

Manufacturing Technologies and Applications

MATECA



Optimization of the Effect of Processing Parameters on Boring Torque in Boring of 1.2738 Material by Using Response Surface Method

Aslan Akdulum^{1,*} , Mehmet Süzgünol² , Yunus Kayır³ 

¹ Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye

² Yeşilevler Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Adana, Türkiye

³ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ABSTRACT

1.2738 material is used extensively in the mold industry because it offers long-lasting use due to its high polishability. Quality holes are needed for long-lasting molds. Quality holes can mostly be obtained through boring operations. In addition, the boring operation is heavily preferred in the machining of engine cylinder bores in the automotive industry. However, due to limitations such as working in a hole, a long and thin boring bar, dynamic rigidities, geometric deviations, increased cutting forces, and poor surface quality may occur. To overcome these disadvantages, optimization of processing parameters is required. This study aims to investigate the effect of processing parameters on the cutting torque occurring in the boring process of workpieces produced from 1.2738 material and to optimize it by using the response surface method. The Taguchi L36 experimental design method was used to reduce the number of experiments. A two-factor interactive (2FI) model was proposed, and the R^2 value of the model was calculated as 0.9456, while the standard deviation value was calculated as 10.68. It was determined that the parameters that have the most significant effect on the cutting torque are the radial depth of cut and the feed rate. High agreement was achieved between the experimental results and the values predicted by the model, and important findings were obtained for optimizing the cutting torque in machining processes.

Keywords: Regression analysis, Response surface method Taguchi, Optimization, Boring torque

1.2738 Malzemesinin Baralanmasında İşleme Parametrelerinin Baralama Torkuna Etkisinin Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu

ÖZET

1.2738 malzemesi, yüksek parlatılabilme özelliği dolayısıyla uzun ömürlü kullanım imkânı sunduğu için kalıp sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Uzun ömürlü kalıplar için kaliteli deliklere ihtiyaç bulunmaktadır. Kaliteli delikler ise çoğunlukla baralama operasyonları ile elde edilebilmektedir. Ayrıca otomotiv sektöründe motor silindiri yuvalarının işlenmesinde baralama operasyonu yoğun bir şekilde tercih edilmektedir. Ancak delik içinde çalışma, bara çubuğunun uzun ve ince olması, dinamik rijitsizlikler gibi kısıtlılıklardan dolayı geometrik sapmalar, kesme kuvvetlerinde artış ve kötü yüzey kalitesi meydana gelebilmektedir. Bu olumsuzlukların üstesinden gelmek için işleme parametrelerinin optimizasyonu gerekmektedir. Bu çalışmada, 1.2738 malzemesinden üretilen iş parçalarının baralanması işleminde meydana gelen kesme torku üzerinde işleme parametrelerinin etkisinin incelenmesini ve yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonunu amaçlamıştır. Deney sayısını azaltmak için Taguchi L36 deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. İki faktör etkileşimli (2FI) model önerilmiş ve modelin R^2 değeri 0,9456 olarak hesaplanırken standart sapma değeri 10,68 olarak hesaplanmıştır. Kesme torku üzerinde en önemli etkiye sahip parametrelerin radyal kesme derinliği ve ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ile modelin tahmin ettiği değerler arasında yüksek uyum sağlanmış ve talaşlı imalat süreçlerinde kesme torkunu optimize etmeye yönelik önemli bulgular elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Regresyon analizi, Yanıt yüzey yöntemi, Taguchi, Optimizasyon, Baralama torku

1. GİRİŞ

1.2738 malzemesi, dış katmandan çekirdeğine kadar mükemmel bir sertlik dengesi göstererek nitrasyona ve krom kaplamaya müsait, parlatılabilme özelliği oldukça iyi olan plastik kalıp çeliğidir [1]. Plastik kalıp çeliği sektöründe en yoğun kullanılan malzemelerden biridir [2]. Plastik ürünlerin kullanımının artmasıyla birlikte, plastik enjeksiyon kalıplarına olan talep de giderek artmaktadır [3]. Ürün kalitesini sürekli olarak

*Corresponding author, e-mail: aslanakdulum@hacettepe.edu.tr

Received 19.09.2024; Revised 19.11.2024; Accepted 20.01.2025

<https://doi.org/10.52795/mateca.1552826>

To cite this article: A. Akdulum, M. Süzgünol, Y. Kayır, Optimization of the Effect of Processing Parameters on Boring Torque in Boring of 1.2738 Material by Using Response Surface Method, Manufacturing Technologies and Applications, 6(1) (2025) 79-88.

yüksek tutmak için kalıpların yüksek tekrarlı çalışmaya dayanıklı ve uzun ömürlü olması gerektiğinden bu kalıplarda kaliteli delikler arzulanmaktadır [4]. Bu kaliteyi sağlamak için son işlem olarak baralama operasyonları uygulanmaktadır [5]. Otomotiv sektöründe özellikle motor bloğundaki silindir deliğinin genişletilmesinde baralama işlemi kritik bir rol oynamaktadır [6]. Brezilya'da yapılan bir çalışmada içten yanmalı motorların valf yuvalarının baralanması işleminin yılda yaklaşık 25 milyon kez yapıldığı, işlemin düzgün bir şekilde yapılmadığında ise yanma odasının sızdırmazlığının bozulduğu, bu durumda güç kaybına ve daha fazla kirletici gaz emisyonuna neden olarak çevreye zarar verdiği ifade edilmiştir [7]. Dolayısıyla baralama operasyonlarının ve işleme parametrelerinin dikkatlice analiz edilerek optimizasyonu oldukça önemlidir.

İşleme merkezlerinde gerçekleştirilen baralama operasyonlarında nihai delik kalitesi bara takımları ile elde edilebilmektedir. Bu takımlar çeşitli yöntemler ile elde edilmiş deliklerin yüksek kalite ve dar tolerans aralıklarında işlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [8]. Kesici takımın yeterince rijit olmaması, delik içinde çalışma, bara çubuğunun uzun ve ince olması, delik içine tek noktada temas gibi olumsuzluklardan dolayı çeşitli problemler ortaya çıkabilmektedir [9]. Bu problemlerin başında kötü yüzey kalitesi, geometrik sapmalar, dengesiz kuvvetler, tırlama ve kesici uç kırılması gelmektedir [8]. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için baralama parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir [6]. Delik eksen ve bara çubuğu eksen birbirinden kaçık olduğu için merkezkaç kuvvetleri bu işlemde daha etkindir [10]. Tek noktada delik içi yüzeyine temas olduğu için en yüksek kesme kuvveti olarak kesme torku öne çıkmaktadır [11]. Dolayısıyla baralama torku üzerinde işleme parametrelerinin etkilerinin açığa çıkarılması arzulan delik kalitesinin elde edilebilmesi açısından son derece önemlidir.

Dik işleme tezgahlarında baralama işleminin incelenmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada kesici uç tipi, soğutma sıvısı, iş mili hızı ve ilerleme oranının deliklerin boyutsal tamlığı, daireselliği, silindirikliği ve yüzey kalitesi üzerindeki etkileri ele alınmıştır [12]. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin baralama sonucu elde edilen deliğin dikliğine etkileri deneysel olarak incelenmiştir [13]. Soğutma yöntemlerinin kesme kuvvetlerine, sıcaklığa ve takım aşınmasına etkileri araştırılmıştır [14]. Baralama işlemi sırasında meydana gelen titreşimler [15], dinamik kararlılık [16] ve form hataları [17] ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Kesme kuvvetlerinin radyal kesme derinliği, ilerleme miktarı ve takım geometrisi ile analitik olarak modellenmesi yapılmıştır [9, 18]. Ayrıca, baralama işlemi sonucunda deliğin boyutsal hataları üzerinde merkezkaç kuvvetlerinin etkisi incelenmiştir [10]. Lazer kılavuzlu sistemler kullanılarak delik derinliğine bağlı kesici uç sapması ve delik çapı sapması incelenmiştir [19]. Literatür incelendiğinde, baralama işlemi sırasında meydana gelen kesme torku üzerinde işleme parametrelerinin etkisi yeterince derinlemesine araştırılmamıştır. Oysa kesme torkundaki bir olumsuzluk geometrik sapmalara, yüzey pürüzlülüğünün artmasına ve titreşimlerin meydana gelmesine neden olarak delik kalitesinin olumsuz etkilenmesine neden olabilir. Bu nedenle kesme torkunun detaylı bir şekilde incelenerek optimizasyonu, işlem planlaması ve verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır.

İşleme parametrelerinin optimizasyonu için çeşitli çalışmalarda Yanıt Yüzey Yöntemi (Response Surface Methodology, RSM) tercih edilmiştir. Bu yöntem, karmaşık sistemlerde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri modellemek ve optimize etmek için etkili bir araçtır [1]. Diğer optimizasyon yöntemlerine kıyasla etkili bir şekilde ikinci dereceden (kuadratik) modeller oluşturabilmesi nedeniyle avantajlıdır. Ayrıca, faktörler arasındaki etkileşimlerin kolaylıkla değerlendirilmesine olanak tanır ve süreç değişkenlerinin optimum kombinasyonlarını belirlemede yüksek doğruluk sağlar. Literatürde ses seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etkilerinin incelenmesi amacıyla kullanılmıştır [1]. Diğer bir çalışmada esas kesme kuvvetlerinin incelenmesi amacıyla tercih edilmiştir [2]. Frezelemede meydana gelen yüzey pürüzlülüğünün araştırılması için uygulanmıştır [3].

Bu çalışmada, 1.2738 malzemesinin baralanması sürecinde işleme parametrelerinin baralama torku üzerindeki etkilerinin araştırılarak optimizasyonu için yanıt yüzey yönteminin kullanılması amaçlanmıştır. Literatürdeki önemli etkilerinden ve kesme süreci üzerindeki önemlerinden dolayı baralama parametreleri olarak radyal kesme derinliği, kesme hızı, kesici uç yarıçapı, ilerleme miktarı ve kaplama tipi belirlenmiştir. Baralama parametrelerinin etkileri yanıt yüzey yöntemi, ortalama etki grafiği, Taguchi ve Anova yöntemleri ile analiz edilmiştir. Kurulan matematiksel model ile regresyon eşitlikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların işlem planlaması, malzeme ve takım seçimi gibi aşamalarda kullanılabileceği öngörülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

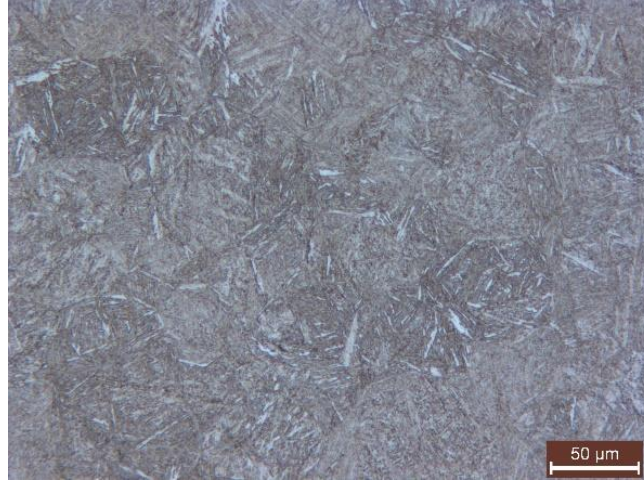
Deneysel düzenek, 1.2738 malzemesinin dik işleme tezgahında baralanması ve bu işlem sırasında kesme torkunun gerçek zamanlı olarak ölçülmesi amacıyla oluşturulmuştur. 1.2738 malzemesine sahip iş parçası, 60 × 60 × 35 mm boyutlarında hazırlanmış ve deneylerde kullanılmıştır. İş parçasının kimyasal bileşimi ile

mekanik özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Mekanik özellikler, çekme testi ve sertlik ölçümü ile elde edilmiş olup, her test üç kez tekrarlanarak ortalama değerler hesaplanmıştır.

Tablo 1. 1.2738 malzemesinin temel özellikleri.

Mekanik Özellikler		Kimyasal Bileşim, %	
Sertlik, Rockwell C	35.5 HRC	C	0.4
Uzama	%8.15	Mo	0.2
Akma dayanımı	807 MPa	Cr	1.9
Çekme dayanımı	975 MPa	Mn	1.5
		Si	0.3
		Ni	1.0
		Fe	Kalan

Taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikroyapı, Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen yapının martenzittir. Baralama işlemine başlamadan önce, uygun radyal kesme derinliği sağlamak amacıyla farklı çaplarda normal helisel matkaplar kullanılarak delikler boydan boya delinmiştir. Daha sonra delik genişletme işlemi olarak bilinen baralama, deliklerin tamamı boyunca yukarıdan aşağı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. 1.2738 malzemesinin mikroyapı görseli.

Bu çalışmada, deney tasarımı olarak Taguchi L36 ($2^2 3^3$) yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, daha az deneyle optimum kesme parametrelerini belirlemek için yaygın olarak tercih edilmektedir [4]. Ayrıca işleme parametrelerinin optimizasyonu için yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır [5]. Bu yaklaşım, optimizasyon ve parametreler arasındaki ilişkileri modelleme açısından güçlü bir yöntemdir. Literatürde Taguchi tasarımı ile elde edilen verilerin Yanıt Yüzey Yöntemi veya benzeri yöntemlerle analiz edildiğine dair örnekler bulunmaktadır [6]. Özellikle, endüstriyel uygulamalarda sıkça karşılaşılan çoklu faktörlü problemlerde hem zamandan hem de maliyetten tasarruf sağlaması, yöntemin tercih edilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bu bağlamda, çalışmanın amacı doğrultusunda Yanıt Yüzey Yönteminin sağladığı güçlü analiz yetenekleri, kullanılan yöntemin uygunluğunu ortaya koymaktadır.

Mevcut çalışmada, toplam beş baralama parametresi yer almakta olup, bu parametrelerden ikisi ikişer seviyeye, üçü ise üçer seviyeye sahiptir. Tam faktöriyel bir deney tasarımında $2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3 = 108$ deney yapılması gerekirken, Taguchi yöntemi sayesinde bu sayı 36'ya indirilmiştir. İşlenebilirlik deneylerindeki maliyet ve zaman kısıtlamaları göz önüne alındığında, bu yöntemin avantajlı olduğu görülmektedir. Taguchi L36'ya ait parametreler ve seviyeleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Bilgisayar kontrollü bir dik işleme tezgâhı ile delik baralama operasyonları gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın markası Johnford VMC-550'dir. İş mili motoru 5.5 KW, maksimum iş mili hızı ise 8000 rpm'dir. Tezgâhın kontrol paneli Fanuc olup, ölçüm hassasiyeti 0.001 mm'dir. Baralama işlemi için Dandrea marka baralama çubuğu, baralama başlığı ve kesici uçlar kullanılmıştır. Baralama parametreleri, kesici takım katalog önerileri ve literatür referans alınarak belirlenmiştir. Baralama torkunu ölçmek amacıyla üç farklı ilerleme miktarı (0.09 – 0.06 ve 0.04 mm/dev), üç farklı radyal kesme derinliği (0.5 – 0.3 ve 0.2 mm) ve üç farklı kesme hızı (203, 162 ve 130 m/dak) seçilmiştir. İki tür sermet (cermet) kesici uç, kaplamalı ve kaplamasız olarak

kullanılmıştır. Kesici uçların burun radüsü ise 0.4 mm ve 0.2 mm olarak belirlenmiştir. Baralama parametreleri ve elde edilen deneysel Tork değerleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 2. Faktörler ve seviyeleri

Seviye	Faktörler				
	Uç radüsü (UR), mm	Kaplama Tipi (KT)	Kesme Derinliği (KD), mm	İlerleme Miktarı (f), mm/dev	Kesme Hızı (Vc), m/dak
1	0.4	Kaplamalı	0.5	0.09	203
2	0.2	Kaplamasız	0.3	0.06	162
3			0.2	0.04	130

Tablo 3. Baralama parametreleri ve elde edilen Tork değerleri.

Deney No	UR	Vc	f	KD	KT	Tork	Deney No	UR	Vc	f	KD	KT	Tork
L1	0.2	130	0.04	0.2	1	20.34	L19	0.2	130	0.06	0.2	2	32.45
L2	0.2	162	0.06	0.3	1	68.04	L20	0.2	162	0.09	0.3	2	67.18
L3	0.2	203	0.09	0.5	1	104.8	L21	0.2	203	0.04	0.5	2	85.9
L4	0.2	130	0.04	0.2	1	23.99	L22	0.2	130	0.06	0.3	2	39.07
L5	0.2	162	0.06	0.3	1	64.13	L23	0.2	162	0.09	0.5	2	157.8
L6	0.2	203	0.09	0.5	1	89.02	L24	0.2	203	0.04	0.2	2	20.49
L7	0.2	130	0.04	0.3	1	40.68	L25	0.2	130	0.09	0.3	2	62.38
L8	0.2	162	0.06	0.5	1	110.7	L26	0.2	162	0.04	0.5	2	82.32
L9	0.2	203	0.09	0.2	1	42.94	L27	0.2	203	0.06	0.2	2	38.15
L10	0.4	130	0.04	0.5	1	43.37	L28	0.4	130	0.09	0.3	2	81.72
L11	0.4	162	0.06	0.2	1	42.48	L29	0.4	162	0.04	0.5	2	89.17
L12	0.4	203	0.09	0.3	1	57.84	L30	0.4	203	0.06	0.2	2	36.59
L13	0.4	130	0.06	0.5	1	68.01	L31	0.4	130	0.09	0.5	2	169.7
L14	0.4	162	0.09	0.2	1	57.65	L32	0.4	162	0.04	0.2	2	34.17
L15	0.4	203	0.04	0.3	1	52.95	L33	0.4	203	0.06	0.3	2	69.36
L16	0.4	130	0.06	0.5	1	84.02	L34	0.4	130	0.09	0.2	2	43.73
L17	0.4	162	0.09	0.2	1	55.39	L35	0.4	162	0.04	0.3	2	55.37
L18	0.4	203	0.04	0.3	1	58.29	L36	0.4	203	0.06	0.5	2	121.9

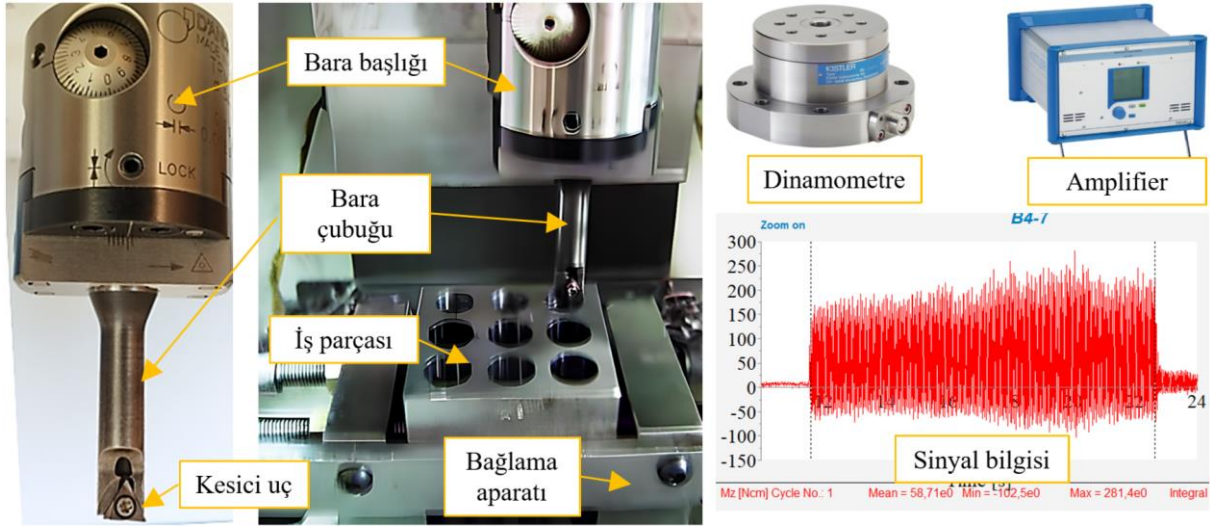
Deneylerde iş parçası sabit, kesici takım ise döner pozisyonundadır. Deneyler kuru ortamda gerçekleştirilmiş olup, soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Deneysel düzenek Şekil 2'de gösterilmiştir. Delik barası ile deliği genişletirken, baralama torkunu gerçek zamanlı ölçmek ve kaydetmek için Kistler 9272 dinamometre ve Kistler 5070A amplifier kullanılmıştır. Toplanan sinyal verileri, Dynoware programı ile işlenerek ortalama baralama torku hesaplanmıştır.

14 mm delik çapını elde etmek amacıyla uygun bara başlığı ve bara çubuğu seçilmiştir. Uygun çapı elde edebilmek için Dandrea takım setinde B 3.11 (Ø11- Ø17 mm) kodlu kesici takımlar seçilmiştir. Belirtilen radyal kesme derinliklerini elde edebilmek için Ø13 - Ø13,4 ve Ø13,6 normal helisel matkaplar ile ön delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te kullanılan kesici uçların geometrik özellikleri ve boyutları verilmiştir. Kesici uçların geometrisi TPGX090204L ve TPGX090202L'dir. Kaplamalı kesici ucun kodu DC100T, kaplamasız kesici ucun kodu ise DC100'dür.

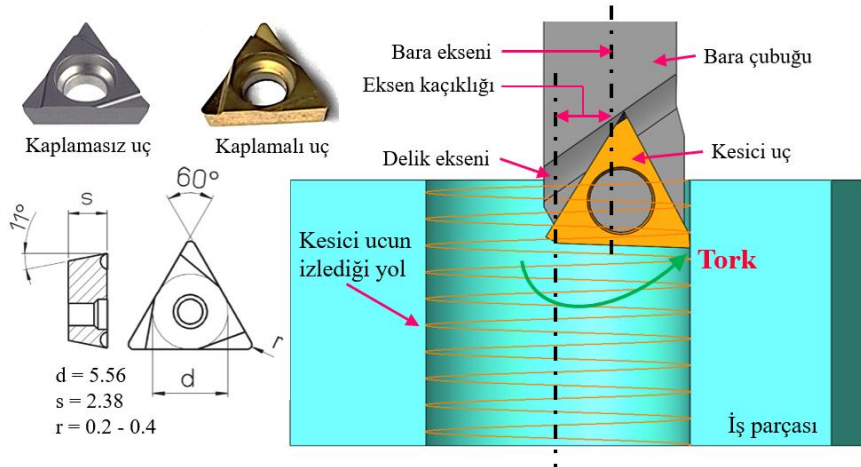
3. DENEY VE OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Bu çalışmada 1.2738 malzemeden üretilmiş iş parçasının baralanması işleminde meydana gelen baralama torku üzerinde işleme parametrelerinin etkisinin incelenerek yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu amaçlanmıştır. Deney sayısının azaltılması amacıyla Taguchi L36 deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. Deney sırasında meydana gelen gerçek zamanlı baralama torku değerleri bir dinamometre yardımıyla gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir. Daha sonra dinamometrenin kendi yazılımı olan dynoware ile sinyal bilgileri analiz edilmiştir. Sinyallerin ortalamaları alınarak baralama torku değerleri belirlenmiştir. Baralama torku

üzerinde baralama parametrelerinin etkilerini incelemek ve optimize etmek için Design Expert 13 programı ve yanıt yüzey yöntemi tercih edilmiştir. Yanıt yüzey yöntemi, ikinci dereceden bir polinom fonksiyonu kullanılarak doğrusal olmayan olguları yaklaşık olarak hesaplamak için etkili ve basit bir araçtır [7].



Şekil 2. Baralama operasyonu ve kesme torku test düzeneği.



Şekil 3. Kullanılan bara çubuğu ve kesici uçlar.

İşleme parametrelerinin optimizasyonu amacıyla program tarafından çeşitli modeller incelenerek en uygun olanları Tablo 4'te verilmiştir. En düşük göstergeler lineer model ile elde edilmişken en yüksek göstergeler kuadratik model ile hesaplanmıştır. Ancak program tarafından iki faktör etkileşimi (2FI) ile elde edilen model önerilmiştir. Kuadratik model ise doğrusal bağımlı (aliased) yani modelin bazı katsayılarının ya da terimlerinin diğerleri ile tam bir doğrusal bağımlılık içinde olduğunu ve bu nedenle modelin kararsız veya hatalı sonuçlar üretebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla etkili bir parametre analizi ve optimizasyon gerçekleştirebilmek için iki faktör etkileşimli model dikkate alınmıştır. Standart sapma değerinin daha küçüğü iyiye, R^2 değerinin 1'e yaklaşması daha iyi sonucu temsil etmektedir [8]. Belirlenen modelin standart sapma değeri 10,68 ve R^2 değeri ise 0,9456 olarak hesaplanmıştır. 0,8013'lük tahmini R^2 değeri, 0,9047'lik düzeltilmiş R^2 değeriyle makul ölçüde uyumludur; yani fark 0,2'den küçüktür.

Tablo 4. Modelin özet istatistikleri

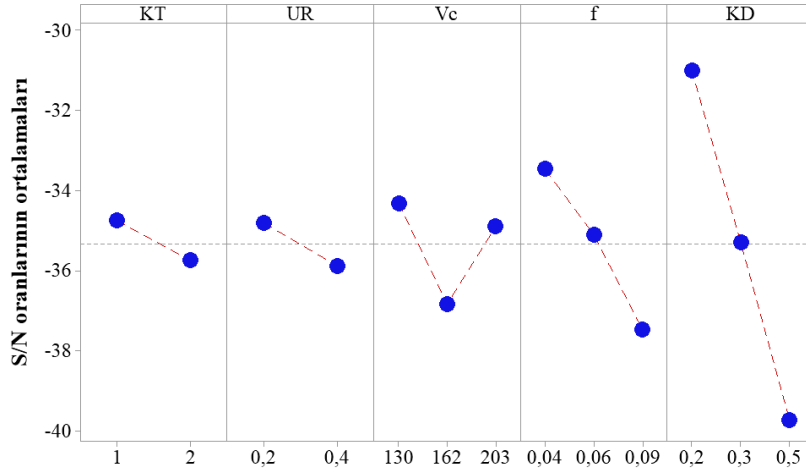
Kaynak	Standart Sapma	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmin edilen R^2	
Lineer	17.99	0.7682	0.7295	0.6507	
2FI	10.68	0.9456	0.9047	0.8013	Önerilen
Kuadratik	8.91	0.9678	0.9336	0.8173	Model uyumsuzluğu

Baralama parametrelerinin sinyalinin gürültüye oranları (S/N) Tablo 5'te verilmiştir. Taguchi analizi, kesme torkuna baralama parametrelerinin etkilerini incelemek için çıktı yanıtlarını S/N oranlarına dönüştürmektedir [9]. Baralama torku değerinin daha az olması hedeflenen bir amaçtır. Dolayısıyla küçük daha iyidir prensibine göre Taguchi analizi gerçekleştirilmiştir. Taguchi analizinde S/N oranlarının ve delta değerlerinin daha yüksek olması daha kabul edilebilir sonuçlar üretmektedir. Daha yüksek delta değerine sahip olan faktörün önem derecesi daha yüksektir. Dolayısıyla önem derecesine göre faktörler sıralandığında en önemli faktör radyal kesme derinliğiyken en az öneme sahip faktör kaplama tipi olarak sonuçlanmıştır.

Tablo 5. Baralama parametreleri S/N oranlarının yanıt tablosu.

Level	KT	UR	Vc	f	KD
1	-34.75	-34.81	-34.32	-33.46	-31.01
2	-35.74	-35.88	-36.83	-35.10	-35.30
3			-34.89	-37.48	-39.73
Delta	0.99	1.07	2.51	4.02	8.73
Rank	5	4	3	2	1

Analiz sonucunda elde edilen ortalama etki grafiği Şekil 4'te bulunmaktadır. Faktörlerin daha büyük S/N oranları daha iyi olarak kabul edilmektedir [10]. Daha büyük S/N oranlarına sahip faktör seviyeleri kesme derinliği için 0.2 mm, ilerleme miktarı için 0.04 mm/dev, kesme hızı için 130 m/dak, uç radüsü değeri için 0.2 mm ve kaplama tipi için kaplamalı kesici uç olarak belirlenmiştir.



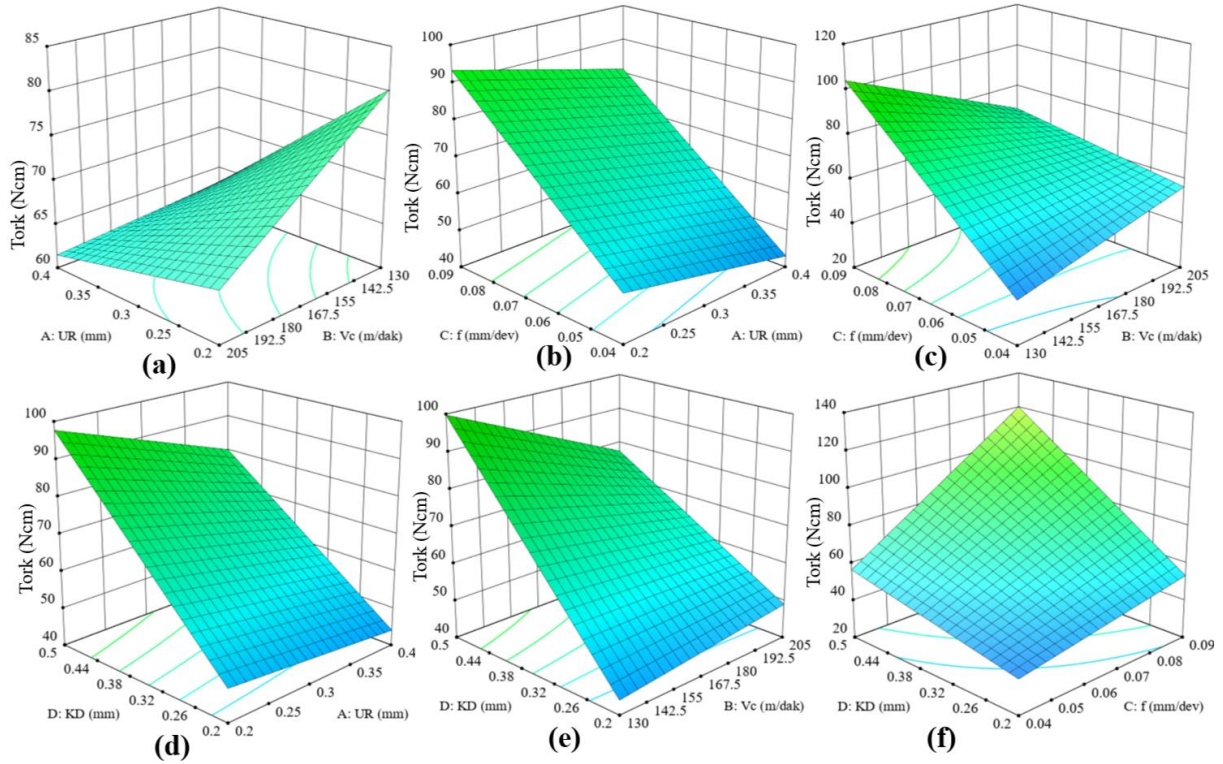
Şekil 4. S/N oranlarının ortalamaları

Önerilen modelin Anova sonuçları Tablo 6'da bulunmaktadır. Kurulan modelin f değerinin 23,16 olması modelin önemli olduğunu göstermektedir. Gürültü nedeniyle bu kadar büyük bir F değerinin oluşma olasılığı ise yalnızca %0,01'dir. Baralama faktörlerinin kareler toplamı ve F değerinin daha büyük olanı çıktı yanıtı üzerinde daha yüksek etkiye sahiptir. Ayrıca P değerinin 0,05'den küçük olması model terimlerinin önemli olduğunu göstermektedir [4]. Bu durumda önemli model terimleri C (ilerleme miktarı), D (radyal kesme derinliği), AE (Uç radyusu x kaplama tipi), BC (kesme hızı x ilerleme miktarı), CD (ilerleme miktarı x radyal kesme derinliği), DE (kesme derinliği x kaplama tipi) olmuştur. 0,1'den daha büyük değerler, model terimlerinin önemli olmadığını göstermektedir. Kesme hızı, uç radyusu ve kaplama tipi gibi bireysel faktörlerin baralama torku üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmaması, bu parametrelerin mevcut değerlendirme aralıklarıyla süreç optimizasyonunda önceliklendirilmesine gerek olmadığına işaret etmektedir. Bu bulgular Anova analizi sonucunda elde edilmiştir. Anova'nın varsayımları doğrusal ilişkilere dayanır. Ancak Şekil 4 incelenirse Vc ile Tork arasında doğrusal olmayan bir ilişki mevcuttur. Bu durumun bireysel parametreler açısından istatistiksel olarak anlamsız olmasına neden olduğu değerlendirilmiştir. Kesme hızı, uç radyusu ve kaplama tipinin kombinasyonları dikkate alındığında ise istatistiksel açıdan daha önemli hale gelmektedirler.

Tablo 6. İki faktör etkileşimine göre kurulan modelin Anovası

Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Ort. Kare	F-değeri	p-değeri	
Model	39604,41	15	2640,29	23,16	< 0,0001	Önemli
A-UR	0,2832	1	0,2832	0,0025	0,9607	
B-Vc	46,25	1	46,25	0,4057	0,5314	
C-f	4766,46	1	4766,46	41,81	< 0,0001	
D-KD	21920,98	1	21920,98	192,29	< 0,0001	
E-KT	153,22	1	153,22	1,34	0,2600	
AB	130,29	1	130,29	1,14	0,2978	
AC	2,86	1	2,86	0,0251	0,8757	
AD	158,58	1	158,58	1,39	0,2521	
AE	836,12	1	836,12	7,33	0,0135	
BC	937,11	1	937,11	8,22	0,0095	
BD	437,67	1	437,67	3,84	0,0642	
BE	45,72	1	45,72	0,4010	0,5337	
CD	1763,69	1	1763,69	15,47	0,0008	
CE	20,00	1	20,00	0,1755	0,6798	
DE	2755,50	1	2755,50	24,17	< 0,0001	
Artıklar	2279,99	20	114,00			
Uyum eksigi	1995,90	14	142,56	3,01	0,0912	Önemli değil
Saf Hata	284,10	6	47,35			
Toplam	41884,40	35				

Baralama parametreleri ile kesme torku arasındaki ilişkinin grafikleri Şekil 5'te bulunmaktadır. İlerleme miktarının artışı ile kesme torku artma eğilimindedir. İlerleme miktarının artışı, talaş kaldırma sürecinde daha fazla talaş kalınlığına sahip malzeme kesilmesine neden olur ve bu da kesme bölgesinde daha yüksek kesme kuvvetleri ve tork gereksinimi oluşturabilmektedir [11]. İlerleme arttıkça kesici uç, daha büyük bir hacimde malzemeyi deforme eder ve sürtünmeyi artırır, bu da torkun artışına katkıda bulunmaktadır [12]. Yüksek ilerleme ve kesme hızlarında, talaş oluşumu ve kesme bölgesindeki deformasyon daha belirgin hale gelmiştir. Radyal kesme derinliğinin artışı ile kesme torku artma eğilimindedir. Radyal kesme derinliğinin artması, kesici ile iş parçası arasındaki temas yüzeyini genişleterek kesme torkunu artırır [13]. Kesme derinliği yükseldikçe, kesme kuvvetlerinin doğrudan torka olan etkisi büyür, çünkü daha geniş bir kesme alanında enerji harcanmaktadır [14]. Küçük kesici uç yarıçapı kesme torkunun artmasına neden olmuştur. Küçük kesici uç yarıçapı, kesici kenarın kesme bölgesindeki etkisini artırarak kesme kuvvetlerinin daha yoğun bir bölgeye odaklanmasına neden olarak malzeme üzerinde daha fazla gerilme ve tork artışı ile sonuçlanmış olabilir. Ayrıca daha küçük sürtünme alanı ile beraber sıcaklığın artması sonucu kesici aşınması artmış olabilir [15]. Kesici aşınmasının artması ise kesme torkunu artırmış olabilir. Yüksek ilerleme miktarlarında ve büyük radyal kesme derinliklerinde, kesme hızı arttıkça torkta bir azalma gözlemlenebilir [16]. Bu durum, yüksek kesme hızlarında takımın yüzeyle temas süresinin azalması ve sıcaklığın artması sonucu takım talaş arayüzüne sıvı malzeme kayma dayanımının azalmasıyla ifade edilebilir [17]. Ayrıca, yüksek ilerleme ve büyük radyal kesme derinliklerinde, malzemenin işlenmesi sırasında oluşan aşırı ısı birikimi de takımın performansını düşürebilir, bu da tork ve kesme hızında bir dengesizlik yaratabilir [18]. Buna ek olarak 1.2738 malzemesinin mikroyapısı martenzittir. Bu mikroyapı yüksek sertliği nedeniyle kesici takımın malzemeye nüfuz etmesini zorlaştırmaktadır [19]. Dolayısıyla kesme kuvvetlerini ve baralama torkunu artırır. Yüksek sürtünme ve ısı üretimi, takım aşınmasını hızlandırarak torkun zamanla artmasına sebep olabilir. Bu etkiler, özellikle ilerleme miktarı ve radyal kesme derinliği gibi işleme parametrelerinin yüksek seviyelerde olduğu durumlarda daha belirgin hale gelir. Martenzitik mikro yapının torka olan bu özgün etkileri, malzemenin işlenebilirliğini doğrudan şekillendirerek hem kesici takım seçiminde hem de işleme parametrelerinin optimizasyonunda dikkate alınması gereken kritik bir faktör haline gelmektedir. Sonuç olarak, bu parametrelerin kesme torku üzerindeki etkileri, talaşlı imalat süreçlerinde dikkatle optimize edilmesi gereken kritik faktörlerdir. İlerleme, kesme derinliği ve kesici uç geometrisi gibi parametrelerin optimizasyonu işleme kalitesi, takım ömrü ve enerji verimliliği açısından önemli rol oynamaktadır.



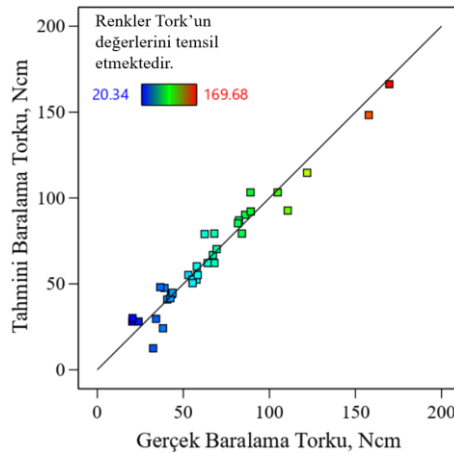
Şekil 5. Baralama parametreleri ile kesme torkunun ilişkisi (a) UR-Vc, (b) f-UR, (c) f-Vc, (d) KD-UR, (e) KD-Vc, (f) KD-f

Kurulan matematiksel modele göre kaplama tipi için regresyon eşitlikleri Eşitlik 1 ve 2’de bulunmaktadır. İki faktör etkileşimi ile kurulan modellerde kaplama tipi kategorik değişken olarak tanımlanmıştır. Model için elde edilen 0,9456’lık R^2 değeri dikkate alındığında kaplamalı ve kaplamasız kesici uçlar ile elde edilmesi muhtemel baralama torku başarı ile hesaplanabilir.

$$\text{Tork}_{\text{kaplamasız}} = -132,4 - 111,9.UR + 0,97.Vc + 2081,2.f + 200.KD + 0,85.UR.Vc - 177,6.UR.f - 207,4.UR.KD - 14,07.Vc.f - 1,2.Vc.KD + 3156,4.f.KD \quad (1)$$

$$\text{Tork}_{\text{kaplamalı}} = -225,5 - 1,03.UR + 1,07.Vc + 1964,4.f + 360,4.KD + 0,85.UR.Vc - 177,62.UR.f - 207,4.UR.KD - 14,07.Vc.f - 1,2.Vc.KD + 3156,4.f.KD \quad (2)$$

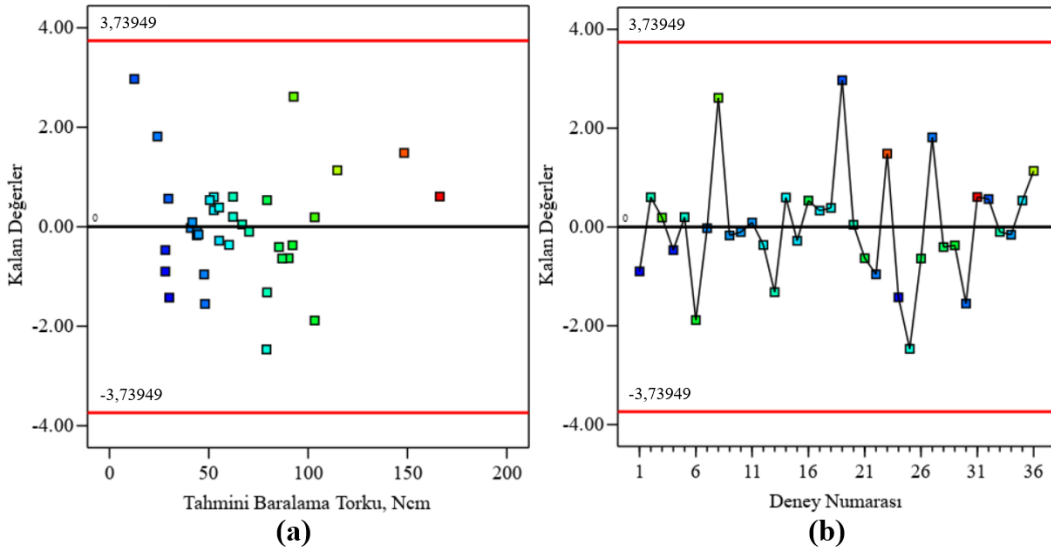
DeneySEL sonuçlar ile yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen tahmini değerlerin karşılaştırılması Şekil 6’da bulunmaktadır. Gerçek ve tahmini değerlerin oldukça uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Baralama torkunun gerçek ve tahmini değerlerinin kıyaslanması

Şekil 7’de kurulan modeller için kalan değerlerin grafikleri bulunmaktadır. Kalan değerler bir gözlemin model üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmaktadır [5]. Özellikle, bir veri noktasının çıkarıldığı

durumda modelin ne kadar değiştiğini gösterir ve böylece uç değerlerin ve etki eden noktaların belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Standart artıklar, bir modelin gözlemler ile tahmin edilen değerler arasındaki farklardır. Kalan değerler ise, bir gözlem çıkarıldığında, çıkarılan gözlem için kalan verilerle hesaplanan artıkların, bu gözlemle güncellenmiş varyansı kullanılarak normalize edilmesiyle elde edilir. İki kırmızı yatay çizgi arasında kalan gözlemler normal hatalar aralığında yer alır. Kırmızı yatay çizgiler genellikle kritik sınırları temsil eder. Bu sınırların dışında kalan gözlemler ise potansiyel uç değerler veya model üzerinde büyük etkisi olan gözlemler olarak değerlendirilir. Şekil 7(a)'da tahmini baralama torku için kalan değerler yer almaktadır. Tüm veri noktaları kırmızı çizgilerin arasında yer almaktadır. Dolayısıyla kurulan model için gözlemlerin modelle iyi bir uyum sağladığı söylenebilir. Şekil 7b'de deney veri noktaları ile kalan değerlerin grafiği yer almaktadır. Tüm gözlemler model tarafından iyi bir şekilde açıklanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar, model tarafından tahmin edilen değerlere yakın olup, herhangi bir deneyin model üzerindeki etkisinin aşırı olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla hem modelin uygunluğu hem de verilerin sağlamlığının kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Kalan değerlerin grafiği (a) Tahmini baralama torku, (b) Deney numarası

4. SONUÇLAR

Çalışmanın sonucunda, 1.2738 malzemesinden üretilmiş iş parçasının baralanması işlemi sırasında meydana gelen baralama torku değerleri üzerinde işleme parametrelerinin etkisi başarılı bir şekilde analiz edilmiştir. Taguchi L36 deney tasarımı ve yanıt yüzey yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışma, deney sayısını azaltırken optimum işleme koşullarının elde edilmesini amaçlamıştır. Deneylerden elde edilen veriler ve yapılan analizler sonucunda, işleme parametrelerinin kesme torku üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Özellikle radyal kesme derinliği ve ilerleme miktarının kesme torkunu artırıcı etkisi, deneysel sonuçlarla desteklenmiş ve optimizasyon çalışmaları sonucunda en uygun parametreler belirlenmiştir. İki faktör etkileşimli modelin tercih edilmesi, modelin daha kararlı ve güvenilir sonuçlar vermesini sağlamıştır. Ayrıca, modelin yüksek R^2 değeri (0,9456) ve düşük standart sapma (10,68) değerleri, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini ortaya koymuştur. Analizler sonucunda, kesme torku üzerindeki en önemli parametrenin radyal kesme derinliği olduğu saptanmıştır. Son olarak, modelin tahmin ettiği tork değerleri ile deneysel veriler arasında yüksek bir uyum sağlandığı, modelin işleme koşullarını doğru bir şekilde yansıttığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

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.

KAYNAKLAR

- [1] S. Albayrak, F. Yeşildal, C. Yıldırım, SAE 4140 Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Ses Seviyesi ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri: Parametrelerin Optimizasyonu, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), (2020), 2759-2769, <https://doi.org/10.21597/jist.714810>
- [2] N. Eren, F. Hayat, M. Günay, Sertleştirilmiş 1.2367 takım çeliğinin işlenmesinde enerji tüketiminin analizi ve modellenmesi, *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 1(3) (2020) 41-49.
- [3] L. Uğur, 7075 Alüminyum Malzemesinin Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Yanıt Yüzey Metodu İle Optimizasyonu, *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(1) (2019) 326-335. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.461223>
- [4] E. Demirer, Y. Kayır, 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)*, 8(1) (2022).
- [5] M. Dağlı, A. Demirer, E. Yumat, Hdpe Boruların Alın Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Birleşme Mukavemetine Etkisinin Yüzey Cevap Metodu ile Optimizasyonu, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi* 6(2) (2023) 95-109. <https://doi.org/10.53448/akuumbd.1289128>
- [6] T. Valarmathi, K. Palanikumar, S. Sekar, Modeling of thrust force in drilling of plain medium density fiberboard (MDF) composite panels using RSM, *Procedia engineering* 38 (2012) 1828-1835. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.226>
- [7] B. Keshtegar, O. Kisi, M. Zounemat-Kermani, Polynomial chaos expansion and response surface method for nonlinear modelling of reference evapotranspiration, *Hydrological Sciences Journal* 64(6), (2019) 720-730. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1601727>
- [8] A. Akdulum, Y. Kayır, Prediction of thrust force in indexable drilling of aluminum alloys with machine learning algorithms, *Measurement*, 222 (2023) 113655, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113655>
- [9] Y. Siyambaş, Ş. Bayraktar, Y. Turgut, 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.
- [10] A. Akdulum, Y. Kayır, Investigation of the effect of u drills with different properties on thrust force, torque and spindle load, *Politeknik Dergisi* 26(1) (2023) 387-400, <https://doi.org/10.2339/politeknik.1113301>
- [11] U. Çaydaş, M. Çelik, AA 7075-T6 alaışımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması, *Politeknik Dergisi* 20(2) (2017) 419-425.
- [12] M. Günay, T. Meral, M.E. Korkmaz, AISI 420 Martenzitik paslanmaz çeliğin delinebilirliğinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 4(3) (2018) 223-229.
- [13] İ. Korkut, M.A. Dönertaş, Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri, *Politeknik dergisi* 6(1), (2003), 385-391.
- [14] A. Yardımeden, A. Turan, AISI 1040 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etkisi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 6(1) (2015) 51-69.
- [15] Y. Kayır, S. Aslan, A. Aytürk, AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin Taguchi yöntemi ile analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 28(2), (2013).
- [16] M. Iliescu, A. Vlase, New mathematical models of axial cutting force and torque in drilling 20MoCr130 stainless steel, in: 10th WSEAS international conference on Mathematical and computational methods in science and engineering, Bucharest Romania, (2008) 210-215.
- [17] M. Coşkun, İ. Çiftçi, H. Demir, AISI P20S kalıp çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi, *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları* 2(2), (2021), 1-9. <https://doi.org/10.52795/mateca.801431>
- [18] Ş. Bayraktar, Y. Siyambaş, Y. Turgut, Delik delme prosesi: bir araştırma, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 21(2), (2017). <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.296833>
- [19] M.F. Aycan, Farklı martenzit hacim oranlarında kırılma tokluğu değerlerinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi* 23(2), (2020), 277-282, <https://doi.org/10.2339/politeknik.520142>