

Al 1050-H14 Alaşımının Delinmesi Sürecinde Yüzey Pürüzlülüğü, Çapak Oluşumu, Takım Aşınması, Çaptan ve Silindiriklikten Sapmanın Modellenmesi ve Tahmini

Hüseyin Gökçe^{1,*} 

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çankırı, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 09.03.2021

Kabul: 15.04.2021

Anahtar Kelimeler:

Alüminyum

Delme parametreleri

Regresyon analizi

Taguchi metodu

ÖZET

Bu çalışmada, 1050-H14 alüminyum alaşımı kesme sıvısı kullanılmaksızın yüksek hız çeliği matkaplarla delme deneylerine tabi tutulmuştur. Değişen delme koşulları (kesme hızı, ilerleme, matkap uç açısı, kaplama durumu) sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğü, çapak yüksekliği, kesici takıma yapışma, çaptan ve silindiriklikten sapma değerleri ölçülmüş, sonuçlar regresyon analizi ile modellenmiştir. Regresyon analizi sonucunda; yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme miktarı ve kaplama durumu, çaptan sapma üzerinde ilerleme miktarı ve kaplama durumu, silindiriklikten sapma üzerinde kesme hızı, matkap uç açısı ve kaplama durumu, çapak yüksekliği üzerinde kesme hızı ve kaplama durumu, yapışma değeri üzerinde ise kesme hızı istatistiksel olarak anlamlıdır ($P < 0.05$). Ayrıca Taguchi metodu ile optimum delme koşulları belirlenmeye çalışılmış ve doğrulama deneyleri ile yapılan optimizasyonun geçerliliği test edilmiştir. Taguchi metodu ile yapılan optimizasyona göre kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri; yüzey pürüzlülüğü için 20 m/dk - 0,025 mm/dev - 105° uç açısı - kaplamalı matkap, çaptan sapma için 30 m/dk - 0,025 mm/dev - 118° uç açısı - kaplamalı matkap, silindiriklikten sapma için 10 m/dk - 0,050 mm/dev - 90° uç açısı - kaplamalı matkap, çapak yüksekliği için 40 m/dk - 0,050 mm/dev - 105° uç açısı - kaplamalı matkap, yapışma değeri için 40 m/dk - 0,075 mm/dev - 90° uç açısı - kaplamalı matkap olarak belirlenmiştir. 0.05 anlamlılık düzeyinde yapılan optimizasyonun uygun olduğu görülmüştür.

Modeling and Estimation of Surface Roughness, Burr Height, Adhesion, Deviation from Diameter and Cylindrical in the Drilling Process of Al 1050-H14 Alloy

ARTICLE INFO

Received: 09.03.2021

Accepted: 15.04.2021

Keywords:

Aluminum

Drilling parameters

Regression analysis

Taguchi method

ABSTRACT

In this study, drilling tests were applied on 1050-H14Al alloy without coolant. Regression analysis was used modelling of surface roughness, burr height, adhesion, deviation from cylindrical and diameter with different drilling conditions (cutting speed, feed, drill bit angle and coating condition). As a result of the regression analysis feed rate and coating showed significant impact on the surface roughness. Moreover, feed rate and coating condition also affect on the deviation from diameter and cutting speed affect on the deviation from cylindrical, significantly. On the other hands, cutting speed, drill bit angle and coating condition influence on the burr height and, coating condition and cutting speed on the adhesion were found significantly different ($P < 0.05$). In addition, these conditions were optimized with the Taguchi method and the validity of the optimization was tested with verification experiments. According to the optimization, the optimum levels of control factors; 20 m/min - 0.025 mm/rev - 105° drill bit angle - coating drill for surface roughness, 30 m/min - 0.025 mm/rev - 118° drill bit angle - coating drill for deviation from diameter, 10 m/min - 0.050 mm/rev - 90° drill bit angle - coating drill for deviation from cylindrical, 40 m/min - 0.050 mm/rev - 105° drill bit angle - coating drill for burr height and 40 m/min - 0.075 mm/rev - 90° drill bit angle - coating drill for adhesion. Optimization was found to be appropriate for 0.05 significance level.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Saf alüminyum düşük yoğunluğa, düşük erime sıcaklığına ve düşük mukavemet değerlerine sahiptir. Buna karşın saf alüminyuma alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle zayıf tarafları güçlendirilerek üstün özellikler kazandırılabilir. Alüminyum alaşımları yüksek özgül mukavemet, korozyon direnci, elektrik ve ısı iletkenliklerinin yanında rahat şekillendirilebilmeleri gibi özelliklerinden dolayı neredeyse tüm sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 2].

Alüminyum içerikli malzemelerin şekillendirilebilmesi için birçok yöntem bulunmasına karşın talaş kaldırmak suretiyle şekillendirme en yaygın yöntemlerden biridir. Modern talaşlı üretim yöntemlerinin gelişmesine karşın ekonomikliği ve basitliğinden dolayı matkapla delme işlemleri halen güncelliğini korumakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Alüminyum ve alaşımlarının süneklilik değerlerinin yüksek olması talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirmede çeşitli problemlerle karşılaşılmasına sebep olur (düşük yüzey kalitesi, talaşın uzaklaştırılması ve kesici takıma yapışma gibi).

Bayraktar, Al-5083 alaşımının kaplamasız ve Titanyum Nitrür (TiN) kaplamalı yüksek hız çeliği (High speed steel-HSS) matkaplar ile delinmesinde, kesme parametrelerinin aksel kuvvet ve çapak yüksekliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deneyler sonucunda, devir sayısının artması ile çapak yüksekliğinin arttığını, aksel kuvvetin ise azaldığını belirtmiştir. Ayrıca ilerleme miktarının artması ile aksel kuvvetin ve çapak yüksekliğinin arttığını tespit etmiştir. Kaplamasız HSS matkaplarda, TiN kaplamalı matkaplara göre aksel kuvvetlerin ve çapak yüksekliğinin daha az olduğu gözlemlenmiştir. Varyans analizi ile bağımsız değişkenler arasında ilerleme miktarının, aksel kuvvet ve çapak yüksekliği üzerinde en etkili faktör olduğu ve bunu sırasıyla devir sayısı ve matkap uç açısının takip ettiği belirtmiştir [4]. Çaydaş ve Çelik, AA 7075-T6 alaşımını kuru delme koşullarında K20 karbür takımlarla delme deneylerine tabi tutmuşlardır. Deneyler sabit kesme hızında değişken ilerleme miktarları ve matkap uç açıları ile yapmışlardır. Değişkenlerin yüzey pürüzlülüğü, ilerleme kuvveti ve matkap uç sıcaklığı üzerindeki etkilerini incelemiştir [5]. Dheeraj vd., alüminyum ve alaşımlarının delinmesi için yeni nesil bir matkap geliştirmişlerdir. Matkabın zırh ve oluk yüzey geometrisini değiştirerek kesme sıvısını daha verimli kullanmaya ve ayrıca talaşın daha rahat uzaklaştırılmasını sağlamaya çalışmışlardır. Yeni geliştirilen ve klasik geometriye sahip matkaplarla delinen delikleri silindiriklik hatası, çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirmişler, geliştirilen yeni nesil matkaplarla tatminkâr sonuçlar elde etmişlerdir [6]. Song vd., karbon fiber takviyeli plastik (CFRP)/alüminyum kompozitlerin delinmesinde teorik bir çapak yüksekliği modeli önermişlerdir. Modelde itme kuvvetini, bağımsız faktörleri (malzemenin mekanik özellikleri, kesilmemiş talaş kalınlığı ve takım geometrik boyutları) ve bağımlı faktörleri (sistemin kararlılığı ve kesme sıcaklığı) dikkate almışlardır. Bundan sonra, itme kuvveti modeline ve iş parçasında oluşan sapmaları inceleyerek çapak yüksekliği modeli oluşturmuşlardır. Son olarak, teorik modelin doğrulaması için pilot deneyler yapmışlardır. Sonuçların, çapak yüksekliği eğilimlerinin analitik modelle uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir [7]. Kimmelman vd., özellikle havacılık endüstrisinde kullanılan CFRP/alüminyum kompozitlerin delinmesi sürecinde oluşabilecek çapağın öngörülebilmesi ve delme esnasında azaltılabilmesi için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Delme sürecinde oluşan ses spektrumunu analiz ederek oluşan sinyallerle çapak oluşumunun delme işlemi devam ederken kontrol altına alınabileceğini belirtmişlerdir [8]. Zhu vd., Al 2024-T351 alüminyum alaşımı ve Ti6Al4V titanyum alaşımı üzerinde üç farklı matkap geometrisi kullanarak kuru şartlarda bir dizi delme deneyleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda, iki farklı uç açısına sahip matkap geometrisinin kesme kuvveti ve çapak oluşumunu azaltarak delik kalitesini ve dolayısıyla verimliliği artırdığını ayrıca talaş tahliyesini kolaylaştıracağını ifade etmişlerdir [9]. Ilyuschenko vd., alüminyum alaşımı üzerinde kaplamasız ve Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapor Deposition-PVD) yöntemi ile kaplanmış matkaplarla (nano elmas ve nano molibden disulfid) deneyler yapmışlardır. Deney sonuçlarında kaplamasız matkaplarda büyük çapakların oluştuğunu, kaplamalı matkaplarda ise çapak oluşumunun olmadığını ve/veya oldukça küçük boyutta olduklarını gözlemlenmiştir. Kaplamalı matkabın takım ömrünün, kaplamasız matkaba kıyasla yaklaşık 2.5 kat daha uzun bulunduğunu belirtmişlerdir [10]. Chatha vd., 6063 alüminyum alaşımının delinme performansını kesme kuvveti,

takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açılarından incelemişlerdir. HSS kesici takımlarla yaptıkları çalışmada, farklı yağlama koşullarını (kuru, ıslak, minimum miktar yağlama (Minimum Quantity Lubrication-MQL) ve nano partiküllü MQL (nanofluid MQL-NFMQL)) mukayese etmişlerdir. Deneyler sonucunda NFMQL ile delinen delik sayısında önemli artış olduğunu, tork ve kesme kuvvetlerinin ise azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca NFMQL'nin talaş tahliyesini kolaylaştırıp çapak oluşumunu azalttığını, deliklerin yüzey kalitesini artırdığını ve kesici takım aşınmasını azaltarak takım ömrünü uzattığını ifade etmişlerdir [11].

Al 1050-H14 alüminyum alaşımı talaşlı imalata uygun ve en yaygın kullanılan alüminyum alaşımlarından biridir. Yapılan literatür araştırmasına göre ilgili malzeme için birçok çalışma yapılmıştır. Ancak çaptan sapma, silindiriklikten sapma ve çapak oluşumunun delme parametreleri, matkap uç açısı ve kaplama ile etkileşimi çok yönlü olarak incelenmemiştir. Bu çalışmada, 1050-H14 alüminyum alaşımı, HSS kesici takımlarla 4 farklı kesme hızı (V_c), 4 farklı ilerleme (f), 4 farklı matkap uç açısı (β) ve 2 farklı kaplama durumu (KD) dikkate alınarak yüzey pürüzlülüğü (R_a), çaptan sapma (ÇS), silindiriklikten sapma (SS), kesici takıma yapışma değeri (YD) ve çapak yüksekliği (ÇY) üzerindeki etkileri incelenmiş ayrıca istatistiksel yöntemlerle optimum delme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Malzeme (Material)

Alüminyum 1050-H14 iş parçası, $\text{Ø}60$ mm çapında silindirik malzemeden 17 mm kalınlığında kesilerek elde edilmiştir. Daha sonra toplam kalınlık delik delme deney standartları (plaka kalınlığı \geq matkap çapı \times 3) için 15 mm kalınlığa düşürülerek tesviye yapılmıştır. İş parçasının kimyasal bileşimi ve bazı mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Al 1050-H14 alaşımının bazı özellikleri (Some properties of Al 1050-H14 alloy) [12]

Özellik	Birim	Al 1050-H14
Yoğunluk (20°C)	(g/cm^3)	2.705
Erime sıcaklığı	(°C)	646-657
Brinel sertlik değeri	(HB)	30
Akma gerilmesi	(MPa)	103
Çekme gerilmesi	(MPa)	110
Elastikiyet modülü	(GPa)	73
Poisson oranı	-	0.33
Isı transfer katsayısı (20°C)	[W/(mK)]	227
Kimyasal bileşim	%	>99.50 Al
		\leq 0.05 Cu
		\leq 0.40 Fe
		kalan diğer

2.2. Delme Deneyleri (Drilling Tests)

Alüminyum 1050-H14 malzemeye yüksek hız çeliği (HSS) matkaplarla farklı kesme parametreleri kullanılarak boydan boya (15 mm) delik delme işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar R_a , ÇS , SS , YD ve ÇY açılarından incelenmiştir. Deneyler, L16 dikey dizisi yardımıyla tasarlanmış ve deneylerde kullanılan değişkenler Tablo 2'de verilmiştir. İlgili malzeme için değişkenler ve seviyeleri kesici takım kataloglarında önerilen ve literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınmıştır. Kataloglarda ve literatürde önerilen kesme parametreleri değerlerinin en yüksek seviyelerinde ön deneyler yapılmıştır.

Tablo 2. Kontrol faktörleri ve seviyeleri (Control factors and their levels)

Kontrol faktörleri	Vc	f	β	KD
Birim	m/dk	mm/dev	°	-
Kod	A	B	C	D
Seviyeler	10	0.025	90	Kaplamasız
	20	0.050	105	
	30	0.075	118	Kaplamalı
	40	0.100	140	

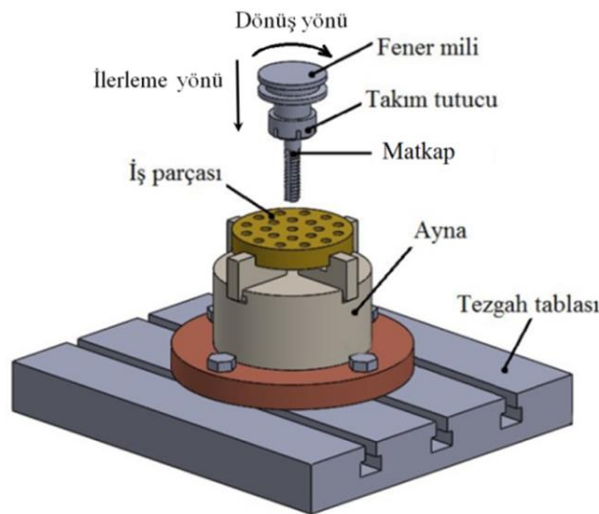
2.3. Takım Tezgâhı, Kesici Takımlar ve Ölçüm Cihazları (Machine Tools, Cutting Tools and Measuring Devices)

Kesici takım seçiminde üretici firma tavsiyeleri ve daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Kesici takım Şekil 1’de gösterilmiştir. Deneylerde $\varnothing 5$ mm çapında, $90^\circ - 105^\circ - 118^\circ - 140^\circ$ uç açılarında, kaplamasız ve kaplamalı (CVD - AlTiN - kaplama kalınlığı: $5 \mu\text{m}$) HSS kesici takımlar kullanılmıştır. AlTiN kaplamalar yüksek sertlik, oksidasyon direnci ve sıcak sertlik değerlerine sahiptirler. Kaplamasız olarak tedarik edilen 118° uç açılına sahip matkapların deneyler için gerekli olan uç açıları Tokiwa/PP-30 marka/model matkap bileme tezgâhında bilenmiş ve kaplanması gereken matkap uçları kaplama işlemine tabi tutulmuştur (Kaplama firmasından hizmet alınmıştır). Deneylerde kullanılan kesici takımlar, $\varnothing 5$ mm çapında kesici takımları sıkabilecek pens ile takım tutucuya bağlanmıştır.



Şekil 1. HSS matkap ucu (HSS drill bit)

Delme deneyleri, Arion IMM-600 CNC dik işleme merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Silindirik olarak hazırlanan iş parçası tezgâha 4 ayaklı bir ayna ile bağlanarak boydan boya delikler delinmiştir. Ra değerleri Mitutoyo SJ-410 marka/model profilometre kullanılarak ölçülmüştür. ÇS ve SS ölçümleri Hexagon Global Agvantage marka/model CMM cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çapak ve yapışma oluşumunun gözlemlenmesi için led aydınlatmalı, 5 megapiksel 2592×1944 çözünürlüğe sahip, parlaklığı azaltma özelliği bulunan, dijital 240 büyültme özelliği olan bir mikroskop kullanılmıştır. Şekil 2’de, kurulan deney düzeneğinin tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneği (Experimental setup)

2.4. İstatistiksel Metotlar (Statistical Methods)

Regresyon analizi, bağımlı (kalite karakteristiği) ve bağımsız (kontrol faktörleri) değişkenleri içeren bir modeldir ve bağımlı değişkeni bağımsız değişkenlerle ifade edilebilmesine olanak verir [13]. Eşitlikler sonucunda elde edilen determinasyon katsayısı (R^2), bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlerle ifade edilebilme oranını verir. R^2 değeri 1'e ne kadar yakın olursa regresyon modelinden o denli doğru sonuçlar elde edilebilecektir. Regresyon analizi çok bilinen ve bilim insanları tarafından da yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir araçtır.

Taguchi metodu ile kontrol faktörlerinin kalite karakteristiği üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için deneylerden elde edilen veriler istenilen sonuca uygun amaç fonksiyonu ile Sinyal/Gürültü (S/N) oranına dönüştürülür. S/N oranı, istenilmeyen rastgele gürültü değeri için istenilen sinyal oranı olarak tanımlanmakta olup, deneysel verilerin kalite karakteristiklerini gösterir [14]. S/N oranının hesaplanması için üç temel fonksiyon vardır. Bunlar “en küçük en iyi, en büyük en iyi ve hedef değer en iyi” amaç fonksiyonlarıdır. Her üç fonksiyon içinde amaç, S/N oranını maksimize etmektir [15, 16].

Deneylerde kontrol faktörlerinin uygun seviyelerini belirlemek için kalite karakteristiği değerlerinin en küçük olduğu durum belirlenmelidir. Bu amaçla S/N oranının hesaplanmasında Eşitlik 1’de verilen “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Burada; Y_i : kalite karakteristiğinin ölçülen değeri (kalite değişkeni) ve n : toplam deney (gözlem) sayısıdır.

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

Kalite karakteristiği değerleri üzerinde kontrol faktörlerinin etkisini belirlemek için deney sonuçlarına %95 güven aralığında ANOVA analizi uygulanmıştır. Taguchi metodu, regresyon ve varyans analizlerinin yapılabilmesi için Minitab17 programından faydalanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

1050-H14 alüminyum alaşımı üzerinde 4 farklı kesme hızı, 4 farklı ilerleme, 4 farklı matkap uç açısı ve 2 farklı kaplama durumu kullanılarak gerçekleştirilen boydan boya delik delme deneylerinin tasarımı (L16 – 4×3 2×1 dikey dizisi deney tasarımı) Tablo 3’te verilmiştir. Deneyler sonucunda ölçülen Ra, ÇS, SS, ÇY ve YD değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3. L16 – 4×3 2×1 dikey dizisi deney tasarımı (L16 - 4×3 2×1 orthogonal array experimental design)

Test no	Kod	Vc (m/dk.)	Kod	f (mm/dev)	Kod	β (°)	Kod	KD
1	A1	10	B1	0.025	C1	90	D1	Kaplamasız
2	A1	10	B2	0.050	C2	105	D1	Kaplamasız
3	A1	10	B3	0.075	C3	118	D2	Kaplamalı
4	A1	10	B4	0.100	C4	140	D2	Kaplamalı
5	A2	20	B1	0.025	C2	105	D2	Kaplamalı
6	A2	20	B2	0.050	C1	90	D2	Kaplamalı
7	A2	20	B3	0.075	C4	140	D1	Kaplamasız
8	A2	20	B4	0.100	C3	118	D1	Kaplamasız
9	A3	30	B1	0.025	C3	118	D1	Kaplamasız
10	A3	30	B2	0.050	C4	140	D1	Kaplamasız
11	A3	30	B3	0.075	C1	90	D2	Kaplamalı
12	A3	30	B4	0.100	C2	105	D2	Kaplamalı
13	A4	40	B1	0.025	C4	140	D2	Kaplamalı
14	A4	40	B2	0.050	C3	118	D2	Kaplamalı
15	A4	40	B3	0.075	C2	105	D1	Kaplamasız
16	A4	40	B4	0.100	C1	90	D1	Kaplamasız

Tablo 4. Deneyle sonuçları ölçülen Ra, ÇS, SS, ÇY ve YD değerleri ve S/N oranları (Ra, ÇS, SS, ÇY and YD test results and S/N ratios)

Test no	Ra (η m)	Ra S/N (dB)	ÇS (mm)	ÇS S/N (dB)	SS (mm)	SS S/N (dB)	ÇY (mm)	ÇY S/N (dB)	YD (mm)	YD S/N (dB)
1	5.015	-14.0054	0.047	26.5580	0.050	26.0206	2.12	-6.5267	1.255	-1.9729
2	5.684	-15.0931	0.065	23.7417	0.055	25.1927	2.58	-8.2324	1.337**	-2.5226
3	5.928	-15.4582	0.029	30.7520	0.045*	26.9357	1.93	-5.7111	0.776	2.2028
4	6.461	-16.2060	0.038	28.4043	0.050	26.0206	2.04	-6.1926	1.218	-1.7129
5	4.466*	-12.9984	0.026*	31.7005	0.055	25.1927	1.40	-2.9226	1.183	-1.4597
6	5.038	-14.0452	0.034	29.3704	0.050	26.0206	1.24	-1.8684	0.604	4.3793
7	6.851**	-16.7151	0.055	25.1927	0.073	22.7335	2.46	-7.8187	1.112	-0.9221
8	6.430	-16.1642	0.064	23.8764	0.070	23.0980	2.68**	-8.5627	0.974	0.2288
9	5.234	-14.3767	0.030	30.4576	0.075	22.4988	1.98	-5.9333	0.418	7.5765
10	5.309	-14.5003	0.035	29.1186	0.077**	22.2702	1.04	-0.3407	0.859	1.3201
11	5.919	-15.4450	0.047	26.5580	0.068	23.3498	0.96	0.3546	0.158*	16.0269
12	6.253	-15.9218	0.063	24.0132	0.072	22.8534	0.90	0.9151	0.313	10.0891
13	5.162	-14.2564	0.029	30.7520	0.075	22.4988	0.36	8.8739	0.446	7.0133
14	5.556	-14.8952	0.037	28.6360	0.070	23.0980	0.28*	11.0568	0.316	10.0063
15	6.128	-15.7464	0.049	26.1961	0.075	22.4988	0.55	5.1927	0.253	11.9376
16	6.703	-16.5254	0.067**	23.4785	0.073	22.7335	0.84	1.5144	0.316	10.0063
Average	5.759		0.045		0.065		1.46		0.721	

* en düşük değer, ** en yüksek değer

Alüminyum 1050-H14 malzemenin belirlenen kontrol faktörleri ile delinmesi sonucunda elde edilen Ra ortalaması 5.759 η m, ÇS değerinin ortalaması 0.045 mm, SS değerinin ortalaması 0.065 mm, ÇY ortalaması 1.46 mm ve YD ortalaması ise 0.721 mm'dir. Tablo 4 incelendiğinde, değişkenlerin en yüksek değerlerinin; Ra için 6.851 η m, ÇS için 0.067 mm, SS için 0.077 mm, ÇY için 2.68 mm, YD için 1.337 mm'dir. Ayrıca en düşük ölçüm değerlerinin ise Ra için 4.466 η m, ÇS için 0.026 mm, SS için 0.045 mm, ÇY için 0.28 mm ve YD için ise 0.158 mm olduğu görülmektedir. Bu değerler N9-N10 yüzey toleranslarında kaba yüzeye sahip delikler için kabul edilir sınırlar dâhilindedir. Ölçüm sonuçlarına göre Ra'daki değişim \approx %53, ÇS'deki değişim \approx %157, SS'deki değişim \approx %71, ÇY'deki değişim \approx %857 ve YD'deki değişim \approx %746 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar arasındaki bu farklar delme deneylerinde kullanılan değişkenlerin delinme performansını önemli derecede etkilediğinin bir göstergesidir.

Kesme parametrelerine bağlı olarak, en yüksek Ra değeri Vc: 20 m/dk - f: 0,075 mm/dev, ÇS değeri Vc: 40 m/dk - f: 0.1 mm/dev, SS değeri Vc: 30 m/dk - f: 0.05 mm/dev, ÇY değeri Vc: 20 m/dk - f: 0.1 mm/dev, YD değeri Vc: 10 m/dk - f: 0.050 mm/dev ölçülmüştür. En düşük Ra değeri Vc:20 m/dk - f: 0.025 mm/dev, ÇS değeri Vc: 20 m/dk - f: 0.025 mm/dev, SS değeri Vc: 10 m/dk - f: 0.075 mm/dev, ÇY değeri Vc: 40 m/dk - f: 0.050 mm/dev, YD değeri Vc: 30 m/dk - f: 0.075 mm/dev ölçülmüştür. Bu sonuçlar kesme hızı ve ilerlemedeki değişimlerinin sonuçlar üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Yüksek yüzey pürüzlülük değerleri alüminyum alaşımının yüksek sünekliliği ve ticari olarak kullanılan saflığa en yakın alüminyum alaşımlarından birisi olması ile açıklanabilir. Alüminyum, bakır ve nikel gibi ticari saflıktaki malzemelerin işlenmesinde yüksek yüzey pürüzlülük değerleri özellikle düşük kesme hızlarında sıklıkla görülür [17-19]. Normal olarak bütün talaşlı imalat işlemlerinde özellikle kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri düşer [18, 22]. Bu çalışmada kullanılan kesici takım malzemesinin HSS olması nedeniyle yüksek kesme hızları kullanılmamıştır. Dolayısıyla delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek çıkması beklenen bir durumdur.

3.1. Regresyon Analizi ve Kontrol Faktörlerinin Etkileşimi (Regression Analysis and Interaction of Control Factors)

Değişken değerlerinin (Ra, ÇS, SS, ÇY ve YD) hesaplanabilmesi için gerekli olan regresyon denklemleri sırasıyla Eşitlik 2, Eşitlik 3, Eşitlik 4, Eşitlik 5 ve Eşitlik 6'da verilmiştir. Delme deneylerinde değişkenlerin mümkün olan en düşük seviyelerde olması arzulanır. Bu nedenle elde edilen regresyon denklemlerinde negatif çarpan durumunda bulunan değişkenlerin yükselen değerleri kalite karakteristiği sonuçları üzerinde olumlu etkiye neden olurken, pozitif çarpan durumunda bulunan kontrol faktörlerinin yükselen değerleri ise olumsuz yönde etkili olacaktır.

$$Ra = 3.82 + 0,00328 Vc + 21.1 f + 0.00614 \beta - 0.321 KD \quad (2)$$

$$\text{ÇS} = 0.0581 + 0.000021 Vc + 0.309 f - 0.000232 \beta - 0.0136 KD \quad (3)$$

$$SS = 0.0276 + 0.00807 Vc + 0.0390 f + 0.000161 \beta - 0.00787 KD \quad (4)$$

$$\text{ÇY} = 2.51 - 0.0571 Vc + 2.56 f + 0.00477 \beta - 0.642 KD \quad (5)$$

$$YD = 1.08 - 0.0297 Vc - 2.26 f + 0.00545 \beta - 0.189 KD \quad (6)$$

Tablo 5'te regresyon denklemi elde edildikten sonra bulunan katsayılar tablosu verilmiştir. Bu tabloda verilen; Coef: değerlerin katsayılarını, SE Coef: katsayılarıdaki standart hatayı, T: test istatistiklerinin sonucunu, P: regresyon analizinin anlamlı olup, olmadığını belirtmektedir. P değerlerinin 0,05'ten küçük olması kontrol faktörünün istatistiksel olarak anlamlı olduğunun bir kanıtı niteliğindedir.

Tablo 5'teki P değerleri incelendiğinde; Ra üzerinde f ve KD, ÇS üzerinde f ve KD, SS üzerinde Vc, β ve KD, ÇY üzerinde Vc ve KD, YD üzerinde ise Vc istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Regresyon denklemlerinin katsayılar tablosu (Coefficients table of regression equations)

	Tahmin unsuru	Katsayı	Vc	f	β	KD	R ²
Ra	Coef	3.8201	0.03284	21.149	0.006140	-0.3214	% 87.9
	SE Coef	0.4944	0.006248	2.499	0.003807	0.1397	
	T	7.73	0.53	8.46	1.61	-2.3	
	P	0.000	0.61	0.000	0.135	0.042	
ÇS	Coef	0.05813	0.0000125	0.30900	0.0002318	-0.01325	% 71.3
	SE Coef	0.01598	0.0002020	0.08080	0.0001231	0.004517	
	T	3.64	0.06	3.82	-1.88	-3.02	
	P	0.004	0.952	0.003	0.086	0.0120	
SS	Coef	0.027632	0.0008075	0.03900	0.00016108	-0.007875	% 87.7
	SE Coef	0.008282	0.0001047	0.04186	0.00006377	0.00230	
	T	3.34	7.72	0.93	2.530	-3.37	
	P	0.007	0.000	0.372	0.028	0.006	
ÇY	Coef	2.5074	-0.057050	2.560	0.004769	-0.6425	% 87.0
	SE Coef	0.5960	0.007532	3.013	0.004589	0.1684	
	T	4.21	-7.57	0.85	1.04	-3.82	
	P	0.001	0.000	0.414	0.321	0.003	
YD	Coef	1.0832	-0.029725	-2.260	0.005445	-0.1887	% 82.8
	SE Coef	0.3549	0.004484	1.794	0.002732	0.1003	
	T	3.05	-6.63	-1.26	1.99	-1.88	
	P	0.011	0.000	0.234	0.072	0.086	

Tablo 5'teki determinasyon katsayıları (R²) incelendiğinde elde edilen regresyon denklemlerinin deney sonuçlarını Ra için 87.9%, ÇS için 71.3%, SS için 87.7%, ÇY için 87.0% ve YD için ise

82.8% oranlarında açıklayabildiğini görürüz. Başka bir ifade ile değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Ayrıca Tablo 6'da elde ettiğimiz çoklu doğrusal regresyon denklemine ait varyans analizleri verilmiştir. Bu tabloya göre P değerleri 0.05'ten küçüktür ve dolayısıyla istatistiksel olarak anlamlı regresyon denklemlerimiz vardır denilebilir.

Tablo 6. Regresyon denklemlerine ait varyans analizi (Analysis of variance of regression equations)

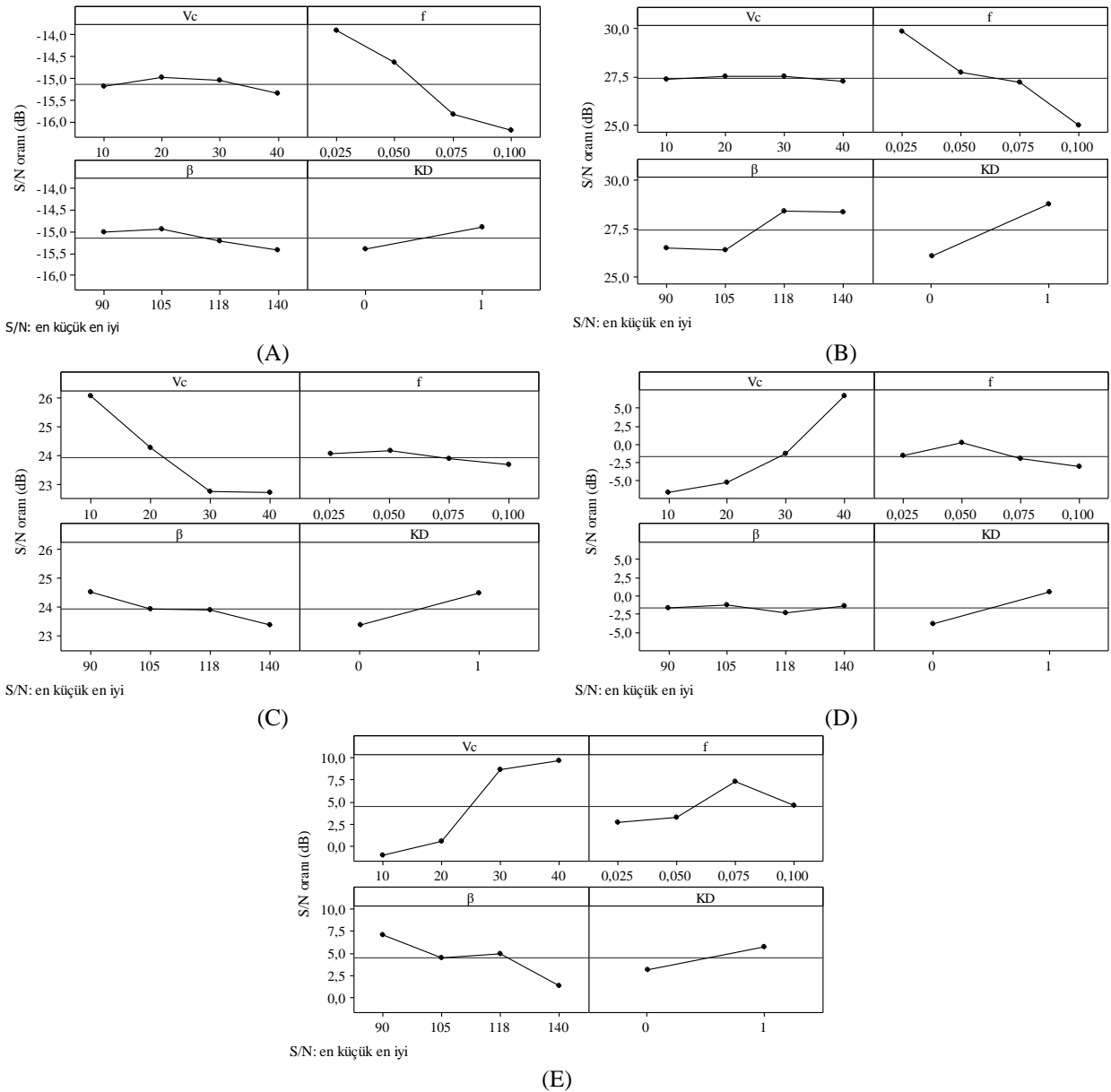
	Kaynak	SD	KT	KO	F	P
Ra	Regresyon	4	6.2287	1.5572	19.94	0.000
	Ölçüm hatası	11	0.8589	0.0781		
	Toplam	15	7.0876			
	Kaynak	DF	SS	MS	F	P
ÇS	Regresyon	4	0.00222586	0.00055646	6.82	0.005
	Ölçüm hatası	11	0.00089758	0.00008160		
	Toplam	15	0.00312344			
	Kaynak	DF	SS	MS	F	P
SS	Regresyon	4	0.00171097	0.00042774	19.53	0.000
	Ölçüm hatası	11	0.00024097	0.00002191		
	Toplam	15	0.00195194			
	Kaynak	DF	SS	MS	F	P
ÇY	Regresyon	4	8.3651	2.0913	18.43	0.000
	Ölçüm hatası	11	1.2479	0.1134		
	Toplam	15	9.6130			
	Kaynak	DF	SS	MS	F	P
YD	Regresyon	4	2.13323	0.53331	13.26	0.000
	Ölçüm hatası	11	0.44242	0.04022		
	Toplam	15	2.57565			

SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, F: Test istatistiği, P: Anlamlılık düzeyi

3.2. Taguchi Metodu ve Optimizasyon (Taguchi Method and Optimization)

Ra, ÇS, SS, ÇY ve YD değerleri için hesaplanan S/N oranlarına göre ana etki grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 7'de S/N oranlarının kontrol faktörlerine göre dağılımları ve önem sıralaması verilmiştir.

Şekil 3'teki ana etki grafikleri ve Tablo 7'deki S/N oranlarının en yüksek ve en düşük noktaları incelendiğinde, kalite karakteristikleri üzerinde etkili olan en önemli kontrol faktörlerinin; Ra ve ÇS için f, SS, ÇY ve YD için ise de Vc olduğu görülmektedir. Ayrıca, Tablo 7'de kontrol faktörlerinin önem sıralaması incelendiğinde, Ra için f-KD-β-Vc, ÇS için f-KD-β-Vc, SS için Vc-β-KD-f, ÇY için Vc-KD-f-β ve YD için ise Vc-β-f-KD olduğu görülmektedir.



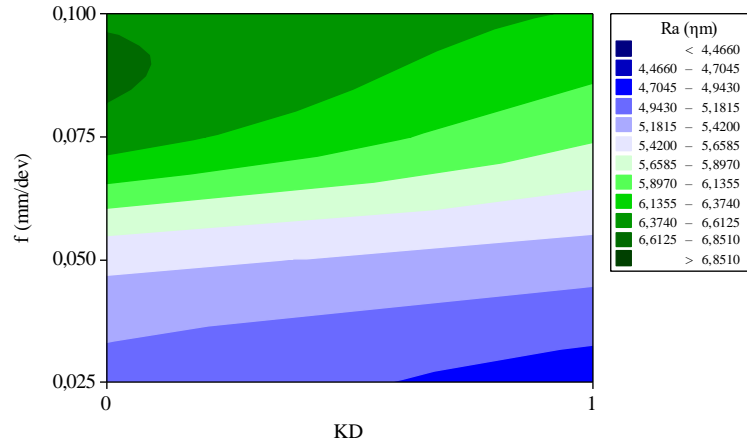
Şekil 3. S/N oranları için ana etki grafikleri; A: Ra, B: ÇS, C: SS, D: ÇY, E: YD (Main effect plot for the S/N ratios; A: Ra, B: ÇS, C: SS, D: ÇY, E: YD)

Şekil 4'te Ra üzerinde f ve KD, Şekil 5'te ÇS üzerinde f ve KD, Şekil 6'da SS üzerinde Vc ve β , Şekil 7'de ÇY üzerinde Vc ve KD, Şekil 8'de YD üzerinde Vc ve β etkileşimi gösterilmeye çalışılmıştır. Grafikler kalite karakteristiklerinin en fazla etkilendiği iki kontrol faktörleri baz alınarak düzenlenmiştir (Tablo 7). Grafikteki dalgalanmalar kalite karakteristikleri üzerinde diğer kontrol faktörlerinden de etkilendiğini göstermektedir ve bu sonuçlar istatistiksel sonuçlarında doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

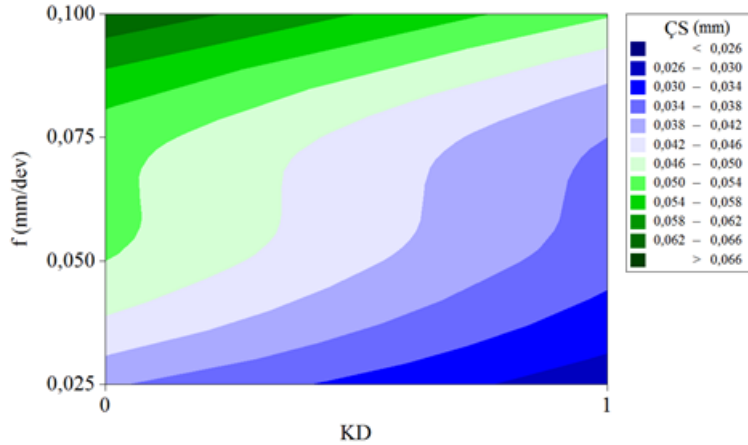
Şekil 4 ve Şekil 5'te f değerinin artması ile Ra ve ÇS'nin arttığı ve ayrıca kaplamalı matkapların (1) kaplamasız matkaplara (0) nazaran daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Düşük f değerlerinde ve kaplamalı matkaplarla daha iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesi beklenen bir durumdur.

Tablo 7. S/N oranlarına bağlı önem sırası (Order of importance based on S / N ratios)

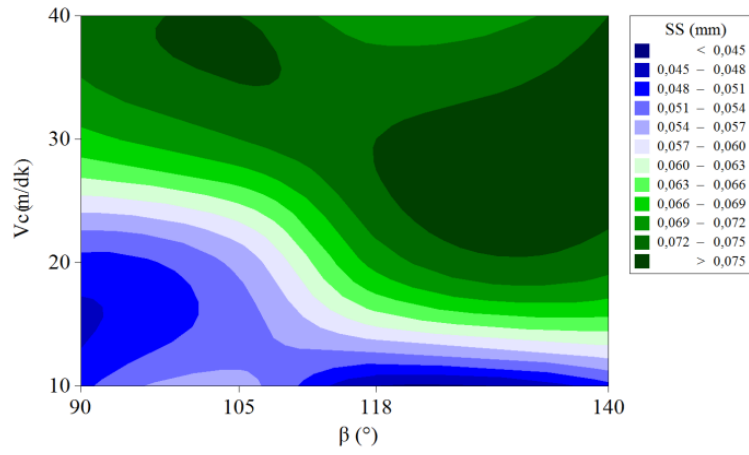
Seviyeler		Vc	f	β	KD	Seviyeler		Vc	f	β	KD	
		(dB)						(dB)				
Ra	1	-15.19	-13.91	-15.01	-15.39	ÇS	1	27.36	29.87	26.49	26.08	
	2	-14.98	-14.63	-14.94	-14.90		2	27.54	27.72	26.41	28.77	
	3	-15.06	-15.84	-15.22			3	27.54	27.17	28.43		
	4	-15.36	-16.20	-15.42			4	27.27	24.94	28.37		
	Fark	0.38	2.30	0.48	0.49		Fark	0.27	4.92	2.02	2.70	
	Sıra	4	1	3	2		Sıra	4	1	3	2	
SS	1	26.04	24.05	24.53	23.38	ÇY	1	-6.6657	-1.6272	-1.6315	-3.8384	
	2	24.26	24.15	23.93	24.50		2	-5.2931	0.1538	-1.2618	0.5632	
	3	22.74	23.88	23.91			3	-1.2511	-1.9956	-2.2876		
	4	22.71	23.68	23.38			4	6.6595	-3.0814	-1.3695		
	Fark	3.34	0.47	1.15	1.12		Fark	13.3252	3.2353	1.0258	4.4016	
	Sıra	1	4	2	3		Sıra	1	3	4	2	
YD	1	-1.0014	2.7893	7.1099	3.2065							
	2	0.5566	3.2958	4.5111	5.8181							
	3	8.7531	7.3113	5.0036								
	4	9.7409	4.6528	1.4246								
	Fark	10.7423	4.5220	5.6853	2.6117							
	Sıra	1	3	2	4							



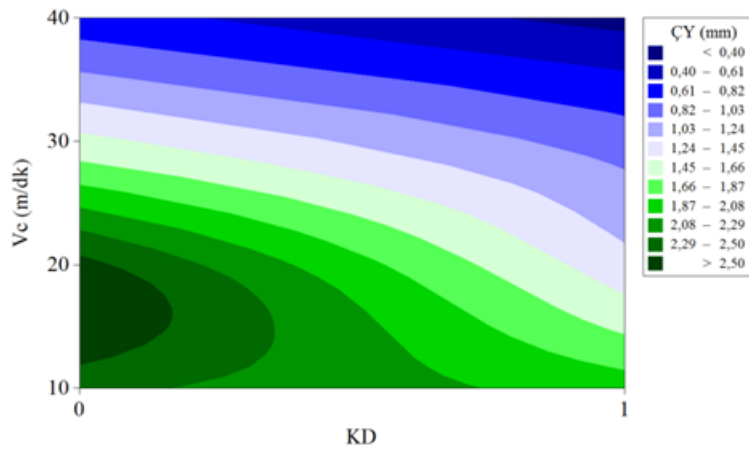
Şekil 4. İlerleme ve kaplama durumunun yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileşimi (The interaction of the feed rate and the coating condition on the surface roughness)



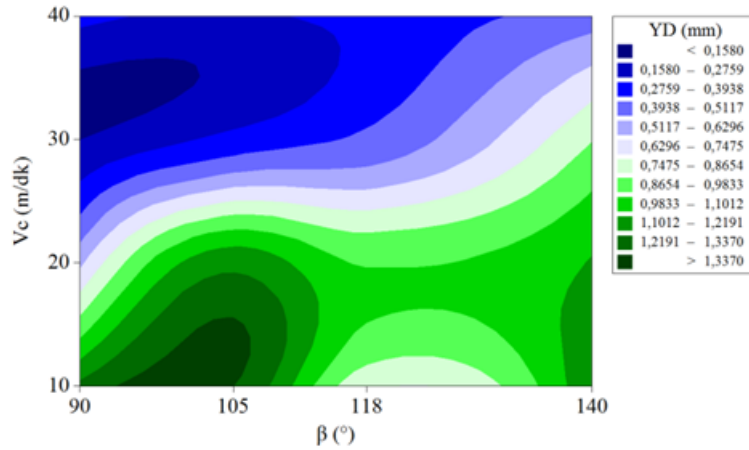
Şekil 5. İlerleme ve kaplama durumunun çaptan sapma üzerindeki etkileşimi (The interaction of the feed rate and the coating condition on the diameter deviation)



Şekil 6. Kesme hızı ve uç açısının silindirikten sapma üzerindeki etkileşimi (The interaction of the cutting speed and drill bit angle on the cylindrical deviation)



Şekil 7. Kesme hızı ve kaplama durumunun çapak yüksekliği üzerindeki etkileşimi (The Interaction of the cutting speed and the coating condition on burr height)



Şekil 8. Kesme hızı ve uç açısının yapışma üzerindeki etkileşimi (The interaction of the cutting speed and drill bit angle on the adhesion)

Kesme hızının artması ile silindiriklikten sapmanın arttığı, 10-20 m/dk kesme hızlarında matkap uç açısına da bağlı olarak silindirikten sapma değerlerinin dikkate değer şekilde azaldığı Şekil 6'de görülmektedir. Özellikle 90° uç açısına sahip matkaplarla nispeten daha iyi sonuçlar alındığı da görülmektedir. Şekil 7'de kaplamalı matkaplarla yüksek hızda delmede delik sonlarında oluşan çapakların azaldığı özellikle kaplamalı matkaplar ile 40 m/dk kesme hızında delinen deliklerde çapak oluşumunun oldukça düşük değerlerde (<0.40) olduğu söylenebilir. Şekil 8'de ise düşük kesme hızlarında iş parçası malzemesinin matkap kesici kenarlarına yapışma eğiliminin arttığı,

kesme hızının artması ile de dikkate değer şekilde azaldığı görülmektedir. Bununla beraber özellikle matkap uç açısının düşük değerlerinde yapışma eğilimi azalmaktadır.

Varyans analizi (ANOVA) ile Ra, ÇS, SS, ÇY ve YD'nin kontrol faktörlerinden etkilenme oranları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir. Tabloda; SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, F: Test istatistiği, P: Anlamlılık düzeyi, % katkı: Etki oranı ve R²: Determinasyon katsayısını ifade etmektedir.

Regresyon analizinde olduğu gibi ANOVA sonuçlarına göre de P değerinin 0.05'den küçük olması kontrol faktörlerinin kalite karakteristikleri üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Tablo 8 incelendiğinde, Ra için f, SS için Vc ve KD, ÇY için Vc ve KD, YD için ise Vc, β ve KD'nin istatistiksel olarak etkili olduğu söylenebilir (P değeri<0.05). Ayrıca Tablo 8'deki F oranlarının, ilgili F testi tablosundaki ($\alpha=0.05$ F dağılım tablosu) değeri mukayese edildiğinde F oranlarının, $\alpha=0.05$ F dağılımı tablo değerinden oldukça büyük oldukları görülmektedir (F oranları > 6.61). Bu sonuçlar da varyans analizinin doğruluğunu destekler.

Tablo 8. Ra, ÇS, SS, ÇY ve YD'nin S/N oranları için ANOVA (ANOVA for S/N ratios of Ra, ÇS, SS, ÇY and YD)

Kontrol faktörleri		SD	KT	KO	F	P	% katkı
Ra	Vc	3	0,3223	0,1074	0,43	0,738	1,93
	f	3	13,5828	4,5276	18,30	0,004	81,50*
	β	3	0,5723	0,1908	0,77	0,558	3,43
	KD	1	0,9508	0,9508	3,84	0,107	5,71
	Hata	5	1,2370	0,2474			7,42
	Toplam	15	16,6652				100,00
	R ²						92,58%
ÇS	Vc	3	0,215	0,072	0,01	0,998	0,18
	f	3	49,084	16,361	3,09	0,128	40,88*
	β	3	15,178	5,059	0,95	0,482	12,64
	KD	1	29,071	29,071	5,48	0,066	24,21
	Hata	5	26,516	5,303			22,08
	Toplam	15	120,064				100,00
	R ²						77,91%
SS	Vc	3	29,9028	9,9676	25,78	0,002	74,80*
	f	3	0,5122	0,1707	0,44	0,733	1,28
	β	3	2,6530	0,8843	2,29	0,196	6,64
	KD	1	4,9768	4,9768	12,87	0,016	12,45
	Hata	5	1,9329	0,3866			4,83
	Toplam	15	39,9776				100,00
	R ²						95,17%
ÇY	Vc	3	430,543	143,514	37,41	0,001	78,07*
	f	3	21,689	7,230	1,88	0,250	3,93
	β	3	2,543	0,848	0,22	0,878	0,46
	KD	1	77,498	77,498	20,20	0,006	14,05
	Hata	5	19,183	3,837			3,48
	Toplam	15	551,455				100,00
	R ²						96,52%
YD	Vc	3	365,486	121,829	37,72	0,001	69,72*
	f	3	49,211	16,404	5,08	0,056	9,39
	β	3	66,091	22,030	6,82	0,032	12,61
	KD	1	27,283	27,283	8,45	0,034	5,20
	Hata	5	16,150	3,230			3,08
	Toplam	15	524,221				100,00
	R ²						96,92%

* En yüksek etki oranı

Kalite karakteristiklerinin kontrol faktörlerinden etkilenme oranları sırasıyla; Ra için Vc: %1.93 - f: %81.50 - β : %3.43 - KD: %5.71, ÇS için Vc: %0.18 - f: %40.88 - β : %12.64 - KD: %24.21, SS için Vc: %74.80 - f: %1.28 - β : %6.64 - KD: %12.45, ÇY için Vc: %78.07 - f: %3.93 - β : %0.46 -

KD: %14.05, YD için Vc: %69.72 - f: %9.39 - β : %12.61 - KD: %5.20 seviyelerinde olduğu ilgili tabloda (Tablo 8) görülmektedir.

Taguchi metodu ile optimizasyon yapılarak, belirlenen kalite karakteristikleri üzerinde kontrol faktörlerinin en uygun seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan optimizasyona göre kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri; Ra için A2-B1-C2-D2 (Vc: 20 m/dk - f: 0.025 mm/dev - β : 105° - kaplamalı matkap), ÇS için A3-B1-C3-D2 (Vc: 30 m/dk - f: 0.025 mm/dev - β : 118° - kaplamalı matkap), SS için A1-B2-C1-D2 (Vc: 10 m/dk - f: 0.050 mm/dev - β : 90° - kaplamalı matkap), ÇY için A4-B2-C2-D2 (Vc: 40 m/dk - f: 0.050 mm/dev - β : 105° - kaplamalı matkap) ve YD için A4-B3-C1-D2 (Vc: 40 m/dk - f: 0.075 mm/dev - β : 90° - kaplamalı matkap) olarak tespit edilmiştir (Şekil 3).

Bundan sonraki aşama optimizasyonun geçerliliğinin kontrolüdür. Bu amaçla kontrol faktörlerinin en uygun seviyeleri için doğrulama deneylerinin ve tahminsel hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Yapılan doğrulama deneyi sonuçları, tahminsel hesaplamalar ve karşılaştırmaları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Yapılan doğrulama deneyi sonuçları ve tahminsel hesaplamaların karşılaştırılması (Comparison of validation test results and predictive calculations)

Kalite karakteristiği	Doğrulama deneyi		Tahminsel hesaplama		Farklar	
Ra	Ra _{den} (μ m)	Ra S/N _{den} (dB)	Ra _{tah} (μ m)	Ra S/N _{tah} (dB)	Ra _{den} -Ra _{tah} (μ m)	Ra S/N _{den} -Ra S/N _{tah} (dB)
	4.813	-13.6483	4.620	-13.2920	0.193	0.3563
ÇS	ÇS _{den} (mm)	ÇS S/N _{den} (dB)	ÇS _{tah} (mm)	ÇS S/N _{tah} (dB)	ÇS _{den} -ÇS _{tah} (mm)	ÇS S/N _{den} -ÇS S/N _{tah} (dB)
	0.023	32.7654	0.021	32.3315	0.002	0.4339
SS	SS _{den} (mm)	SS S/N _{den} (dB)	SS _{tah} (mm)	SSS/N _{tah} (dB)	SS _{den} -SS _{tah} (mm)	SS S/N _{den} -SS S/N _{tah} (dB)
	0.044	27.1309	0.040	27.3997	0.004	0.2688
ÇY	ÇY _{den} (mm)	ÇY S/N _{den} (dB)	ÇY _{tah} (mm)	ÇY S/N _{tah} (dB)	ÇY _{den} -ÇY _{tah} (mm)	ÇY S/N _{den} -ÇY S/N _{tah} (dB)
	0.23	12.7654	-0.091	11.0276	0.312	1.7378
YD	YD _{den} (mm)	YD S/N _{den} (dB)	YD _{tah} (mm)	YD S/N _{tah} (dB)	YD _{den} -YD _{tah} (mm)	YD S/N _{den} -YD S/N _{tah} (dB)
	0.096	20.3546	-0.046	16.4433	0.142	3.9113

Yüzey pürüzlülüğünün tahminsel değerinin (Ra_{tah}) hesaplanmasında Eşitlik 7, çaptan sapma tahminsel değerinin (ÇS_{tah}) hesaplanmasında Eşitlik 8, silindiriklikten sapma tahminsel değerinin (SS_{tah}) hesaplanmasında Eşitlik 9, çapak yüksekliği tahminsel değerinin (ÇY_{tah}) hesaplanmasında Eşitlik 10 ve kesici takıma yapışmasının tahminsel değerinin (YD_{tah}) hesaplanmasında Eşitlik 11 kullanılmıştır. Eşitliklerde tahminsel hesaplamaların yapılabilmesi için kontrol faktörlerinin optimum koşulları kullanılmaktadır. Buna göre Eşitlik 7'de verilen Ra_{tah}, A2-B1-C2-D2 kontrol faktörlerinin optimum koşulları için Ra değerinin aritmetik ortalaması ve \overline{Ra}_{tah} , deneyler sonucunda elde edilen Ra değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Diğer eşitliklerde bu şarta bağlı olarak formülize edilmiştir.

$$Ra_{tah} = \overline{Ra}_{tah} + (\overline{A}_2 - \overline{Ra}_{tah}) + (\overline{B}_1 - \overline{Ra}_{tah}) + (\overline{C}_2 - \overline{Ra}_{tah}) + (\overline{D}_2 - \overline{Ra}_{tah}) \quad (7)$$

$$\overline{ÇS}_{tah} = \overline{ÇS}_{tah} + (\overline{A}_3 - \overline{ÇS}_{tah}) + (\overline{B}_1 - \overline{ÇS}_{tah}) + (\overline{C}_3 - \overline{ÇS}_{tah}) + (\overline{D}_2 - \overline{ÇS}_{tah}) \quad (8)$$

$$SS_{tah} = \overline{SS}_{tah} + (\overline{A}_1 - \overline{SS}_{tah}) + (\overline{B}_2 - \overline{SS}_{tah}) + (\overline{C}_1 - \overline{SS}_{tah}) + (\overline{D}_2 - \overline{SS}_{tah}) \quad (9)$$

$$\overline{ÇY}_{tah} = \overline{ÇY}_{tah} + (\overline{A}_4 - \overline{ÇY}_{tah}) + (\overline{B}_2 - \overline{ÇY}_{tah}) + (\overline{C}_2 - \overline{ÇY}_{tah}) + (\overline{D}_2 - \overline{ÇY}_{tah}) \quad (10)$$

$$YD_{tah} = \overline{YD}_{tah} + (\overline{A}_4 - \overline{YD}_{tah}) + (\overline{B}_3 - \overline{YD}_{tah}) + (\overline{C}_1 - \overline{YD}_{tah}) + (\overline{D}_2 - \overline{YD}_{tah}) \quad (11)$$

$$CI = \sqrt{F_{0,05,(1,f_e)} Ve (1/\eta_{eff} + 1/r)} \quad (12)$$

$$\eta_{eff} = N/1 + U_T \quad (13)$$

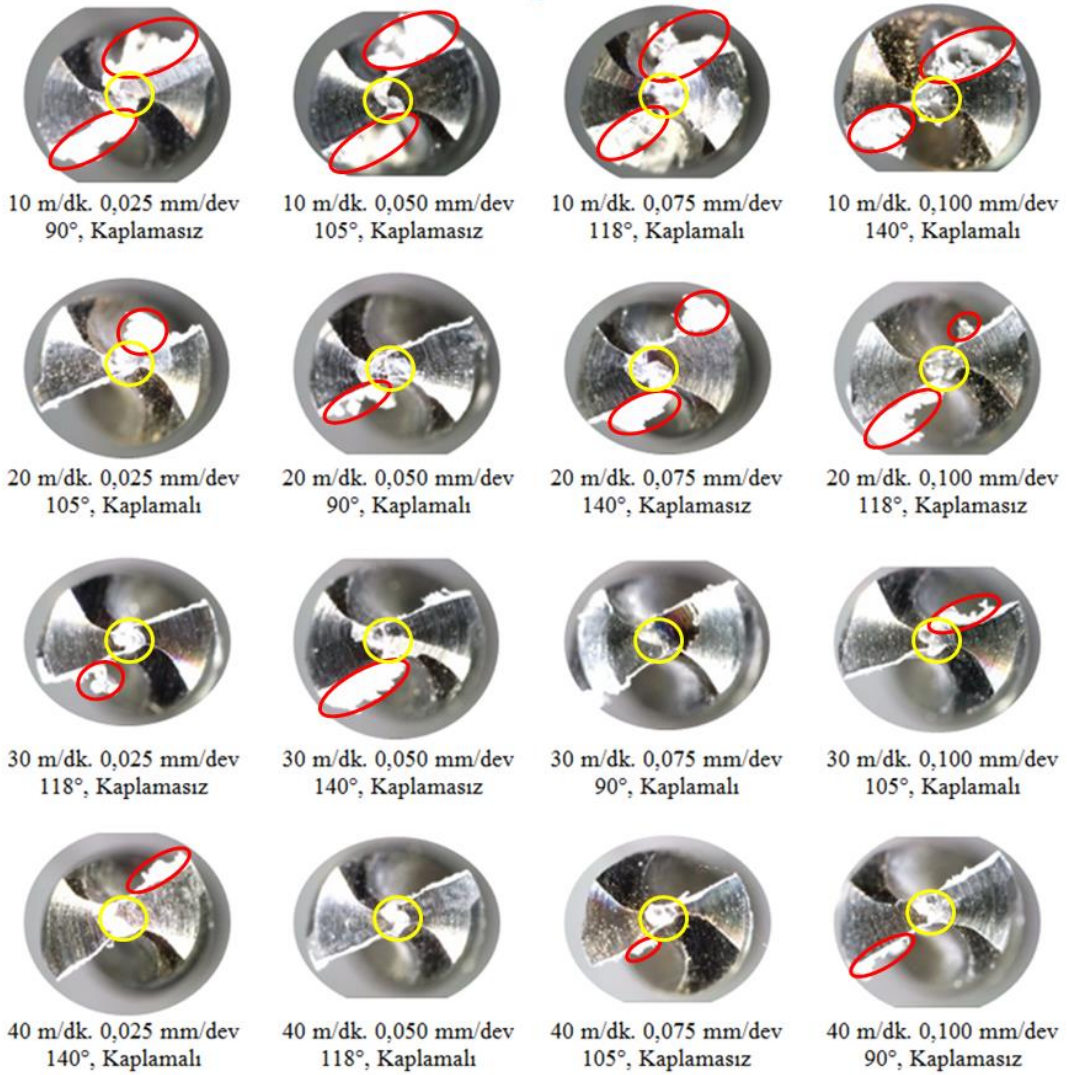
Optimum kontrol faktörlerinin seviyeleri ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları Eşitlik 12 yardımıyla hesaplanan güven aralığı (CI) değeri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Eşitlik 12 ve Eşitlik 13'te yer alan; $F_{0,05,(1,f_e)}$: F0,05 test tablosundan hata serbestlik derecesini, Ve : Hata varyansını, η_{eff} : gerçek tekrar sayısını, r : doğrulama deneyi tekrar sayısını, N : toplam deney sayısını ve U_T : kontrol faktörlerinin serbestlik dereceleri toplamını ifade etmektedir. Buna göre; bütün kontrol faktörleri için: $F_{0,05,(1,f_e)} = 6,61$ (F test tablosundan), Ve tablo 8'den (Ra için 0.247, ÇS için 5.303, SS için 0.3866, ÇY için 3.837 ve YD için 3.230) değerleri elde edilmiştir. Deney tekrar sayısının hesaplanması, toplam deney sayısı ve kesme kuvveti üzerinde anlamlı etkisi olan kontrol faktörlerinin serbestlik dereceleri toplamı Eşitlik 13'te yerine konulduğunda gerçek tekrar sayısı (η_{eff}) 1.45 olarak hesaplanmış ve doğrulama deneyi tekrar sayısı (r) 1 olarak uygulanmıştır. İlgili değerler Eşitlik 12'de yerine konulduğunda; Ra için güven aralığı (CI) = ± 1.50 , ÇS için ± 6.94 , SS için ± 1.87 , ÇY için ± 5.91 ve YD için ise ± 5.42 olarak bulunmuş olur.

Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen Ra değeri (Raden = 4.813 μm) ölçülmüş ve bu değere ait S/N oranı (Ra S/Nden = -13.6483 dB) Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Ayrıca Eşitlik 7 ile hesaplanan tahminsel Ra_{tah} değeri (Ratah = 4.620 μm) ve bu değere ait S/N oranı (Ra S/Ntah = -13.2920 dB) Eşitlik 1 yardımıyla bulunmuştur. Benzer işlemler ÇS, SS, ÇY ve YD için de tekrarlanmış ve bulunan değerler Tablo 9'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre; Ra için Ra S/Nden oranı (-13.6483 dB) ile Ra S/Ntah oranı (-13.2920 dB) arasındaki mutlak fark 0.3563 dB, ÇS için 0.4339 dB, SS için 0.2688 dB, ÇY için 1.7378 ve YD için ise 3.9113 olarak hesaplanmıştır. Bütün kalite karakteristikleri için de bu farkların Eşitlik 12 ile hesaplanan güven aralığı (CI) değerlerinden küçük olduğu görülmektedir (Ra için $0.3563 < 1.50$ - ÇS için $0.4339 < 6.94$ - SS için $0.2688 < 1.87$ - ÇY için $1.7378 < 5.91$ - YD için ise $3.9113 < 5.42$).

Elde edilen sonuçlara göre, Taguchi metoduyla HSS matkaplarla alüminyum 1050-H14 malzemenin delinmesinde yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, silindiriklikten sapma, çapak yüksekliği ve kesici takıma yapışma açısından 0.05 anlamlılık düzeyinde yapılan optimizasyonun uygun olduğu görülmüştür.

3.3. Kesici Takım Aşınması (Cutting Tool Wear)

Şekil 9'te matkabın kesme işlemi yapan kısımlarında önemli ölçüde iş parçası yapışmalarının ve kopmalarının olduğu görülmektedir. Al 1050-H14 alaşımının delinmesi sonucu ölçülen Ra değerlerinin yüksek çıkması delme süresince iş parçası malzemesinin kesici takıma yapışması ile açıklanabilir. Neredeyse tüm kesici takımlarda kesici kenara ve radyal ağıza iş parçası malzemesinin yapışması gözlemlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla yapışma oranında nispeten bir düşüş görülmüştür. Bununla beraber kesme hızının düşük, ilerleme miktarının yüksek olduğu kesme parametrelerinde iş parçası malzemesinin kesici takıma nispeten daha fazla yapışma eğilimine girdiği görülmüştür. Artan ilerleme miktarı ile talaş kesitinin artması talaşın daha yüksek bir yüzey alanında kesici takıma temas etmesine neden olacaktır. Bunun bir sonucu olarak iş parçası malzemesinin kesici takıma yapışma eğilimi artacaktır. Kesici kenar aşınması, ilerleme miktarının ve kesme hızının artmasına paralellik göstermiştir. Bununla beraber kaplamalı kesici takımlarda kaplamasız kesici takımlara nazaran daha az yapışma görülmektedir.



Şekil 9. Deneyler sonucunda matkap uçlarında meydana gelen iş parçası yapışmaları (Workpiece adhesions in drill bits as a result of experiments)

3.4. Çapak Oluşumu (Burr Formation)

Talaşlı imalat sonrası işlenmiş malzeme üzerinde kalan artık iş parçası malzemeleri (çapaklar) iş parçası kalitesini ve talaşlı imalat verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Oluşan bu çapakların ikici bir operasyonla giderilmesi gerekmektedir ve bu süreç maliyetleri artırıcı olumsuz bir işlem olacaktır. Bu nedenle çapak oluşumu ya tamamen önlenmeli ya da mümkün olan en düşük seviyede tutulmaya çalışılmalıdır. Şekil 10'de delinen deliklerin çıkış kısımlarında meydana gelen çapak oluşumları gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde delinen deliklerin çıkış kısımlarında oldukça yüksek çapak ve şapka oluşumları gözlenmektedir. Bu durumun alüminyumun yüksek sünekliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çıkış kısmında oluşan çapaklanmanın kesme hızının ve ilerleme miktarının artmasına paralel olarak nispeten azaldığı görülmektedir. Özellikle 40 m/dk kesme hızında ve düşük ilerleme değerlerinde kaplamalı kesici takımlarda çapak oluşumunun önemli oranda azaldığı görülmüştür. Kaplama, kesici takım üzerinde talaşın daha rahat kaymasına ve talaşın daha kolay uzaklaştırılmasında etkin bir faktör olması ile açıklanabilir. 90° ve 118° uç açısına sahip matkaplarla delinen deliklerin çıkış kısımlarının nispeten pürüzsüz olduğu da görülmektedir.



Şekil 10. Deneyler sonucu oluşan delik çıkışlarının görüntüleri (Exit images of the holes formed as a result of the experiments)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, kesme hızı, ilerleme miktarı, matkap uç açısı ve kaplama durumu olarak 4 farklı değişken kullanılarak 1050-H14 alüminyum alaşımının HSS kesici takımlarla delinmesi sonucu ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri, çaptan sapma ve silindiriklikten sapma değerleri incelenmiştir. Ayrıca deney sonucunda meydana gelen takım aşınmaları ve çapak oluşumu değişen delme parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Regresyon analizi sonucunda yüzey pürüzlülük değeri ve silindiriklikten sapma üzerinde ilerleme miktarının, çaptan sapma için ise kaplama durumunun sonuçlar üzerinde önemli derecede etkili olduğu görülmüştür
- Artan kesme hızları ve düşük ilerleme miktarlarında yüzey kalitesinin arttığı görülmüştür.
- Kaplamalı kesici takımlarla elde edilen deliklerin daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olduğu ve geometrik sapmaların daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür.

- Delik girişlerinde çapak oluşumu oldukça küçük değerlerdedir ancak yüksek hızlarda kaplamalı takımlar daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Delik sonlarında yüksek ilerleme miktarı değerlerinde çapak oluşumu artarken, yüksek kesme hızlarında azaldığı görülmüştür.
- Delik sonlarında şapka oluşumu görülmüş ve çapak kalınlığının yüksek olduğu durumlarda (yüksek ilerleme değerlerinde) delik kalitesinin olumsuz yönde etkilenmiştir.
- Neredeyse tüm deneylerde iş parçası malzemesinin kesici takıma yapışması gözlemlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla yapışma önemli ölçüde düşmüştür.
- İlerleme miktarının yükselen değerlerinde, iş parçası malzemesinin kesici takım üzerine yapışması artmış ve bununla beraber iş parçası kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. G. Samtaş, S. Korucu, Optimization of cutting parameters for surface roughness in milling of cryogenic treated EN AW 5754 (AlMg3) aluminum alloy, *Journal of Polytechnic*, 22(3): 665-673, 2019.
2. H. Durmuş, Optimization of multi-process parameters according to the surface quality criteria in the end milling of the AA6013 aluminum alloy, *Materials and Technology*, 46(4): 383-388, 2012.
3. M. Kurt, Y. Kaynak, B. Bakır, U. Köklü, G. Atakök, L. Kutlu, Experimental investigation and Taguchi optimization for the effect of cutting parameters on the drilling of Al 2024-t4 alloy with diamond like carbon (DLC) coated drills, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 2019, Karabük.
4. Ş. Bayraktar, Investigating of effects on thrust force and burr height of cutting parameters in dry drilling of al-5083 alloy, 16th International Materials Symposium (IMSP'2016), 64, 2016, Denizli.
5. U. Çaydaş, M. Çelik, AA 7075-T6 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması, *Journal of Polytechnic*, 20(2): 419-425, 2017.
6. N. Dheeraj, S. Sanjay, K.K. Bhargav, T. Jagadesh, Investigation into solid lubricant filled textured tools on hole geometry and surface integrity during drilling of aluminium alloy, *Materials Today: Proceedings*, 10th International Conference of Materials Processing and Characterization, 2020, Mathura, India.
7. D. Song, L. Wenhe, Z. Kan, L. Jinshan, F. Jindan, Investigation on exit burr in robotic rotary ultrasonic drilling of CFRP/aluminum stacks, *International Journal of Mechanical Sciences*, 151, 868-876, 2019.
8. M. Kimmelman, J. Duntschew, I. Schluchter, H.C. Möhring, Analysis of burr formation mechanisms when drilling CFRP-Aluminium stacks using acoustic emission, *Procedia Manufacturing*, 40, 64-69, 2019.
9. Z. Zhu, K. Guo, J. Sun, J. Li, Y. Liu, Y. Zheng, L. Chen, Evaluation of novel tool geometries in dry drilling aluminium 2024-T351 / titanium Ti6Al4V stack, *Journal of Materials Processing Technology*, 259, 270-281, 2018.
10. A.P. Ilyuschenko, E.E. Feldshtein, Y.O. Lisovskaya, L.V. Markova, M.A. Andreyev, A. Lewandowski, On the properties of PVD coating based on nanodiamond and molybdenum disulfide nanolayers and its efficiency when drilling of aluminum alloy, *Surface and Coatings Technology*, 270, 190-196, 2015.
11. S.S. Chatha, A. Pal, T. Singh, T. Performance evaluation of aluminium 6063 drilling under the influence of nanofluid minimum quantity lubrication, *Journal of Cleaner Production*, 137, 537-545, 2016.
12. Material Property Data: Matweb 01.05.2020
<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=b1aa69c0528a40729478403542a8c94a&n=1>.

13. G. Başar, F. Kahraman, Delik işleme prosesinde kesme parametrelerinin Taguchi metodu ve regresyon analizi kullanılarak modellenmesi ve optimizasyonu, 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017), 688-695, 2017, Adana.
14. M.E. Aydemir, Bazı optimizasyon yöntemlerinin yama anten problemlerindeki performansı, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29(3): 579-588, 2014.
15. İ. Çiftçi, H. Gökçe, Optimisation of cutting tool and cutting parameters in machining of molybdenum alloys through the Taguchi Method, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34(1): 201-213, 2019.
16. M. Saat, Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3, 97-108, 2000.
17. E.M. Trent P.K. Wright, Metal Cutting 4th ed., Butterworth-Heineman, 2000, Boston.
18. H. Gökçe, M. Yavuz. İ. Çiftçi, An investigation into the performance of HSS drills when drilling commercially pure molybdenum, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 38(1): 61-70, 2020.
19. İ. Çiftçi, H. Gökçe, Ti6Al4V Titanyum alaşımının delinmesinde delme yönteminin aşınmaya etkisinin incelenmesi, Journal of Polytechnic, 22(3): 627-631, 2019.
20. M. Yavuz, H. Gökçe, İ. Çiftçi, H. Gökçe, Ç. Yavaş, U. Şeker, Investigation of the effects of drill geometry on drilling performance and hole quality, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 106, 4623-4633, 2020.
21. M. Elitaş, İ. Çiftçi, Sertleştirilmiş AISI 52100 malzemenin aşındırıcı diskle kesilmesinin araştırılması, Türk Bilim Araştırma Vakfı, 10(2): 1-10, 2017.
22. H. Yurtkuran, M.E. Korkmaz, M. Günay, Modelling and optimization of the surface roughness in high speed hard turning with coated and uncoated CBN insert, Gazi University Journal of Science, 29(4): 987-995, 2016.