



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Delik büyütme işleminde kesme parametrelerinin çok yanıtlı Taguchi deneysel tasarım yaklaşımı kullanılarak optimizasyonu

Optimization of cutting parameters in hole machining process by using multi-objective Taguchi approach

Yazar(lar) (Author(s)): Funda KAHRAMAN¹, Gökhan BAŞAR², Zülfü KOÇOĞLU³, Emre YENİYİL³

ORCID¹: xxxx-xxxx-xxxx-xxxx

ORCID²: 0000-0002-9696-7579

ORCID³: xxxx-xxxx-xxxx-xxxx

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kahraman F., Başar G., Koçoğlu Z. ve Yeniyl E., "Delik büyütme işleminde kesme parametrelerinin çok yanıtlı Taguchi deneysel tasarım yaklaşımı kullanılarak optimizasyonu", *Politeknik Dergisi*, 21(2): 283-290, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.385921

Delik Büyütme İşleminde Kesme Parametrelerinin Çok Yanıtlı Taguchi Deneysel Tasarım Yaklaşımı Kullanılarak Optimizasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Funda KAHRAMAN¹, Gökhan BAŞAR², Zülfü KOÇOĞLU³, Emre YENİYİL³

¹Tarsus Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Müh. Bölümü, Mersin Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye

³Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Müh. Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 16.02.2017 ; Kabul/Accepted : 13.04.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, AA 5754 alüminyum alaşımının ıslak delme işleminde delme parametrelerinin, yüzey kalitesi üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Girdi faktörleri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği, çıktı parametreleri olarak aritmetik ortalama pürüzlülük değeri (Ra), geometrik ortalama pürüzlülük (Rq) ve profilin ortalama maksimum yüksekliği (Rz) gibi yüzey pürüzlülük kriterleri seçilmiştir. Deneyler Taguchi L₉ ortogonal tasarım düzenine göre gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları kullanılarak yapılan varyans analizi ile kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etki seviyeleri tespit edilmiştir. En etkili faktörlerin ilerleme (% 71.32) ve kesme hızı (% 22.20) olduğu görülmüştür. Çok yanıtlı Taguchi yaklaşımı kullanılarak, minimum yüzey pürüzlülük değerlerinin Ra, Rz ve Rq; 120 m/dak kesme hızı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 0.75 mm kesme derinliği koşullarında gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, delik işleme, yüzey pürüzlülüğü, Taguchi, optimizasyon.

Optimization of Cutting Parameters in Hole Machining Process by Using Multi-objective Taguchi Approach

ABSTRACT

In this study, effects of drilling parameters on the various surface roughness characteristics; arithmetic average roughness (Ra), geometric average roughness (Rq) and average maximum height of the profile (Rz) in the wet drilling of AA 5754 Aluminium alloy were experimentally investigated. Cutting speed, feed and depth of cut were considered as control factors; Ra, Rz and Rq were considered as response factors. Experiments were designed according to Taguchi L₉ orthogonal array. Variance analysis was performed to determine the importance of control factors on the surface roughness. The percent contributions of the control factors on the surface roughness were obtained to be feed (71.32%) and cutting speed (22.20%). Minimum surface roughness values Ra, Rz and Rq were obtained 120 m/min cutting speed, 0.10 mm/dev feed rate and 0.75 mm depth of cut by using multi-objective Taguchi approach.

Keywords: Aluminium, hole machining, surface roughness, Taguchi, optimization

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metallerin talaş kaldırılarak işlenmesi, temel bir imalat metodu olup makine imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir [1]. Tornalama, frezeleme ve delme temel talaşlı imalat yöntemleridir. Diğer talaş kaldırma işlemleri ise planyalama, raybalama, broşlama, taşlama, vargelde işleme ve testere ile delmedir. Talaş kaldırma işlemi, çeşitli tezgâhlarda kesici takımlar kullanılarak iş parçası üzerinden malzemenin talaş şeklinde atılması işlemidir [2]. Geleneksel yöntemler arasında delik delme işlemi en önemli talaşlı imalat yöntemlerinden biridir ve tüm talaşlı imalat işlemlerinin %33'ünü oluşturmaktadır [3]. Bu işlemde genellikle HSS malzemenin yapılmış iki ağızlı helisel matkaplar kullanılır.

Matkap ile açılan delikler daha sonra çeşitli takımlar kullanılarak genişletilebilir.

Metal kesme operasyonlarında bazı parametreler son işlem yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı ve soğutma sıvısı gibi parametreler kontrol edilebilir faktörler iken titreşim, takım aşınması ve malzeme kusurları gibi parametreler ise kontrol edilemeyen faktörlerdir [4]. Elde edilen yüzey kalitesi, üretim maliyetlerini ve ürünün teknolojik kalitesini büyük ölçüde etkileyen önemli faktörlerden biridir. Makine parçalarının yüzey kalitesini belirlemede, rijitlik, yorulma dayanımı ve yüzey aşınması bakımından önemli olan Ra, Rz ve Rq yüzey pürüzlülüğü parametreleri kullanılmaktadır. Ra: ortalama yüzey pürüzlülüğü, Rz: 5 tane en yüksek ve 5 tane en alçak noktanın ortalaması veya yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : fkahraman@mersin.edu.tr

noktaları arasındaki dikey mesafedir. Rq: geometrik ortalama pürüzlülük değeridir [5, 6].

Ürünün yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerinin optimizasyonunda çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Taguchi deneysel tasarım metodu optimizasyon problemlerinin çözümünde oldukça başarılı bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Taguchi metodunda, en iyi sonuçları minimum sayıda deney ile elde etmek için istatistiki olarak tasarlanmış ortogonal dizinleri kullanır. Bu sayede deney sayısını azaltarak zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlanmış olunur. Taguchi metodunda kalite geliştirme çalışmaları üç aşamada gerçekleştirilir. Bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı, tolerans tasarımı olarak sınıflandırılır [7].

Makine alanında tek çıktının olması durumunda sinyal/gürültü oranı bazlı Taguchi tekniği başarılı bir şekilde uygulamaktadır. Bu konuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar kısaca şöyle özetlenebilir; Meral ve arkadaşları, delik delme uygulamalarında delik kalitesinin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu adlı çalışmasında AISI 1050 imalat çeliği üzerinde üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarı ile delme deneyleri yapmıştır. Deneylerde iki farklı tipte ve üç değişik çapta TiAlN kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplar kullanılmıştır. Aynı kontrol seviyelerinde TiAlN kaplamalı matkapların performansının kaplamasız HSS matkaplara göre yüksek olduğu, her iki matkap türünde de çaptan sapma ve dairesellikten sapma değerleri üzerindeki en etkili faktörün kesme hızı olduğu tespit edilmiştir [5]. Çakır ve arkadaşları, AA 7075 ve AA 6013 alüminyum malzemelere delik delme operasyonu süresince delme parametrelerini incelemiştir. Çalışmada kesici takım ve delme parametrelerinin delik delme performansında birinci derecede etkili olduğu görülmüş, ilerleme oranlarındaki artışın kesme kuvvetleri ve momentlerde daha fazla artışa sebep olduğu sonucuna varılmıştır [8]. Şirin ve arkadaşları, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünü Taguchi yöntemiyle optimize etmiş yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrelerin sırasıyla kesme hızı ve ilerleme olduğunu tespit etmişlerdir [9]. Kaplan ve arkadaşları, AISI D2 ve AISI D3 soğuk iş çeliklerinin delinmesinde işleme parametrelerinin çapak oluşumuna etkilerini incelemiştir. Deneylerden, ilerlemenin artmasına bağlı olarak delik sonu çapak yüksekliğinin azaldığı; delik sayısı, kesme hızı ve malzeme sertliğinin artmasına bağlı olarak da delik sonu çapak yüksekliğinin arttığı tespit edilmiştir [10]. Bahçe ve arkadaşları, Al-5005'in delinmesinde delme parametrelerinin çapak oluşumuna etkisini araştırmıştır. Delme deneyleri farklı devir sayıları, ilerleme oranları ve farklı uç açıları kullanılarak yapılmış olup, matkap uçlarının ilerleme ve devir sayılarının artmasına bağlı olarak çapak yüksekliklerinin arttığı ve uç açısı 130° olan matkap ile yapılan delme işlemlerinde en düşük çapak yüksekliğinin elde edildiği görülmüştür [11]. Motorcu ve Ekici, toz metalurjisi-sıcak presleme yöntemiyle üretilen farklı oranlarda B₄C parçacık takviyeli kompozit malzemelerin kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla delinmesinde kesme kuvvetleri ve tork değerleri Taguchi metodu

kullanılarak optimize etmiştir. İlerleme miktarı ve parçacık takviye oranının artması ile aksel kuvvet ve torkun arttığı, kesme hızının ise azaldığını tespit etmişlerdir [12]. Çakır ve arkadaşları, AA 7075 ve AA 2024 alüminyum alaşımlarının delinmesi işleminde, dört farklı kesme hızı (100, 125, 150, 175 m/dak), dört farklı ilerleme (0.10, 0.15, 0.20, 0.25 mm/dev) ve iki farklı ilerleme (geleneksel soğutma ve basınçlı hava ile soğutma) şartlarında gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, soğutma sıvısının (geleneksel soğutmada) takımdaki yükleri azaltmada çok önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [13]. Kılıçkap ve Hüseyinoğlu yaptıkları çalışmada, AISI 316 paslanmaz çeliğin delinmesinde oluşan minimum çapak yüksekliğini belirlemek için Tepki Yüzey Modeli ve Genetik Algoritma kullanılarak optimum delme parametreleri belirlenmiştir. Delme işleminde üç farklı ilerleme (0.10, 0.20, 0.30 mm/dev), üç farklı kesme hızı (4, 8, 12 m/dak) ve üç farklı uç açısına sahip HSS matkap takımları kullanılmıştır [14]. Kıvık ve Şeker çalışmasında, Ti-6Al-4V alaşımının kuru ve ıslak delme şartlarında delinmesinde, M42 HSS takımlara uygulanan kriyojenik işlemin ve delme parametrelerinin, delik kalitesi (delik çapı, dairesellik ve silindiriklikten sapma) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney sonuçlarından, soğutma sıvısının kullanımı ve kriyojenik işlemin uygulanmasının delik kalitesini artırmada çok önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür [15]. Kıvık ve arkadaşları çalışmasında, AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliğin üç farklı kaplamalı HSS matkaplarla delinmesinde kesme parametreleri olarak; dört farklı kesme hızı (12, 14, 16, 18 m/dak) ve üç farklı ilerlemenin (0.08, 0.10, 0.12 mm/dev), dairesellik, delik çapı ve talaş oluşumu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney sonuçlarından, delik çapı ve dairesellik bakımından en iyi sonuç, çok katlı TiAlN/TiN kaplı takımlardan elde edilmiştir [16]. Kıvık ve arkadaşları çalışmasında, Inconel 718 süper alaşımının delme deneyleri kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı karbür matkaplar ile kuru kesme şartlarında, dört farklı kesme hızı (10, 12.5, 15, 17.5 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0.05, 0.75, 0.1 mm/dev) kullanılarak yapılmıştır. Delme sırasında delme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçlar kaplamasız takımla delinen numunelerden elde edilmiştir [17]. Siyambaş ve Turgut, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı HSLA-DIN EN 10149 malzemenin, 8 mm çap 130° uç ve 30° helis açılı TiAlN kaplamalı ve kaplamasız iki farklı matkap ile delinmesinde, delme parametrelerinin aksel kuvvet ve momentlere etkisi incelemiştir. Delme parametreleri; üç farklı ilerleme (0.05, 0.075, 0.1 mm/dev) ve beş farklı kesme hızı (10, 18, 26, 34, 42 m/dak) olarak seçilmiştir. Deney sonuçlarına göre, TiAlN kaplamalı matkapların kaplamasız matkaplara göre aksel kuvvet ve moment bakımından daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir [18]. Savaşkan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, kalıp imalatında kullanılan 40CrMnMoS8-6 kalıp çeliğinin delinmesinde, üç farklı matkap ucu (kaplamasız, TiN kaplamalı ve TiAlN kaplamalı), üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerlemenin

kesme kuvvetlerine etkileri Taguchi deneysel tasarımı yardımıyla incelenmiştir [19].

Kayır ve arkadaşları, AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç yarıçapı, kesici uç formu ve kesme parametrelerinden yüzey pürüzlülüğü üzerine etkili faktörün ilerleme hızı olduğunu belirlemişlerdir [20]. Kıvak tarafından yapılan çalışmada, Hadfield çeliğini kaplamalı kesici uçlar ile kuru kesme şartları altında frezelenmesinde işleme parametrelerinden yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı olduğunu göstermiştir [21]. Çetin ve Kıvak, 15-5 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünü üzerinde etkili parametrenin ilerleme hızı (%84.64) olduğunu göstermiştir [22]. Kirby ve arkadaşları, 6061-T6 Alüminyum alaşımının tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı olduğunu Taguchi metodu kullanarak tespit etmişlerdir [23].

Optimizasyon problemlerinde, birden fazla çıktının olması durumunda geleneksel Taguchi tekniği yeterli gelmemektedir. Çok yanıtı sinyal gürültü (ÇYSG) oranı bazlı Taguchi tekniğinin veya gri ilişki analizi gibi tekniklerin kullanılması gerekmektedir [24-29].

Bu çalışmada, uzay, havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanımı oldukça yaygın olan AA 5754 alüminyum alaşımının delik büyütme işleminde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Çok yanıtı Taguchi tekniği kullanılarak optimum kontrol faktörleri belirlenmiş ve doğrulama deneyleri yapılarak optimizasyonun başarısı test edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, AA 5754 alüminyum alaşımının delik büyütme işleminde kesme parametrelerinin, Ra, Rz ve Rq gibi yüzey pürüzlülüğü parametreleri üzerindeki etkileri araştırılarak optimum işleme şartlarının belirlenmesi

amaçlanmaktadır. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir.

Deney numuneleri, Ø50×50 ölçülerinde hazırlanmıştır. Deney numuneleri üzerinde, HSS DIN 341 mors konik saplı uzun matkap ucu kullanılarak Ø19 mm çapında delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin ardından da delik büyütme işlemi uygulanmıştır (Şekil 1).

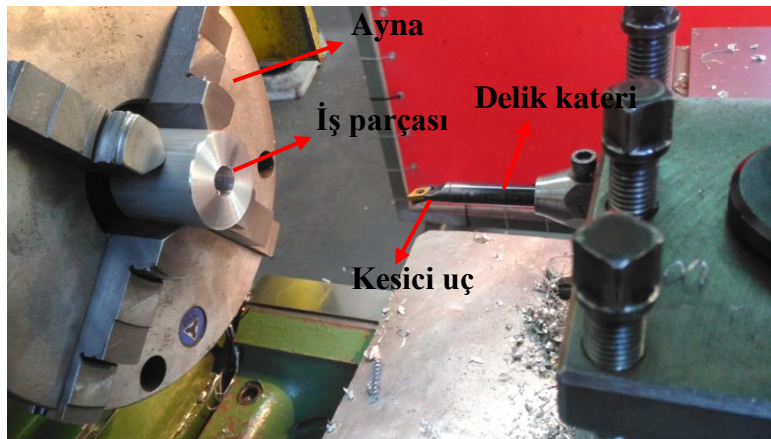
Delik büyütme deneylerinde kullanılan universal torna tezgahı Trens SN 50 C marka olup, motor gücü 5.5 kW'dır. ISO P20/K15C standardında, MT 3020 kalitede ve DCGT070204-HFP formulu kesici uç ve kesici takımın torna tezgahına bağlanmasında S12K SDQCR/L 07 kodlu iç çap delik torna kateri kullanılmıştır. Her bir deneyde, kesici ucun yeni bir köşesi kullanılarak kesicinin aşınmasından kaynaklanan etkiler giderilmiştir. Alüminyum alaşımı üzerinden talaş kaldırma işlemi sırasında yüzeyden kaldırılan talaşın yüzeye sıvanmaması için soğutma sıvısı olarak mazot kullanılmıştır. Delik büyütme işlemi yapılmış yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için MITUTOYO SURFTEST SJ 201P marka yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Delik büyütme işlemi yapılmış yüzeylerden üç defa yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılmış ve bunların ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük parametreleri olan Ra, Rz ve Rq değerleri tespit edilmiştir.

Deneyler Taguchi L₉ ortogonal tasarıma göre yapılmış ve sonuçların değerlendirilmesinde Çok Yanıtlı Sinyal Gürültü (ÇYSG) oranı esas alınmıştır. Minitab 17 yazılımı yardımıyla sonuçlar değerlendirilmiştir. Son olarak doğrulama testleri yapılmıştır. Kesme parametrelerinin çok yanıtı optimizasyonu için akış şeması Şekil 2'de verilmiştir. Deneylerde kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği girdi faktörü olarak, yüzey pürüzlülüğü Ra, Rq ve Rz çıktı parametreleri olarak seçilmiştir. Belirlenen parametreler ve seviyeleri Çizelge

Çizelge 1. AA 5754 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (Chemical composition of AA 5754 aluminum alloy)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0.4	0.4	0.1	0.5	2.6-3.6	0.2	0.3	0.15	0.15	Kalan

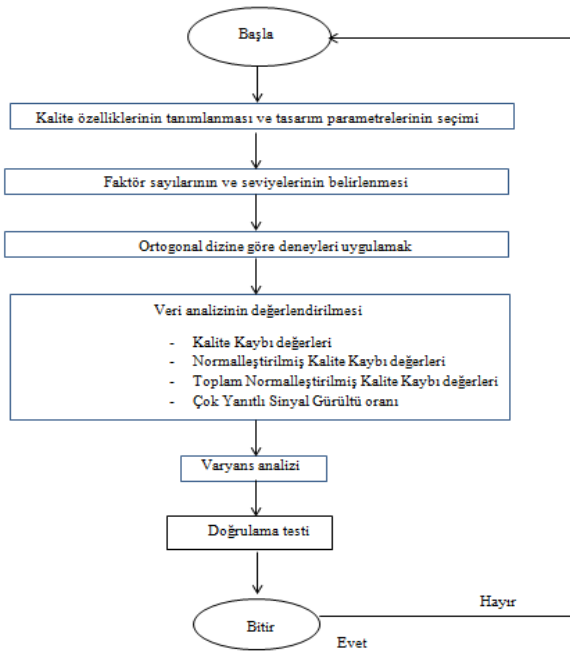


Şekil 1. Delik büyütme deney düzeneği (Hole machining test setup)

2’de verilmiştir. Çizelge 3’te ise L_9 ortogonal dizisi verilmiştir.

Geleneksel Taguchi yöntemi tek yanıtli problemlerin optimizasyonunda başarılı bir şekilde uygulanmasına rağmen, çok yanıtli problemlerin çözümünde kullanılmamaktadır. Tong ve arkadaşları tarafından önerilen çok yanıtli sinyal gürültü tabanlı Taguchi yönteminin uygulanmasında en iyileme prosedürü dört aşamadan oluşmaktadır. Bu dört aşama aşağıda verilmiş olup sırasıyla açıklanmıştır [27-30].

1. Aşama: Kalite kaybını hesaplamak
2. Aşama: Çok yanıtli sinyal gürültü oranını belirlemek
3. Aşama: En iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek
4. Aşama: Doğrulama deneylerinin yapılması



Şekil 2. Kesme parametrelerinin çok yanıtli optimizasyonu için akış şeması (Flow chart for multi-response optimization of cutting parameters)

Çizelge 2. Kontrol faktörleri ve ortogonal dizilim matrisinde kullanılan seviyeleri (Control factors and levels used in orthogonal array matrix)

Sembol	Faktör	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Kesme hızı	m/dak	60	84	120
B	İlerleme	mm/dev	0.10	0.15	0.20
C	Kesme derinliği	mm	0.25	0.5	0.75

Çizelge 3. L_9 ortogonal dizisi (L_9 orthogonal series)

Deney No	Kesme hızı (A)	İlerleme (B)	Kesme derinliği (C)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Aşama I: Kalite Kaybının Hesaplanması

Bu aşamada, Taguchi’ye göre her bir performans yanıtı için kalite kaybı aşağıdaki üç formül kullanılarak hesaplanır.

i) En büyük en iyi durumu için,

$$L_{ij} = k_1 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (1)$$

ii) En küçük en iyi durumu için,

$$L_{ij} = k_2 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \quad (2)$$

iii) Nominal en iyi (Hedef değer en iyi) durumu için,

$$L_{ij} = k_3 \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk} \quad (4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - \bar{y})^2 \quad (5)$$

Burada.

L_{ij} = j. denemede i. yanıtın kalite kaybı

y_{ijk} = k. tekrar ve j. denemede i. yanıt için gözlenen veri

n_i = i. yanıtın tekrar sayısı

k_1, k_2, k_3 = kalite kayıp katsayıları

S^2 = varyansdır.

Aşama II: Çok Yanıtli Sinyal Gürültü Oranının Belirlenmesi

Adım 1: Her denemede her bir performans yanıtının kalite kaybı için normalleştirme işlemi yapılır.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*} \quad (6)$$

$$L_i^* = \max \{L_{i1} \cdot L_{i2} \dots L_{ij}\}$$

Adım 2: Her deneme için Toplam Normalize edilmiş Kalite Kaybının (TNKK) hesaplanması.

$$TNKK_j = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij} \quad (7)$$

w_i = i. kalite karakteristiği için ağırlık faktörünü göstermektedir.

Adım 3: Her deneme için ÇYSG oranının belirlenmesi.

$$\text{ÇYSG}_j = -10 \log (TNKK_j) \quad (8)$$

Aşama 3: En iyi Faktör ve Seviye Kombinasyonunun Belirlenmesi

Aşama 4: Doğrulama Deneylerinin Yapılması

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS and DISCUSSION)

3.1 Deneysel Verilerin Analizi (Experimental Data Analysis)

Deney sonrası yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerlerinin ortalama değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Kalite

karakteristiklerinin analizinde en küçük en iyi, en büyük en iyi ve nominal en iyi şeklinde üç kategori mevcuttur. Bu çalışmada; Ra, Rz ve Rq gibi yüzey pürüzlülük kriterlerinin minimum olması daha iyi performansı ifade etmektedir. Böylece "en küçük en iyi" eşitliği göz önüne alınarak yüzey pürüzlülüğü Ra, Rq ve Rz için kalite kaybı hesaplanmıştır (Çizelge 5). Normalize edilmiş kalite kaybı değerleri ise Çizelge 6'da verilmiştir. Çoklu kalite karakteristikleri Ra, Rq ve Rz için TNKK ve ÇYSG oranı değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 7'de gösterilmiştir. Kalite karakteristiklerinin yüzey kalitesi üzerine önemi eşit kabul edilmiş ve ağırlık değerleri $w_1=0.333$, $w_2=0.333$, $w_3=0.333$ olarak alınmıştır.

Kontrol faktörlerinin ÇYSG oranı üzerine etkisi Çizelge 8'den elde edilmiştir. Her kontrol faktörü için ÇYSG'de en büyük değere sahip olan seviye, o faktör için en iyi seviye anlamına gelmektedir. Böylece, en iyi faktör/seviye kombinasyonu A3B1C3 olarak tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü parametreleri Ra, Rz ve Rq için kontrol faktörlerinin ÇYSG oran grafikleri ($w_1=0.333$, $w_2=0.333$, $w_3=0.333$) Şekil 3'te görülmektedir. Grafik incelendiğinde, A3B1C3 deney kombinasyonunun, ÇYSG oranına göre en iyi faktör kombinasyonu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. Deney koşulları ve ortalama Ra, Rz ve Rq değerleri (Experimental conditions and average values of Ra, Rz and Rq)

Deney No	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme derinliği (mm)	Ra (μm)	Rz (μm)	Rq (μm)
1	60	100	0.25	2.30	9.73	2.74
2	60	225	0.50	3.42	16.47	4.46
3	60	415	0.75	4.31	17.84	5.47
4	84	100	0.50	1.43	5.96	1.67
5	84	225	0.75	2.78	13.09	3.50
6	84	415	0.25	3.01	11.70	3.98
7	120	100	0.75	1.61	5.22	1.30
8	120	225	0.25	2.50	11.08	3.01
9	120	415	0.50	3.20	13.75	4.10

Çizelge 5. Yüzey pürüzlülüğü Ra, Rz ve Rq için kalite kaybı değeri (Quality loss values for surface roughness Ra, Rz and Rq)

Deney No	Kalite Kaybı Değerleri (dB)		
	Ra	Rz	Rq
1	5.2755	94.8331	7.4911
2	11.7570	271.7374	20.0124
3	18.7529	322.3212	30.3841
4	2.0613	35.5446	2.7962
5	7.7524	171.5743	12.2388
6	9.0849	139.1396	15.8924
7	2.5926	27.1567	1.6683
8	6.2667	122.7707	9.0808
9	10.2475	190.4995	16.8378

Çizelge 5. Yüzey pürüzlülüğü Ra, Rz ve Rq için kalite kaybı değeri (Quality loss values for surface roughness Ra, Rz and Rq)

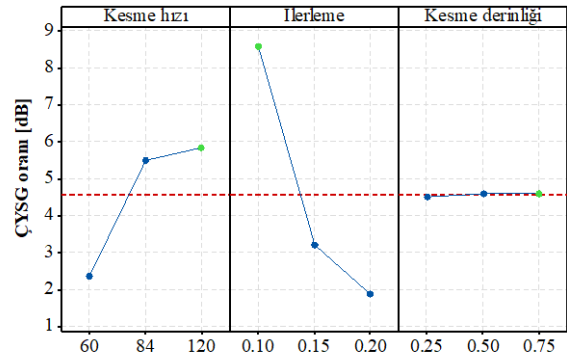
Deney No	Kalite Kaybı Değerleri (dB)		
	Ra	Rz	Rq
1	5.2755	94.8331	7.4911
2	11.7570	271.7374	20.0124
3	18.7529	322.3212	30.3841
4	2.0613	35.5446	2.7962
5	7.7524	171.5743	12.2388
6	9.0849	139.1396	15.8924
7	2.5926	27.1567	1.6683
8	6.2667	122.7707	9.0808
9	10.2475	190.4995	16.8378

Çizelge 6. Yüzey pürüzlülüğü Ra, Rz ve Rq için normalize edilmiş kalite kaybı değerleri (Normalized quality loss values for surface roughness Ra, Rz and Rq)

Deney No	Normalizasyon Edilmiş Kalite Kaybı Değerleri		
	Ra	Rz	Rq
1	0.2813	0.2942	0.2465
2	0.6269	0.8431	0.6586
3	1.0000	1.0000	1.0000
4	0.1099	0.1103	0.0920
5	0.4134	0.5323	0.4028
6	0.4845	0.4317	0.5231
7	0.1383	0.0843	0.0549
8	0.3342	0.3809	0.2989
9	0.5464	0.5910	0.5542

Çizelge 7. Yüzey pürüzlülüğü Ra, Rz ve Rq için TNKK ve ÇYSG oranı değerleri (Total normalized quality loss values (TNQL) and multiple S/N ratio (MSNR) values for surface roughness Ra, Rz and Rq)

Deney No	TNKK	ÇYSG (dB)
1	0.2740	5.6221
2	0.7096	1.4902
3	1.0000	0.0000
4	0.1041	9.8266
5	0.4495	3.4727
6	0.4797	3.1901
7	0.0924	10.3429
8	0.3380	4.7111
9	0.5639	2.4881
Tüm deneylerin ÇYSG ortalaması		4.5715

**Şekil 3.** Kontrol faktörlerinin ÇYSG oranı grafiği (MSNR graph of control factors)**Çizelge 8.** Faktörlerin ÇYSG oranı üzerindeki ana etkileri (Main effects of factors on MSNR)

Sembol	Faktörler	ÇYSG'de Ana Etkiler (dB)				
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Max-Min	Sıra
A	Kesme hızı	2.371	5.496	5.847*	3.476	2
B	İlerleme	8.597*	3.225	1.893	6.704	1
C	Kesme derinliği	4.508	4.602	4.605*	0.097	3

Delik büyütme işleminde yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerindeki etkili faktörleri ve bu faktörlerin katkı payını hesaplamak için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Çizelge 9). ANOVA çizelgesinden yüzey pürüzlülük parametreleri Ra, Rz ve Rq üzerinde en önemli etkiye sahip faktörün ilerleme olduğu görülmektedir. Ayrıca faktörlerin yüzde olarak etkileri incelendiğinde; ilerleme faktörünün etkisinin % 71.32, kesme hızının etkisinin % 22.20, kesme derinliğinin etkisinin % 1.58 olduğu görülmektedir. ANOVA analizindeki hata değerinin (% 4.89) düşük olması, yapılan deneysel çalışmanın anlamlı sonuçlar verdiğinin bir göstergesidir. Sonuç olarak, ANOVA tablosuna göre, yüzey pürüzlülüğü için dikkate alınacak olan en önemli faktörün, ilerleme olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonucun literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür [20-23].

Çizelge 9. ÇYSG oranı için ANOVA analizi (ANOVA analysis for MSNR)

Faktörler	SD	KT	KO	F oranı	YD (%)
Kesme hızı	2	31.765	15.882	4.54	22.20
İlerleme	2	102.05	51.027	14.57	71.32
Kesme derinliği	2	2.267	1.134	0.32	1.58
Hata	2	7.002	3.501	-	4.89
Toplam	8	143.089	-	-	100

SD: Serbestlik derecesi, KT:Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, YD:Yüzde dağılımı

S : 1.87. R² : %95.11

3.2. Doğrulama Deneyleri (Confirmation Experiments)

Optimizasyon işleminin son adımı, optimal değerleri veren koşulun öngörülen iyileşmeyi sağlayıp sağlamadığını doğrulamak için test edilmesidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 10’da verilmiştir. Yapılan bu çalışmada, delik büyütme işlemi sonucunda yüzey pürüzlülüğü için optimum sonuca mevcut deney koşullarından $A_3B_1C_3$ deney şartında ulaşılmıştır. Taguchi tarafından belirlenen optimum delme şartlarındaki yüzey pürüzlülük değerlerinin Ra, Rz ve Rq hesaplanmasında denklem 9 kullanılmıştır. ÇYSG oranının optimum parametre seviyelerindeki tahmini değeri (η_{opt}) hesaplanmıştır.

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{i=1}^p (\eta_{mi} - \eta_m) \quad (9)$$

Burada, η_m tüm deneylerin ortalama ÇYSG değeri, p performansı önemli derecede etkileyen delme parametre sayısı, η_{mi} optimum seviyelerdeki ortalama ÇYSG değeridir.

Çizelge 10. Doğrulama deney sonuçları (Results of the confirmation experiment)

Yüzey Pürüzlülüğü	Başlangıç parametresi	Optimum proses parametresi			Hata (%)
		Tahmini	DeneySEL		
Seviye	$A_2B_2C_2$	$A_3B_1C_3$	$A_3B_1C_3$		
Ra (μm)	2.91	1.65	1.61		2.48
Rz (μm)	13.84	5.72	5.22		9.58
Rq (μm)	3.62	1.41	1.30		8.46
ÇYSG (dB)	0.492	9.907	10.343		

Başlangıç parametresi ($A_2B_2C_2$) yerine optimal proses parametresi ($A_3B_1C_3$) kullanıldığında ÇYSG oranında 9.851 (dB)’lik bir iyileşme olduğunu görülmektedir. Doğrulama deneylerinden elde edilen sonuçlar yapılan çok yanıtli optimizasyonun başarısını yansıtmaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada AA 5754 Alüminyum alaşımında, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve üç farklı kesme derinliği kullanılarak delik büyütme işlemi yapılmıştır. Deneyler Taguchi L_9 ortogonal dizinine göre tasarlanarak minimum yüzey pürüzlülük değerlerine daha kısa sürede ve daha az maliyetle ulaşılmıştır. Bununla birlikte varyans analizi ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Yapılan doğrulama deneyleri ile optimizasyonun geçerliliği test edilmiştir.

Sonuçlar yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemenin tercih edilmesi gerektiğini, ilerlemenin yüzey pürüzlülük

değerlerine en fazla etki ettiğini, kesme derinliğinin ise çok fazla etki etmediğini açıkça göstermiştir. Varyans analizi sonuçlarından, yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme (% 71.32), daha sonra kesme hızı (% 22.20) ve kesme derinliği (% 1.58) olduğu görülmüştür.

Çok yanıtli Taguchi optimizasyon yaklaşımı kullanılarak minimum yüzey pürüzlülük değerlerinin; 120 m/dak kesme hızı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 0.75 mm kesme derinliği koşullarında gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Doğrulama deneylerinden elde edilen sonuçlardan, AA 5754 Alüminyum alaşımının delik büyütme işlemindeki minimum yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde, çok yanıtli Taguchi optimizasyon yaklaşımının başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Groover M. P., “*Modern İmalatın Prensipleri*”. Yurdakul M., Tansel Y., Nobel Yayınları, 1150, Ankara, (2016).
- [2] Aydın M., Yaşar M., Gavas M., Altunpak Y., “*Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri*”, Seçkin Yayınları, Ankara, (2012).
- [3] Meral G., Sarıkaya M., Dilipak H., “Delik delme uygulamalarında delik kalitesinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu”, *Mühendislik ve Makine Dergisi*, 52: 42-49, (2011).
- [4] Meral G., Sarıkaya M., Dilipak H., “Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27: 332-338, (2011).
- [5] Rao Ch. M., Venkatasubbaiah K., Rao K. J., “Experimental investigation of surface roughness characteristics Ra, Rq and Rz”, *International Journal of Hybrid Information Technology*, 9(7): 373-388, (2016).
- [6] Rao Ch. M., Rao K. J., Babu K.S., “Analysis of process parameters in dry turning of medium carbon steel En19 by using grey relational grade and regression methods”, *Int J Eng Res Appl*, 5: 07-14, (2015).
- [7] Bağcı E., Özcelik B., “Analysis of temperature changes on the twist drill under different drilling conditions based on Taguchi method during dry drilling of Al 7075-T651”, *Int J Adv Manuf Technol*, 29: 629-636, (2006).
- [8] Çakır A., Nalbant M., Duran A., Ulaş H., “AA7075 ve AA6013 alüminyum malzemelere delik delme operasyonu sürecinde kesme parametrelerinin incelenmesi”, *3.Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 9-18, (2012).
- [9] Şirin E., Şirin Ş., Turgut Y., Korkut İ., “AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün Taguchi metodu ile optimizasyonu”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3: 132-144, (2015).
- [10] Kaplan Y., Nalbant M., Gökçaya H., “AISI D2 ve AISI D3 soğuk iş çeliklerinin delinmesinde işleme parametrelerinin çapak oluşumuna etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1: 37-46, (2011).
- [11] Bahçe E., Kılıçkap E., Özel C., “Al-5005’in delinmesinde delme parametrelerinin çapak oluşumuna etkisinin

- araştırılması”, **2.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi**, Balıkesir, 242-250, (2010).
- [12] Motorcu A. R., Ekici E., “Al/B4C kompozitlerin karbür matkaplarla delinmesinin değerlendirilmesi”, **Pamukkale Univ Muh Bilim Derg**, 22 (4): 259-266, (2016).
- [13] Çakır A., Bahtiyar O., Şeker U., “Farklı Soğutma Şartları ile Farklı Kesme Parametrelerinin AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Alaşımlarında Delik Delme İşlemlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, **16. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, İzmir, (2014).
- [14] Kılıçkap E., Hüseyinoğlu M., “Tepki yüzey modeli ve genetik algoritma kullanılarak AISI 316’ nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu”, **Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi**, 1(1): 71-80, (2010).
- [15] Kıvak T., Şeker U., “Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde M42 HSS Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Delik Kalitesi Üzerindeki Etkileri”, **7th International Symposium On Machining**, İstanbul, 241-251, (2016).
- [16] Kıvak T., Çiçek A., Uygur İ., Özbek N. A., “AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Delinmesinde Tek Katlı ve Çok Katlı Kaplamaların Delik Kalitesi Üzerindeki Etkileri”, **3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, Ankara, 28-34, (2012).
- [17] Kıvak T., Habalı K., Şeker U., “Inconel 718’in Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Oluşumu Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 25(2): 293-298, (2010).
- [18] Siyambaş Y., Turgut Y., “HSLA DIN EN 10149 Çeliğin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Eksenel Kuvvet ve Momente Etkilerinin Deneysel Araştırılması”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 12(2): 41-49, (2015).
- [19] Savaşkan M., Taptık Y., Ürgen M., “Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu”, **İTÜ Dergisi D: Mühendislik**, 3(6): 117-128, (2004).
- [20] Kayır Y., Aslan S., Aytürk A., “AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin Taguchi yöntemi ile analizi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 28(2): 363-372, (2013).
- [21] Kıvak T., “Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts”, **Measurement**, 50: 19-28, (2014).
- [22] Çetin Ş., Kıvak T., “Optimization of the machining parameters for the turning of 15-5 PH stainless steels using the Taguchi method”, **Materials and Technology**, 51: 133-140, (2017).
- [23] Kirby E.D., Zhang Z., Chen J.C., Chen J., “Optimizing surface finish in a turning operation using the Taguchi parameter design method”, **Int J Adv Manuf Technol**, 30: 1021-1029, (2006).
- [24] Mia M., Khan Md A., Rahman S.S., Dhar N.R., “Mono-objective and multi-objective optimization of performance parameters in high pressure coolant assisted turning of Ti-6Al-4V”, **Int J Adv Manuf Technol**, 1-10, (2016).
- [25] İç Y., Duran H., Keçeci B., İlik E., Bilgiç B., “Çok yanıtlı Taguchi eniyilemesine yönelik bir bilgisayar uygulamasının geliştirilmesi”, **Politeknik Dergisi**, 19: 311-323, (2016).
- [26] Kıvak T., Sentaş G., Çiçek A., “Taguchi method based optimisation of drilling parameters in drilling of AISI 316 steel with PVD monolayer and multilayer coated HSS drills”, **Measurement**, 45: 1547-1557, (2012).
- [27] Ferah M., “Çok yanıtlı Taguchi deneysel tasarım metodu ve alüminyum sanayinde bir uygulama”, **SAU Fen Bilimleri Dergisi**, 7: 61-69, (2003).
- [28] Muhammad N., Manurung Y.H.P., Jaafar R., Abas S.K., Tham G., Haruman E., “Model development for quality features of resistance spot welding using multi-objective Taguchi method and response surface methodology”, **J Intell Manuf**, 24: 1175-1183, (2012).
- [29] Mohamed M.A., Manurung Y.H.P., Berhan M.N., “Model development for mechanical properties and weld quality class of friction stir welding using multi-objective Taguchi method and response surface methodology”, **J Mech Sci Technol**, 29: 2323-2331, (2015).
- [30] Tong L. I., Su C. T., Wang C. H., “The optimization of multi-response problems in the Taguchi method”, **Int J Quality&Reliability Management**, 14: 367-380, (1997).