişecektir. Universal torna tezgahlarında kesici takım yükseklik ayarı için birçok geleneksel yöntem mevcut olmakla birlikte araştırmacıların geliştirdiği yükseklik ayarlı takım tutucularla da bu sağlanmıştır [1-3]. Bu ayarlama etkin rolü, operatör üstlenmiş ve takım yükseklik ayarı torna tezgahında bulunan gezer punta veya ayna tarafına bağlanan bir sabit punta yardımıyla göz yöntemiyle yapılmıştır. Alın tornalama ile iş parçası ekseninde kalan malzemenin (meme) ölçümüyle de takımın yükseklik ayarı, yaklaşık olarak ayarlanabilmiştir. Ancak bu yöntem küçük yavaşma açısına sahip kesici takımlar için imkansızdır. CNC (Computer Numerical Control) torna tezgahlarında ise durum biraz daha farklı ve kısıtlayıcıdır. CNC torna tezgahında takımların ve/veya takım tutucuların bağlandığı bölüme taret (ATC: Automated Tool Changer) adı verilmektedir. Taretin ve iş parçasının bağlı bulunacağı iş milinin (ayna, pens vb.) ekseninin, tezgahın üretimi sırasında belirlendiği görülmektedir [4]. Zaman içerisinde kullanıma bağlı olarak taret-iş mili ekseninde hatalar oluşmaktadır, bu hatanın giderilmesi zaman kaybına sebep olurken; uzman bir personele ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle bu ihtiyacın takım tezgahı üreticileri tarafından karşılandığı görülmektedir [5]. Aksi takdirde takımın mevcut konumu ancak eksenden aşağıda olduğu durumda, kesici takım altına sentiller beslenerek ayarlanabilmektedir. Kesici takım-iş parçası yükseklik ayarında yalnızca tezgah ve takım tutucu değil kesici takımında etkin rol alacağı göz ardı edilmemelidir.

Yapılan literatür araştırmasında kesici takım yükseklik ayarının etkileri üzerine deneysel çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, talaş kaldırma sırasında pekleşme eğilimi gösteren [6] ve işlenebilirlik testlerinde referans malzeme niteliğindeki AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin CNC torna tezgahında işlenmesinde, kesme parametrelerinin ve kesici takım yükseklik ayarının kesme kuvvetleri bileşenlerine etkisi Taguchi ve ANOVA yöntemiyle incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Deney düzeneği ve numuneler (Experimental Setup and Samples)

Deney düzeneği, Nex-106 TAKISAWA marka CNC torna tezgahı üzerine kurulmuştur. Deneylerde kesme kuvveti bileşenlerini ölçmek amacıyla KISTLER type-9272 çok eksenli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre, CNC torna tezgahının üzerinde bulunan taret (ATC: Automated Tool Changer) kısmına, tasarlanarak imalatı yapılan aparatlar ile bağlanmıştır. Kesici takım için dinamometrenin üzerine de bir aparat (takım tutucu) tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir (Şekil 1 ve Şekil 6).

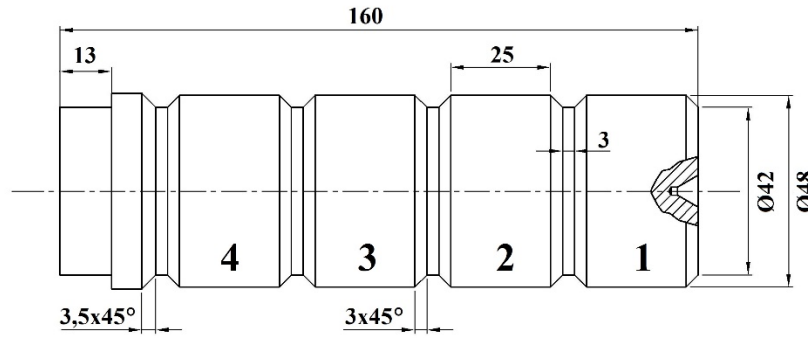


Şekil 1. CNC torna genel görünüm ve taşınabilir ölçüm kolu (CNC lathe overview and portable measuring arm)

Dinamometreyi tarete ve kesici takımı da dinamometreye bağlayan aparatlar, yüksek mukavemet, iyi tokluk ve yüksek titreşim sönümlenme özellikleri gösteren küresel grafitli dökme demir malzemesinden imal edilmiştir [7]. Dinamometre ve takım tutucu, kullanılan kesici takımın yaklaşık +/- 0.01 mm hassasiyetinde tezgah çalışma eksenine paralel ayarlanmış ve sabitlenmiştir. Sabitlenen takım tutucu tabanı referans alınarak iş mili ekseni ve takım tutucu tabanı arasındaki yükseklik farkı ölçülmüştür. Ölçüm için taşınabilir koordinat ölçüm kolu (Portable Coordinate Measuring Arm) kullanılmıştır (Şekil 1). Ölçümde, iş parçası ekseni bulunmuş ve takım tutucu tabanı düzlemi belirlenmiştir. Kullanılan cihazın noktasal ölçüm hassasiyeti, ölçüm yapılan boyuta bağlı değişkenlik göstermekte olup bu ölçüm için yaklaşık +/- 0.018 mm dir [8].

2.2. Deney malzemeleri ve deneyin yapılışı

Yapılan deneysel çalışmada, AISI304 östenitik paslanmaz çelik, iş parçası olarak kullanılmıştır. Piyasadan temin edilen Ø50 mm numuneler 160 mm boyunda kesilerek Şekil 2'deki gibi hazırlanmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. Deney malzemesinin sertlik değeri 190 HB olarak ölçülmüştür. İş parçasının aynaya bağlanmasından kaynaklanan salgının önüne geçmek için deney öncesinde her parça için 1 mm (çapta; 2 mm) kesme derinliğinde talaş kaldırılmıştır. Böylelikle deney numune çapı Ø48 mm ve her bir deney için uzunluğu 25 mm olarak çalışma yapılmıştır. Deney numuneleri ayna-punta arasında sökülmeden her bir numuneden 4 adet deney, kuru işlemeyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Deney parçaları şekil ve ölçüleri (Shape and dimensions of test pieces)

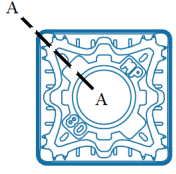
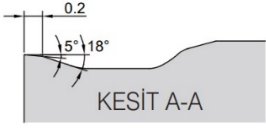
Tablo 1. AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of AISI 304 stainless steel)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Cu
0.059	0.375	1.499	0.034	0.006	18.63	0.425	8.84	0.002	1.130

Deneylerde östenitik paslanmaz çelikler için önerilen kesici uç ve bu uca uygun kesici takım (kater) dikkate alınarak 45° yavaşma açısına ve negatif yönlü 7° geriye eğim açısına sahip TSDNN2020K12 kodlu kesici takım (kater) kullanılmıştır. Kodlamadan da anlaşılacağı (2020) gibi takım yüksekliği 20 mm olarak piyasaya sunulmaktadır. Kesici takıma uygun aynı özelliklere sahip iki ayrı uç yarıçapında kesici uçlar (İncelenen deneysel çalışmalar ve tedarikçi firma görüşü alınarak) seçilmiştir (Tablo 2). Seçilen kesici ucun 8 köşesi kullanılabilir. Böylelikle her deney için yeni bir köşe kullanılmış ve kesici uç üzerindeki talaş kaldırmanın etkileri giderilmiştir. Deneylerde kullanılacak olan M (+/-0.13) toleransına sahip kesici uçların her birinin kalınlıkları CMM (Coordinate Measuring Machine) cihazında ölçülmüştür. Ölçülen uçlarda kullanılan 8 köşe (4 köşe üst yüzey ve 4 köşe alt yüzey) için ölçülerin değişmediği ancak kesici uçlar arasında kalınlıklarının 4.75 mm ile 4.77 mm arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.

Takımın fonksiyonel yüksekliği (HF) ölçülmüş ve ortalama HF yüksekliği 19.998 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Böylelikle kesici takım ve iş parçası konumlandırması yaklaşık +/- 0.03 mm hassasiyetinde sağlanmıştır. Kesici takım yüksekliğinin ayarlanması için mikrometreyle ölçüm kontrolü yapılan 1 mm ve 0.5 mm kalınlığında sentiller (hassas altlık) kullanılmıştır.

Tablo 2. Kesici uç özellikleri (Insert specifications)

Kod	Desen	Uç Geometrisi	Kalite	Uç yarıçapı
SNMG 1204... - MP			MT-TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN M25	0.4 0.8



HF: Fonksiyonel yükseklik H: Takım sapı yüksekliği

Şekil 3. Kesici takım kısım ve yükseklikleri [9] (Cutting tool parts and heights)

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ISO3685 şartları ve kesici takım firmasının önerileri dikkate alınarak belirlenmiştir ve Tablo 3'te verilmiştir. Bu çalışmada (2x3x3x3) 162 deney yapılması gerekmektedir. Deneylerin güvenilirliği için 2 tekrarlı yapılacağından toplamda 324 deney yapılmasına ihtiyaç duyulacaktır. Yapılacak deney sayısının oluşturduğu maliyeti azaltmak ve doğru sonuçlara ulaşmak için Taguchi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 3. Kesme Parametreleri (Cutting Parameters)

Uç Yarıçapı (mm)	0.4	0.8	
Kesme Hızı (m/dak)	100	150	225
İlerleme Miktarı (mm/dev)	0.15	0.25	0.35
Kesme Derinliği (mm)	0.8	1.3	2
Takım Yükseklik Ayarı (mm)	-0.5	0	+0.5

2.3. Kesici takım yükseklik ayarı ve kesme açıları ilişkisi (Cutting Tool Height Adjustment and Cutting Angles Relationship)

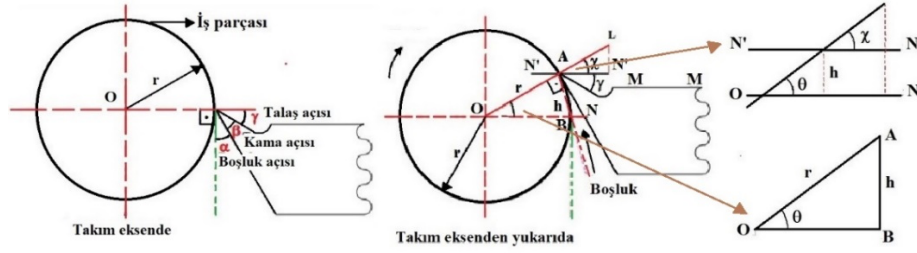
Kesici takımın iş parçası eksenine olan yükseklik ayarı, talaş açısı (γ) ve boşluk açısını (α) değiştirecektir. Kesici takım, iş parçası ekseninden yüksekteyken talaş açısı artacak ancak boşluk açısında azalma görünecektir. Kesici takım, iş parçası eksenin altında olduğunda tersi gerçekleşecek ve talaş açısı azalacaktır. Açılarda oluşan değişim, iş parçasının farklı çapları için değişiklik gösterecektir. Talaş kaldırma çapına bağlı değişen açılar kesici takımın yükseklik ayarına göre Şekil 4 ve Eşitlik 1,2,3'teki trigonometrik oranla hesaplanabilir [10].

$$\sin^{-1} \theta = h/r \quad (1)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 - \sin^{-1} \theta \quad (2)$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 - \sin^{-1} \theta \quad (3)$$

Burada, θ kesici takımın iş parçası eksenine olan açısını, α_1 eksenindeki boşluk açısını, α_2 yeni oluşan boşluk açısını, γ_1 eksenindeki talaş açısını ve γ_2 yeni oluşan talaş açısını simgelemektedir. Şekil 4'te h kesici takımın eksenden yüksekliği, r iş parçası yarıçapı, χ yükseklikle oluşan takım düzlemine olan açıdır ve $\chi = \theta$. M kesici takım düzlemidir ve N' kesici takım düzlemine paraleldir.



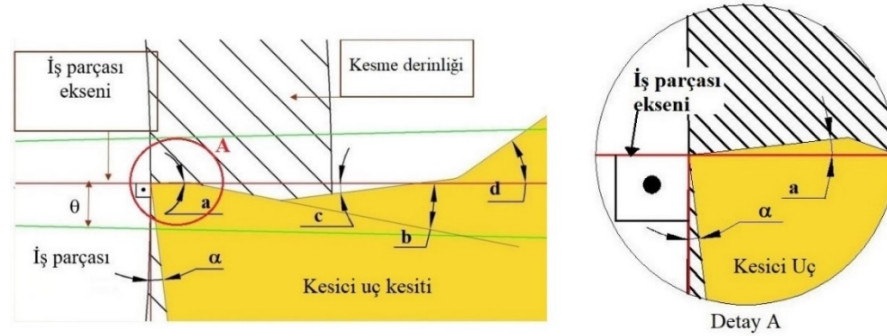
Şekil 4. Kesici takım yükseklik ayarı ve açıları[10] (Cutting tool height adjustment and angles)

Deneylerde kullanılan kesici uca ait form açılarının belirlenmesi için bir adet kesici uç, tel erozyon tezgahında kesilmiş ve takım ölçme (tool presetter) cihazıyla ölçülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Kesici uç form açıları (Angles depending on the cutter cross section and form)

Deneylerde kullanılacak takım tutucunun eğim açısıyla değişen açılar ve kesici uç için yükseklik ayarına bağlı değişen açılar Şekil 6'da gösterilmiştir. Tablo 4'te yükseklik ayarıyla elde edilen açı değerleri verilmiştir.



Şekil 6. Kesici uç kesiti ve formuna bağlı açılar (Angles depending on the cutter cross section and form)

Tablo 4. Kesici uç ve iş parçası eksenine bağlı açılar (Angles relative to the cutting tool tip and workpiece axis)

Ap (mm)	H (mm)	α°	a°	b°	c°	d°
0.8	-0.5	8.23	-3.23	9.77	-8.23	-36.23
	0	7.00	-2.00	11.00	-7.00	-35.00
	+0.5	5.77	-0.77	12.23	-5.77	-33.77
1.3	-0.5	8.26	-3.26	9.74	-8.26	-36.26
	0	7.00	-2.00	11.00	-7.00	-35.00
	+0.5	5.74	-0.74	12.26	-5.74	-33.74
2	-0.5	8.30	-3.30	9.70	-8.30	-36.30
	0	7.00	-2.00	11.00	-7.00	-35.00
	+0.5	5.70	-0.70	12.30	-5.70	-33.70

Ap: Kesme derinliği H: Kesici takım yüksekliği

Tablo 4'te görüldüğü üzere kesici takım yükseklik ayarı iş parçası eksenine yukarıda olduğunda; boşluk açısı (α), birinci eğim açısı (a), üçüncü eğim açısı (c) ve talaş kırıcı duvarı açısı (d) azalmıştır. Ancak ikinci eğim açısında (b) artış görülmüştür. Kesici takımın iş parçası ekseninden aşağıda olduğu durumda tersi gerçekleşmiştir.

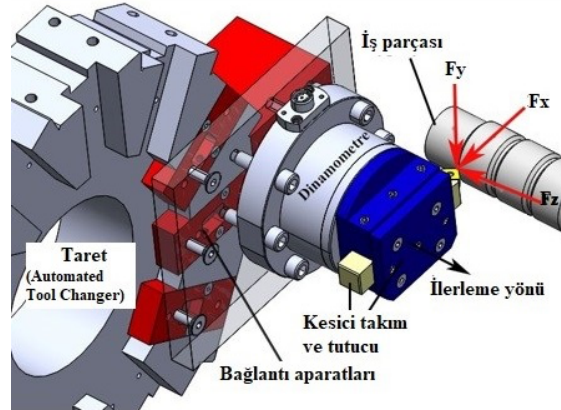
2.4. Kesme kuvvetleri ve ölçümü (Cutting Forces and Measurement)

Deneyler sırasında meydana gelen kesme kuvveti bileşenleri bir dinamometre ile ölçülmüştür. Bu çalışmada, CNC torna tezgahı taretine (ATC: Automated Tool Changer) bağlanan dinamometre ile ölçülen kuvvetlerin (F_x , F_y , F_z) CNC tornada talaş kaldırma işleminde karşılıkları Şekil 7'ye göre aşağıda verilmiştir.

F_x : F_r (Radyal kuvvet)

F_y : F_c (Teğetsel (Esas kesme) kuvvet)

F_z : F_f (İlerleme kuvveti)



Şekil 7. Dinamometre ile ölçülen kesme kuvvetleri ve kesici takım montaj detayı (Cutting forces measured by dynamometer and cutting tool assembly detail)

2.5. Taguchi Yöntemi (Taguchi Method)

Taguchi yöntemi, özellikle talaş kaldırma deneylerinin maliyet ve süresini azaltmak için en uygun kesme parametrelerini belirlemek amacıyla sık kullanılan bir yöntemdir. Literatürde yapılan çalışmalarda, genellikle Taguchi yöntemi ile tasarlanan talaş kaldırma deneylerinde, kullanılan parametrelere (ilerleme miktarı, kesme derinliği, kesici takım formu vb.) bağlı kesme kuvveti bileşenleri, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü gibi deney sonuçlarında en uygun parametrelerin tespiti yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarıyla S/N oranları hesaplanarak ANOVA istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir [11-15]. Bu çalışmada da bir istatistiksel analiz programı kullanılarak Taguchi modeli oluşturulmuş ve model için kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 5'te verilmiştir.

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

Faktör	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
Rd	0.4	0.8	-
V	100	150	225
F	0.15	0.25	0.35
Ap	0.8	1.3	2
H	-0.5	0	+0.5

Rd: Kesici uç yarıçapı (mm) **V**: Kesme hızı (m/dak) **F**: İlerleme miktarı (mm/dev) **Ap**: Kesme derinliği (mm)
H: Kesici takım yükseklik ayarı (mm)

Tablo 5 incelendiğinde Rd faktörü haricinde diğer faktörlerin 3 seviyesi olduğu anlaşılmaktadır. 2 seviyesi bulunan Rd faktörünü de modele dahil etmek için Taguchi karma (mixed) modeli kullanılmıştır. Araştırmalar neticesinde $L_{36}(2^1 3^4)$ modelinin uygun olacağı kararlaştırılmıştır (Tablo 6). Oluşturulan Taguchi modeline göre 36 deney yapılmıştır. Taguchi karma $L_{36}(2^1 3^4)$ deney modeli ve deney sonuçlarında elde edilen kuvvet değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Kuvvetler için ayrı ayrı Taguchi analizleri yapılmış ve analizlerde "smaller is better" (en küçük en iyi) yöntemi kullanılmıştır. "Smaller is better" analizi Eşitlik 4'e göre değerlendirilmektedir. Analiz sonucunda ortaya çıkan (S/N) sinyal gürültü oranı ve faktörlerin ortalama etkileri (main effects) değerlerinden grafikler oluşturulmuştur. Faktörlerin etki değerlerini görmek ve yöntemin doğruluğunun tespiti için ANOVA analizleri yapılmıştır.

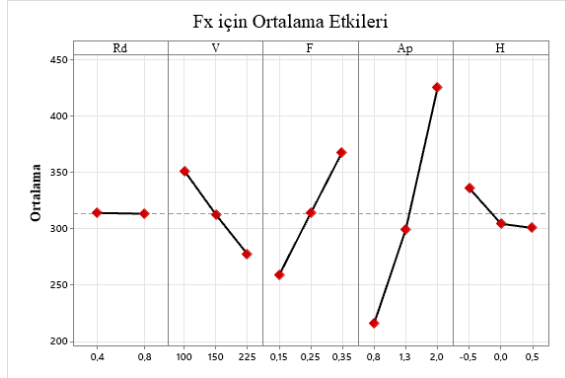
$$n = -\log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_i^2 \right] \quad (4)$$

Tablo 6. Taguchi L36 deney modeli ve kuvvetler (Taguchi L36 experimental model and forces)

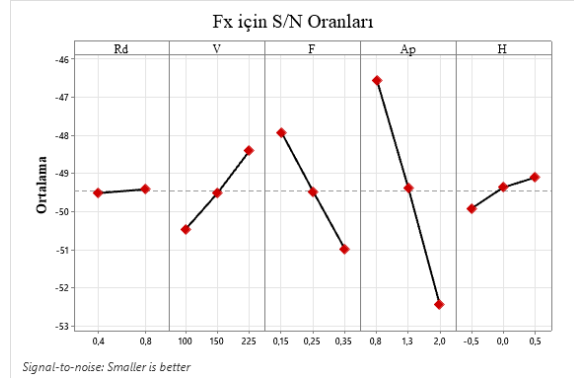
D.No.	Rd mm	V m/dak	F mm/dev	Ap mm	H mm	F _x (F _r) N	F _y (F _c) N	F _z (F _i) N
1	0.4	100	0.15	0.8	-0.5	176	296	147
2	0.4	150	0.25	1.3	0	289	621	214
3	0.4	225	0.35	2	+0.5	470	1234	343
4	0.4	100	0.15	0.8	-0.5	179	294	147
5	0.4	150	0.25	1.3	0	284	617	215
6	0.4	225	0.35	2	+0.5	482	1230	348
7	0.4	100	0.15	1.3	+0.5	263	455	216
8	0.4	150	0.25	2	-0.5	418	978	338
9	0.4	225	0.35	0.8	0	229	499	146
10	0.4	100	0.15	2	0	365	658	321
11	0.4	150	0.25	0.8	+0.5	212	420	146
12	0.4	225	0.35	1.3	-0.5	344	840	232
13	0.4	100	0.25	2	-0.5	487	1015	371
14	0,4	150	0.35	0.8	0	270	575	168
15	0,4	225	0.15	1.3	+0.5	231	408	181
16	0,4	100	0.25	2	0	461	1010	362
17	0,4	150	0.35	0.8	+0.5	262	535	164
18	0,4	225	0.15	1.3	-0.5	227	450	185
19	0,8	100	0.25	0.8	+0.5	220	396	147
20	0,8	150	0.35	1.3	-0.5	362	847	239
21	0,8	225	0.15	2	0	322	646	255
22	0,8	100	0.25	1.3	+0.5	300	605	213
23	0,8	150	0.35	2	-0.5	515	1273	348
24	0,8	225	0.15	0.8	0	153	257	110
25	0,8	100	0.35	1.3	-0.5	394	888	263
26	0,8	150	0.15	2	0	341	643	273
27	0,8	225	0.25	0.8	+0.5	201	390	130
28	0,8	100	0.35	1.3	0	373	833	256
29	0,8	150	0.15	2	+0.5	353	657	278
30	0,8	225	0.25	0.8	-0.5	199	416	128
31	0,8	100	0.35	2	+0.5	544	1250	390
32	0,8	150	0.15	0.8	-0.5	171	290	127
33	0,8	225	0.25	1.3	0	269	609	192
34	0,8	100	0.35	0.8	0	278	540	164
35	0,8	150	0.15	1.3	+0.5	245	436	188
36	0,8	225	0.25	2	-0.5	398	975	297

2.5.1. F_x kuvvetinin değerlendirilmesi ve grafiklerin yorumu (Evaluation of F_x force and interpretation of graphics)

F_x kuvvet değerleriyle Taguchi analizi sonucunda elde edilen faktörlerin ortalama etkileri (main effects) ve S/N oranlarına ait grafikler aşağıda (Şekil 8 ve Şekil 9) verilmiştir.



Şekil 8. Faktörler için F_x ortalamaları
(F_x means for factors)



Şekil 9. F_x için S/N oranlarının etkisi
(Effect of S/N ratios for F_x)

Şekil 8 incelendiğinde F_x kuvveti için en büyük değişime sahip faktörün Ap (0.8, 1.3, 2 mm) olduğu anlaşılmaktadır. Ap faktörünü sırasıyla F, V, H faktörleri izlemektedir. Rd (0.4, 0.8 mm) faktörünün değişiminin çok düşük olduğu gözlemlenmektedir. Benzer bir durum Şekil 9'da verilen S/N oranları grafiği içinde geçerlidir. S/N oranları grafiği incelendiğinde oranlar arasındaki en büyük değişim Ap faktöründe görülmektedir ve Rd faktöründeki değişim en düşüktür. Analiz sonuçlarının daha anlaşılır olabilmesi için Şekil 8 ve Şekil 9'a ait tablolar aşağıda verilmiştir (Tablo 7 ve Tablo 8).

Tablo 7. F_x kuvveti için ortalamalar (Means for F_x force)

Level	Rd	V	F	Ap	H
1	313.8	351	258.9	215.5	335.7
2	313.1	312.1	313.6	299.3	304.2
3		277.1	367.8	425.5	300.4
Delta	0.7	73.9	108.9	210	35.3
Rank	5	3	2	1	4

Tablo 8. F_x kuvveti için S/N değerleri (S/N values for F_x force)

Level	Rd	V	F	Ap	H
1	-49.5	-50.45	-47.9	-46.52	-49.91
2	-49.4	-49.5	-49.46	-49.37	-49.35
3		-48.39	-50.98	-52.45	-49.08
Delta	0.1	2.05	3.08	5.93	0.82
Rank	5	3	2	1	4

F_x kuvvetinin faktörlere göre değişimini (Delta) veren Tablo 7'de en fazla değişimin (Delta) Ap (fark: 210) faktöründe olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 9'da yer alan S/N oranı değişimi (Delta) incelendiğinde en fazla değişim (Delta) aynı şekilde Ap (fark: 5.93) faktöründe olduğu görülmüştür. Buradan hareketle F_x (radyal kuvvet) kuvveti artışında en etkili parametrenin Ap (kesme derinliği) olduğu görülmüş ve kesme derinliği arttıkça F_x kuvvetinin artış yönünde olacağı anlaşılmıştır. Ap faktöründen sonra seviyeler arasındaki en büyük değişim F (0.15, 0.25, 0.35 mm/dev) faktördür (fark: 108). Tablo 8'de verilen S/N oranları da bu görüşü desteklemektedir. Tablo 7'de diğer faktörlerin değişimleri (Delta) sırasıyla V (fark:73.9), H (fark: 35.3), Rd (fark:0.7) şeklindedir. Analiz sonuçları F_x kuvveti için kesici takım yükseklik ayarının (H) kesici uç yarıçapından (Rd) daha etkili bir parametre olduğunu ortaya koymuştur. Kesici takım ucu, iş parçası ekseninin altında (H: -0.5 mm) olduğu durumda F_x kuvvetinin, ekseninde (H:0 mm) olduğu duruma göre arttığı (ortalama fark:31.5; S/N fark:0.56) grafiklerden ve tablolardan anlaşılabilir. Eksenin yukarısında (H: +0.5 mm) olduğu durumda, ekseninde (H: 0 mm) olduğu duruma göre faktörde oluşan değişim daha düşüktür (ortalama fark:3.8; S/N fark:0.27). F_x kuvveti için yapılan Taguchi analizi sonucunda faktörlerin etki miktarını görmek için ANOVA analizi gerçekleştirilmiş ve analiz sonucu Tablo 9'da verilmiştir. F_x kuvveti için ANOVA tablosu incelendiğinde

V, F, Ap ve H faktörlerinin anlamlı ($P < 0.05$) olduğu ancak Rd faktörünün istatistiksel olarak anlamlı ($P > 0.05$) olmadığı görülmüştür. Faktörlerin yüzde etkilerine bakıldığında: Ap faktörü 71.67%; F faktörü 23.27%; V faktörü 2.80% ve H faktörü 0.60% olduğu anlaşılmaktadır. Oluşturulan model için belirleme katsayısı R-sq(adj): 97.75% olarak bulunmuştur (Tablo 10). H (kesici takım yükseklik ayarı) faktörünün F_x kuvveti için etkisinin düşük (0.60%) olduğu (Tablo 9) ancak anlamlı olduğu değerlendirilmiştir.

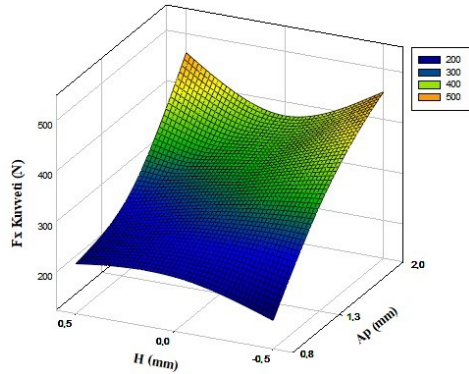
Tablo 9. F_x kuvveti için ANOVA tablosu (ANOVA table for F_x force)

Source	DF	Seq SS	Faktör Etkisi	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Rd	1	3	0.00%	3	3	0.01	0.9140
V	2	11222	2.80%	11222	5611	21.79	0.0000
F	2	93390	23.27%	93390	46695	181.31	0.0000
Ap	2	287644	71.67%	287644	143822	558.44	0.0000
H	2	2396	0.60%	2396	1198	4.65	0.0187
Error	26	6696	1.67%	6696	258		
Total	35	401351	100.00%				

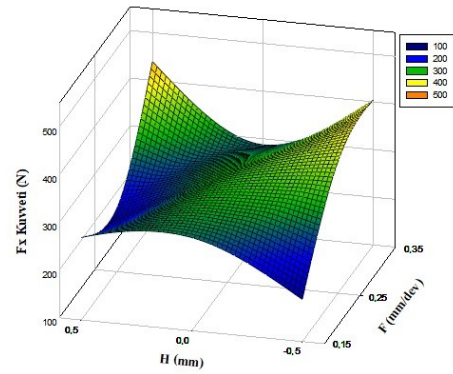
Tablo 10. F_x kuvveti için ANOVA model özeti (ANOVA model summary for F_x force)

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
16.0481	98.33%	97.75%	12837.5	96.80%	323.29	329.71

En büyük etkiye sahip (Tablo 9) Ap ve F faktörlerinin H faktörüyle etkileşimi ve F_x kuvvetine etkileri grafik olarak verilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde kesme derinliği (Ap) arttıkça takım yükseklik ayarının etkisi artmıştır. Yüksek kesme derinliğinde, kesici takımın iş parçası ekseninde bağlanmasıyla F_x kuvvetinde azalma görülmüştür. İlerleme miktarı ve kesici takım yükseklik ayarına göre oluşturulan (Şekil 11) grafik incelendiğinde, düşük ilerleme miktarında kesici takım yükseklik ayarı iş parçası ekseninden yukarıda ve altında olduğu durumlarda F_x kuvvetinde azalma görülmüş ancak ilerleme miktarı arttıkça kesici takımının iş parçası ekseninde olduğu konumda F_x kuvveti azalma eğiliminde olmuştur.



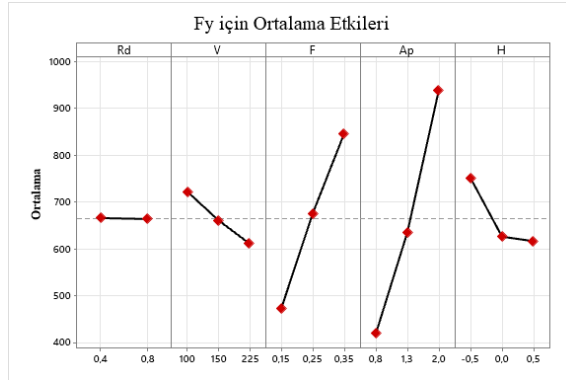
Şekil 10. F_x kuvveti için Ap ve H etkisi
(Interaction of Ap and H for force F_x)



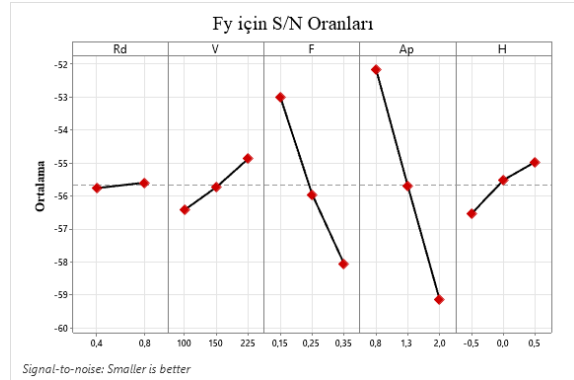
Şekil 11. F_x kuvveti için F ve H etkisi
(Interaction of F and H for force F_x)

2.5.2. F_y kuvvetinin değerlendirilmesi ve grafiklerin yorumu (Evaluation of F_y force and interpretation of graphics)

F_y kuvveti için yapılan Taguchi analizi sonucunda elde edilen ortalama etkilerine (main effects) ve S/N oranlarına ait grafikler Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmiştir. Her iki grafik incelendiğinde F_y kuvveti için en büyük değişime (Delta) sahip faktörlerin sırasıyla Ap ve F faktörleri olduğu anlaşılmaktadır. Diğer faktörlerin değişimleri sırasıyla H, V, Rd şeklindedir. Grafiklerin sayısal değerlendirmesi için tablolar (Tablo 11 ve Tablo 12) oluşturulmuştur.



Şekil 12. Faktörler için F_y ortalamaları
(F_y means for factors)



Şekil 13. F_y için S/N oranlarının etkisi
(Effect of S/N ratios for F_y)

Tablo 11. F_y kuvveti için ortalamalar (Means for the F_y force)

Level	Rd	V	F	Ap	H
1	665.9	722.2	472.2	419.3	751.5
2	663.9	661.1	675.7	635.3	626.2
3		611.0	846.4	939.7	616.6
Delta	2.0	111.1	374.2	520.4	134.9
Rank	5	4	2	1	3

Tablo 12. F_y kuvveti için S/N değerleri (S/N values for F_y force)

Level	Rd	V	F	Ap	H
1	-55.77	-56.43	-53.01	-52.17	-56.54
2	-55.60	-55.73	-55.96	-55.71	-55.52
3		-54.87	-58.06	-59.16	-54.97
Delta	0.17	1.55	5.04	6.99	1.57
Rank	5	4	2	1	3

Tablo 11 incelendiğinde en büyük değişime (Delta) sahip faktör Ap'nin değişiminin (Delta) 520.4 ve onu takip eden F faktörü değişiminin (Delta) 374.2 olduğu anlaşılmaktadır. Diğer faktörler sırasıyla H (fark: 134.9), V (fark: 11.1) ve Rd (fark: 2) şeklindedir. Tablo 12'de yer alan S/N oranları incelendiğinde değişimlerin (Delta) sırasıyla; Ap (fark: 6.99), F (fark: 5.04), H (fark: 1.57), V (fark: 1.55) ve Rd (fark: 0.17) şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. Seviyelerin değerlendirilmesi yapıldığında Ap (0.8, 1.3, 2 mm) faktörü seviyelerinde artış oldukça F_y kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir, başka bir deyişle kesme derinliği arttıkça F_y kuvveti artacaktır ve bu durum F (0.15, 0.25, 0.35 mm/dev) faktörü seviyeleri içinde açık olarak görünmektedir. H (-0.5, 0, +0.5 mm) faktörü seviyeleri incelendiğinde seviye 1 (H:-0.5) mm için F_y kuvvetinde artış gözlemlenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde birinci eğim açısının (a) ve üçüncü eğim açısının (c) arttığı, buna bağlı olarak ikinci eğim açısının (b) azaldığı görülmüştür. Bu açı değişiminin talaş temas uzunluğunu arttırdığı düşünülmüştür. F_y kuvvetinde ki artışın, talaş açısının (γ) negatif yönde değişmesi ve buna bağlı olarak talaş temas uzunluğundaki büyümeden kaynaklandığına atfedilmiştir. Bu görüş, literatüre uygundur [16-19]. H faktörü seviyeleri 2 (0 mm) ve 3 (+0.5 mm) arasındaki değişimin daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, kesici ucun ikinci eğim açısının (b) artması (Tablo 4) ve buna bağlı olarak boşluk açısının (α) azalmasıyla izah edilmiştir. F_y kuvveti için yapılan ANOVA analiz sonucuna ait değerler Tablo 13'te verilmiştir.

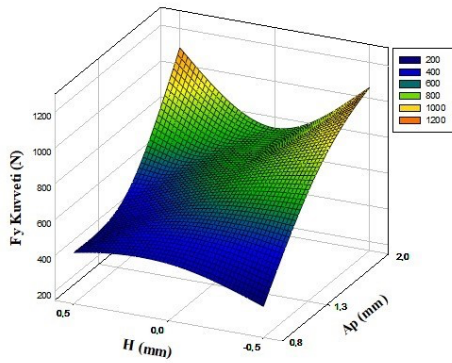
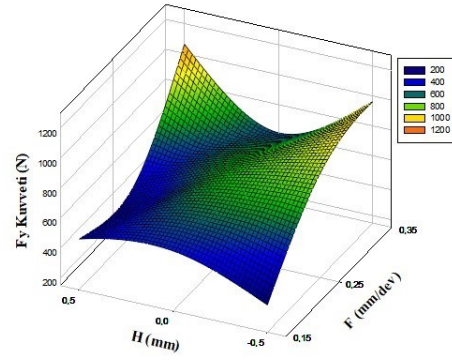
Tablo 13. F_y kuvveti için ANOVA tablosu (ANOVA table for F_y force)

Source	DF	Seq SS	Faktör Etkisi	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Rd	1	935	0.03%	935	935	0.29	0.5941
V	2	5737	0.19%	5737	2868	0.89	0.4216
F	2	1064254	34.65%	1064254	532127	165.65	0.0000
Ap	2	1870790	60.90%	1870790	935395	291.19	0.0000
H	2	46419	1.51%	46419	23210	7.23	0.0032
Error	26	83520	2.72%	83520	3212		
Total	35	3071656	100.00%				

Tablo 14. F_y kuvveti için ANOVA model özeti (ANOVA model summary for F_y force)

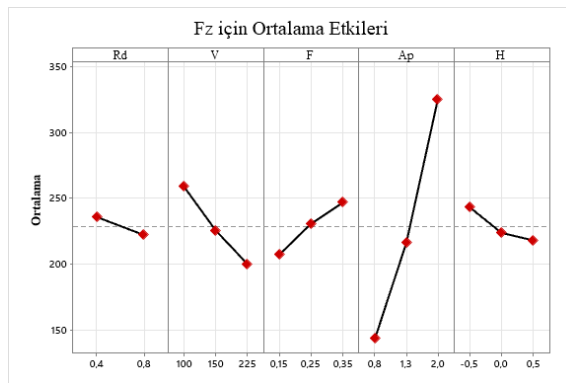
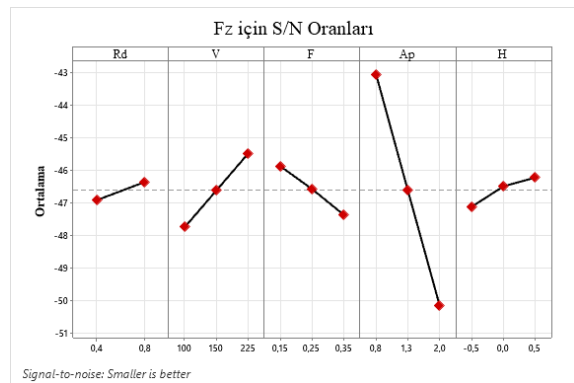
S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
56.6773	97.28%	96.34%	160122	94.79%	414.14	420.56

Tablo 13 incelendiğinde Ap, F, H faktörlerinin istatistiksel olarak anlamlı ($P < 0.05$) olduğu ancak V ve Rd faktörlerinin anlamlı ($P > 0.05$) olmadığı anlaşılmıştır. Faktör etkileri sırasıyla; Ap (60.90%), F (34.65%), H (1.51%), V (0.19%) ve Rd (0.03%) şeklinde oluşmuştur. Oluşturulan model için belirleme katsayısı R-sq(adj): 96.34% olarak bulunmuştur (Tablo 14). En büyük etkiye sahip (Tablo 13) Ap ve F faktörlerinin H faktörüyle etkileşimi ve F_y kuvveti etkileri grafik olarak verilmiştir (Şekil 14, Şekil 15). Şekil 14 incelendiğinde kesme derinliği (Ap) arttıkça takım yükseklik ayarının etkisi artmıştır. Yüksek kesme derinliğinde, kesici takımın iş parçası ekseninde bağlanması durumunda F_y kuvvetinde azalma görülmüştür. Şekil 15 incelendiğinde, düşük ilerleme miktarlarında kesici takımın yükseklik ayarının F_y kuvvetinde büyük bir etkisi olmamış ancak ilerleme miktarı arttıkça kesici takımının iş parçası ekseninde olduğu konumda F_y kuvveti azalma eğiliminde olmuştur.

Şekil 14. F_y kuvveti için Ap ve H etkisi (Interaction of Ap and H for force F_y)Şekil 15. F_y kuvveti için F ve H etkisi (Interaction of F and H for force F_y)

2.5.3. F_z kuvvetinin değerlendirilmesi ve grafiklerin yorumu

F_z kuvveti için Taguchi analizi sonucunda elde edilen faktörlerin ortalama etkilerine (main effects) ve S/N oranlarına ait grafikler aşağıda verilmiştir (Şekil 16 ve Şekil 17). Analiz sonucunun grafiklerle birlikte değerlendirilmesi için sayısal değerleri Tablo 15 (main effects) ve Tablo 16'da (S/N oranları) verilmiştir.

Şekil 16. Faktörler için F_z ortalamaları (F_z means for factors)Şekil 17. F_z için S/N oranlarının etkisi (Effect of S/N ratios for F_z)Tablo 15. F_z kuvveti için ortalamalar (Averages for F_z force)

Level	Rd	V	F	Ap	H
1	235.8	259.0	207.3	143.3	243.2
2	222.1	225.8	230.7	216.3	223.8
3		200.1	246.9	325.3	218.0
Delta	13.7	58.9	39.5	182.0	25.2
Rank	5	2	3	1	4

Tablo 16. F_z kuvveti için S/N değerleri (S/N values for F_z force)

Level	Rd	V	F	Ap	H
1	-46.92	-47.75	-45.89	-43.06	-47.13
2	-46.37	-46.62	-46.59	-46.63	-46.50
3		-45.49	-47.39	-50.17	-46.23
Delta	0.56	2.26	1.50	7.11	0.90
Rank	5	2	3	1	4

Grafikler (Şekil 15 ve Şekil 16) ve tablolar (Tablo 15 ve Tablo 16) incelendiğinde F_z kuvveti için en önemli parametrenin en büyük değişikliğe (Delta) sahip Ap faktörü olduğu anlaşılmıştır. Ap (0.8, 1.3, 2 mm) faktörü seviyeleri için kesme derinliğinin artmasıyla F_z (ilerleme kuvveti) kuvvetinin artış yönünde olduğu belirlenmiştir. Faktörlerin ortalama etkileri (Tablo 15) incelendiğinde, Ap (fark:182) faktöründen sonra değişim (Delta) büyüklükleri sırasıyla; V (fark:58.9), F (fark:39.5), H (fark:25.2) ve Rd (fark:13.7) şeklinde olmuştur. Tablo 16'da verilen S/N oranlarına ait değişim değerleri sırasıyla Ap (fark:7.11), V (fark:2.26), F (fark:1.5), H (fark:0.9) ve Rd (fark:0.56) şeklinde olmuştur.

F_z kuvveti için ANOVA tablosu (Tablo 17) incelendiğinde en büyük etkiye sahip faktörün Ap (kesme derinliği) olduğu anlaşılmıştır (etki: 86.74%). Bunu sırasıyla F (etki: 7.09%), V (etki: 3.69%), Rd (etki: 0.71%) ve H (0.38%) izlemiştir. Tablo 17 de yer alan tüm faktörlerin F_z kuvveti için anlamlı olduğu görülmüştür (P<0.05). Oluşturulan model için belirleme katsayısı R-sq(adj): 98.13% olarak bulunmuştur (Tablo 18).

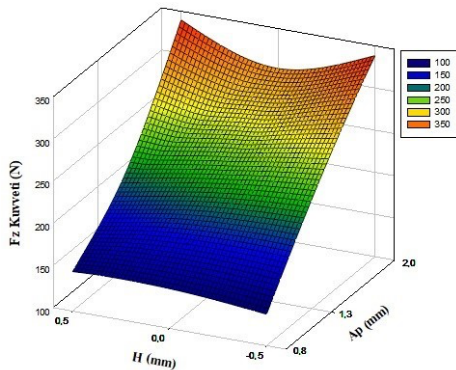
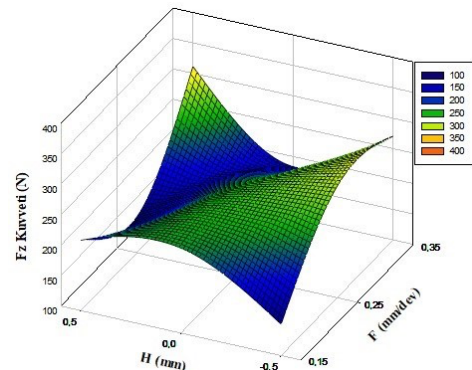
En büyük etkiye sahip (Tablo 17) Ap ve F faktörlerinin H faktörüyle etkileşimi ve F_z kuvveti etkileri grafik olarak verilmiştir (Şekil 18, Şekil 19). Şekil 18 incelendiğinde kesme derinliği (Ap) arttıkça takım yükseklik ayarının etkisi artmıştır. Yüksek kesme derinliğinde, kesici takımın iş parçası ekseninde bağlanmasıyla F_z kuvvetinde azalma görülmüştür. İlerleme miktarı ve kesici takım yükseklik ayarı etkisini gösteren grafik (Şekil 19) incelendiğinde, düşük ilerleme miktarında kesici takım iş parçası ekseninden yukarıda ve altında bağlandığında F_z kuvvetinde azalma görülmüş ancak ilerleme miktarı arttıkça kesici takımının eksende olduğu konumda F_z kuvveti azalma eğiliminde olmuştur.

Tablo 17. F_z kuvveti için ANOVA tablosu (ANOVA table for F_z force)

Source	DF	Seq SS	Faktör Etkisi	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Rd	1	1681	0.71%	1681	1681	13.30	0.0012
V	2	8700	3.69%	8700	4350	34.41	0.0000
F	2	16726	7.09%	16726	8363	66.15	0.0000
Ap	2	204704	86.74%	204704	102352	809.66	0.0000
H	2	890	0.38%	890	445	3.52	0.0443
Error	26	3287	1.39%	3287	126		
Total	35	235987	100.00%				

Tablo 18. F_z kuvveti için ANOVA model özeti (ANOVA model summary for F_z force)

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
11.2434	98.61%	98.13%	6301.22	97.33%	297.67	304.09

Şekil 18. F_z kuvveti için Ap ve H etkisi (Interaction of Ap and H for force F_z)Şekil 19. F_z kuvveti için F ve H etkisi (Interaction of F and H for force F_z)

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışmada, kesici takım yükseklik ayarının ve kesme parametrelerinin, AISI304 östenitik paslanmaz çeliğin tormalamasında kesme kuvvetleri bileşenlerine etkisi gözlemlenmiş, Taguchi yöntemi ve ANOVA ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kesici takım yükseklik ayarının iş parçası ekseninin altında (H:-0.5 mm) olduğu durum için kuvvetlerin artış yönünde olduğu görülmüştür. Kuvvetlerdeki bu artış kesici takımdaki talaş açısının azalmasından kaynaklandığına atfedilmiştir. Kuvvetlerdeki artış, kesici takım-talaş temas uzunluğunun artmasıyla açıklanmıştır. Kesici takımın iş parçası ekseninde ve yukarısında olduğu durumlar arasındaki kuvvet değişimi farkının çok düşük olduğu değerlendirilmiştir. Bu sonucun talaş açısının artmasıyla birlikte boşluk açısındaki (α) azalmadan kaynaklandığına atfedilmiştir [20-23].

Kesme kuvvetlerinde en etkili faktörün Ap (kesme derinliği) olduğu görülmüştür. Kesme derinliğinin artması ile tüm kesme kuvveti bileşenlerinin arttığı ve ANOVA sonucunda bu etkinin F_x kuvveti için 71.67%, F_y kuvveti için 60.90% ve F_z kuvveti için 86.74% olduğu belirlenmiştir. Ap (kesme derinliği) faktörünün kuvvetlere olan etkisi incelendiğinde ilerleme kuvveti (F_z) üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. ANOVA sonucuna göre Ap faktöründen sonra etkili faktörün F (ilerleme miktarı) faktörü olduğu belirlenmiştir. F faktörünün etkisi; F_x kuvveti için 23.27%, F_y kuvveti için 34.65% ve F_z kuvveti için 7.09% olduğu anlaşılmıştır. F faktörü en büyük etkiyi F_y (teğetsel (esas kesme) kuvvet) kuvveti üzerinde göstermiştir. İlerleme miktarının artmasıyla talaş kaldırma kuvvetinin tüm bileşenlerinde (F_c , F_f , F_r) artış gözlemlenmiştir. Kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvveti bileşenlerinin artacağı sonucuna varılmıştır. Kaldırılan talaş hacmi nedeniyle bu beklenen bir durumdur [24-27].

V (kesme hızı) faktörü incelendiğinde kesme hızının artışıyla kuvvetlerde azalma meydana gelmiştir. Kesme hızının artmasıyla oluşan kuvvetlerdeki azalma, kesici kenarda oluşan yığıntı talaşın (BUE) azalmasına atfedilmiştir. Kesme hızının artmasıyla, belirli bir düzeye kadar artan sıcaklığın etkisiyle, iş parçasının kopma direncinin azalması da kuvvetlerin düşmesine olanak sağlamıştır. Paslanmaz çeliğin işlenmesinde belirli bir düzeye kadar arttırılan kesme hızının kuvvetleri düşüreceği anlaşılmıştır [28,29].

Rd (uç yarıçapı) faktörü etkisinin, F_x ve F_y kuvvetlerinde istatistiksel bir etkiye ($P>0.05$) sahip olmadığı belirlenmiştir. Bu düşük etkinin küçük yavaşma açısına sahip kesici takımda, kuvvetlerin kesici kenar boyunca dengeli dağılımından kaynaklanmasına atfedilmiştir [30]. Rd faktörünün F_z (ilerleme kuvveti) kuvveti üzerinde 0.71% etkiye sahip ve anlamlı ($P<0.05$) olduğu Tablo 17'den anlaşılmaktadır. Kesici uç yarıçapının küçülmesiyle ilerleme kuvvetinin arttığı (Şekil 16) görülmüştür. Bu artış küçük uç yarıçapına sahip kesici takımdaki hızlı aşınma ve "kuvvetlerin azalması, büyük uç yarıçapına sahip kesicinin kesme kenarı ve iş parçası arasındaki temas yüzeyine etki eden düşük kuvvetten kaynaklanır" fenomeniyle açıklanmıştır [12, 26, 31].

Taguchi ve ANOVA tabloları incelendiğinde, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde etki eden kuvvet bileşenlerinin azaltılması için küçük yavaşma açılı (45°) kesici takımlarda, kesici uç yarıçapı büyük seçilmeli (Rd:0.8 mm), kesme hızı arttırılmalı (V:225 m/dak) ve kesme derinliği azaltılmalıdır (Ap:0.8 mm). Analiz sonuçlarına bağlı olarak, ilerleme miktarı düşük seviyelerde tutulmalıdır (F:0.15 mm/dev) ve kesici takım yükseklik ayarı iş parçası ekseninde (H:0 mm) veya yukarısında (H:+0.5 mm) olmalıdır. Kesici takım yükseklik ayarının etkisinin değerlendirilmesinde, talaş kaldırılan iş parçasının geometrik özellikleri ve yüzey deformasyonları da (dairesellik, silindiriklik, sertlik vb.) incelenmelidir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] M. Akkurt, *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları: Tormalama*. İstanbul: Birsan Yayınevi, 2000, pp. 91-93.
- [2] T. Ma, "A Height Adjustable Tool Holder," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 496, no. 500, pp. 873-876, 2014.

doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.496-500.873

- [3] S. Lata and Hitesh, "A Design Insight for Substitution of Metal Shims with Reverse Engineered Element in Tool Post for Alignment of Tool-Work Center," *European Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 114-129, 2020. doi:10.33422/ejest.v3i1.248
- [4] G. E. Thyer, *Construction of machine tools: Computer Numerical Control of Machine Tools*, Second edition, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1991, pp. 37-90.
- [5] M. Mori and M. Fujishima, "Sustainable Service System for Machine Tools," in *2nd Int. Through-life Engineering Services Conf on Engineering Services, CIRP 11 2013, Nagoya, Japan, December 2013. A. Tiwari, 2013*. Amsterdam: Elsevier, 2013. pp. 8-14.
- [6] M. A. Xavier, "Evaluating the machinability of AISI 304 stainless steel using alumina inserts" *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 55, no. 2, pp. 7, 2012.
- [7] S. Karaman, "Küresel Grafitli Dökme Demirlerin (GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) Üretim Sürecinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üni. Edirne, Türkiye, 2011.
- [8] FARO Knowledge Base, "Technical Specification," *knowledge.faro.com*, 2016. [Online]. Available: <http://web.archive.org/web/20220221165714/https://downloads.faro.com/index.php/s/N95m3Hi8LZQw4FP>. [Accessed: Aug. 10, 2021].
- [9] Akko, "Kesici Takım Kataloğu," *akko.com.tr*, Jan. 01, 2021. [Online]. Available: https://www.akko.com.tr/download_dosya/akko-cutting-tools-2021-products-catalogue.pdf. [Accessed: Mar. 10, 2021].
- [10] D. R. Jana and T. Mandal, "Mathematical Calculation of Effects on Tool Setting on Tool Cutting Angle" in *Proc. of the Int. MultiConf. of Engineers and Computer Scientists, IMECS 2008, Hong Kong, China*, [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu>. [Accessed: 10 Jul. 2020].
- [11] Y. Kayır, S. Aslan ve A. Aytürk, "AISI 316Ti Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi ile Analizi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 28, no. 2, pp. 363-372, 2013.
- [12] M. Günay, "AISI 316L Çeliğinin İşlenmesinde Takım Radyüsü Ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu," *Gazi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 28, no. 3, pp. 437-444, 2013.
- [13] G. Meral, M. Sarıkaya ve H. Dilipak, "Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 27, no. 4, pp. 332-338, 2011.
- [14] Saurabh, J. S. Jassi, A. Mohammad, D. P. Singh and H. Z. Jafri, "Machining Parameter Optimization Using Taguchi Approach" in *1st Int. Conf. on Futuristic trend in Computational Analysis and Knowledge Management, ABLAZE 2015, Haryana, India*, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org>. [Accessed: Jul. 12, 2020].
- [15] M. Yurdakul, S. Güneş and Y. T. İç, "Honlama Prosesinde Yüzey Kalitesinin Taguchi Metodu İle İyileştirilmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 31, no. 2, pp. 347-360, Jun. 2016. doi:10.17341/gummdf.40509
- [16] U. Şeker, "Kesici Takım Tasarımı Ders Notları," Ankara: Gazi Üniversitesi, 2008.
- [17] Y. Altıntaş, *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*. New York: Cambridge University Press, 2012.
- [18] M. C. Shaw, *Metal Cutting Principles*. New York: Oxford University Press, 2005.
- [19] A. Duran ve A. Acr, "HSS Torna Kalemındaki Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisi," *Journal of Polytechnic*, vol. 7, no. 3, pp. 211-215, 2004.
- [20] M. Günay, E. Aslan, İ. Korkut ve U. Şeker, "Investigation of the Effect of Rake Angle on Main Cutting Force," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 44, no. 9, pp. 953-959, 2004. doi:10.1016/j.ijmachtools.2004.01.015
- [21] M. Sekmen, "Talaş Açısının Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmeler Üzerindeki Etkilerinin Simülasyonu Ve Deneysel Olarak Doğrulanması," Doktora Tezi, Gazi Üni., Ankara, Türkiye, 2013.
- [22] E. G. Thomsen, A. G. MacDonald and S. Kobayashi, "Flank Friction Studies With Carbide Tools Reveal Sublayer Plastic Flow," *Journal of Engineering for Industry*, vol. 84, no. 1, pp. 53-62, 1962. doi:10.1115/1.3667438
- [23] S. Kobayashi and E. G. Thomsen, "The Role of Friction in Metal Cutting," *Journal of Engineering for Industry*, vol. 82, no. 4, pp. 324-332, 1960. doi:10.1115/1.3664240
- [24] N. Altan Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin ve O. Özbek, "AISI 304 ve AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi," *Journal of Polytechnic*, vol. 20, no. 1, pp. 43-49, 2017. doi:10.31202/ecjse.67151
- [25] G. Basmacı, "AISI 316 Ti Paslanmaz Çeliklerin İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu," *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, vol. 7, no. 1, pp. 6-3, 2018. doi:10.21541/apjes.422606
- [26] Y. Kayır ve A. Aytürk, "Investigation of Machinability Characteristics of AISI 316Ti Stainless Steel," *Pamukkale Üniversitesi*

Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 18, no. 1, pp. 61-71, 2012. doi:10.5505/pajes.2012.58076

[27] Ö. Tekaslan, N. Gerger, M. Günay ve U. Şeker, "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Titanyum Karbür Kaplamalı Kesici Takım İle Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 13, no. 2, pp. 135-144, 2007.

[28] İ. Korkut, M. Kasap, İ. Çiftçi ve U. Şeker, "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel," *Materials and Design*, vol. 25, no. 4, pp. 303-305, 2004. doi:10.1016/j.matdes.2003.10.011

[29] F. Memiş ve Y. Turgut, "AISI 2205 Dupleks Paslanmaz Çeliğin CNC Torna Tezgahında İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerinin Deneysel Araştırılması," *Manufacturing Technologies and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 22-33, 2020.

[30] J. Hwang, E. Hyounjeong, E.-S. Chung and S. Y. Liang, "Assessment of the Cutting Tool ing Effect on Turning Chatter," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 433, no. 435, pp. 2101-2106, 2013. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.433-435.2101

[31] W. Chen, "Cutting Forces and Surface Finish When Machining Medium Hardness Steel Using CBN Tools," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 40, no. 3, pp. 455-466, 2000. doi:10.1016/S0890-6955(99)00011-5

This is an open access article under the CC-BY license

