



## AISI 1050 çeliğinin delinmesinde itme kuvveti optimizasyonu

### Thrust force optimization of AISI 1050 steel in drilling process

Murat Özsoy<sup>1,\*</sup>, Yunus Zübeyir Turgut<sup>2</sup>, Neslihan Özsoy<sup>3</sup>, Seçil Ekşi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 54050, Sakarya, Türkiye

#### Öz

İmalat sektörü içinde delik delme işleminin büyük bir payı bulunmaktadır. Bu nedenle en düşük maliyet ve en yüksek delik kalitesi için optimum kesme parametrelerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada AISI 1050 çeliği kullanılarak Taguchi L9(3<sup>2</sup>) deney tasarımı göre delik delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde delik delme esnasında oluşan itme kuvvetleri (Fz) ölçülmüştür. Deney parametreleri olarak kesme hızı (110-120-130 m/dk) ve diş başı ilerleme miktarı (0.1-0.12-0.14 mm/diş) ele alınmıştır. Deneylerden elde edilen maksimum itme kuvveti sonuçları referans alınarak Taguchi optimizasyonu, varyans (ANOVA) ve regresyon analizleri Minitab 19 programı yardımıyla yapılmıştır. İstatiksel analizlerle itme kuvvetini minimize eden kesme parametrelerinin optimum seviyeleri ve kesme parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki etki oranları incelenmiştir. Optimum kesme hızı seviyesi 110 m/dk, optimum diş başı ilerleme miktarı seviyesi ise 0.10 mm/diş olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ölçülen itme kuvveti sonuçlarının ANOVA sonuçlarına göre, itme kuvveti üzerinde kesme hızının etki oranı %2.73 diş başı ilerleme miktarının etki oranı ise %96.54 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Talaşlı imalat, Delik delme, AISI 1050, İtme kuvveti, Optimizasyon

#### 1 Giriş

Talaş kaldırma işlemi, çeşitli tezgâhlar ve kesici takımlar yardımıyla istenen boyut ve geometrinin sağlanması için iş parçası üzerinden kayma gerilmeleri etkisiyle fazla malzemenin talaş şeklinde uzaklaştırılması işlemidir [1, 2]. İstenen nihai boyutları, toleransları ve yüzey kalitesini elde etmek için genellikle üretimin son proseslerinde kullanılmaktadır [3]. Tornalama, frezeleme ve delik delme en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemlerine örnek verilebilir.

Delik delme işlemi, kesici takımın iş parçasında silindirik bir boşluk oluşturmak için hem ilerleme hem de dönme hareketi yaparak talaş kaldırması işlemidir. Uzay, uçak ve otomotiv sektöründe yaygın kullanılan en önemli talaş kaldırma proseslerindedir [4]. Talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık %33'ünü oluşturmaktadır. Aynı zamanda talaş kaldırma proseslerinde harcanan enerjinin %25'i de delik delme tezgahlarında meydana gelmektedir [2]. Delik delme; fatura açma, raybalama, havşa açma ve delik büyüme olarak adlandırılan talaş kaldırma işlemlerini de kapsamaktadır [5].

#### Abstract

Drilling has a large share in the manufacturing sector. For this reason, optimum cutting parameters must be obtained for the lowest cost and highest hole quality. In this study, hole drilling tests were carried out according to Taguchi L9(3<sup>2</sup>) experimental design using AISI 1050 steel. The experiments measured the thrust forces (Fz) formed during drilling. Cutting speed (110-120-130 m/min) and feed rate per tooth (0.1-0.12-0.14 mm/tooth) were considered test parameters. Taguchi optimization, variance (ANOVA) and regression analyses were performed with the help of the Minitab 19 program concerning the maximum thrust force results obtained from the experiments. The statistical analysis investigated the optimum levels of cutting parameters that minimize the thrust force and the effect ratios of cutting parameters on the thrust force. The optimum cutting speed level was 110 m/min, and the optimum feed rate per tooth was 0.10 mm/tooth. In addition, according to the ANOVA results of the measured thrust force results, the effective rate of the cutting speed on the thrust force was calculated as 2.73%, and the effective ratio of the feed rate per tooth was calculated as 96.54%.

**Keywords:** Machining, Drilling, AISI 1050, Thrust force, Optimization

Delik delme işleminin imalat sektörü içindeki yeri göz önünde bulundurulduğunda en düşük maliyet ve en yüksek delik kalitesi elde etme arayışı kaçınılmaz olmuştur. Bu beklentilerin karşılanması için optimum kesme parametrelerinin kullanılması gerekmektedir. Parametre seçimi, talaşlı imalatı etkileyen birçok değişkene bağlı olduğundan bu veriler hazır olarak elde edilememektedir. Optimum parametrelere ulaşılması için teorik hesaplar, deneysel yöntemler ve sonlu elemanlar analizleri kullanılabilir. Bu çalışmada deneysel yöntem kullanılmıştır.

Kesme parametrelerinin optimize edilmemesi hem kesici takımın ömrünün azalmasına hem de iş parçasının yüzey kalitesinin ve kimyasal yapısının olumsuz yönde etkilenmesine sebep olur. Bunun sebebi kesme parametrelerinin doğrudan kuvvetleri etkilemesidir. Gerekenden yüksek itme kuvveti; yüksek enerji ve güç gereksinimine, kesme bölgesindeki sıcaklığın yükselmesine, kesici takımın ve iş parçasının hasar almasına neden olur [6]. Bu yüzden delik delme işleminin yüksek kalitede ve düşük

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: ozsoy@sakarya.edu.tr (M. Özsoy)

Geliş / Received: 26.12.2022 Kabul / Accepted: 10.04.2023 Yayınlanma / Published: 15.07.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1224589

maliyetli olabilmesi için itme kuvvetinin olabildiğince minimize edilmesi gerekmektedir.

Literatürdeki bu konularda birçok çalışma yapılmıştır. Yıldız ve diğerleri [4], AISI 1050 çeliği kullanılarak gerçekleştirilen delik delme işlemini deneysel olarak ve Deform 3D yazılımıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemiştir. Deney ve analiz çalışmalarında; dolu veya ön delikli iş parçası, TiAlN/TiN kaplamalı veya kaplamasız kesici takım, kesme hızı (60, 75, 90, 108 m/dk) ve diş başı ilerleme (0.15, 0.20, 0.25 mm/diş) gibi parametrelerinin tork, kesici takım gerilmeleri ve itme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ön delikli iş parçalarında ölçülen tork, gerilme ve itme kuvveti değerlerinin, dolu iş parçalarında ölçülen değerlere göre daha düşük seviyede olduğu ve kaplamalı matkapların yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarında daha iyi performans sergilediğini tespit etmişlerdir.

Yağmur ve diğerleri [5], AISI 1050 çeliğinin delinmesinde itme kuvvetinin Taguchi metodu ile optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Kaplamasız veya kaplamalı (TiN/TiAl/TiCN) kesici takımlar, diş başı ilerleme (0,15-0,20-0,25 mm/diş) ve kesme hızı (75-90-108 m/dk) parametreleri kullanılarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. AISI 1050 çeliğinin delinmesinde itme kuvvetini minimize parametre seviyelerini; kaplamalı kesici takım, kesme hızı 90 m/dk ve diş başı ilerleme 0,15 mm/dev olarak istatistiksel analizler sonucunda tespit etmişlerdir.

Demir ve Yakut [7], AISI 1050 çeliğinin delinmesi işleminde devir sayısı (800/1200/1600 rpm), diş başı ilerleme (0,025/0,050/0,075 mm/dev) ve takım uç açısı (100°,118°,136°,154°,172°) gibi parametrelerin talaş narinlik oranına etkisini incelemiştir. Talaş narinlik oranının artmasıyla itme kuvvetinin ve takım aşınmasının azaldığını; fakat yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmişlerdir.

Sahoo ve diğerleri [8], Inconel 718 malzemesinin delinmesi işleminde kesici takım türü, devir sayısı (215/315/455 rpm) ve ilerleme miktarı (0.106/0.213/0.316 mm/diş) parametrelerinin; itme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğü gibi çıktılarına etkisini deneysel olarak Taguchi-Balina deney tasarımı ve optimizasyonu yardımıyla incelemiştir. Deneyler neticesinde kriyojenik işlem görmüş çift temperli matkapla delinen ve 455 rpm devir sayısı, 0.213 mm/diş ilerleme miktarı parametre değerleri kullanılan delikte en düşük itme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde etmişlerdir.

Saravanakumar ve diğerleri [9], alüminyum iş parçası üzerinde delik delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Devir sayısı (800/1600 rpm), takviye türü (Grafit, MoS<sub>2</sub>), matkap çapı (6/10 mm) ve ilerleme hızı (75/150 mm/dk) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisini araştırmışlardır. İncelenen parametreler arasında yüzey pürüzlülüğü açısından en önemli parametrenin takviye türü olduğu ve Grafite takviyesinin MoS<sub>2</sub> takviyesine göre yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır.

Sidhu ve diğerleri [10], St52.3 çeliğinin delinmesi işleminde aktif güç tüketimini optimize etmek amacıyla yanıt yüzey yöntemi ve ANOVA analizleri

gerçekleştirmişlerdir. Analiz parametre ve seviyelerini; devir sayısı (1000/1200/1400 rpm), ilerleme miktarı (0.12/0.16/0.22 mm/diş), gagalama boyu (5/10/15 mm) ve matkap uç açısı (120°/130°/140°) olarak ele almışlardır. ANOVA sonucuna göre ele alınan parametreler arasında aktif güç tüketimi açısından en önemli parametrenin ilerleme miktarı olduğunu tespit etmişlerdir.

Bratan ve Novikov [11], demir karbon alaşımli parçalara delik delinmesi işleminde kesme kuvvetinin teorik olarak belirlenebilmesi için matematiksel model oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu matematiksel model neticesinde kesme kuvvetinin bileşenleri arasındaki ilişki ve kesme hızının bu bileşenler üzerindeki etkisini saptamışlardır. Eşit kesme hızında kesme kuvvetinin teğetsel bileşeninin radyal bileşenine göre daha yüksek kuvvet değerlerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin arttığını hesaplamışlardır.

Vignesh ve diğerleri [12], SS410 paslanmaz çeliğinin delinmesinde matkap kaplamasının (kaplamalı/kaplamasız) yüzey pürüzlülüğü, delikten sapma ve malzeme kaldırma oranı üzerinde etkisini Taguchi metodu yardımıyla deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler sonucunda kaplamalı matkap kullanımının; yüzey pürüzlülüğünü %27.57-48.55 oranında azalttığını, malzeme kaldırma oranını %1.45-22.55 oranında artırdığını ve delikten sapmayı %1.07-1.27 oranında iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

Sterle ve diğerleri [13], sıvı CO<sub>2</sub> soğutmanın, minimum miktarda yağlamanın ve kesme parametrelerinin delme performansına etkisini itme kuvveti, tork ve sıcaklık açısından deneysel olarak incelemiştir. İtme kuvvetinin üzerinde sıvı CO<sub>2</sub> soğutmanın diğer parametrelere göre daha fazla etkili olduğu, kuru kesme şartlarında ölçülen sıcaklıkların fazlaca yüksek olduğu ve sıvı CO<sub>2</sub> soğutmanın talaş tahliyesinin iyileştirip kısmen tork seviyesini düşürdüğü sonucuna varmışlardır.

Meral ve diğerleri [14], AISI 1050 çeliğinin delinmesi işleminde matkap kaplama türü (kaplamalı/kaplamasız), kesici takım çapı (6/8/10 mm), kesme hızı (20/30/40 m/dk.), diş başı ilerleme (0,05/0,1/0,15 mm/diş) parametrelerinin delik kalitesine (yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma) etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Kaplamalı matkabın kaplamasız matkaba göre en avantajlı olduğu çıktının yüzey kalitesi olduğunu tespit etmişlerdir.

Yaşar [15], Al 7075 alüminyum alaşımının delinmesi işleminde deneysel yöntem ve sonlu elemanlar metodu kullanarak itme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğü açısından optimizasyon çalışması yapmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile çözümde ThirdWave AdvantEdge programını kullanmıştır. Deney parametreleri olarak; matkap kaplama türü (kaplamalı/kaplamasız), matkap uç açısı (120°/130°/140°), kesme hızı (40/80/120 m/dk) ve ilerleme miktarı (0,05/0,1/0,15 mm/diş) parametreleri ele alınmıştır. İtme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğunu, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ise kesme hızı olduğunu tespit etmiştir.

Koyunbakan ve diğerleri [16], cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler kullanarak delik delme prosesinin

kesme parametreleri ve matkap geometrisi açısından optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Kesme parametreleri optimizasyonları diğer imalat yöntemlerinde de karşımıza çıkmaktadır [17].

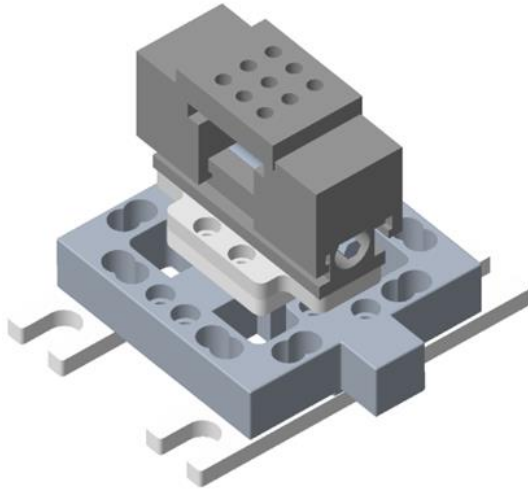
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde genellikle delik tipi, kesici takım kaplaması, kesici takım çapı, kesici takım uç açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi parametrelerin; sıcaklık, tork, itme kuvveti ve delik kalitesi (yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma) gibi çıktılar üzerinde etkilerinin araştırıldığı görülmüştür. Veri analizi ve optimizasyonu kısmında ise genellikle Taguchi ve ANOVA metotlarının kullanıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada AISI 1050 çeliği kullanılarak Taguchi L9(3<sup>2</sup>) deney tasarımı göre delik delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde delik delme esnasında oluşan itme kuvvetleri (Fz) ölçülmüştür. Deney parametreleri olarak kesme hızı (110-120-130 m/dk) ve diş başı ilerleme miktarı (0.1-0.12-0.14 mm/diş) parametreleri ele alınmıştır. Deneylerden elde edilen maksimum itme kuvveti sonuçları referans alınarak Taguchi optimizasyonu, varyans (ANOVA) ve regresyon analizleri Minitab 19 programı yardımıyla yapılmıştır.

## 2 Materyal ve metot

### 2.1 İş parçası

AISI 1050 çeliği makine parçalarında ve kalıp setlerinde kullanılan bir malzemedir. Bu sebeple delik delme işlemine sıklıkla tabi tutulur. Şekil 1'de delinme işlemine tabi tutulmuş AISI 1050 iş parçasının bilgisayar destekli imalat modeli gösterilmektedir. AISI 1050 çeliğinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Bilgisayar destekli tasarım ve imalat modeli

Tablo 1. AISI 1050 çeliğinin kimyasal bileşimi [18]

C	Si	Mn	Pmaks.	Smaks.	Fe
0.42	0.15	0.50	0.045	0.045	Kalan
-	-	-	-	-	-
0.50	0.35	0.80	-	-	-

Tablo 2. AISI 1050 çeliğinin mekanik özellikleri [19]

Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastiklik modülü (GPa)	Yüzde uzama (%)	Kesit daralması (%)	Sertlik (HRC)
580	690	205	10	30	13

### 2.2 Kesici takım

Çeliklerin orta veya yüksek kesme hızlarında delinmesi işleminde kullanılan 8 mm çaplı, çok katmanlı TiAlN kaplamalı WIDIA VDS201A08000 karbür parmak freze tercih edilmiştir. Kesici takım uç açısı 140° derece, helis açısı 30° derece, maksimum delme derinliği 29 mm'dir. Şekil 2'de delik delme işleminde kullanılan kesici takım gösterilmiştir.



Şekil 2. Kesici takım

### 2.3 Deneysel çalışma

Deneyler Taksan TMC-700 V CNC tezgâhında gerçekleştirilmiştir. İtme kuvveti ESİT Elektronik Sistemler'e ait AX3 modeli yük hücresi ile ölçülmüştür. Yük hücresi her bir ekseninde 5000 N luk kuvvet ölçüm kapasitesine sahiptir. Deneysel çalışmadan önce 500 N luk yük ile kalibrasyon yapılmıştır. Optimizasyon işlemi Taguchi metodu ile Minitab 19 programında %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler L9(3<sup>2</sup>) ortogonal dizisine göre planlanmıştır. Kesme parametresi olarak iki faktör üçer seviye seçilmiştir. Şekil 3'te deney düzeneği gösterilmiştir. Tablo 3'de deney faktörleri ve seviyeleri ifade edilmiştir.



Şekil 3. Deney düzeneği

**Tablo 3.** Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktör	Birim	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme hızı (Vc)	m/dk	A	110	120	130
Diş başı ilerleme (fz)	mm/diş	B	0.1	0.12	0.14

Tablo 4'te verilen deney planına göre deneyler üç kez tekrar edilerek ortalaması alınmıştır.

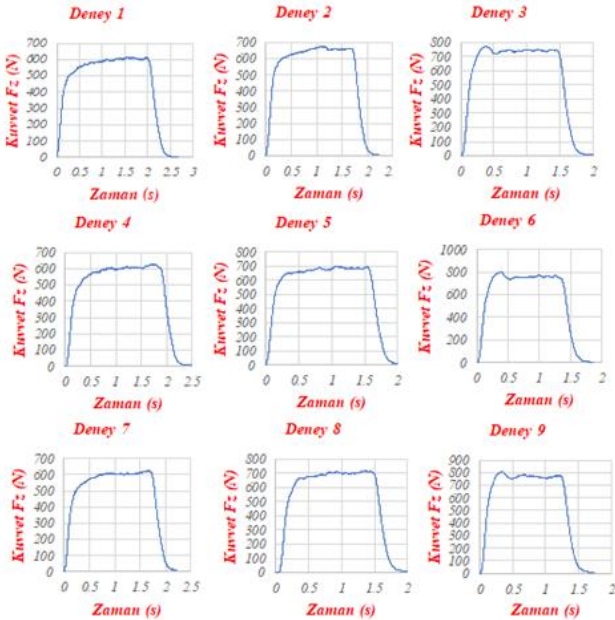
**Tablo 4.** Deney planı

Deney	Faktör A	Faktör B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

### 3 Sonuçlar ve tartışma

#### 3.1 Deneysel sonuçlar

Bu çalışmada her bir delik için delme esnasında ölçülen maksimum itme kuvvetleri (Fzmax) dikkate alınmıştır. Şekil 4'te deneylerde anlık olarak ölçülen itme kuvvetleri (Fz) ifade edilmiştir.



**Şekil 4.** Deneylerden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

#### 3.2 Taguchi sinyal/gürültü analizi

Taguchi metodu, deney tasarım aşamasında malzeme ve üretim süreçlerindeki değişkenliği hesaba katan bir dizi metodolojidir. Bu yöntemde sadece kontrol faktörleri değil aynı zamanda gürültü faktörleri de dikkate alınmaktadır. Taguchi tekniği sayesinde, endüstride hem tasarım hem de

üretim için ürün geliştirme döngüsü büyük ölçüde azaltılabilir, böylece maliyetler düşürülür ve elde edilen kârlar artar.

Bu çalışmada amaç en düşük itme kuvvetini veren kesme parametrelerinin seviyelerini tespit etmek olduğu için sinyal/gürültü oranları (S/G) Denklem (1)'de verilen "en küçük en iyi" kriterine göre hesaplanmıştır. Eşitlikte yi i. deneyde elde edilen veriyi, n ise deneyin gözlem sayısını temsil etmektedir [20]. Tablo 5'te deney sonuçlarının, Tablo 6'da ise parametre seviyelerinin sinyal/gürültü oranları ifade edilmiştir.

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

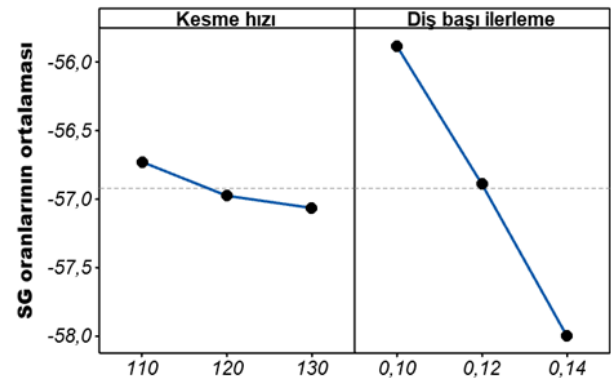
**Tablo 5.** Deney sonuçları ve S/G oranları

Deney	Vc (m/dk)	fz (mm/diş)	FzMax (N)	Sinyal / Gürültü (dB)
1	110	0.10	616	-55.7916
2	110	0.12	678	-56.6246
3	110	0.14	773	-57.7636
4	120	0.10	627	-55.9454
5	120	0.12	700	-56.9020
6	120	0.14	801	-58.0727
7	130	0.10	624	-55.9037
8	130	0.12	719	-57.1346
9	130	0.14	808	-58.1482

**Tablo 6.** Parametre seviyelerinin S/G oranları

Seviye	Kesme Hızı	Diş Başı İlerleme
1	-56.73	-55.88
2	-56.97	-56.89
3	-57.06	-57.99
Delta	0.34	2.11
Rank	2	1

Tablo 6'da belirtilen veriler Şekil 5'te grafik olarak ifade edilmiştir.

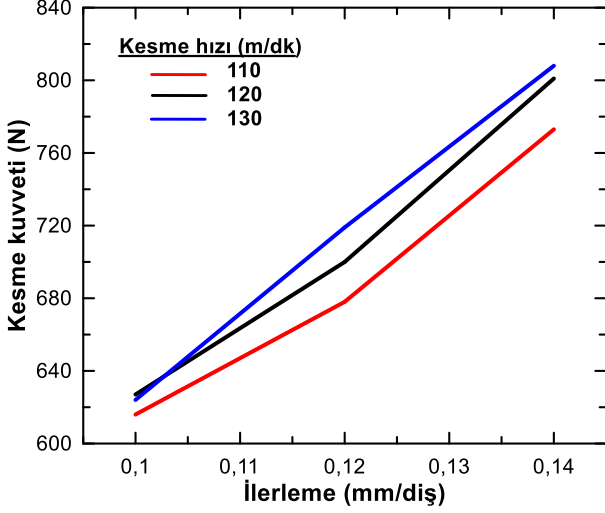


**Şekil 5.** Parametre seviyelerinin S/G oranları

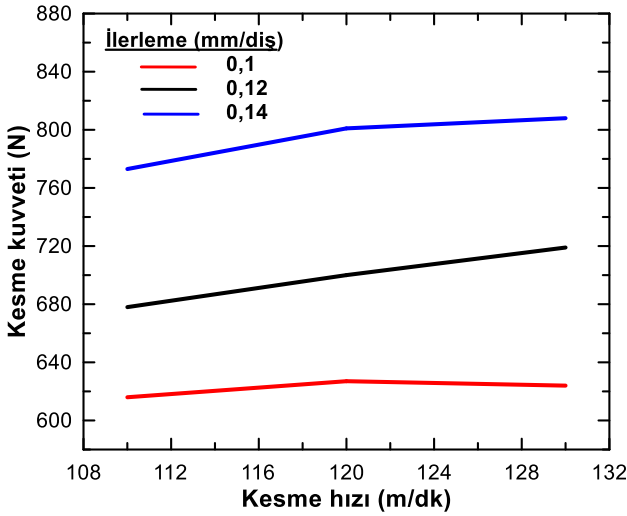
Deney parametrelerinin optimum seviyelerini saptamak için Tablo 6'da ifade edilen sinyal/gürültü oranlarının maksimumları dikkate alınmıştır. İtme kuvvetini minimize

eden kesme hızı 110 (m/dk) olarak diş başı ilerleme miktarı ise 0.10 (mm/diş) olarak tespit edilmiştir. Yani optimum faktör seviyeleri A1B1'dir.

Şekil 6 ve Şekil 7'de farklı kesme hızları için elde edilen itme kuvveti değerlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 6. Farklı kesme hızlarında itme kuvveti değerlerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimi



Şekil 7. Farklı ilerlemelerde itme kuvveti değerlerinin kesme hızına bağlı olarak değişimi

Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi, AISI 1050 çeliği için artan ilerleme ile itme kuvvetinin arttığı görülmüştür. En düşük itme kuvveti 110 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/diş ilerleme değerinde elde edilmiştir. En yüksek itme kuvveti ise 130 m/dk kesme hızı ve 0.14 mm/diş ilerleme değerinde görülmüştür. 0.12 mm/diş ve 0.14 mm/diş ilerleme değerleri için kesme hızının artmasıyla itme kuvveti değerleri de artmıştır [21]. 0,1 mm/diş ilerleme değeri için kesme hızı 130 m/dk'ya ulaştığında itme kuvveti çok küçük bir seviye düşüş göstermiştir. Kesme hızının artışıyla itme kuvvetindeki artış miktarı doğrusal olarak değişmemektedir. Grafiklerden anlaşılacağı üzere itme kuvveti üzerinde ilerleme değerinin

etkisi kesme hızına göre çok daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

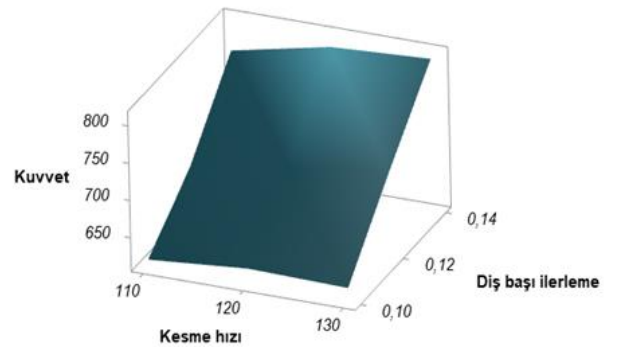
### 3.3 Varyans analizi (ANOVA)

Varyans analizi, bağımsız değişkenin veya değişkenlerin farklı değerlerinin bağımlı değişken üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada yapılan varyans analizinde güven aralığı %95 ve anlamlılık düzeyi %5'tir. Tablo 7'de, ölçülen maksimum itme kuvvetlerine göre yapılan ANOVA sonuçları verilmiştir. Tablonun son sütununda parametrelerin katkı yüzdeleri verilmektedir. ANOVA'da parametrelerin önemi, her bir parametrenin F oranı karşılaştırılarak belirlenir. Analizin R<sup>2</sup> değeri 90,34'tür. Kesme hızının itme kuvveti üzerinde etkisi %2,73 olarak diş başı ilerleme miktarının itme kuvveti üzerinde etkisi ise %96,29 olarak tespit edilmiştir. Buna göre diş başı ilerlemenin itme kuvveti için belirleyici faktör olduğunu söyleyebiliriz. Tablo 7'de SD serbestlik derecesini, KT kareler toplamını, KO kareler ortalamasını ifade etmektedir.

Tablo 7. ANOVA sonuçları

Kaynak	SD	KT	KO	F	P	Katkı %
Kesme Hızı	2	1256.2	628.1	7.47	0.045	2.73
Diş başı ilerleme	2	44372.2	22186	263.8	0.000	96.54
Hata	4	336.4	84.1			0.73
Toplam	8	45964.9				100.00

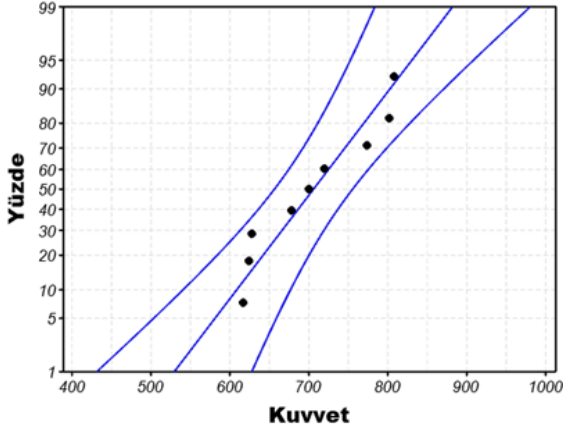
3B yüzey grafikleri, iki tahmin değişkeniyle ilgili olarak bir yanıt değişkenini görmek için kullanılır. 3B yüzey grafiği, istenen yanıt değerlerini ve çalışma koşullarını araştırmak için kullanılan üç boyutlu bir grafikdir. Yüzey grafikleri, iki veri seti arasındaki optimum bağlantı noktasını görmeye yarar. Şekil 8'de itme kuvveti, kesme hızı ve diş başı ilerleme arasındaki ilişki görülmektedir. Kesme hızı seviyelerinin kuvvet üzerinde efektif bir etkisi olmadığı görülmektedir. Diş başı ilerleme seviyelerinde ise değer arttıkça kuvvetin de arttığı görülmektedir [22-23].



Şekil 8. 3B yüzey grafiği

Olasılık analizi, sonuçların ölçülen/hesaplanan değerlerinin dağılımını kontrol etmeye yardımcı olur [24].

Olasılık grafiği Şekil 9'da verilmiştir. Grafikler %95'lik bir güven aralığı (CI) için çizilmiştir. Veri noktaları orta düz çizgi ile hizalandığında verilerin normal dağıldığını söyleyebiliriz. Bu nedenle, bu veriler optimizasyon ve deneysel araştırmalar için kullanılabilir.



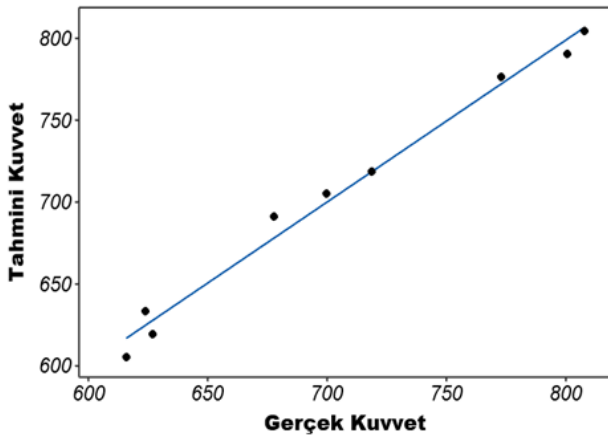
Şekil 9. Olasılık analizi grafiği

### 3.4 Regresyon analizi

Regresyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan analiz yöntemidir. Bu çalışmada bağımlı değişken itme kuvveti, bağımsız değişkenler ise kesme hızı ( $V_c$ ) ve diş başına ilerleme ( $f_z$ )'dir. Denklem (2)'de verilen itme kuvveti için tahmin denklemi regresyon analizi ile elde edilmiştir.

$$F = 22.1 + 1.4V_c + 4292f_z \quad (2)$$

Lineer regresyon modeli ile elde edilen gerçek test sonuçları ve tahmin edilen değerler Şekil 10'da karşılaştırılmıştır. Kuvvet için lineer regresyon modeli ile elde edilen denklemin  $R^2$ 'si %96.95 olarak bulunmuştur.



Şekil 20. Doğrusal regresyon modelinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

## 4 Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 1050 çeliğinin delinmesinde itme kuvveti optimizasyonu Taguchi metodu ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde parametre olarak kesme hızı (110-120-130 m/dk) ve diş başı ilerleme miktarı (0.1-0.12-0.14 mm/diş) ele alınmıştır. Deneyler esnasında ölçülen maksimum itme kuvveti sonuçları referans alınarak Taguchi optimizasyonu, varyans ve regresyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Kesme hızı ve ilerleme miktarı arttıkça itme kuvvetinin arttığı görülmüştür.
- Optimum parametre seviyeleri kesme hızı için 110 (m/dak), diş başı ilerleme için 0.10 (mm/diş) olarak bulunmuştur.
- Varyans analizi sonuçlarına göre itme kuvveti üzerinde; %2.73 oranında kesme hızının, %96.54 oranında ise diş başı ilerleme miktarının etkisi vardır.
- Olasılık analizi, optimizasyonun başarısını kanıtlamıştır.
- Yapılan regresyon analizi ile elde edilen eşitlik sayesinde itme kuvveti değerleri tahmin edilebilmektedir. Kuvvet için lineer regresyon modeli ile elde edilen denklemin  $R^2$ 'si %96.95 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada AISI1050 çeliğinin delinmesinde Taguchi yönteminin başarıyla uygulandığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar gelecekteki akademik araştırmalarda ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.

### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** %16

### Kaynaklar

- [1] M. Gavas, M. Yaşar, M. Aydın ve Y. Altunpak, Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri, Seçkin Yayıncılık, 2015.
- [2] A. Yıldız, Delik delme işleminin sümülasyonu ve delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı mekanik gerilmelerin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2021.
- [3] M. B. H. Hussein, Modelling of drilling operation for superalloys with finite element method, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2020.
- [4] A. Yıldız, A. Kurt and S. Yağmur, Finite element simulation of drilling operation and theoretical analysis of drill stress with the deform-3d, Simulation Modelling Practice and Theory, 104, Article 102153, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102153>.
- [5] S. Yağmur, R. Çakıroğlu, A. Acır ve U. Şeker, AISI 1050 çeliğinin delinmesinde itme kuvvetinin taguchi metodu ile optimizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(2), 241-246, 2017.
- [6] H. Gökçe, İ. Çiftçi ve H. Gökçe, Frezeleme operasyonlarında kesme kuvvetlerinin deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi: saf molibdenin işlenmesi üzerine bir çalışma, Politeknik Dergisi, 22(4), 947-954, 2019. <https://doi.org/10.2339/politeknik.482604>.

- [7] Z. Demir and R. Yakut, An investigation of the effect of parameters and chip slenderness ratio on drilling process quality of AISI 1050 steel, *Hindawi Advances Materials Science and Engineering*, Article ID 9753464, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9753464>.
- [8] A. K. Sahoo, S. Jeet, D. K. Bagal, A. Barua, A. K. Pattaik and N. Behera, Parametric optimization of CNC-drilling of inconel 718 with cryogenically treated Drill-Bit using Taguchi-Whale optimization algorithm, *Material Today: Proceedings*, 50, 1591-1598, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.121>.
- [9] A. Saravanakumar, P. Sreenivas, S. V. Kumar, U. P. Kumar and L. Rajeshkumar, Optimization of drilling process parameters for self-lubricants reinforced aluminium metal matrix composites, *Material Today: Proceedings*, 52, 1461-1465, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.196>.
- [10] A. S. Sidhu, S. Singh and R. Kumar, Optimization and modelling of active power consumption of St52.3 alloy steel during a drilling operation, *Material Today: Proceedings*, 50, 1999-2006, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.340>.
- [11] S. Bratan and P. Novikov, Theoretical determination of cutting forces during machining holes in parts made of alloy iron-carbon alloys, *Material Today: Proceedings*, 38, 2009-2012, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.030>.
- [12] V. Vignesh, S. Satish, V. Gopi, J. Jishnoop and G. A. Menon, Comparison of coated and uncoated HSS drill bit on surface roughness, material removal rate and dimensional accuracy of SS410 stainless steel, *Material Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.307>.
- [13] L. Sterle, P. Krajnik and F. Pusavec, The effects of liquid-CO2 cooling, MQL and cutting parameters on drilling performance, *CIRP Annals -Manufacturing Technology*, 70, 79-82, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.04.007>.
- [14] G. Meral, M. Sarıkaya, H. Dilipak and U. Şeker, Multi-response optimization of cutting parameters for hole quality in drilling of AISI 1050 steel, *Arab. J. Sci. Engineering*, 40, 3709-3722, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1854-z>.
- [15] N. Yaşar, Thrust force modelling and surface roughness optimization in drilling of AA-7075: FEM and GRA, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33, 4771-4781, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0918-5>.
- [16] M. Koyunbakan, A. Ünüvar, V. Eskizeybek ve A. Avcı, CETP kompozitlerin ağaç matkabıyla delinme performanslarının deneysel incelenmesi, *NÖHÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 770-776, 2021. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.830262>.
- [17] İ. Cebeci, B. Özlü ve H. Demir, AISI 304 paslanmaz sac malzemenin lazerle işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, kerf genişliği ve çapak yüksekliğine etkisinin araştırılması, *NÖHÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), 410-415, 2022. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.764983>.
- [18] İmalat çelikleri kullanım alanı. <https://kocacelik.com/urun-detay/imalat-celikleri/>, Accessed 04 April 2023.
- [19] MatWeb: Online Materials Information Resource. <https://www.matweb.com>, Accessed 04 April 2023.
- [20] F. Kafkas, H. Gürbüz, U. ŞEKER, Analysis of the effect of tool geometry and machining parameters on surface integrity properties in turning of AISI 316L stainless steel by Taguchi Method, *Gazi University Journal of Science Part C: Design And Technology*, 10(3), 391-407, 2022. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1149757>.
- [21] N.R. Dhar, M.T. Ahmed, S. Islam, An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, 748-753, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2006.09.017>.
- [22] A. Şahinoğlu, M. Rafiqhi, Optimization of cutting parameters with respect to roughness for machining of hardened AISI 1040 steel, *Materials Testing*, 62(1), 85-95, 2020. <https://doi.org/10.3139/120.111458>.
- [23] E. Bağcı, B. Özcelik, Influence of cutting parameters on drill bit temperature in dry drilling of AISI 1040 steel material using statistical analysis, *Industrial Lubrication and Tribology*, 59(4), 186-193, 2007. <https://doi.org/10.1108/00368790710753581>.
- [24] S. Liu, K. Gong, J. Zhao, D. Wu, X. Hong & W. Wang, Multi-objective optimisation of cutting parameters for drilling-induced damages and thrust force in AFRP drilling. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44(11), 562, 2022. <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03868-2>.

