

# Effect of Processing Parameters on Cutting Torque in Boring of AISI P20 Plastic Mold Steel on Vertical Machining Machine

Aslan AKDULUM<sup>1\*</sup>, Mehmet SÜZGÜNOL<sup>2</sup>, Yunus KAYIR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Corresponding author. Department of Machinery and Metal Technologies, Başkent OSB Vocational School of Technical Sciences, Hacettepe University, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Yeşilevler Vocational and Technical Anatolian High School, Adana, Türkiye

<sup>3</sup> Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, Türkiye

## Article Info

Research article

Received: 16/09/2024

Revision: 20/12/2024

Accepted: 31/01/2025

## Keywords

Boring  
Torque  
Optimization  
Taguchi  
Anova  
Regression

## Makale Bilgisi

Araştırma makalesi

Başvuru: 16/09/2024

Düzeltilme: 20/12/2024

Kabul: 31/01/2025

## Anahtar Kelimeler

Baralama  
Tork  
Optimizasyon  
Taguchi  
Anova  
Regresyon

## Graphical/Tabular Abstract (Grafik Özet)

In this study, an effective regression model was established by examining the effects of boring parameters on the torque generated during the precision boring process of AISI P20 steel on a milling machine. / Bu çalışmada AISI P20 çeliğinin freze tezgahında hassas baralanması işleminde meydana gelen tork üzerinde, baralama parametrelerinin etkileri incelenerek etkili bir regresyon modeli kurulmuştur.

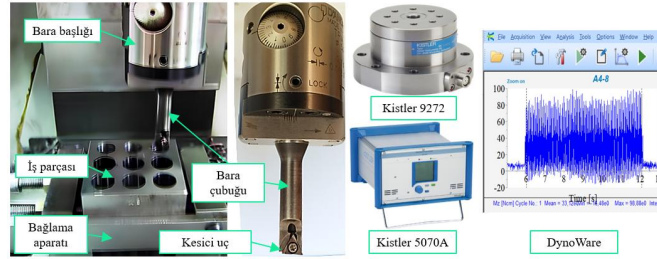


Figure A: Boring torque measurement setup /Şekil A: Baralama torku ölçüm düzeneği

## Highlights (Önemli noktalar)

- The torque generated during the precision boring process of AISI P20 steel on the milling machine was investigated. / AISI P20 çeliğinin freze tezgahında hassas baralanması işleminde meydana gelen tork incelenmiştir.
- Radial depth of cut (40.23%) was determined as the most effective parameter. / Radyal kesme derinliği (%40,23) en etkili parametre olarak belirlenmiştir.
- The regression model provided highly accurate results with an  $R^2$  value of 97.47%. / Regresyon modeli %97,47  $R^2$  değeri ile yüksek doğrulukta sonuçlar sunmuştur.

**Aim (Amaç):** The aim of this study is to determine the effects of boring parameters on boring torque in the precision boring process of AISI P20 plastic mold steel and to determine the most suitable machining conditions. / Bu çalışmanın amacı, AISI P20 plastik kalıp çeliğinin hassas baralanması işleminde baralama parametrelerinin baralama torku üzerindeki etkilerini belirlemek ve en uygun işleme koşullarını tespit etmektir.

**Originality (Özgünlük):** In this study, the parameters affecting torque generation during precision boring of AISI P20 steel on a milling machine were investigated. / Bu çalışma, AISI P20 çeliğinin freze tezgahında hassas baralanması sırasında tork oluşumunu etkileyen parametreler incelenmiştir.

**Results (Bulgular):** While the radial depth of cut was determined as the parameter with the greatest effect on the boring torque with 40.23%, the effect of the feed rate was found to be 18.26%. While coated inserts caused lower torque values, the regression model showed high accuracy with an  $R^2$  value of 97.47%. / Baralama torku üzerinde radyal kesme derinliği %40,23 ile en büyük etkiye sahip parametre olarak belirlenirken ilerleme miktarının etkisi %18,26 olarak bulunmuştur. Kaplamalı kesici uçlar daha düşük tork değerlerine neden olurken regresyon modeli %97,47 oranında  $R^2$  değeri ile yüksek doğruluk göstermiştir.

**Conclusion (Sonuç):** Radial depth of cut was determined as the most effective parameter on the torque generated during the precision boring of AISI P20 steel on the milling machine, and an effective regression model was established. / AISI P20 çeliğinin freze tezgahında hassas baralanması işleminde meydana gelen tork üzerinde en etkili parametre olarak radyal kesme derinliği belirlenirken etkili bir regresyon modeli kurulmuştur.



## Effect of Processing Parameters on Cutting Torque in Boring of AISI P20 Plastic Mold Steel on Vertical Machining Machine

Aslan AKDULUM<sup>1\*</sup> , Mehmet SÜZGÜNOL<sup>2</sup> , Yunus KAYIR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Corresponding author. Department of Machinery and Metal Technologies, Başkent OSB Vocational School of Technical Sciences, Hacettepe University, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Yeşilevler Vocational and Technical Anatolian High School, Adana, Türkiye

<sup>3</sup> Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, Türkiye

### Article Info

Research article  
Received: 16/09/2024  
Revision: 20/12/2024  
Accepted: 31/01/2025

### Keywords

Boring  
Torque  
Optimization  
Taguchi  
Anova  
Regression

### Abstract

AISI P20 plastic mold steel is a material generally used in the mold industry. In mold manufacturing, quality holes are needed because continuity of product quality, high repetitive work, and maximum mold life are required. Additionally, boring tools are used in the manufacture of engine block cylinder housings in the automotive industry. Therefore, boring operations play a vital role in obtaining the final quality of pre-drilled holes. But the cutting insert of the boring tool contacts the hole wall at a single position relative to the hole axis. This situation causes the cutting torque to result in the highest force in the boring process. Therefore, one of the most critical indicators of hole quality is boring torque. For this reason the aim of the present study is to deeply analyze the impacts of coating type, cutting edge radius, feed rate, cutting speed, and radial depth of cut parameters on the boring torque in the precision boring process of AISI P20 material on a vertical machining machine. For this purpose, graphics, Taguchi, and Anova methods were used. As a result, while the radial depth of cut was determined as the most effective parameter on the boring torque, the coated cutting insert produced lower torque values. As a result of the calculated regression equations, an  $R^2$  value of 97.47% was obtained. It was also found that the radial depth of cut had a 40.23% effect on torque, while the feed rate had an 18.26% effect.

## AISI P20 Plastik Kalıp Çeliğinin Dik İşleme Tezgahında Baralanmasında İşleme Parametrelerinin Kesme Torkuna Etkisi

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 16/09/2024  
Düzeltilme: 20/12/2024  
Kabul: 31/01/2025

### Anahtar Kelimeler

Baralama  
Tork  
Optimizasyon  
Taguchi  
Anova  
Regresyon

### Öz

AISI P20 plastik kalıp çeliği, genellikle kalıp sektöründe kullanılan bir malzemedir. Kalıp imalatında ise ürün kalitesinin sürekliliği, yüksek tekrarlı çalışma ve maksimum kalıp ömrü gerektiğinden kaliteli deliklere ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca otomotiv sektöründe motor bloğu silindiri yuvalarının imalatında baralar kullanılmaktadır. Dolayısıyla önceden delinmiş deliklerin nihai kalitesinin elde edilmesinde baralama operasyonları önemli bir yer tutmaktadır. Ancak delik eksenine göre baranın kesici ucu tek noktada delik duvarı ile temas halindedir. Bu durum ise baralama işleminde kesme torkunun en yüksek kuvvet olarak sonuçlanmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla delik kalitesinin en önemli göstergelerinden birisi baralama torkudur. Bu nedenle mevcut çalışmada AISI P20 malzemesinin dik işleme tezgahında hassas baralanması işleminde kaplama tipi, kesici uç radüsü, radyal kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarı parametrelerinin baralama torkuna etkilerinin derinlemesine araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için grafikler, Taguchi ve Anova yöntemleri kullanıldı. Sonuç olarak baralama torku üzerinde etkili parametre olarak radyal kesme derinliği tespit edilirken, kaplamalı kesici uç daha düşük tork değerleri meydana getirmiştir. Hesaplanan regresyon eşitlikleri sonucu %97,47 oranında bir  $R^2$  değeri elde edilmiştir. Ayrıca tork üzerinde radyal kesme derinliğinin %40,23 etkisi varken ilerleme miktarının %18,26 etkili olduğu tespit edilmiştir.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

AISI P20 malzemesi genellikle plastik enjeksiyon ve kesme kalıplarında kullanılmaktadır [1]. Plastik

içerikli ürünlerin kullanımının günden güne artmasıyla plastik enjeksiyon kalıplarına daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Hazırlanan kalıplarda ürün kalitesinin devamlılığı, yüksek tekrarlı çalışma

süresi ve maksimum kalıp ömrü gerektiğinden kaliteli deliklere ihtiyaç bulunmaktadır [3]. Arzulanan delik kalitesini elde edebilmek için son işlem olarak baralama operasyonları uygulanmaktadır [4]. Ayrıca otomotiv sektöründe araçların motor bloğundaki silindir deliğinin genişletilmesinde baralama işlemi oldukça önemlidir [5]. İşlemin uygun yapılmaması durumunda, motor bloğunda silindir deliğinin eksantrikliği, yüzey kalitesi bozulmaları, kirlenici gaz emisyonu, aşınma, yağ sızdırma, güç ve verimlilik kaybı, titreşim ve soğutma problemleri gibi ciddi sorunlar meydana gelebilir [6].

Freze tezgahlarında yapılan baralama işlemi, torna tezgahında yapılan delik içi tornalama operasyonlarından farklı özelliktedir. Freze tezgahlarında yapılan baralama işlemi, iş parçalarının sabit olduğu, bara kesicisinin ise hem dönme hem de ilerleme hareketi yapmasıyla gerçekleşmektedir [7]. Dolayısıyla freze tezgahında yapılan baralama işleminde bara çubuğu mekanik, dinamik ve merkezkaç kuvvetlerine daha fazla maruz kalmaktadır [8]. Bunun neticesinde yanıl ve burulma titreşimleri, tırlama, ucun geriye dönmesi, yüzey pürüzlülüğünün ve kuvvetlerin aşırı artması gibi olumsuzluklar meydana gelebilir [9]. Ayrıca delik için de çalışma, bara çubuğunun uzun ve ince olması, delik çapı gibi kısıtlılıklardan dolayı anılan problemlerin çözümü için baralama parametrelerinin derinlemesine incelenerek optimizasyonu gerekmektedir [10]. Delik kalitesinin elde edilmesinde önemli çıktı yanıtlarından biri baralama torkudur. Özellikle delik eksenine göre delik çevresine baralama ucu tek noktadan temas ettiği için delik kalitesinin oluşumunda baralama torku birincil öneme sahip olmaktadır.

Dik işleme tezgahında yapılan baralama işleminin incelenmesi için şimdiye kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda lazer kılavuzlu sistemler geliştirilerek delik derinliğine bağlı kesici uç sapması ve delik çapı sapması incelenmiştir [11, 12]. Önerilen sistem ile sapma değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Diğer bir çalışmada kesme kuvvetleri takım geometrisi, ilerleme miktarı, radyal kesme derinliğinin bir fonksiyonu ile analitik olarak modellenmiştir [10, 13]. Baralama kuvvetinin talaş alanı ile doğrusal bir ilişkiye sahip olduğunu, ilerleme miktarı ve radyal kesme derinliğiyle ise doğrusal olmayan bir ilişkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca baralama işlemi sonucu deliğin boyutsal hataları üzerinde merkezkaç kuvvetlerinin etkisini incelemişlerdir [8]. Baralama işleminde meydana gelen form hataları [14], titreşimler [15], dinamik kararlılık [9,

16], ilerleme kuvveti [17] gibi çıktı yanıtları incelenmiştir. Farklı soğutma yöntemlerinin kesme kuvvetlerine, sıcaklığa ve takım aşınmasına etkileri araştırılmıştır [18]. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin baralama sonucu elde edilen deliğin dikliğine etkileri deneysel olarak incelenmiştir [19]. İş mili hızı, soğutma sıvısı, kesici uç tipi ve ilerleme oranının yüzey kalitesi, deliklerin silindirikliği, daireselliği ve boyutsal tamlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir [20]. Literatürde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde baralama işleminde meydana gelen kesme torku üzerinde işleme parametrelerinin etkisi tam anlamıyla araştırılmamıştır. Ancak baralama işleminde meydana gelen kesme torku oldukça önemli olup geometrik sapma, yüzey pürüzlülüğü oluşumu ve titreşimin nedenlerinden birisi olabilmektedir. Bu yüzden derinlemesine incelenmesi işlem planlaması ve verimlilik açısından oldukça gereklidir.

Mevcut çalışmanın amacı, AISI P20 plastik kalıp çeliğinin dik işleme tezgahında hassas baralanması işleminde kaplama tipi, kesici uç radüsü, ilerleme miktarı, kesme hızı ve radyal kesme derinliği parametrelerinin baralama torkuna etkilerinin derinlemesine araştırılmasıdır. Baralama işleminde meydana gelen kesme torku gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir. Baralama torku üzerinde baralama parametrelerinin etkileri normallik testi, ortalama etki grafiği, üç boyutlu yüzey grafiği, Taguchi ve Anova yöntemleriyle analiz edilmiştir. Daha sonra regresyon analizi ile matematiksel olarak modellenmiştir. Bu çalışma ile dik işleme tezgahlarında yapılan baralama torkuna hangi işleme parametrelerinin daha fazla etki ettiği belirlenerek literatüre katkı sağlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

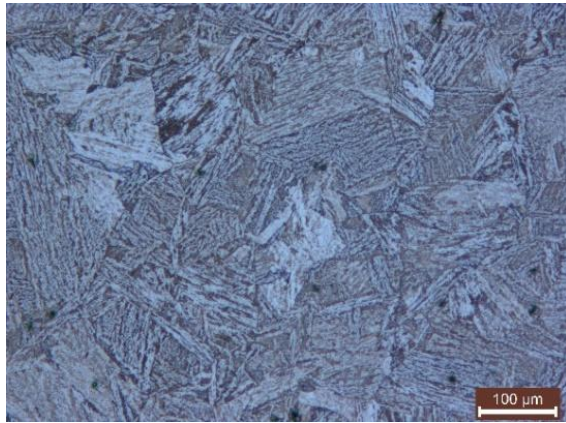
Deneysel kurulum, AISI P20 plastik kalıp çeliği malzemenin dik işleme tezgahında hassas bir şekilde baralanması ve baralama işleminde gerçek zamanlı olarak baralama torkunun ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. AISI P20 iş parçası 60 × 60 × 35 mm boyutlarında hazırlanarak kullanılmıştır. Kullanılan iş parçası malzemesinin mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi tablo 1’de yer almaktadır. Mekanik özellikler çekme testi ve sertlik ölçümü sonucu elde edilmiş olup üç defa tekrarlanan testlerin ortalamalarını göstermektedir.

Taramalı elektron mikroskobu ile mikroyapı Şekil 1’de ki gibi görüntülenmiştir. Baralama öncesi delikler uygun radyal kesme derinliğini elde edebilmek amacıyla farklı çapta normal helisel matkaplar kullanılarak boydan boya delinmiştir.

Delik büyütme işlemi olan baralama işlemi daha sonra boydan boya olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** AISI P20 plastik kalıp çeliğinin temel özellikleri [17] (Main properties of AISI P20 plastic mold steel)

| Kimyasal Bileşim, % |          |
|---------------------|----------|
| Si                  | 0.2      |
| Mn                  | 1.5      |
| Cr                  | 1.9      |
| Mo                  | 0.2      |
| C                   | 0.4      |
| Fe                  | Kalan    |
| Mekanik Özellikler  |          |
| Çekme dayanımı      | 971 MPa  |
| Akma dayanımı       | 746 MPa  |
| Uzama               | % 6.23   |
| Sertlik, Rockwell C | 35.5 HRC |



**Şekil 1.** AISI P20 plastik kalıp çeliğinin mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of AISI P20 plastic mold steel)

Deney tasarımı yöntemi olarak Taguchi L36 ( $2^2 \times 3^3$ ) modeli dikkate alınmıştır. Taguchi yöntemi daha az deney sayısı ile optimal kesme parametrelerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir [21-23]. Birçok çalışmada optimum kesme parametrelerinin başarılı bir şekilde belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır [24, 25]. Mevcut çalışmada toplamda beş adet baralama parametresi bulunmaktadır. Bu parametrelerin iki tanesi ikişer seviye, üç tanesi ise üçer seviye olacak şekilde belirlenmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımı olması durumunda deney sayısı  $2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3 = 108$  adet olması gerekirken Taguchi yöntemiyle bu sayı 36 adete düşmüştür. İşlenebilirlik deneylerindeki maliyet ve zaman kısıtlılıkları dikkate alındığında mevcut yöntemin avantajlı olduğu söylenebilir. Taguchi L36 için parametreler ve seviyeleri tablo 2’de yer almaktadır.

Delik baralama işlemleri bilgisayar kontrollü dik işleme tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Takım tezgahının kontrol paneli Fanuc ve ölçüm hassasiyeti 0,001mm’dir. Dandrea marka baralama çubuğu, baralama başlığı ve kesici uçlar kullanılmıştır. Baralama parametreleri, kesici takım katalog tavsiyeleri ve literatür dikkate alınarak belirlenmiştir [17]. Baralama torkunu ölçmek için üç adet ilerleme miktarı (0,04 – 0,06 ve 0,09 mm/dev), üç adet radyal kesme derinliği (0,2 – 0,3 ve 0,5 mm) ve üç adet kesme hızı (130, 162 ve 203 m/dak) belirlenmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere iki türde sermet (cermet) kesici uç kullanılmıştır. Kesici uçların burun yarıçapı olarak 0,2 mm ve 0,4 mm değerleri belirlenmiştir. İş parçası sabit, kesici takım ise döner durumdadır. Soğutma sıvısı kullanılmamış olup deneyler kuru ortamda gerçekleştirilmiştir.

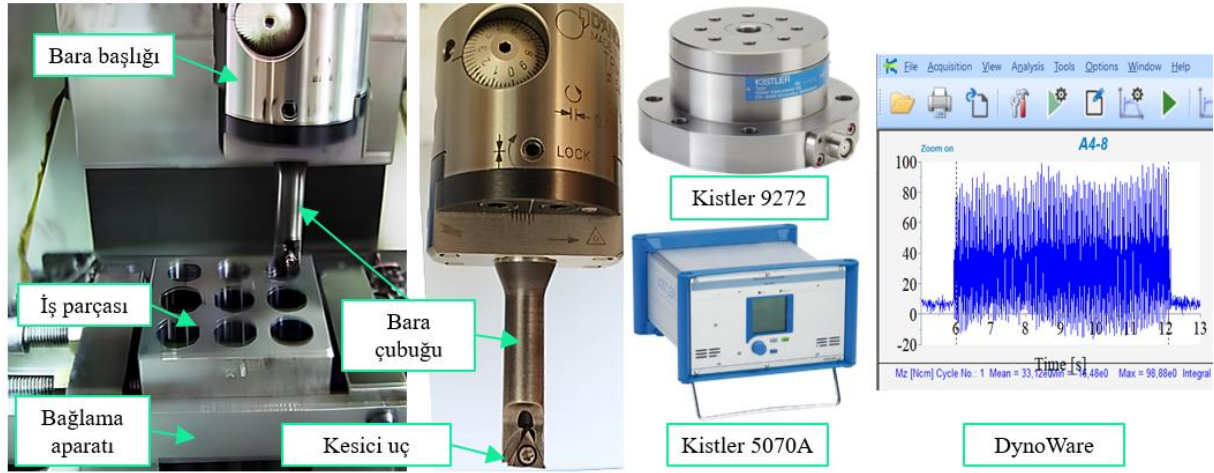
**Tablo 2.** Taguchi L36 için faktörler ve seviyeleri (Factors and levels for Taguchi L36)

| Seviye | Faktörler         |                      |                        |                              |                          |
|--------|-------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|
|        | Kaplama Tipi (KT) | Uç yarıçapı (UR), mm | Kesme Hızı (Vc), m/dak | İlerleme Miktarı (f), mm/dev | Kesme Derinliği (KD), mm |
| 1      | Kaplamasız        | 0,2                  | 130                    | 0,04                         | 0,2                      |
| 2      | Kaplamalı         | 0,4                  | 162                    | 0,06                         | 0,3                      |
| 3      |                   |                      | 203                    | 0,09                         | 0,5                      |

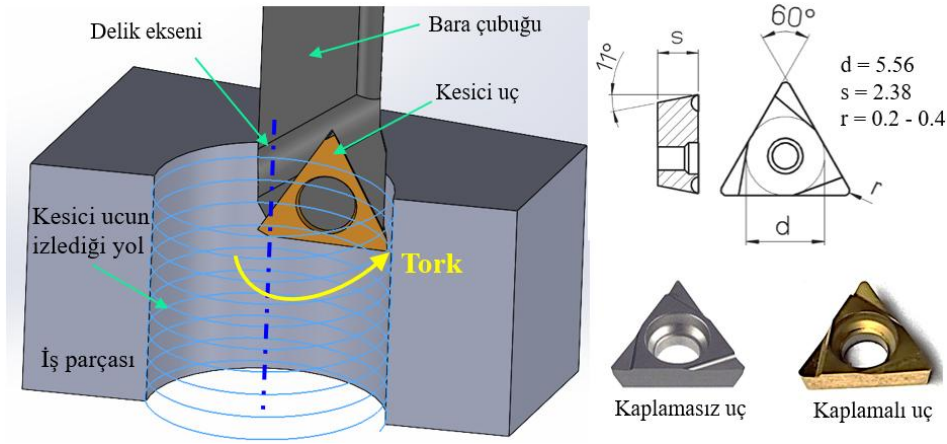
Deneysel kurulum Şekil 2’de gösterilmiştir. Delik barası ile deliği genişletirken baralama torkunu gerçek zamanlı olarak ölçmek ve kaydetmek için Kistler 9272 dinamometre ve Kistler 5070A amplifier kullanılmıştır. Toplanan sinyal bilgileri dynoware programı ile işlenerek ortalama baralama torku belirlenmiştir.

Nihai olarak 14 mm delik çapını elde etmek için uygun bara başlığı ve bara çubuğu kullanılmıştır. Bu aralıktaki baralama ucu Dandrea takım setinde B 3.11 (Ø11- Ø17mm) sınıfı içerisinde yer almaktadır. Kullanılan kesici uçların boyut bilgileri ve geometrisi Şekil 3’te bulunmaktadır. Kullanılan kesici uçların geometrisi TPGX090202L ve

TPGX090204L'dir. Kaplamasız ucun kodu DC100, kaplamalı ucun kodu ise DC100T'dir.



Şekil 2. Baralama torkunun ölçümü için hazırlanan düzenek (The apparatus prepared for measuring the boring torque)



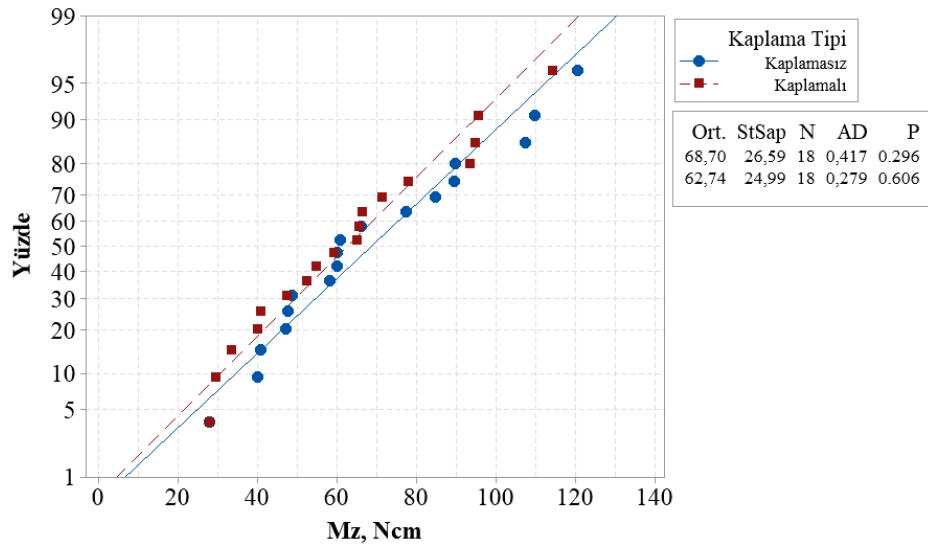
Şekil 3. Kullanılan bara ve kesici uçlar (Used boring bar and inserts)

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

AISI P20 plastik kalıp çeliğinin dik işleme tezgahında hassas baralanması sonucu meydana gelen baralama torku üzerinde işleme parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Taguchi L36 deney tasarım yöntemi belirlenmiştir. Beş adet baralama parametresi belirlenerek bilgisayar kontrollü dik işleme tezgahında hassas baralama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı olarak dinamometre tarafından ölçülen baralama torku optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla çıktı yanıtı olarak belirlenmiştir. Çünkü delik merkezine göre çevrede ve tek noktada delik yüzeyine temas eden bara çubuğuna takılı kesici uç, dengesiz kuvvetlere maruz kalmaktadır. Kesme

sürecinde meydana gelen kuvvetlerin en büyüğü ise kesme torkudur.

Şekil 4'te bulunan baralama torku değerlerinin kesici tiplerine göre normallik testi incelendiğinde P değerleri 0,05 değerinden daha fazladır. Dolayısıyla verilerin normal dağılıma uyduğu söylenebilir [26]. Kaplamasız uç için P değeri 0,296 hesaplanmışken kaplamalı kesici uç için P değeri 0,606 olarak sonuçlanmıştır. Kaplamasız uç ile ortalama baralama torku 68,7 Ncm olarak ölçülürken, kaplamalı kesici uç için bu değer 62,74 Ncm olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla kaplamalı kesici uç ile ortalama daha küçük baralama torku meydana gelmiştir. Kaplamalı kesici ucun standart sapma değeri (24,99), kaplamasız kesici ucun değerine (26,59) göre daha düşük hesaplanmıştır. Dolayısıyla kaplamalı ucun daha tercih edilebilir olduğu söylenebilir.



**Şekil 4.** Kaplama tipine göre baralama torku normallik testi (Boring torque normality test according to coating type)

Baralama torku üzerinde baralama parametreleri sinyalinin gürültüye oranları (S/N) tablo 3'te bulunmaktadır. En etkili parametre seviyeleri kalın olarak vurgulanmıştır. Taguchi analizi, baralama torku üzerinde işleme parametrelerinin etkilerini değerlendirmek için çıktı yanıtlarını S/N oranlarına dönüştürmektedir [27]. Minimum baralama torku daha arzulanan bir durumdur. Dolayısıyla küçük

daha iyidir yaklaşımına göre Taguchi analizi yapılmıştır. Taguchi analizinde daha yüksek S/N oranları daha iyi sonuç vermektedir. Delta değeri daha yüksek olan faktörün önem derecesi daha yüksektir. Dolayısıyla önem derecesine göre faktörler sıralandığında en önemli faktör radyal kesme derinliğiyken en az öneme sahip faktör kesme hızı olarak sonuçlanmıştır.

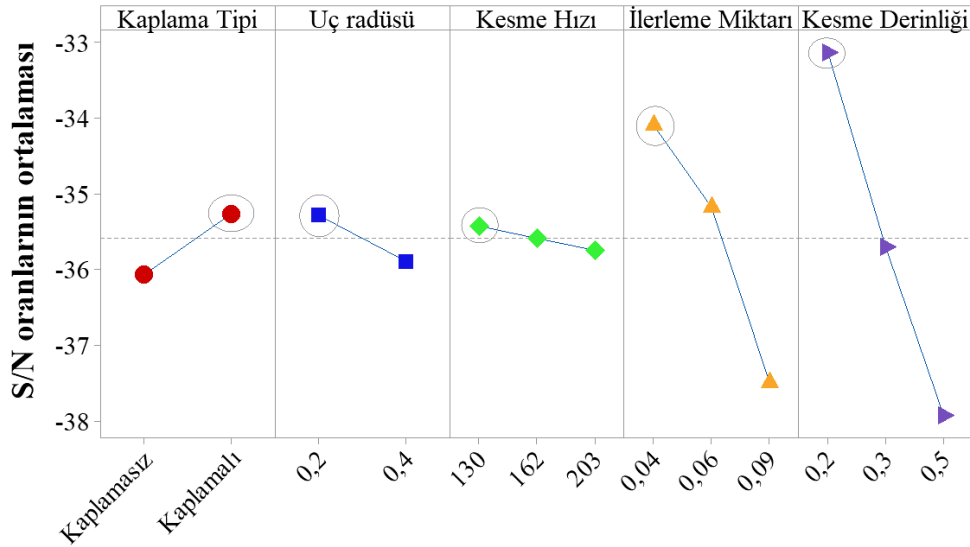
**Tablo 3.** S/N oranları yanıt tablosu (S/N ratios response table)

| Seviye | Kaplama Tipi | Uç radüsü | Kesme Hızı | İlerleme Miktarı | Kesme Derinliği |
|--------|--------------|-----------|------------|------------------|-----------------|
| 1      | -36,07       | -35,28    | -35,43     | -34,09           | -33,13          |
| 2      | -35,26       | -35,89    | -35,59     | -35,18           | -35,70          |
| 3      |              |           | -35,75     | -37,49           | -37,93          |
| Delta  | 0,80         | 0,61      | 0,32       | 3,41             | 4,80            |
| Sıra   | 3            | 4         | 5          | 2                | 1               |

S/N oranlarına göre elde edilen ortalama etki grafiği Şekil 5'te bulunmaktadır. Faktörlerin daha küçük S/N oranları daha iyi olduğu için optimal değerler elips içerisine alınmıştır. Daha büyük S/N oranlarına sahip faktör seviyeleri kaplama tipi faktörü için kaplamalı kesici uç, uç radüsü değeri 0,2mm, kesme hızı 130 m/dak, ilerleme miktarı 0,04mm/dev ve kesme derinliği ise 0,2 mm olarak belirlenmiştir.

Deney sonucu elde edilen veriler normal dağılım gösterdiği için Anova testi sonuçlara uygulanabilmektedir. Baralama torku için Anova sonuçları tablo 4'te bulunmaktadır. Anova tablosunda yer alan P değeri 0,05 değerinden küçükse sonuçların istatistiksel olarak anlamlı

olduğu sonucuna varılmaktadır. Mevcut çalışmada model için elde edilen 0,016 değeri modelin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Oluşturulan modelin R<sup>2</sup> değeri ise %90,5 olarak sonuçlanmış olup oldukça başarılıdır. P<0,05 değerine göre baralama torku üzerinde anlamlı istatistiksel etkiye sahip parametreler radyal kesme derinliği (0,003) ve ilerleme miktarı (0,011) olmuştur. Etkili olan parametrelerin katkı yüzdeleri ise radyal kesme derinliği için %40,23 olarak sonuçlanmışken, ilerleme miktarı için %18,26 olmuştur. Dolayısıyla baralama işlemlerinde parametreler belirlenirken radyal kesme derinliği ve ilerleme miktarı oldukça dikkatli bir şekilde seçilmelidir.



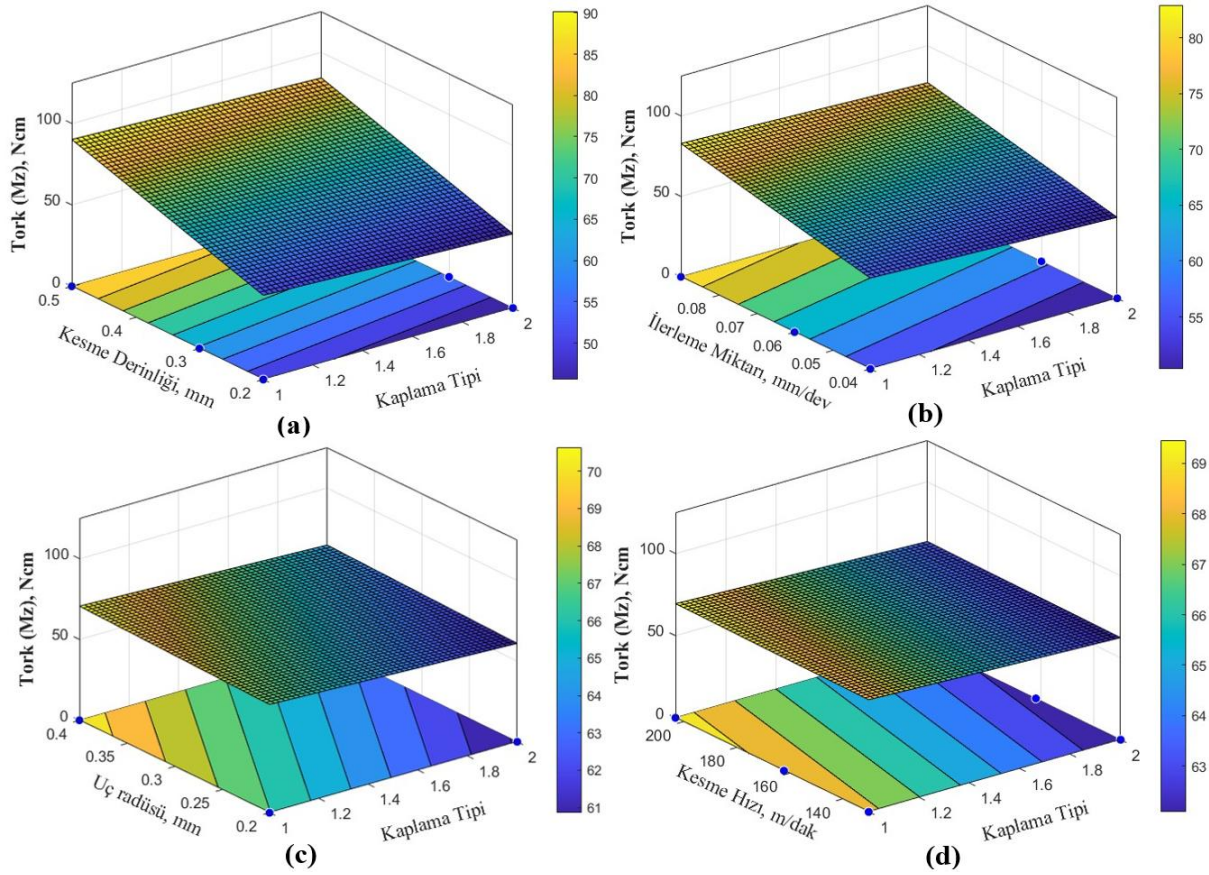
Şekil 5. Baralama torku için S/N oranlarının ortalamaları (Averages of S/N ratios for boring torque)

Tablo 4. Baralama torku için Anova tablosu (Anova table for boring torque)

| Kaynak                              | Serbestlik derecesi | Hata kareleri toplamı | Katkı Yüzdesi | Ayarlanmış kareler toplamı | Ayarlanmış ortalama kareler | F-Değeri | P-Değeri     |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|----------|--------------|
| Model                               | 25                  | 20772,5               | 90,50%        | 20772,5                    | 830,9                       | 3,81     | <b>0,016</b> |
| <b>Lineer</b>                       | 8                   | 14309                 | 62,34%        | 8097,3                     | 1012,17                     | 4,64     | <b>0,014</b> |
| Kaplama tipi                        | 1                   | 319,8                 | 1,39%         | 194                        | 194,01                      | 0,89     | 0,368        |
| Uç radüsü                           | 1                   | 113,5                 | 0,49%         | 15,4                       | 15,41                       | 0,07     | 0,796        |
| Kesme hızı                          | 2                   | 449,5                 | 1,96%         | 366,9                      | 183,46                      | 0,84     | 0,46         |
| İlerleme miktarı                    | 2                   | 4191,9                | 18,26%        | 3189,9                     | 1594,94                     | 7,31     | <b>0,011</b> |
| Radyal kesme derinliği              | 2                   | 9234,2                | 40,23%        | 4634                       | 2316,99                     | 10,62    | <b>0,003</b> |
| <b>İkinci derece</b>                | 17                  | 6463,5                | 28,16%        | 6463,5                     | 380,21                      | 1,74     | 0,187        |
| Kaplama tipi*Uç radüsü              | 1                   | 999,1                 | 4,35%         | 788,1                      | 788,08                      | 3,61     | 0,087        |
| Kaplama tipi*Kesme hızı             | 2                   | 461,6                 | 2,01%         | 1081,5                     | 540,77                      | 2,48     | 0,134        |
| Kaplama tipi*İlerleme miktarı       | 2                   | 154                   | 0,67%         | 1038,1                     | 519,07                      | 2,38     | 0,143        |
| Kaplama tipi*Radyal kesme derinliği | 2                   | 1557,6                | 6,79%         | 28,4                       | 14,19                       | 0,07     | 0,937        |
| Uç radüsü*Kesme hızı                | 2                   | 878,5                 | 3,83%         | 1216,1                     | 608,03                      | 2,79     | 0,109        |
| Uç radüsü*İlerleme miktarı          | 2                   | 1956,5                | 8,52%         | 1168,8                     | 584,38                      | 2,68     | 0,117        |
| Uç radüsü*Radyal kesme derinliği    | 2                   | 94,8                  | 0,41%         | 287,5                      | 143,77                      | 0,66     | 0,538        |
| Kesme hızı*Radyal kesme derinliği   | 4                   | 361,5                 | 1,57%         | 361,5                      | 90,38                       | 0,41     | 0,795        |
| <b>Hata</b>                         | 10                  | 2181,8                | 9,50%         | 2181,8                     | 218,18                      |          |              |
| Fit eksikliği                       | 4                   | 622,7                 | 2,71%         | 622,7                      | 155,67                      | 0,6      | 0,677        |
| Saf hata                            | 6                   | 1559,1                | 6,79%         | 1559,1                     | 259,85                      |          |              |
| <b>Toplam</b>                       | 35                  | 22954,3               | 100%          |                            |                             |          |              |

Şekil 6'da kaplama tipi ile diğer baralama parametreleri arasındaki ilişkinin grafiği bulunmaktadır. 1 numara kaplamasız kesici ucu temsil ederken, 2 numara kaplamalı kesici ucu temsil etmektedir. Kaplamalı kesici uç, kaplamasız kesici uca kıyasla daha düşük baralama torku üretmektedir. Bu durum, kaplamalı ucun kesici ile malzeme arasındaki temas sürtünmesini azaltmasıyla açıklanabilir [5]. Şekil 6a'da kaplama tipi ile kesme derinliği arasındaki ilişki bulunmaktadır. Kesme derinliğindeki artış, kesme torkunun da yükselmesine neden olmaktadır. Bunun nedeni, birim zamanda kesilen talaş miktarının artmasıyla, malzemeyi şekillendirmek için daha fazla güce ihtiyaç duyulması olabilir [28]. Şekil 6b'de kaplama tipi ile ilerleme miktarı arasındaki ilişki bulunmaktadır. İlerleme miktarının büyümesiyle kesme torkunun değeri de büyüme eğilimindedir. İlerleme miktarının artan değerleri

ile kesici malzeme içerisinde daha hızlı ilerlemektedir. Kesiciye daha fazla talaşın teması da kesme işlemi için gereken tork miktarının artış göstermesinin nedeni olabilir [29]. Şekil 6c'de kaplama tipi ile uç radiusünün ilişkisi yer almaktadır. Maksimum kesme torku kaplamasız kesici uç ve maksimum radius değerinde meydana gelmektedir. Uç radiusünün artışı kesme torkunu artırmıştır. Daha büyük kesici uç radiusü, takım-talaş temas uzunluğunu artırmakta ve baralama torkunun artmasına neden olmaktadır [10]. Şekil 6d'de kaplama tipi ile kesme hızı arasındaki ilişki bulunmaktadır. Kesme hızının artışı ile az da olsa kesme torkunda artış meydana gelmiştir. Kesme hızının artmasıyla baralama ucu ve delik duvarı arasındaki sürtünme sayısı artmakta bu durum ise kesme torkunun artmasına neden olabilmektedir [30].



**Şekil 6.** Kaplama tipi ile baralama parametreleri arasındaki ilişki (a) kesme derinliği, (b) ilerleme miktarı, (c) uç radiusü, (d) kesme hızı (Relationship between coating type and boring parameters (a) depth of cut, (b) feed rate, (c) insert radius, (d) cutting speed)

Kesme torku için kaplama tipine göre regresyon eşitlikleri eşitlik 1 ve 2'de bulunmaktadır. Kategorik değişken olarak kaplama tipi belirlenirken diğer baralama parametreleri sürekli faktör olarak belirlemiştir. İkinci dereceden regresyon eşitliği türetilmiş olup  $R^2$  değeri %97,47

olarak sonuçlanmıştır. Ayrıca mutlak ortalama sapma değeri 8,55 olarak hesaplanmıştır. En küçük sapma 1 Ncm, en büyük sapma ise 31 Ncm olarak hesaplanmıştır. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen değer oldukça kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu açıktır [26].

Kaplamasız uç için tork;

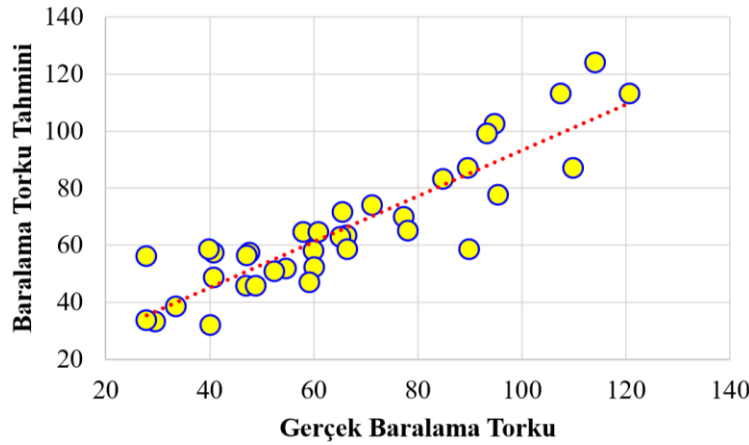
$$\begin{aligned} \text{Tork} = & 0,0 + 2669 \text{ UR} - 3,95 \text{ Vc} + 291 \text{ f} + 45 \text{ KD} - 4344 \text{ UR*UR} + 0,01103 \text{ Vc*Vc} \\ & - 2335 \text{ f*f} - 187 \text{ KD*KD} + 0,07 \text{ UR*Vc} + 22 \text{ UR*f} - 211 \text{ UR*KD} - 1,13 \text{ Vc*f} \\ & + 0,080 \text{ Vc*KD} + 3286 \text{ f*KD} \end{aligned} \quad (1)$$

Kaplamalı uç için tork;

$$\begin{aligned} \text{Tork} = & -76,2 + 2732 \text{ UR} - 3,65 \text{ Vc} - 282 \text{ f} + 160 \text{ KD} - 4344 \text{ UR*UR} + 0,01103 \text{ Vc*Vc} \\ & - 2335 \text{ f*f} - 187 \text{ KD*KD} + 0,07 \text{ UR*Vc} + 22 \text{ UR*f} - 211 \text{ UR*KD} - 1,13 \text{ Vc*f} \\ & + 0,080 \text{ Vc*KD} + 3286 \text{ f*KD} \end{aligned} \quad (2)$$

Regresyon eşitliklerine göre baralama torkunun gerçek değerleri ile tahmin değerleri arasındaki ilişki Şekil 7’de bulunmaktadır. Kırmızı kesikli çizgiler optimum tahmin eğilimini gösterirken, sarı

noktalar veri noktalarının gerçek ve tahmin dağılımını göstermektedir. Şekle göre kurulan regresyon eşitliklerinin başarılı tahminler yaptığı açıktır.



Şekil 7. Baralama torkunun gerçek ve tahmini değerleri (Actual and estimated values of boring torque)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada AISI P20 plastik kalıp çeliğinin dik işleme tezgahında hassas baralanması sonucu meydana gelen baralama torku üzerinde işleme parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Baralama torku üzerinde baralama parametrelerinin etkileri normallik testi, ortalama etki grafiği, üç boyutlu yüzey grafiği, Taguchi ve Anova yöntemleriyle analiz edilmiştir. Daha sonra regresyon analizi ile matematiksel olarak modellenmiştir. Mevcut çalışma ile elde edilen önemli bulgular aşağıda listelenmiştir.

- Yapılan deneylerin normallik testi normal dağılıma uygun olarak sonuçlanmıştır. Kaplamasız kesici uç ile karşılaştırıldığında kaplamalı kesici uç daha küçük baralama torkunun meydana gelmesini sağlamıştır.
- S/N oranları tablosuna göre baralama torku üzerinde en etkili parametrelerin sıralaması kesme

derinliği, ilerleme miktarı, kaplama tipi, uç radüsü ve kesme hızı olarak belirlenmiştir.

- Ortalama etki grafiğine göre en optimal baralama parametreleri kaplamalı uç, 0,2 mm kesici uç radüsü, 130 m/dak kesme hızı, 0,04 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,2 mm radyal kesme derinliği ile elde edilmiştir.

- Anova tablosuna göre modelin belirleme katsayısı %90,5 olarak hesaplanmış olup baralama torku üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olan parametreler radyal kesme derinliği ve ilerleme miktarı olmuştur.

- Üç boyutlu yüzey grafiklerine göre uç radüsünün, kesme hızının, kesme derinliğinin ve ilerleme miktarının artışı ile baralama torku artış göstermiştir. Kaplamalı kesici uç daha düşük baralama torku meydana getirmiştir.

- Kurulan regresyon eşitliğinin  $R^2$  değeri %97,47 olarak hesaplanmış olup elde edilen matematiksel

modelin başarılı bir şekilde baralama torkunu tahmin ettiği söylenebilir.

Gelecek çalışmalarda baralama torkuna etkiyen işleme parametrelerini daha ileri analiz etmek için yanıt yüzey yöntemi veya makine öğrenmesi gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir. Baralama işleminde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi gibi diğer çıktı yanıtları incelenebilir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 07/2011-70 kodlu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı yazarlar Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederler.

This study was supported by Gazi University Scientific Research Projects Unit with project code 07/2011-70. The authors thank Gazi University Scientific Research Projects Unit for their support.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declare that the materials and methods they used in their work do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Aslan AKDULUM:** Deneysel sonuçları analiz ederek makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He analyzed the experimental results and completed the writing process of the article.

**Mehmet SÜZGÜNOL:** Literatür taraması. Deneysel kurulumun hazırlanması.

Literature review. Preparation of experimental setup.

**Yunus KAYIR:** Deneylerin gerçekleştirilmesi işlemlerini yürütmüştür. Verileri analiz ederek makale metnini düzenlemiştir. Deneyler için gereken fonu proje kapsamında sağlamıştır.

He carried out the processes of carrying out the experiments. He analyzed the data and edited the text of the article. He provided the necessary funds for the experiments within the scope of the project.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kayır Y. and Süzgünol M., Optimization of cutting parameters for drilling AISI P20 die mold alloy steel with Taguchi and GRA methods. Gazi University Journal of Science, 31(3): (2018) 898-910.
- [2] Stoić A., Kopač J., and Cukor G., Testing of machinability of mould steel 40CrMnMo7 using genetic algorithm. Journal of materials processing technology, 164: (2005) 1624-1630.
- [3] Zeilmann R.P., Nicola G.L., Vacaro T., Teixeira C.R., and Heiler R., Implications of the reduction of cutting fluid in drilling AISI P20 steel with carbide tools. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58: (2012) 431-441.
- [4] Slamani M., Mayer R., Balazinski M., and Engin S., Identification and compensation of dynamic scale mismatches in high-speed end mill boring trajectory on CNC machines. J. Manuf. Sci. Eng., 132(034501): (2010)
- [5] Lazoglu I., Atabey F., and Altintas Y., Dynamics of boring processes: Part III-time domain modeling. International journal of machine tools and manufacture, 42(14): (2002) 1567-1576.
- [6] Lacerda H.B. and Siqueira I.L., Blade geometry effects on the boring of valve seats of internal combustion engines. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 63: (2012) 269-280.
- [7] Del Taglia A. and Tani G., A method for measuring cutting forces in boring operations. International Journal of Machine Tool Design and Research, 22(1): (1982) 23-30.
- [8] Arsuaga M., de Lacalle L.L., Lobato R., Urbikain G., and Campa F. Effect of centrifugal forces on dimensional error of bored shapes. in AIP Conference Proceedings. 2012. American Institute of Physics
- [9] Parsian A., Stability Prediction of Multiple-Teeth Boring Operations. 2013
- [10] Atabey F., Lazoglu I., and Altintas Y., Mechanics of boring processes—Part I. International journal of machine tools and manufacture, 43(5): (2003) 463-476.
- [11] Katsuki A., Onikura H., Sajima T., Takei T., and Thiele D., Development of a high-performance laser-guided deep-hole boring tool:: Optimal determination of reference origin

- for precise guiding. Precision engineering, 24(1): (2000) 9-14.
- [12] Katsuki A., Onikura H., Sajima T., Mohri A., Moriyama T., Hamano Y., and Murakami H., Development of a practical high-performance laser-guided deep-hole boring tool: improvement in guiding strategy. Precision Engineering, 35(2): (2011) 221-227.
- [13] Atabey F., Lazoglu I., and Altintas Y., Mechanics of boring processes—Part II—multi-insert boring heads. International journal of machine tools and manufacture, 43(5): (2003) 477-484.
- [14] Slamani M., Mayer R., Balazinski M., Carrier B., and Engin S., Improvement to high-speed end mill boring accuracy by a simple compensation strategy. Machining science and technology, 16(1): (2012) 1-19.
- [15] Valdivielso F., Instrumentation and Control Methodology For Zero Defect Manufacturing In Boring Operations. Annals of Daaam & Proceedings, 23(1): (2012)
- [16] Barzegar R., Mahboubkhah M., Zakeri V., Matin R., HOSSEINGHOLI P.H., and ABDOLLAHZADEH B.F., Finite Element Prediction on the Machining Stability of Boring Machine with Experimental Verification. (2015)
- [17] Akdulum A., Süzgünol M., and Kayır Y., Prediction of feed force with machine learning algorithms in boring of AISI P20 plastic mold steel. Materials Today Communications, 41: (2024) 110704.
- [18] Cheng H., Zhao J., Sun R., Liu S., and Yang Z., Finish boring process of hard alloy cutter based on electrostatic cooling-aided machining. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 111: (2020) 2999-3013.
- [19] Zhou H., Yang W., Sun L., Jing X., Li G., and Cao L., Reliability optimization of process parameters for marine diesel engine block hole system machining using improved PSO. Scientific reports, 11(1): (2021) 21983.
- [20] Dağlı H., Baralama operasyonunda kesme şartlarının ve kesici takım kaplama tipinin etkisinin araştırılması ve şartlarının optimizasyonu. 2020, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [21] Demirer E. and Kayır Y., Analysis By Taguchi and ANOVA Methods For The Effect Of The Cutting Tool Height Adjustment On Cutting Forces In Turning AISI304 Stainless Steel Material. Gazi Journal of Engineering Sciences (GJES)/Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1): (2022)
- [22] Kurt M., Bağcı E., and Kaynak Y., Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40: (2009) 458-469.
- [23] Başar G. and Kahraman F. Analysis and Optimization of Ball Burnishing Process Parameters of AA 7075 Aluminium Alloy with Taguchi Method. in International Advanced Researches & Engineering Congress 2017 Proceeding Book. 2017. Dr. R. HALICIOĞLU
- [24] Adin M.Ş., İşcan B., and Baday Ş., Optimization of welding parameters of AISI 431 and AISI 1020 joints joined by friction welding using taguchi method. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(1): (2022) 453-470.
- [25] Kafkas F., Gürbüz H., and Şeker U., 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 Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 10(3): (2022)
- [26] Akdulum A. and Kayır Y., Investigation of the effect of u drills with different properties on thrust force, torque and spindle load. Politeknik Dergisi, 26(1): (2023) 387-400.
- [27] Siyambaş Y., Bayraktar Ş., and Turgut Y., Investigation of the effects of cutting parameters on diameter deviation in drilling of HSLA steel. Turkish Journal of Electromechanics & Energy, 2(1): (2017) 3-8.
- [28] Uçun İ., 3D finite element modelling of drilling process of Al7075-T6 alloy and experimental validation. Journal of Mechanical Science and Technology, 30: (2016) 1843-1850.
- [29] Çaydaş U. and Çelik M., AA 7075-T6 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması. Politeknik Dergisi, 20(2): (2017) 419-425.
- [30] Akdulum A. and Kayır Y., Farklı özelliklere sahip U matkaplar ile AA2024-T351'in delinmesinde çaptan sapma, dairesellik ve silindirikliğin incelenmesi. Gazi Üniversitesi

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,  
39(2): (2024) 1167-1178.