

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM 6061 T651 ALAŞIMININ DELME İŞLEMİNDE  
KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tevfik Kürşad KUZUCU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

MAYIS 2024



T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM 6061 T651 ALAŞIMININ DELME İŞLEMİNDE  
KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tevfik Kürşad KUZUCU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. MURAT ÖZSOY

MAYIS 2024



Tevfik Kürşad KUZUCU tarafından hazırlanan “Alüminyum 6061 T651 Alaşımının Delme İşlemi Sırasında Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu” adlı tez çalışması 16.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

**Jüri Başkanı :** Unvan Adı SOYADI .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** Unvan Adı SOYADI (Danışman) .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** Unvan Adı SOYADI .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** Unvan Adı SOYADI .....  
(Gerekliyse) ..... Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** Unvan Adı SOYADI .....  
(Gerekliyse) ..... Üniversitesi



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ALÜMİNYUM 6061 T651 ALAŞIMININ DELME İŞLEMİ SIRASINDA KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

Tevfik Kürşad KUZUCU



## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimimde bana yol gösteren danışmanım Doç. Dr. Murat ÖZSOY'a, tez sürecinde desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÖZSOY'a sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana motivasyon sağlayan ve desteklerini esirgemeyen aileme de sonsuz teşekkür ederim.

Tevfik Kürşad KUZUCU



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	v
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	vii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>KISALTMALAR</b> .....	xi
<b>SİMGELER</b> .....	xiii
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	xv
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xvii
<b>ÖZET</b> .....	xix
<b>SUMMARY</b> .....	xxi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Delme İşleminde Kesme Koşulları .....	2
1.1.1. Kesme hızı .....	2
1.1.2. İlerleme miktarı ve ilerleme hızı .....	3
1.1.3. Delme süresi .....	3
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	5
2.1. Alüminyum 6061 Delme İşlemi İle İlgili Çalışmalar .....	5
2.2. Alüminyum 6061 Farklı İşleme Yöntemleri İle İlgili Çalışmalar .....	7
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	9
3.1. Materyal .....	9
3.1.1. Kullanılan kesici takımlar .....	10
3.1.2. Deney düzeneği .....	10
3.2. Yöntem .....	11
3.2.1. Varyans analizi .....	11
3.2.2. Taguchi optimizasyon metodu .....	11
3.2.3. Taguchi deney tasarımı .....	12
3.2.4. Üstel düzeltme metodu .....	13
3.2.5. Yanıt yüzey metodolojisi .....	13
3.2.6. Regresyon analizi .....	14
<b>4. DENEYSEL BULGULAR</b> .....	15
4.1. Maksimum Kuvvetlerin Tespit Edilmesi .....	16
4.2. Deney Sonuçları .....	18
4.2.1. Kuru soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar .....	18
4.2.2. Hava soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar .....	19
4.2.3. Sıvı soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar .....	20
4.3. Deney Sonuçlarının İstatiksel Analizi .....	21
4.3.1. Delinen deliklerin maksimum kesme kuvveti verilerine göre kesme parametrelerinin Taguchi optimizasyonu .....	21
4.3.2. Deneylerin maksimum kesme kuvveti verilerine göre varyans analizi ...	22
4.3.3. Deneylerin maksimum kesme kuvveti verilerine göre regresyon analizi	23
4.3.4. Gerçekleştirilen deneylerin maksimum kesme kuvvetine göre kesme parametrelerinin yanıt yüzey optimizasyonu .....	24

4.3.5. Yüzey grafikleri.....	25
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>27</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>29</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>33</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ANOVA</b>	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
<b>GD</b>	: Geleneksel Delme
<b>HSS</b>	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
<b>KO</b>	: Kareler Ortalaması
<b>KT</b>	: Kareler Toplamı
<b>MKT</b>	: Merkezi Kompozit Tasarım
<b>MMY</b>	: Minimum Miktarda Yağlama
<b>S/G</b>	: Sinyal/Gürültü
<b>SD</b>	: Serbestlik Derecesi
<b>UDD</b>	: Ultrasonik Destekli Delme
<b>YHK</b>	:Yüksek Hızlı Kesme



## SİMGELER

<b>D</b>	: Takım çapı [mm]
<b>F<sub>X</sub></b>	: X ekseninde ölçülen kuvvet [N]
<b>F<sub>Y</sub></b>	: Y ekseninde ölçülen kuvvet [N]
<b>f<sub>z</sub></b>	: Diş başı ilerleme miktarı [mm/diş]
<b>F<sub>Z</sub></b>	: Z ekseninde ölçülen kuvvet [N]
<b>F<sub>Z, maks</sub></b>	: Z ekseninde ölçülen maksimum kuvvet [N]
<b>n</b>	: Devir sayısı [dev/dk]
<b>N</b>	: Deneş parametresinin seviye sayısı
<b>R<sup>2</sup></b>	: Determinasyon katsayısı [%]
<b>S<sup>2</sup></b>	: Örneklem varyansı
<b>t</b>	: Delme Süresi
<b>V<sub>c</sub></b>	: Kesme hızı [m/dk]
<b>V<sub>f</sub></b>	: İlerleme hızı [mm/dk]
<b><math>\bar{Y}</math></b>	: Gözlem değeri
<b>y<sub>i</sub></b>	: Yanıt için kabul edilebilir alt sınır değeri
<b>dB</b>	: Desibel
<b><math>\alpha</math></b>	: Düzeltme Katsayısı
<b>Z<sub>T</sub></b>	: Öngörülen Değer
<b>S<sub>T</sub></b>	: Gerçek Değer
<b>Ra</b>	: Pürüzlülük Değeri



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1.</b> Alüminyum 6061 T651 mekanik özellikler. ....	9
<b>Tablo 3.2.</b> Al 6061-T651 kimyasal bileşim.....	10
<b>Tablo 3.3.</b> Kesici takım teknik özellikleri. ....	10
<b>Tablo 3.4.</b> Taguchi deney tasarımı. ....	12
<b>Tablo 3.5.</b> Deney tasarımı. ....	12
<b>Tablo 4.1.</b> Kuru soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar. ....	18
<b>Tablo 4.2.</b> Hava Soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar. ....	19
<b>Tablo 4.3.</b> Sıvı soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar.....	20
<b>Tablo 4.4.</b> Taguchi optimizasyonu S/G oranları. ....	21
<b>Tablo 4.5.</b> Kesme kuvveti sonuçlarına göre parametrelerin S/G oranları. ....	22
<b>Tablo 4.6.</b> Deneylerin maksimum kesme kuvveti çıktıklarına göre varyans analizi... 23	



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Kesici takım.....	10
Şekil 3.2. Deney düzeneği.....	10
Şekil 4.1. Alüminyum alaşım numunesi.....	15
Şekil 4.2. Üstel düzeltme metodunun sinyal gürültüleri üzerindeki etkisi.....	16
Şekil 4.3. Kuvvet-Derinlik grafiğinde kesici takımın konumları.....	17
Şekil 4.4. Kuru soğutma yöntemi ile delinen numune.....	18
Şekil 4.5. Hava soğutma yöntemi ile delinen numune.....	19
Şekil 4.6. Sıvı soğutma yöntemi ile delinen numune.....	20
Şekil 4.7. S/G oranlarının ana etki grafiği.....	22
Şekil 4.8. Denklem 4.1'in doğru grafiğine göre kesme kuvvetlerinin dağılımı.....	24
Şekil 4.9. Deney verilerinin yanıt yüzey optimizasyonu sonuçları.....	25
Şekil 4.10. Kuvvet ile ilerleme,kesme hızı yüzey grafiği.....	25
Şekil 4.11. Kuvvet ile soğutma yöntemi ve kesme hızı yüzey grafiği.....	26
Şekil 4.12. Kuvvet- soğutma yöntemi ve ilerleme miktarı yüzey grafiği.....	26



# ALÜMİNYUM 6061 T651 ALAŞIMININ DELME İŞLEMİ SIRASINDA KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

## ÖZET

Alüminyum ve alaşımları son yüzyılda büyük bir popülerlik kazanmış ve kullanımları hızla artmıştır. Alüminyum, diğer demir esaslı metallere göre çok daha kolay şekil verilebilen, üç kat daha az ağırlığa ve korozyon direncine sahip bir malzemedir. Bu özellikleri nedeniyle kullanım alanları çok çeşitlenmiştir. Bu artan kullanım, alüminyum alaşımları üzerinde çalışmaların artmasına ve alaşım kompozisyonlarının araştırılmasının önünü açmıştır. Delme, tüm işleme işlemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemdir ve metal işleme operasyonlarının yaklaşık %25-33'ünü oluşturur. Delme, mekanik bileşenlerin ve yapıların montajında genellikle en iyi seçenek olan çok önemli bir işlemdir.

Bu çalışmanın amacı alüminyum 6061 T651 alaşımının delme işlemi sırasındaki kesme parametrelerinin optimize değerlerini tespit etmektir. Kesme parametreleri soğutma yöntemi, ilerleme miktarı ve kesme hızı olarak belirlenmiştir. Kesme hızı olarak (75,95,115) m/dk, ilerleme hızı olarak (0,5/0,7/0,9) mm/diş ve soğutma yöntemi olarak kuru soğutma, hava soğutma, sıvı soğutma seçilmiştir. Deney tasarımı Taguchi L27(3<sup>3</sup>) sistemine göre yapılmıştır. Deneyde 8 mm çapında HSSE-Co5 yüksek hız çeliğinden yapılmış matkap kullanılmıştır. Deneyler TAKSAN TMC-700V dik işleme merkezinde yapılmıştır. NI xDAQ-9188 veri toplama ünitesinden alınan veriler FlexLogger yazılımı ile işlenmiştir. Alınan verilerdeki gereksiz gürültüler excel yazılında üstel düzeltme yöntemi uygulanarak minimize edilmiştir. Minitab 19 programı ile elde edilen veriler işlenerek varyans analizleri, regresyon analizleri ve Taguchi optimizasyonları yapılmıştır. En optimize değeri bulabilmek için ise yanıt yüzey metodu yöntemi kullanılmıştır.

Varyans analizi sonuçları incelendiğinde kesme hızı parametresinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi %38,8'dir. Bu değer parametreler arasındaki en etkili değerdir. Diş başı ilerleme miktarının etki oranı %28,57, soğutma yönteminin etki oranı ise %24,46 olarak tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre hata etki oranı %8,19'dur. Bu çalışmanın sonucunda farklı soğutma yöntemleri ile yapılan deneylerde; kesme hızı parametresinin optimize edilmiş değeri 75 m/dk olarak, diş başı ilerleme miktarı optimize edilmiş değeri 0,05 mm/diş, soğutma yönteminin optimize edilmiş değeri ise sıvı soğutma olduğu yanıt yüzey yöntemi ile belirlenmiştir.



# **OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS DURING DRILLING OF ALUMINUM 6061 T651 ALLOY**

## **SUMMARY**

Aluminum and aluminum alloys have gained significant popularity in the last century, and their use has rapidly increased. Aluminum is a material that can be easily shaped compared to other iron-based metals, with one-third the weight and excellent corrosion resistance. Due to these properties, its applications have significantly diversified. The growing usage has led to increased research on aluminum alloys and exploration of alloy compositions. Among all machining processes, drilling is most widely used method, constituting approximately 25-33% of metal machining operations. Drilling is a crucial operation, often the best choice, in assembling mechanical components and structures.

Optimizing drilling parameters, such as cutting forces, can be achieved through various approaches, including theoretical calculations, experimental methods, and computer-aided finite element analysis. A literature review reveals that the experimental method is more prevalent than other techniques, and the accuracy of alternative methods is often evaluated by comparing their results to experimental data. This prevalence of the experimental method is attributed to its ability to provide more precise results, as it closely simulates real-world processing conditions compared to theoretical or computer-based methods.

In all engineering disciplines, ensuring a safe working environment and achieving long-lasting, high-quality, and cost-effective products and systems require accurately and precisely measuring all forces affecting cutting tools and machinery. While theoretical stress values are established, they often do not align with the values obtained in practical applications. Therefore, it is essential to experimentally analyze and measure these forces.

Aluminum 6061-T651 is a popular material for structural and aerospace applications due to its excellent strength-to-weight ratio, good machinability, and high corrosion resistance. However, drilling this material can be challenging due to its low thermal conductivity, high ductility, and susceptibility to hardening. Researchers have investigated the optimization of drilling parameters, including cutting speed, cooling methods, feed rate, and drill bit geometry, to enhance the efficiency and quality of the drilling process.

This study aims to find the optimized cutting parameters during the drilling process of aluminum 6061-T651 alloy. The cutting parameters selected include cutting speed, feed rate, and cooling method. Cutting speeds of (75, 95, 115) m/min, feed rates of (0.5, 0.7, 0.9) mm/rev, and cooling methods such as dry, air, and liquid were chosen. The experimental design was conducted based on the Taguchi L27(3<sup>3</sup>) system. An 8 mm diameter HSSE-Co5 high-speed steel drill bit was used in the experiments, which were carried out on a TAKSAN TMC-700V vertical machining center. Data collected

from the NI xDAQ-9188 data acquisition unit were processed using the FlexLogger software. Unnecessary noise in the collected data was minimized using the exponential correction method in Microsoft Excel. Data obtained from Minitab 19 software were subjected to variance analysis, regression analysis, and Taguchi optimizations. To find the most optimized value, the response surface methodology was employed.

Utilizing the maximum cutting force values, a series of optimization techniques, including Taguchi optimization, analysis of variance (ANOVA), and regression analysis, were applied to reduce the cutting forces. Nonetheless, it was observed that solely minimizing the maximum cutting force increased production time. Given that an increase in manufacturing time could adversely affect operational costs, multiple response optimizations, explicitly employing the response surface methodology, were conducted. These optimizations aimed to collectively minimize the maximum cutting force. All statistical analyses were carried out using Minitab 19 software.

In Taguchi optimization, the selection of the optimal parameter levels is based on an assessment of the experimental results. This assessment, referred to as the performance criterion, is conducted using a metric known as the signal-to-noise ratio (S/N). The specific equation employed for calculating the signal-to-noise ratio depends on the problem's objective. In the context of this study, where the aim is to minimize cutting forces, the signal-to-noise ratios were computed using the smaller-the-better type as the target.

In the analysis of variance, the impact (effect ratio) of the experimental parameters on the respective outputs is assessed through an evaluation of the dependent variable results obtained in the experiments. The experimental parameters, whose effects on the outputs are identified, are then analyzed to provide insights for problem-solving. The mathematical models developed in regression analysis estimate the dependent variable output based on the independent variable inputs. The predictive accuracy of these mathematical models varies depending on the chosen regression model. The predictive capabilities of the constructed mathematical models can be understood by considering the coefficient of determination ( $R^2$ ). As the value of  $R^2$  increases, the predictive performance of the mathematical model improves.

The Response Surface Method (RSM) is a widely employed technique in various scientific disciplines and across diverse industrial sectors. The response expression signifies the dependent variable under investigation. RSM is utilized to identify influential parameters affecting the response, ascertain optimal parameter settings for one or multiple responses, and establish mathematical models that elucidate the relationship between the response and independent variables. In alignment with these objectives, processes or issues can be optimized. The process of determining the optimal parameter settings for a response using RSM is referred to as response optimization. In instances where multiple responses are involved, the optimization conducted is termed multi-response optimization.

When examining the results of the variance analysis, it is observed that the cutting speed parameter has the highest impact, accounting for 38.8% of the variation in cutting force. This value represents the most influential parameter among the studied factors. The feed rate effect ratio per tooth is 28.57%, while the cooling method has an effect ratio of 24.46%. The variance analysis results show that the error effect ratio is 8.19%.

As a result of this study, through multi-response optimization, experiments with different cooling methods determined the optimized values for the cutting parameters

as follows: a cutting speed of 75 m/min, a feed rate per tooth of 0.05 mm/rev, and the optimal cooling method being liquid cooling.





## 1. GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları son yüzyılda büyük bir popülerlik kazanmış ve kullanımları hızla artmıştır. Alüminyum, diğer malzemelere kıyasla daha güncel bir malzeme olmasına rağmen, endüstri devrimi ile ham alüminyumun üretimi kolaylaşmış ve bu malzemenin kullanım alanı genişlemiştir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, birçok temel ihtiyaç nesnesinin imalatında kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, alüminyum alaşımları, mükemmel mukavemet, yüksek sıcaklık dayanımı, yorulma direnci gibi özelliklere sahip olabilecek şekilde çeşitli bileşimlerle geliştirilebilir. Alüminyum, diğer demir esaslı metallere göre çok daha kolay şekil verilebilen, üç kat hafif bir malzemedir. Bu özellikleri nedeniyle kullanım alanları çok çeşitlenmiştir. Bu artan kullanım, alüminyum alaşımları üzerinde çalışmaların artmasına ve alaşım kompozisyonlarının araştırılmasının önünü açmıştır. Alüminyum alaşımlarının birçok ihtiyacı karşılamasından dolayı fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirmesi için çalışmaların yapıldığı bir alandır [1].

Delme, tüm işleme metodları arasında en kullanışlı metodlardan biridir ve metal işleme operasyonlarının yaklaşık %25-33'ünü oluşturur [2,3]. Bir matkap veya matkap ucu adı verilen kesici bir aletin hareketiyle iş parçasında yuvarlak bir delik oluşturmak veya büyütme için kullanılır. Delme, mekanik bileşenlerin ve yapıların montajında genellikle en iyi seçenek olan çok önemli bir işlemdir [3].

Kesme işlemlerinin tümü gibi, delme sırasında kesici alet (matkap) kesme etkisiyle ısınır, bu da iş parçasının termal deformasyonuna ve takım ömrünün azalmasına yol açar. Ancak, delme işlemlerinde üretilen toplam ısının %10-35'inin iş parçasına dağıldığı tahmin edilmektedir. Bu oran, diğer sık kullanılan iki işleme işlemi olan tornalama (%1,1-20) ve frezeleme (%1.3-25) işlemlerinden daha yüksektir [4].

Alüminyum alaşımları hafifliği, korozyon direnci, elektriksel ve termal özellikleri açısından çok yönlü mühendislik malzemelerinden biri olduğundan, alüminyum alaşımlarında deliklerin verimli bir şekilde delinmesi iletkenlik, yüzey işleme uygunluğu, geri dönüştürülebilirlik, kullanım kolaylığı açısından belirgin bir öneme sahiptir. Delme işlemlerinde kesme sıvısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi uygun

olmayan parametrelerin kullanılması, yüksek takım kırılması, fazla enerji tüketimi ve düşük kaliteli parçalar gibi istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Sürdürülebilir imalat uygulamalarının delme işlemlerinde kullanılması, operasyonel verimlilik, uzun vadeli işletme sürdürülebilirliği, itibar ve büyüyen herhangi bir şirketin rekabet avantajı gibi birçok fayda sağlayabilir [5].

Tüm mühendislik alanlarında, ürün ve sistemlerin dayanıklı, kaliteli, ve düşük maliyetli olabilmesi için kesici takımları ve tezgâhları etkileyen tüm kuvvetlerin tam ve isabetli bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Gerilme değerleri teorik olarak belirlense de pratikte elde edilen değerlerle farklı olmaktadır. Bu nedenle, deneysel olarak kuvvet verilerinin analiz edilmesi ve ölçülmesi gerekmektedir [6].

## **1.1. Delme İşleminde Kesme Koşulları**

### **1.1.1. Kesme hızı**

Kesme hızı, kesici takım üreticileri tarafından önerilen bir parametredir ve talaş kaldırılacak malzeme türü ve kaldırılacak talaş miktarı bakımından temel işlemlere bağlı olarak değişir. Kesme hızının artırılması, kesici takımın ömrünü kısaltırken, düşük bir kesme hızı ise talaşlı işlem süresini artırır. Kesme hızı, kesici takımın malzemesi, kaplama özellikleri, bağlama teknolojisi, tezgâh gücü ve rijitliği gibi faktörlerden etkilenir. Kesici takım üreticileri, kesme hızının artırılması ve takım ömrünün iyileştirilmesi için çalışmalar yapmaktadır ve özellikle kaplama teknolojisi ve takım soğutma tasarımları üzerinde yoğunlaşmaktadırlar. Günümüzde, kesici takımların iç kısımlarında açılan delikler vasıtasıyla içten soğutma sıvısı uygulaması yapılan kesici takımlar, yüksek kesme hızı ve yüksek kaliteli delik işlemleri için tercih edilmektedir.

Delme işlemi sırasında bir torkölçer kullanılarak hesaplanan devir/dakika (rev/min) cinsinden ölçülen mil hızı, kesme hızını hesaplamak için kullanılır. Kesme hızı ( $V_c$ ), iş parçasının yüzeyindeki her kesme kenarının kesme malzemesini keserken aldığı mesafeyi temsil eder. Bu nedenle, delme işleminde kesme hızı aşağıdaki hesaplamayla belirlenir [7]:

$$V_c = \frac{D \times \pi \times n}{1000} \left( \frac{m}{dk} \right) \quad (1.1)$$

Burada  $V$ , kesme hızını m/dak cinsinden,  $\pi = 3.14$ ,  $D$ , kesici takımın çapını mm cinsinden ve  $n$ , mil hızını dev/dak cinsinden temsil eder.

### 1.1.2. İlerleme miktarı ve ilerleme hızı

Delme işleminde, ilerleme mm/dev olarak belirlenir. İlerleme hızı ise mm/dk cinsinden lineer ilerleme hızını temsil eder ve ilerleme değeri, mil hızıyla çarpılarak uygun bir sistem tarafından ayarlanabilir hale getirilebilir [7].

$$V_f = f_z \times n \left( \frac{\text{mm}}{\text{dk}} \right) \quad (1.2)$$

### 1.1.3. Delme süresi

Delğin tamamının istenen ölçüde delinmesi için matkabın ilerleyeceği mesafe belirlenmelidir. Bu ilerleme mesafesi, delik derinliği ve matkap ucu yüksekliğinin toplamına eşittir. Delik delme işleminin süresi ise ilerleme mesafesinin (mm) ilerleme hızına (mm/s) bölünmesiyle hesaplanabilir. Burada  $T$  delme süresini dakika cinsinden,  $L$  kesici takımın kat ettiği mesafeyi mm cinsinden ve ilerleme hızını mm/dak cinsinden temsil etmektedir [7].

$$T = \frac{L}{V_f} \quad (1.3)$$



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Alüminyum 6061 Delme İşlemi İle İlgili Çalışmalar

Al-Tameemive arkadaşları [8], Al6061 T651 alaşımının delinmesi sırasında delme parametrelerinin kesme hızı, ilerleme miktarının ve takım kaplama türünün (TiN/TiAlN, TiAlN ve TiN) delik kalitesi ölçütleri üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, takım kaplaması türünün yüzey pürüzlülüğü ve delik boyutu daireselliği üzerinde etkili bir parametre olduğunu, kesme hızı ve ilerleme miktarı ise silindiriklik ve diklik parametrelerinde önemli etki göstermiştir.

A.Pramanik ve arkadaşları [9], farklı soğutucu yöntemleri altında, farklı ilerleme hızları, dönme hızları ve bunların kombinasyonları altında alüminyum 6061-T6 alaşımının delinmesi işleminin parametrelerini araştırmışlardır. Farklı işleme parametreleri altında delik delme sırasında minimum miktarda yağlama (MML), basınçlı hava ve sıvı nitrojen (LN2) olmak üzere üç özel kesme koşulunu araştırmışlardır. 10mm çapında ve 130° uç açısına sahip Kaplamasız, konvaksiyonel, yüksek hız çeliğinden (YHÇ) yapılmış helisel matkap uçları kullanılmıştır. Delme işleminin aktif tepe gücünün, kesme hızı ve ilerleme oranının artmasıyla önemli ölçüde arttığı bulunmuştur.

Y. M. Shashidhara ve arkadaşları [10], AA6061 malzemesini iki yenmeyen bitkisel yağın ham ve modifiye edilmiş versiyonları ile ticari olarak temin edilebilen markalı bir mineral yağı kesme sıvısı olarak kullanarak delik delme işlemi sırasında kesme parametrelerini araştırmışlardır. AA6061 levhalar üzerinde HSS matkap takımı kullanılarak delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyler, 2625 rpm'lik (mevcut maksimum hız) sabit bir iş mili hızı için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kesme hızı (110-138-175-221) d/dk, ilerleme hızı (0.1-0.18-0.25) mm/dev, kesme derinliği (0.5-1-1.5) mm olarak seçilmiştir ve bu parametreler kullanılarak kesme sıvıları deneye tabi tutulmuştur. Pongam ve Jatropha yağları ve bunların varyasyonları, mineral yağla kıyasla AA 6061 malzemesinin tornalanmasında daha düşük kesme kuvvetleri ve gücü açısından daha iyi kesme sıvıları olduğunu tespit etmişlerdir.

Sreenivasulu ve arkadaşları [11], Alüminyum 6061 üzerinde yapılan çalışmada delme parametrelerinin delme sırasındaki itme kuvveti ve tork üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Delme deneyleri, 500 rpm ile 1000 rpm arasında 3 adımda değişen kesme hızı, 0,3 ile 0,6 mm/dakika arasında 3 adımda değişen ilerleme hızı ve üç farklı çapa (8, 10 ve 12 mm) sahip kaplamasız konvansiyonel twist matkaplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Delikler, boyutları 300mmx50mmx10mm olan bir Alüminyum 6061 alaşımı malzeme üzerinde Taguchi tekniğine uygun olarak yapılmıştır. Delme sırasında dikkate alınan faktörlerin önemini onaylamak ve faktörlerin yanıt üzerindeki etkisini karşılaştırmak için ANOVA metodu uygulanmıştır. ANOVA sonuçları incelendiğinde, kesme hızı, uç açısı ve itme kuvveti en etkili parametrelerdir.

Chu ve arkadaşları [12], AA6061 T6 alaşımı ile yapılan çalışmada ultrason destekli delme ve geleneksel delme yöntemleri arasında karşılaştırma yaparak kesme hızı, delme torku, ilerleme miktarı gibi değerleri kullanarak ultrason destekli delme yönteminin geleneksel delme yöntemlerinden daha üstün olduğunu ispatlamaya çalışmışlardır. Delme deneyleri, 3mm çaplı standart yüksek hızlı çelik (YHÇ) spiral delme uçları kullanılarak ve kuru kesme koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Kesme hızı 1250 rpm olarak seçilmiştir. Deneyler sonucunda UDD'nin delme derinliğini GD'ye kıyasla iki kata kadar artırdığı, aynı besleme kuvveti altında, UDD'ler GD'lere kıyasla 1,5 kata kadar daha yüksek bir malzeme kaldırma oranı sağladığı ve GD'deki sürtünme torkunun büyüme oranı UDD'dekinden yaklaşık 33 kat daha yüksek olarak gözlemlenmiştir.

Huang ve arkadaşları [13], Taguchi yöntemiyle ilişkili gri ilişkisel analize dayalı olarak, çoklu performans özelliklerine sahip alüminyum alaşımı 6061'in delinmesinin optimizasyonuna yönelik bir yaklaşım ile çalışmalar yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve çapak boyutunu içeren performans özellikleri dikkate alındığında, kaplamalı biriktirme, kesme hızı ve ilerleme miktarı optimize edilmiş delme parametreleridir. Kaplama olarak TiN, TiAlN, CrN kullanılmıştır. Kesme hızı olarak 2000-2500-3000 dv/dk, ilerleme hızı olarak 0.2-0.15-0.1 mm/dv olarak seçilmiştir. Matkapın çapı ve matkap üzerindeki kaplamanın kalınlığı sırasıyla 8 mm ve 3 µm olarak seçilmiştir. Çoklu performans özelliklerini etkileyen en önemli delme parametresi kaplama birikimidir.

Xu ve arkadaşları [14], yüksek hızlı kesme (YHK) mekanizmasındaki talaş oluşumunu incelemek amacıyla alüminyum alaşımı 6061-T6 ile yapılan bir çalışmanın sonuçlarını sunmuştur. Oluşturulan teorik model, talaş oluşumunun parametrelerini etkili bir şekilde açıklayabilmiştir. Deneylemlerden alınan sonuçlar, kesme hızı arttıkça talaş şekil özelliklerinin değiştiğini göstermektedir. Bu çalışma, YHK'deki talaş oluşumunun parametrelerini tespit etmek için başarılı bir yaklaşım ortaya koymuştur. Kesme hızı arttıkça, talaş kalınlığı, sürtünme açısı, kayma düzlemi uzunluğu ve ilk kayma bölgesinin genişliği azalmakta; bu sırada kayma uzaklığı ve kayma açısı artmaktadır.

Uddin ve arkadaşları [15], AA6061 T6 malzemesini kullanarak Proses mekaniğinin delik kalitesi üzerindeki etkisi, örneğin boyutsal doğruluk, çapak oluşumu, yüzey kalitesi, matkap ucu aşınması ve talaş oluşum mekanizması ile ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Kesme hızı olarak 1000-1500-2000 rpm, ilerleme hızı olarak 0.04-0.08 mm/dev olarak seçilmiştir. Belirli bir iş mili hızı aralığı için, ilerleme hızı 0,04 mm/dev'den 0,08 mm/dev'e çıktığında aksel kuvvet ve torktaki maksimum artış sırasıyla %44,94 ve %47,65'tir.

Islam ve arkadaşları [16], AA6061 T6 malzemesini kullanarak soğutma yöntemi ve delme parametrelerinin delik delme işlemi üzerindeki etkisi, delik kalitesi ölçülerek deneysel ve analitik olarak araştırılmıştır. Seçilen iş ve takım malzemeleri sırasıyla alüminyum 6061-T6 ve yüksek hız çeliğidir (YHÇ). Sonuçlar ANOVA, Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. Soğutma yönteminin çap hatası üzerinde önemli bir etkiye (katkı oranı %88,27), yüzey pürüzlülüğü üzerinde orta düzeyde bir etkiye (katkı oranı %41,74) ve dairesellik üzerinde nispeten küçük bir etkiye (katkı oranı %23,64) sahip olduğunu ortaya koymuştur. Boyutsal doğruluk ve yüzey pürüzlülüğü için en uygun sonuçlar MML delme ile elde edilmiştir

## **2.2. Alüminyum 6061 Farklı İşleme Yöntemleri İle İlgili Çalışmalar**

Lmalghan ve arkadaşları [17], AA6061 alüminyum malzemenin deneysel olarak oluşturulan verilerine uygulanarak işlem parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü gibi tepkiler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çoklu regresyon teknikleri benimsenerek, işlem parametreleri arasındaki etkileşim elde edilmiştir. Optimum parametreler, çok yanıtlı optimizasyon teknikleri, yani arzu edilebilirlik yaklaşımı benimsenerek bulunmuştur. İş mili hızı 1000-2000-3000 rpm, ilerleme miktarı 300-400-500 mm/min, kesme derinliği 1-2-3mm olarak seçilmiştir. ANOVA sonuçları,

yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve kesme kuvveti üzerinde kesme hızının etkisinin, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin etkilerinden daha üstün olduğunu ortaya koymuştur.

Özlu ve Arkadaşları [18], AA6061 alaşımının tornalama işleminde kesici takım kaplamasının ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin optimizasyon çalışması yapmıştır. Taguchi yöntemi kullanılarak işleme parametreleri farklı üç kesme hızı (250, 300, 350 m/min), farklı üç ilerleme miktarı (0.1, 0.15, 0.2 mm/dev) ve farklı üç talaş derinliği (1, 1.5, 2 mm) değerleri kullanılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde ilerleme miktarının %64,28 oran ile en etkin parameter olduğunu tespit etmişlerdir.

Pul ve arkadaşları [19], Al 6061 alaşımının tornalama işleminde, kesme derinliği ve matkap ucu çeşitlerinin işlenen yüzeyin pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Matkap uçları ve kesme parametreleri göz önüne alındığında maksimum pürüzlülük değeri TNMG kodlu takım ile 2,4 mm kesme derinliği, 7,22 µm olarak ölçülmüştür.

Camposeco-Negrete [20], bu çalışmada AISI 6061 T6 alüminyumun kaba işleme koşullarında tornalanması sırasında enerji kullanımı ve yüzey pürüzlülüğünü minimize etmek ve talaş kaldırma oranı en üst düzeye çıkarmak için üç ana kesme parametresi (kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarı) optimize edilmiştir. Bu yanıt değişkenlerini optimize eden kesme parametrelerinin değerleri bir Merkezi Kompozit Tasarım (MKT), ANOVA ve arzu edilebilirlik analizi ile bulunmuştur. Sonuçlar Yanıt Yüzeyi Yöntemi kullanılarak modellenmiştir. En uygun sonuçlar 0,14 mm/dev ilerleme hızı, 2,30 mm kesme derinliği ve 434 m/dak kesme hızı değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Önerilen optimizasyon yöntemi ile belirlenen optimum tornalama parametreleri, enerji tüketimini %14,41 ve yüzey pürüzlülüğünü %360,47 oranında azaltacaktır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Alüminyum ve alaşımları, yüksek dayanım özelliklerine sahip olması nedeniyle uçak, otomotiv, ev aletleri ve gıda ambalajlama gibi birçok endüstride tercih edilen malzemelerdir. Alüminyum-magnezyum-silikon (Al-Mg-Si) olarak gösterilen 6XXX serisi alaşımlar, orta seviye mukavemetli, ısıl işleme tabi tutulabilen alaşımlardır ve mükemmel şekillendirme özellikleri ile iyi bir korozyon direncine sahiptir. Mg ve Si başlıca çözünenlerdir; çökeltme sertleşmesi ile alaşımların mukavemetini artırırlar [21].

Tüm ekstrüzyon ürünlerinin üçte ikisi alüminyumdan yapıldığı ve bunların %90'ı 6XXX serisi alaşımlardan üretildiği için bu alaşımlara büyük bir endüstriyel ilgi vardır. AA6061 en çok kullanılan alüminyum alaşımlardan biridir [22].

Bu malzemelere çeşitli derecelerde çökeltme üretmek için ısıl işlem uygulanabilir. Isıl işlem ve ardından yapay yaşlandırma ve su verme işlemlerini içeren T6 işlemi, alaşımların mukavemetini artırmak için yaygın bir yöntemdir [23].

Alüminyum 6061-T651, mükemmel mukavemet-ağırlık oranı, iyi işlenebilirliği ve yüksek korozyon direnci nedeniyle yapısal ve havacılık uygulamaları için popüler bir malzemedir. Bununla birlikte, bu malzemenin delinmesi, düşük termal iletkenliği, yüksek sünekliği ve sertleşme eğilimi nedeniyle zor olabilir. Delme işleminin verimliliğini ve kalitesini artırmak için araştırmacılar kesme hızı, soğutma yöntemleri, ilerleme hızı ve matkap ucu geometrisi dahil olmak üzere delme parametrelerinin optimizasyonunu araştırmıştır.

**Tablo 3.1.** Alüminyum 6061 T651 mekanik özellikler [24].

Özellikler	Değer
Yoğunluk (g/cc)	2.7
Çekme Dayanımı (MPa)	310
Akma Dayanımı (MPa)	276
Elastik Modülü (GPa)	68.9
Poisson Oranı	0.33
Yorulma dayanımı (MPa)	96.5
Kayma Modülü (GPa)	26
Erime noktası (°C)	582-652
Sertlik (HV)	107

**Tablo 3.2.** Al 6061-T651 kimyasal bileşim [25].

Element	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn
Bileşim (%)	98	0.04-0.35	0.15-0.4	0.7	0.8-1.2	0.15	0.4-0.8	0.15	0.25

### 3.1.1. Kullanılan kesici takımlar

Bu çalışmada HSS (Yüksek Hız Takım Çeliği) matkap olan Ruko HSSE-Co5 kullanılmıştır.

**Tablo 3.3.** Kesici takım teknik özellikleri

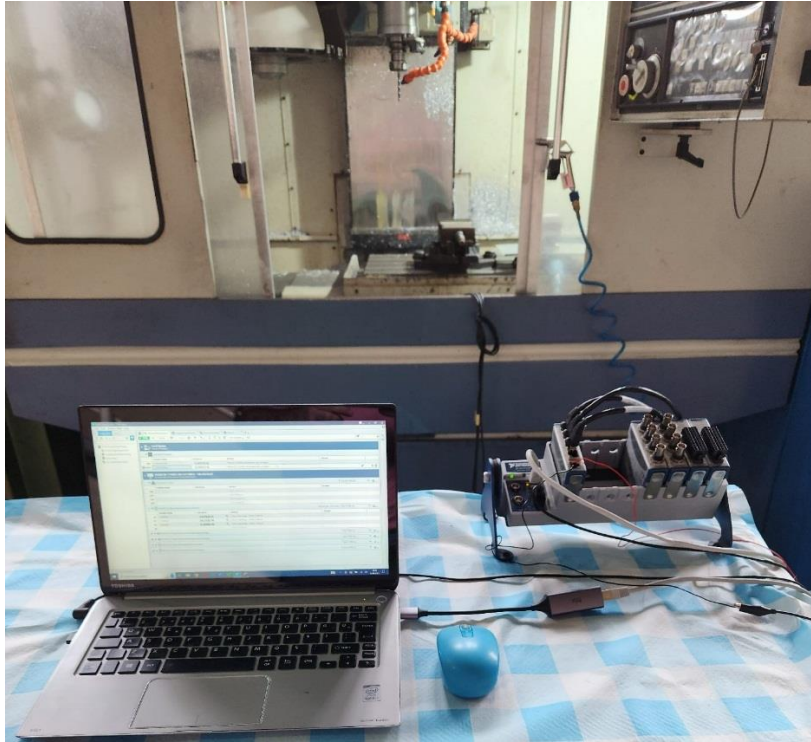
Kesici Takım	Çap	Toplam uzunluk	Kanal Uzunluğu	Helis Açısı	Tepe Açısı
Birim	(mm)	(mm)	(mm)		
HSSE Co5	8	117	75	36°	130°



**Şekil 3.1.** Kesici takım.

### 3.1.2. Deney düzeneği

Taksan TMC-700 V CNC dik işleme merkezi, NI cDAQ-9188 veri toplama ünitesinin NI 9237 modülü, ESİT AX3 yük hücresi, Flexlogger yazılımı kullanılmıştır.



**Şekil 3.2.** Deney düzeneği.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Varyans analizi

Varyans Analizi (ANOVA), deneysel verilerin yorumlanmasında kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. ANOVA, test edilen öğelerin ortalama performansındaki farklılıkları tespit etmek için kullanılır. Toplam değişkenliği hesaplanabilir kaynaklara ayırır. Ana etkilerin grafikleri, her faktörün minimum yanıt değerini sağlayan seviyeyi belirlemek için kullanılır. Varyans analizi (ANOVA) ve etki yüzdeleri, önemli olmayan faktörleri belirlemek için uygulanır. Bu faktörler, işlemin kolaylaştırılması ve maliyetin azaltılması için uygun seviyeleri olan ayarlama faktörleri olabilir.

### 3.2.2. Taguchi optimizasyon metodu

Taguchi yöntemi, üretim süreçlerinde işleme kalitesini artırmak için kullanılan bir tasarım ve optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde, deneysel faktörlerin etkileri analiz edilerek işleme parametreleri belirlenir ve optimal çalışma koşulları elde edilmeye çalışılır. Kayıp fonksiyonu (loss function), deneysel değerler ile hedeflenen değerler arasındaki sapmayı ölçmek için kullanılır. Bu sapma, genellikle sinyal ve gürültü oranı (S/N oranı) olarak ifade edilir. S/N oranı, istenen bir çıktı sinyaliyle sisteme etki eden gürültü arasındaki ilişkiyi ifade eder. Deneysel sonuçlar ne kadar istenen değere yakınsa ve gürültü ne kadar düşükse, S/N oranı o kadar yüksek olur ve işleme kalitesi o kadar iyidir. Bu sayede, optimum çalışma koşullarını belirlemek için deneysel faktörlerin etkisi analiz edilebilir ve işleme kalitesi iyileştirilebilir [26].

Optimizasyon işleminden elde edilen en büyük-en iyi, hedeflenen değer-en iyi ve en küçük-en iyi değerlerini bulmak için farklı denklemlerden yararlanılır.

En küçük- en iyi değerini bulmak için kalite değişkeni (Y) değeri sıfır kabul edilir.

$$S/G = -10 \log [\sum (Y^2) / n] (dB) \quad (3.1)$$

En büyük-en iyi hedefini bulmak için (Y) kalite değişkeni değeri sonsuz olarak kabul edilir.

$$S/G = -10 \log [\sum (\frac{1}{Y^2}) / n] (dB) \quad (3.2)$$

Hedeflenen değer-en iyi değerini bulmak için kalite değişkeni olan (Y) değeri belirli bir değer olarak seçilir.

$$S/G = -10 \log \left[ \sum \left( \frac{Y^2}{S^2} \right) / n \right] (dB) \quad (3.3)$$

### 3.2.3. Taguchi deney tasarımı

Taguchi deney tasarımı maliyetleri ve işlem sürelerini minimize ederek deney parametrelerinin planlamasını amaçlar. Bu deneyde kullanılan parametreler ve seviyeler Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.4.** Taguchi deney tasarımı.

Deney Parametreleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme hızı (m/dk)	75	95	115
Diş başı ilerleme (mm/diş)	0,5	0,7	0,9
Soğutma yöntemi	Kuru	Hava	Sıvı

Tablo 3.4'te görüldüğü üzere 3 parametre ve 3 seviyeden oluşan deney parametreleri için L27 (3<sup>3</sup>) ortogonal dizisi seçilmiştir. Bu ortogonal dizi ile oluşturulan deney tasarımı Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.5.** Deney tasarımı.

Deney Numarası	Kesme Hızı	Diş başı ilerleme	Soğutma Yöntemi
Birim	(m/dk)	(mm/diş)	
1	75	0,05	Kuru
2	75	0,07	Kuru
3	75	0,09	Kuru
4	75	0,05	Hava
5	75	0,07	Hava
6	75	0,09	Hava
7	75	0,05	Sıvı
8	75	0,07	Sıvı
9	75	0,09	Sıvı
10	95	0,05	Kuru
11	95	0,07	Kuru
12	95	0,09	Kuru
13	95	0,05	Hava
14	95	0,07	Hava
15	95	0,09	Hava
16	95	0,05	Sıvı
17	95	0,07	Sıvı
18	95	0,09	Sıvı

**Tablo 3.5. (Devamı)** Deney tasarımı.

Deney Numarası	Kesme Hızı	Diş başı ilerleme	Soğutma Yöntemi
Birim	(m/dk)	(mm/diş)	
19	115	0,05	Kuru
20	115	0,07	Kuru
21	115	0,09	Kuru
22	115	0,05	Hava
23	115	0,07	Hava
24	115	0,09	Hava
25	115	0,05	Sıvı
26	115	0,07	Sıvı
27	115	0,09	Sıvı

### 3.2.4. Üstel düzeltme metodu

Üstel düzeltme metodu, veri toplama sırasında meydana gelen ve sinyalde ani dalgalanmalara yol açan gürültüleri azaltan bir metoddur. Bu metod, sinyal gürültüsü nedeniyle bozulmuş verilerin yerine yeni tahminler yapmayı sağlar.

$$Z_T = \alpha Z_{T-1} + (1 - \alpha)S_{T-1} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te verilen  $S_{T-1}$  bir önceki gerçek değeri,  $\alpha$  düzeltme katsayısı,  $Z_T$  öngörülen değeri,  $Z_{T-1}$  ise bir önceki öngörülen değeri temsil etmektedir.

### 3.2.5. Yanıt yüzey metodolojisi

Yanıt yüzey metodolojisi, deneylerin tasarlanması ve analiz edilmesi yoluyla ürün veya süreç parametrelerinin etkilerini anlama, istenen kalite karakteristiklerini elde etme veya optimize etme, karmaşık ve çok değişkenli sistemlerde etkileşimleri anlama ve iyileştirme için değerli bir araç olup, tasarım uzayının keşfedilmesine, optimizasyon hedeflerinin belirlenmesine ve sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır [27].

Yanıt yüzey metodu, bir yanıt değişkeni için parametrelerin optimum seviyelerinin belirlenmesine verilen addır. Eğer birden fazla yanıt değişkeni mevcutsa, bu optimizasyon çoklu yanıt optimizasyonu olarak adlandırılır. Optimizasyon yapılırken kullanılan parametrelerin optimum değerlerini belirlemek için Desirability (istenilirlik indeksi) fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyon 0 ile 1 arasında değer alır. Sonuç 1 değerine ne kadar yakın ise optimizasyonun istatistiksel olarak tutarlılığı artar [28].

Bu çalışmada MiniTab 19 yazılımı kullanılarak kuvvet yanıtını optimize eden delme parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Deneylerde gerçekleştirilen her

soğutma yöntemi için ayrı ayrı çoklu yanıt optimizasyonu değerleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçların desirability fonksiyonu değerleri incelenmiştir.

### **3.2.6. Regresyon analizi**

Regresyon analizi, bağımlı (kalite özelliği) ve bağımsız değişkenlerden (kontrol faktörleri) oluşan bir modeldir ve bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlerle ifade edilmesine olanak sağlar [29]. Denklem sonucunda belirlenen determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), bağımlı değişkenin değişimini açıklama yeteneği olarak yorumlanır; daha yüksek değerler, regresyon modelinin daha iyi uyum sağladığını gösterir [30].

Bu deneysel çalışmada diş başı ilerleme, soğutma yöntemi ve kesme hızı parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkilerini ortaya koyan matematiksel denklemler elde edilmiştir. MiniTab 19 yazılımı ve çoklu lineer regresyon yöntemi kullanılarak denklemler elde edilmiştir.

#### 4. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerde 8 mm çapında kaplamasız HSSE-Co5 matkabı kullanılarak 60x60x20 mm boyutlarındaki alüminyum 6061 T651 alaşımı numune Tablo 3.6'daki deney tasarım değerlerine göre delik delme işlemlerine tabi tutulmuştur. Aşağıdaki şekilde deney düzeneğine bağlanan alüminyum alaşım numune gösterilmiştir.



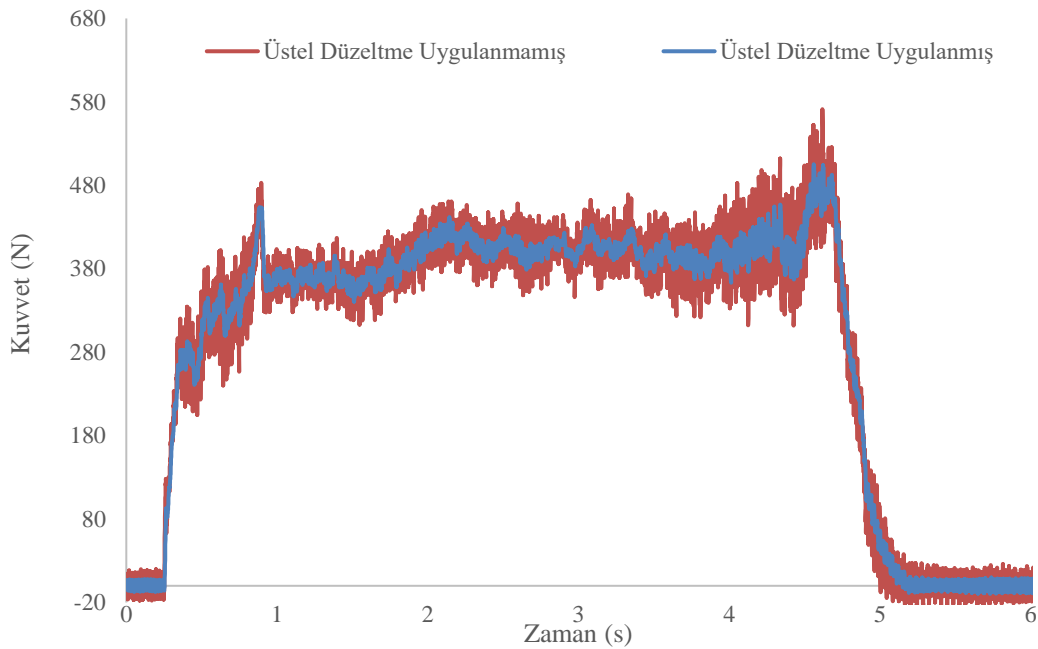
**Şekil 4.1.** Alüminyum alaşım numunesi.

Deneysel sırasında oluşan kuvvetler verileri 0,0006 saniye aralığıyla kaydedilmiştir.  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  eksenlerinde kuvvet ölçümü gerçekleştirilmiştir. Burada optimize edilmesi gereken eksen işleme yönü ile aynı yönde olan (z eksen) maksimum kuvvetlerin oluştuğu eksenidir. Diğer eksenlerdeki kuvvetlerin göz ardı edilmesinin sebebi işleme ekseninde oluşan kuvvetlere kıyasla çok küçük değerlerde olmalarıdır.

#### 4.1. Maksimum Kuvvetlerin Tespit Edilmesi

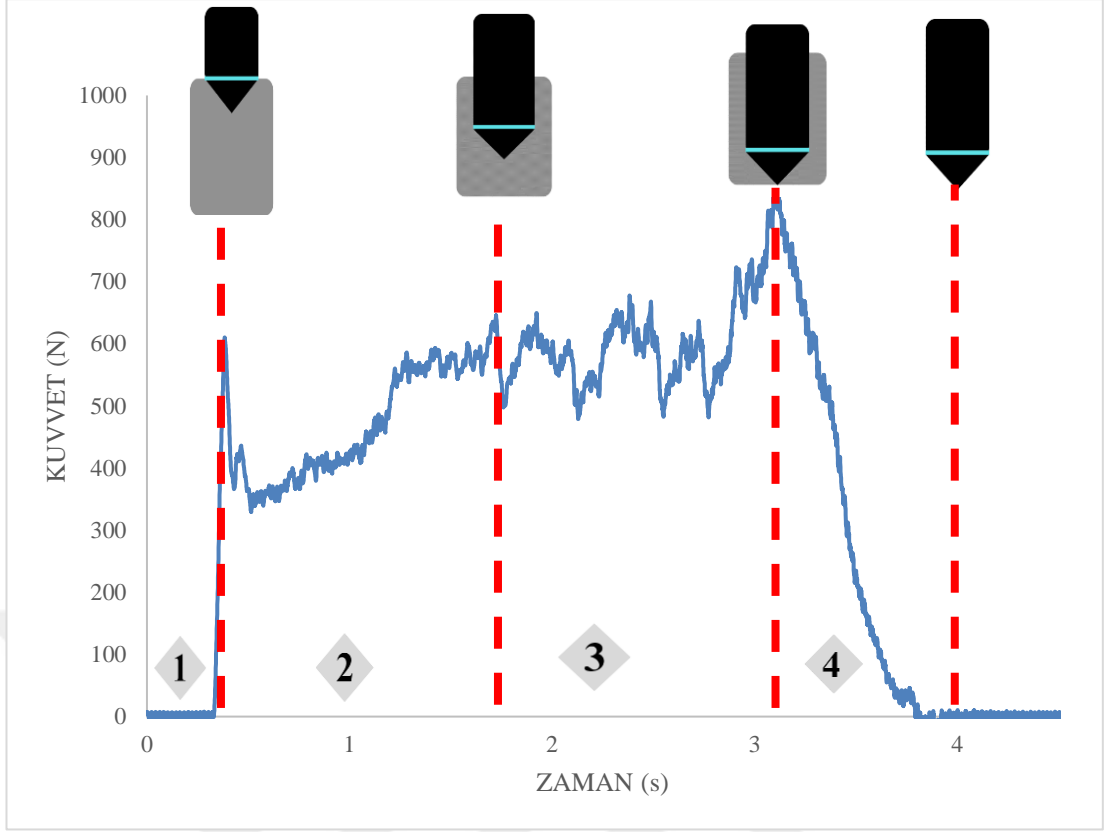
Üç farklı soğutma türünün etkilerinin incelendiği deneylerden sonucunda alınan veriler ile Kuvvet-Zaman grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen veri grafiklerinde sinyal gürültüleri tespit edilmiş ve Excel yazılımı kullanılarak bu gürültüler üstel düzeltme metodu uygulanarak minimum seviye indirilmiştir.

Şekil 4.2’de veri çözümlene yöntemlerinden üstel düzeltme uygulanmadan önceki deney verilerine ait değerler ile üstel düzeltme uygulandıktan sonraki elde edilen verilerin Kuvvet-Zaman grafiği verilmiştir. Bu veriler kuru soğutma ile 75 (m/dk) ve 0,09 (mm/diş) diş başı ilerleme ile yapılan deneye aittir.



**Şekil 4.2.** Üstel düzeltme metodunun sinyal gürültüleri üzerindeki etkisi.

Şekil 4.3’te delme işlemi sırasında matkap ucunun iş parçası içindeki konumları gösterilmiştir. Bulduğu konuma göre maksimum kuvvetin nasıl tespit edildiği grafik ile temsil edilmiştir. Bu grafik Deney 21’e (kuru soğutma) aittir.



**Şekil 4.3.** Kuvvet-Derinlik grafiğinde kesici takımın konumları.

Şekil 4.3'te grafikte görüldüğü üzere birinci aşamada maktap ucu iş parçasına giriş yapmıştır. Matkabın giriş yapmaya başladığı andan itibaren anlık olarak kuvvet değerlerinin çok yükseldiği sonrasında bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Grafikte ikinci ve üçüncü bölgede matkap iş parçasından talaş kaldırarak ilerlemektedir. Üçüncü bölümün son kısmında görüldüğü üzere matkabın parçanın sonuna geldiği için elde edilen kuvvet pik değerine ulaşmıştır. Dördüncü adımda işe matkap iş parçasının alt kısmından dışarı çıkmıştır. Yapılan tüm deneylerde maktap tüm delikleri tam olarak delmiş ve tüm delikler boşaltılmıştır. Bu nedenle son kısımda kuvvet değeri sıfıra inmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler sonucunda oluşturulan grafiklerden birçoğu Şekil 4.3'ten elde edilen grafikle benzerlik göstermektedir. Bazı grafikler ise uygulanan parametrelerin etkilerinden dolayı farklılıklar göstermektedir.

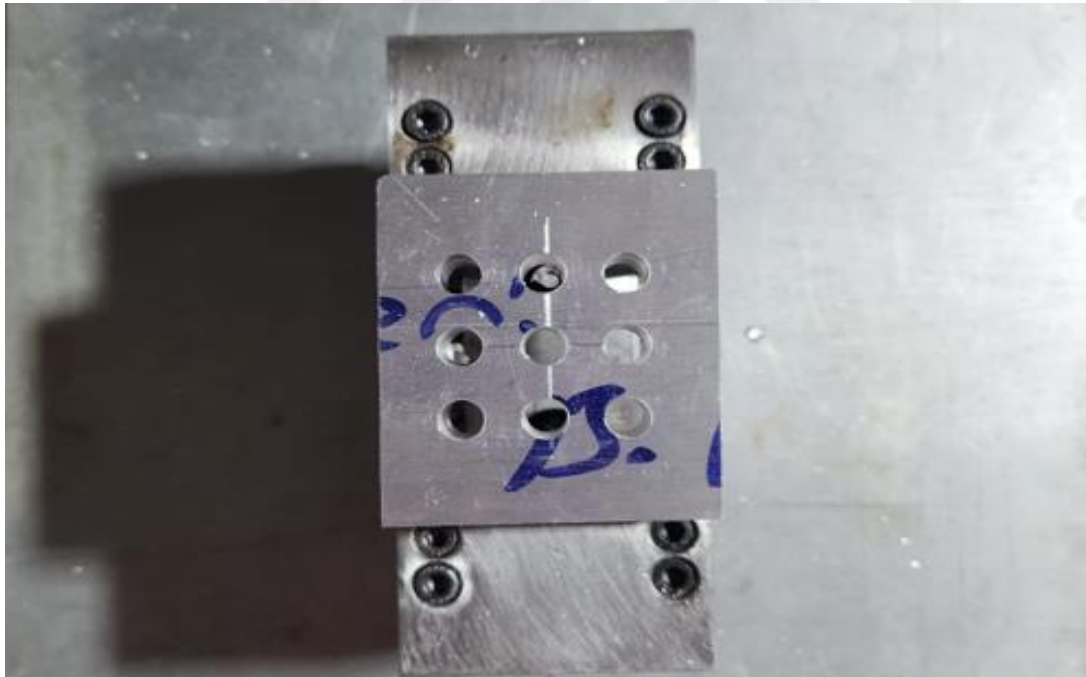
## 4.2. Deney Sonuçları

### 4.2.1. Kuru soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar

Kuru soğutma yöntemi ile delinen numunenin deney sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. Kesme parametreleri kesme hızı ( $V_c$ ) ve diş başına ilerleme miktarı ( $f_z$ )’dir. Devir sayısı ( $n$ ) ve ilerleme sayısı ( $V_f$ ) ile belirtilmiştir.

**Tablo 4.1.** Kuru soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar.

Deney No	$V_c$ (m/dk)	$f_z$ (mm/diş)	$n$ (dev/dk)	$V_f$ (mm/dk)	$F_{z,maks}$ (N)
1	75	0,05	2984	149	294
2	75	0,07	2984	209	367
3	75	0,09	2984	269	505
10	95	0,05	3780	189	395
11	95	0,07	3780	265	565
12	95	0,09	3780	340	671
19	115	0,05	4576	229	605
20	115	0,07	4576	320	722
21	115	0,09	4576	412	881



**Şekil 4.4.** Kuru soğutma yöntemi ile delinen numune.

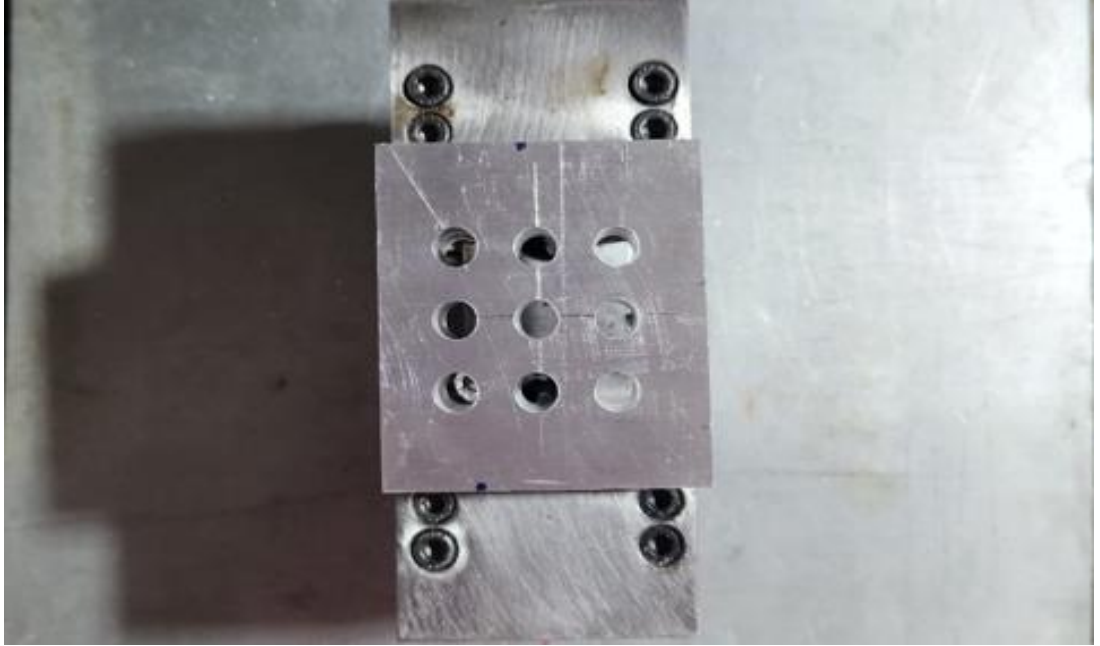
Şekil 4.4’te kuru soğutma yöntemi ile delinen Alüminyum 6061-T651 alaşımı gösterilmiştir.

#### 4.2.2. Hava soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar

Hava soğutma yöntemi ile delinen numunenin deney sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir. Kesme parametreleri kesme hızı ( $V_c$ ) ve diş başına ilerleme miktarı ( $f_z$ )’dir. Devir sayısı ( $n$ ) ve ilerleme sayısı ( $V_f$ ) ile belirtilmiştir.

**Tablo 4.2.** Hava Soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar.

Deney No	$V_c$ (m/dk)	$f_z$ (mm/diş)	$n$ (dev/dk)	$V_f$ (mm/dk)	$FZ_{maks}$ (N)
4	75	0,05	2984	149	247
5	75	0,07	2984	209	314
6	75	0,09	2984	269	450
13	95	0,05	3780	189	386
14	95	0,07	3780	265	520
15	95	0,09	3780	340	599
22	115	0,05	4576	229	473
23	115	0,07	4576	320	534
24	115	0,09	4576	412	626



**Şekil 4.5.** Hava soğutma yöntemi ile delinen numune.

Şekil 4.5’te hava soğutma yöntemi ile delinen Alüminyum 6061-T651 alaşımı gösterilmiştir.

### 4.2.3. Sıvı soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar

Sıvı soğutma yöntemi ile delinen numuneye ait deney sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir. Kesme parametreleri kesme hızı (Vc) ve diş başına ilerleme miktarı (fz)’dir. Devir sayısı (n) ve ilerleme sayısı (Vf) ile belirtilmiştir

**Tablo 4.3.** Sıvı soğutma yöntemi ile elde edilen sonuçlar.

Deney No	Vc (m/dk)	fz (mm/diş)	n (dev/dk)	Vf (mm/dk)	FZ,maks (N)
7	75	0,05	2984	149	243
8	75	0,07	2984	209	290
9	75	0,09	2984	269	349
16	95	0,05	3780	189	278
17	95	0,07	3780	265	339
18	95	0,09	3780	340	455
25	115	0,05	4576	229	329
26	115	0,07	4576	320	478
27	115	0,09	4576	412	548



**Şekil 4.6.** Sıvı soğutma yöntemi ile delinen numune.

Şekil 4.6’da sıvı soğutma yöntemi ile delinen Alüminyum 6061-T651 alaşımı gösterilmiştir.

### 4.3. Deney Sonuçlarının İstatiksel Analizi

#### 4.3.1. Delinen deliklerin maksimum kesme kuvveti verilerine göre kesme parametrelerinin Taguchi optimizasyonu

Tablo 4.4'te kuru,hava ve sıvı soğutma yöntemleri ile delinen deliklerin herbiri için maksimum kesme kuvveti değerlerinin sinyal/gürültü (S/G) oranları verilmiştir. Vc kesme hızını, fz dış başı ilerleme miktarını ve FZ,maks maksimum kesme kuvvetini göstermektedir.

**Tablo 4.4.** Taguchi optimizasyonu S/G oranları.

Deney No	Kesme Hızı Vc (m/dk)	Dış başı ilerleme fz (mm/diş)	FZ,maks (N)	S/G oranı (dB)
1	75	0,05	294	-49,3669
2	75	0,07	367	-51,2941
3	75	0,09	505	-54,0697
4	75	0,05	247	-47,8601
5	75	0,07	314	-49,9252
6	75	0,09	450	-53,0620
7	75	0,05	243	-47,7138
8	75	0,07	290	-49,2584
9	75	0,09	349	-50,8616
10	95	0,05	395	-51,9368
11	95	0,07	565	-55,0426
12	95	0,09	671	-56,5337
13	95	0,05	386	-51,7266
14	95	0,07	520	-54,3171
15	95	0,09	599	-55,5413
16	95	0,05	278	-48,8896
17	95	0,07	339	-50,6069
18	95	0,09	455	-53,1572
19	115	0,05	605	-55,6365
20	115	0,07	722	-57,1692
21	115	0,09	881	-58,8993
22	115	0,05	473	-53,4911
23	115	0,07	534	-54,5547
24	115	0,09	626	-55,9251
25	115	0,05	329	-50,3323
26	115	0,07	478	-53,5805
27	115	0,09	548	-54,7821

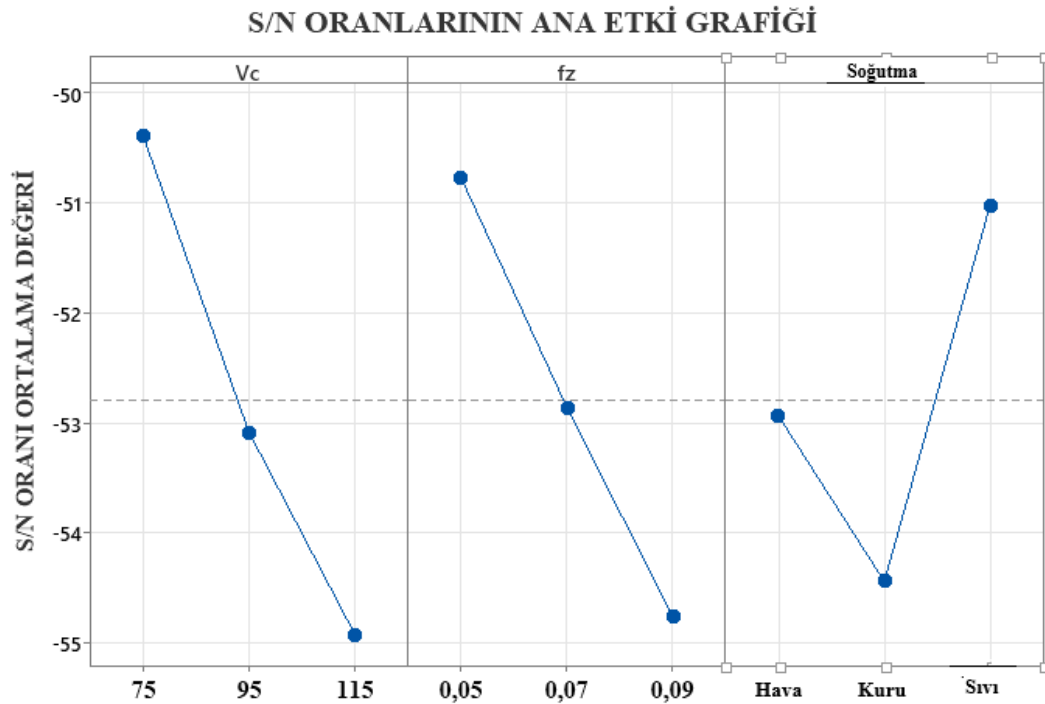
Tablo 4.4'teki kesme parametrelerinin elde edilen maksimum kesme kuvveti değerlerinin sinyal/gürültü değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir. Değerler hesaplanırken en küçük en iyi hedefine göre belirlenmiştir.

**Tablo 4.5.** Kesme kuvveti sonuçlarına göre parametrelerin S/G oranları.

Parametre seviyesi	Kesme hızı S/G	Diş başı ilerleme S/G	Soğutma yöntemi
	(dB)	(dB)	(dB)
1	-50,38	-50,77	-52,93
2	-53,08	-52,86	-54,44
3	-54,93	-54,76	-51,02

İncelenen parametrelerin S/G oranı verileri ile oluşturulan grafikler Şekil 4.6'da verilmiştir. Optimum parametre seviyesi, maksimum S/G oranını veren değerdir

Farklı soğutma yöntemleri ile yapılan deneylerde; kesme hızı ( $V_c$ ) parametresinin optimize edilmiş değeri 75 m/dk olarak, diş başı ilerleme miktarı optimize edilmiş değeri 0,05 mm/diş, soğutma yönteminin optimize edilmiş değeri ise sıvı soğutma olduğu Taguchi optimizasyonu yöntemi ile belirlenmiştir.



**Şekil 4.7.** S/G oranlarının ana etki grafiği.

#### 4.3.2. Deneylerin maksimum kesme kuvveti verilerine göre varyans analizi

Bu çalışmada yapılan deneylerin sonucunda elde edilen verilerin kesme kuvveti çıktısına göre varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir. Varyans analizi ile ilgili bilgiler Bölüm 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Deneylerin maksimum kesme kuvveti çıktılarına göre varyans analizi.

Kaynak	SD	Ardışık KT	Etki oranı	Düzeltilmiş KT	Düzeltilmiş KO	F	P
V <sub>c</sub> (m/dk)	2	253829	%38,80	253829	126914	47,36	0,003
f <sub>z</sub> (mm/diş)	2	186915	%28,57	186915	93458	34,88	0,000
Soğutma	2	159828	%24,46	159828	79914	29,82	0,000
Hata	20	53592	%8,19	53592	2680		
Toplam	26	654164	%100				

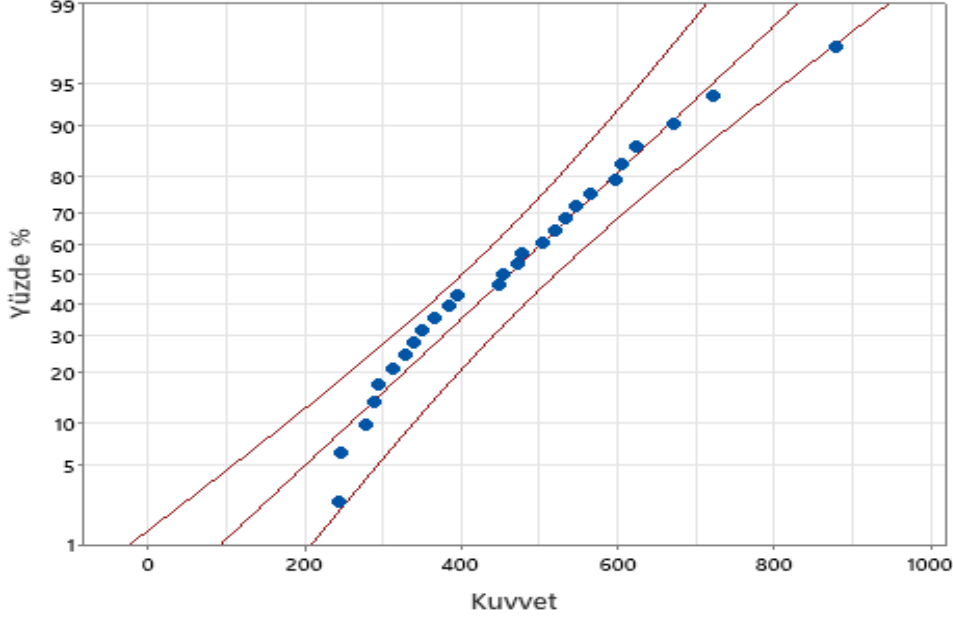
Varyans analizi sonuçları incelendiğinde P anlamlılık değerinin %5'ten düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç verilerin arasındaki ilişkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Varyans analizi sonuçlarından biri de kesme kuvvetini etkileyen en önemli parametrenin %38.80 ile kesme hızı olduğudur. İlerleme hızının etki oranı %28,57 ve soğutma yönteminin etki oranı ise %24,46 olarak bulunmuştur. Tablodaki SD ifadesi serbestlik derecesini ifade eder. KT kareler toplamı, KO ise kareler ortalamasını gösterir. F, parametre varyans değerinin hata varyans değerine olan oranıdır. P değeri ise %5 değerinden küçük olduğu durumda verilerin arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı kabulü yapılır.

#### 4.3.3. Deneylerin maksimum kesme kuvveti verilerine göre regresyon analizi

Kuru, hava ve sıvı soğutma yöntemleri ile gerçekleştirilen deneylerin maksimum kesme kuvveti çıktıları ile çoklu lineer regresyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen matematiksel eşitlik denklem 4.1'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Kuru soğutma} \quad \quad \quad FZ, maks &= -459,3 + 5,932Vc + 5094fz \\ \text{Hava Soğutma} \quad \quad \quad FZ, maks &= -363,9 + 5,932Vc + 5094fz \\ \text{Sıvı Soğutma} \quad \quad \quad FZ, maks &= -552,4 + 5,932Vc + 5094fz \end{aligned} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'in tahmin kabiliyetini gösteren determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri %91,81 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.8'deki grafik, matematiksel modeli temsil eden doğru eğrilere göre deneyler sonucunda elde edilen maksimum kesme kuvveti değerlerinin dağılımını göstermektedir.

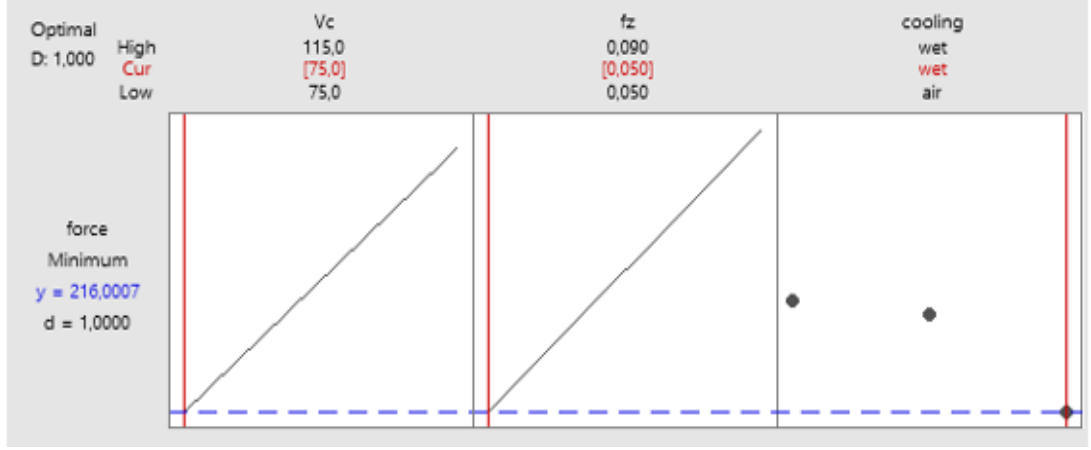


**Şekil 4.8.** Denklem 4.1'in doğru grafiğine göre kesme kuvvetlerinin dağılımı.

#### 4.3.4. Gerçekleştirilen deneylerin maksimum kesme kuvvetine göre kesme parametrelerinin yanıt yüzey optimizasyonu

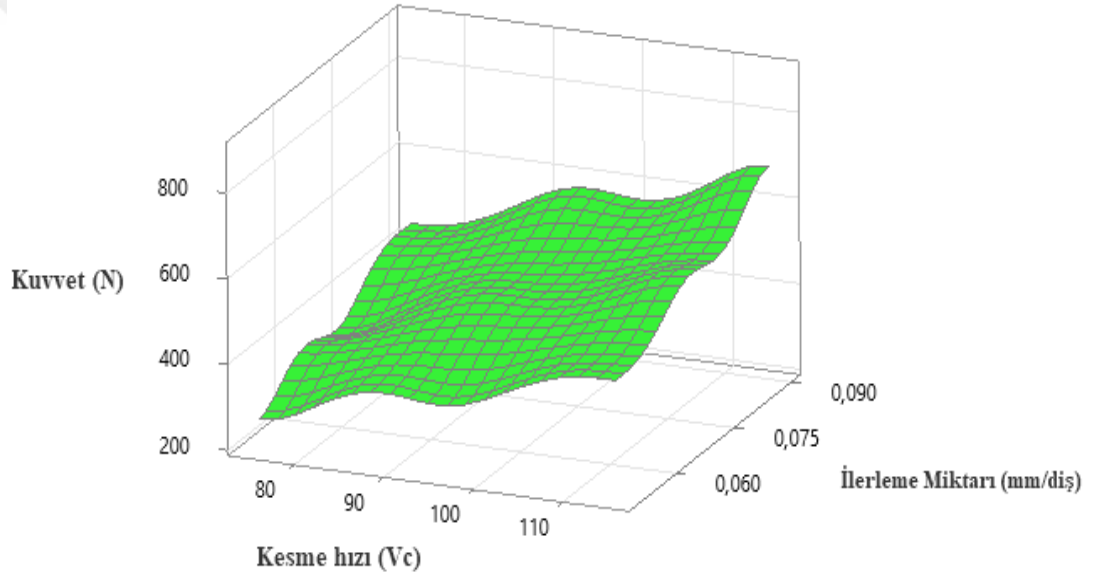
Kesme parametrelerinin optimizasyonu üretim verimliliği ve maliyet açısından çok büyük öneme sahiptir. Delik delme işlemlerinde kesme kuvvetlerinin azaltılması kullanılan takımların çalışma ömürlerine doğrudan pozitif etki etmektedir. Bu da işlem maliyetlerini azaltmaktadır. Kesme kuvvetlerinin minimuma indirilmesi sonucunda delme süresi artmaktadır. Bunun sonucunda işlem maliyetlerinde artış olmaktadır. Bu iki etki üzerinde değerlerin optimize edilip en uygun işleme parametrelerinin bulunması için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Üç farklı parametrenin optimizasyonu çoklu yanıt optimizasyonu yöntemi ile yapılmıştır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen deney parametrelerinin optimum seviyeleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Kesme hızı için 75 m/dk, diş başı ilerleme miktarı için 0.05 mm/diş ve soğutma yöntemi için sıvı soğutma yöntemi en optimum değerler olarak belirlenmiştir. Desirability fonksiyonun değeri optimizasyonun tutarlılık seviyesini ölçmektedir. Elde edilen değer 1'e ne kadar yakınsa o kadar istatistiksel olarak tutarlı olduğu anlamına gelir. Bu optimizasyon işlemi sonucunda desirability fonksiyon değeri 1 olarak tespit edilmiştir.

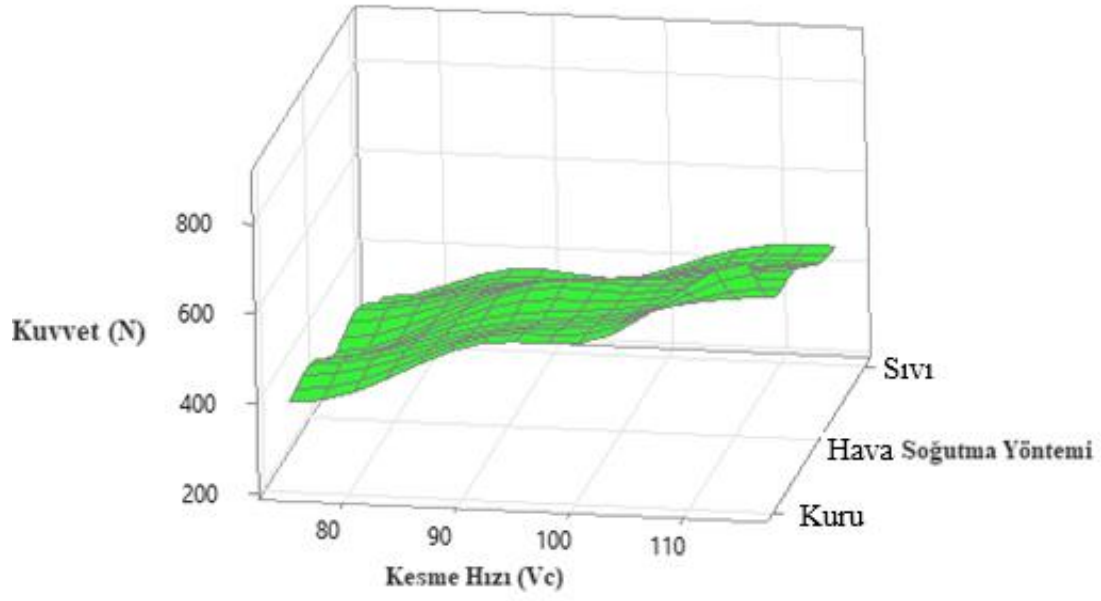


Şekil 4.9. Deney verilerinin yanıt yüzey optimizasyonu sonuçları.

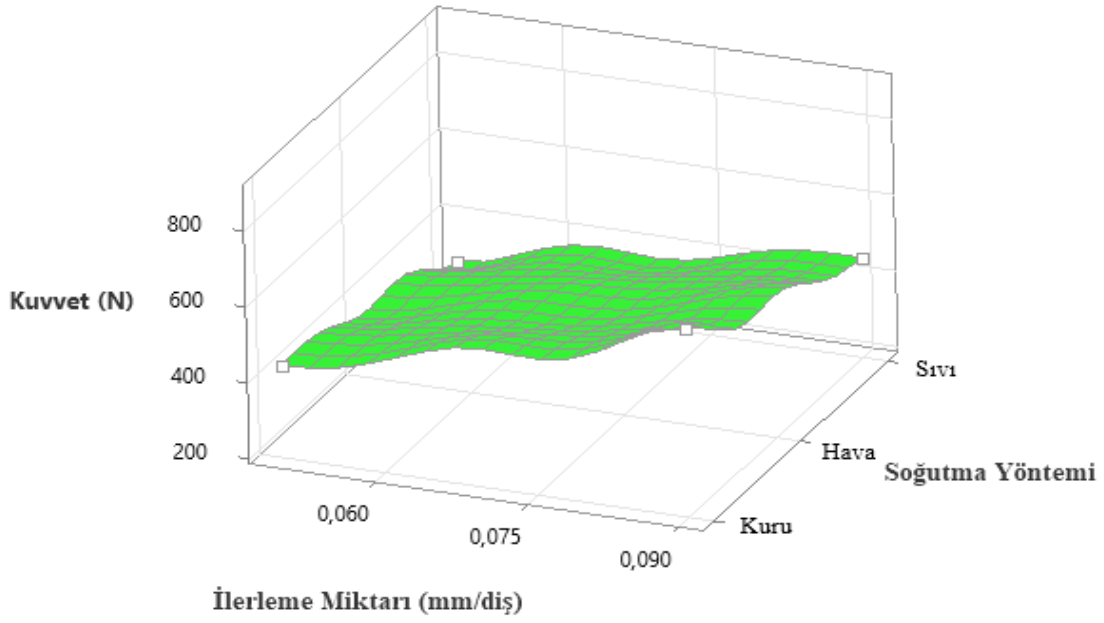
#### 4.3.5. Yüzey grafikleri



Şekil 4.10. Kuvvet ile ilerleme,kesme hızı yüzey grafiği.



Şekil 4.11. Kuvvet ile soğutma yöntemi ve kesme hızı yüzey grafiği.



Şekil 4.12. Kuvvet- soğutma yöntemi ve ilerleme miktarı yüzey grafiği.

## 5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Al 6061 T641 alaşımı numunelerin üç farklı kesme hızı (75, 95, 115 m/dk), üç farklı ilerleme miktarı (0.5, 0.7, 0.9 mm/diş) ve üç farklı soğutma yöntemi (kuru, hava, sıvı) kullanılarak delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, bu parametrelerin optimum değerlerini tespit etmektir. Bu çalışmadaki her bir deneyden elde edilen kesme kuvveti değerlerini kullanarak varyans analizi (ANOVA), Taguchi Metodu optimizasyonu, yanıt yüzey optimizasyonu ve regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Deneyle esnasında kuvvet ölçümü üç ekseninde ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) yapılmıştır.  $F_x$  ve  $F_y$  ekseninden alınan kuvvet değerleri çok düşük ve istatistiksel olarak anlamsız olduğu için  $F_z$  ekseninde olan değerler işlenmiştir.
- Kuvvet ölçümü esnasında sinyal gürültüleri meydana geldiği için üstel düzeltme metodu kullanılarak bu gürültü değerleri minimize edilmiştir. Üstel düzeltme metodu excel yazılımı kullanılarak veri çözümleme ile yapılmıştır.
- Taguchi optimizasyonu ile kesme kuvvetinin minimum değerini veren parametreler tespit edilmiştir.
- Varyans analizi sonuçları incelendiğinde kesme hızı parametresinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi %38,8'dir. Bu değer parametreler arasındaki en etkili değerdir. Diş başı ilerleme miktarının etki oranı %28,57, soğutma yönteminin etki oranı ise %24,46 olarak tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre hata etki oranı %8,19'dur.
- Deneysel verilerin dağılımının %95 güven aralığında olduğu saptanmıştır.
- Bu çalışmada gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda incelenen kesme parametreleri ve kesme kuvveti arasındaki bağıntıyı veren matematiksel model ortaya çıkmıştır. Matematiksel modelin tahmin yeteneğini ifade eden ( $R^2$ ) değeri %91,81 olarak tespit edilmiştir

Çoklu yanıt yöntemi kullanılarak bu deneydeki en optimum deney değerler tespit edilmiştir. Kesme hızı için 75 m/dk, diş başı ilerleme miktarı için 0.05 mm/diş ve soğutma yöntemi için sıvı soğutma yöntemi en optimum değerler olarak belirlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] Alüminyum Komisyonu. Alüminyum Raporu, TMMOB Metalurji Müh. Odası.
- [2] Garmo, E. P., Black, J. T., & Kohser, R. A. (2011). De Garmo's materials and processes in manufacturing. Chapter 23. John Wiley & Sons.
- [3] Cen, W. C., & Tsao, C. C. (1999). Cutting performance of different coated twist drills. *Journal of Materials Processing Technology*, 88(1), 203-207.
- [4] Lin, J., Lee, S. L., & Weng, C. I. (1992). Estimation of cutting temperature in high-speed machining. *Journal of engineering materials and technology*, 114(3), 289-296.
- [5] A. Pramanik, A.K.Basak, C. Prakash, S. Shankar, S. Chattopadhyaya. Sustainability in drilling of aluminum alloy. *Cleaner Materials*, Volume 3, March 2022, 100048.
- [6] Ertunç H. M., Sevim I. "Kesici takımların aşınmasını gözleme üzerine yapılan çalışmalar." *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14: 55-62 (2001).
- [7] Tolouei-Rad, M.; Aamir, M. Analysis of the Performance of Drilling Operations for Improving Productivity. In *Drilling*; Tolouei-Rad, M., Ed.; IntechOpen: London, UK, 2021.
- [8] Al-Tameemi HA, Al-Dulaimi T, Awe MO, Sharma S, Pimenov DY, Koklu U, Giasin K. Evaluation of Cutting-Tool Coating on the Surface Roughness and Hole Dimensional Tolerances during Drilling of Al6061-T651 Alloy. *Materials*, 2021; 14(7):1783. <https://doi.org/10.3390/ma14071783>.
- [9] A. Pramanik, A.K. Basak, C. Prakash, S. Shankar, S. Chattopadhyaya. Sustainability in drilling of aluminum alloy. *Cleaner Materials*, Volume 3, March 2022, 100048.
- [10] Y. M. Shashidhara, S. R. Jayaram. "Experimental Determination of Cutting Power for Turning and Material Removal Rate for Drilling of AA 6061-T6 Using Vegetable Oils as Cutting Fluid." *Advances in Tribology*, vol. 2013, Article ID 362931, 7 pages, 2013.
- [11] Sreenivasulu, R., & Rao, C. S. (2017). Effect of drilling parameters on thrust force and torque during drilling of aluminum 6061 alloy- based on taguchi design of experiments. *Journal of Mechanical Engineering*, 46(1), 41.
- [12] Ngoc-Hung Chu, Van-Du Nguyen & Quoc-Huy Ngo (2020) Machinability enhancements of ultrasonic-assisted deep drilling of aluminum alloys, *Machining Science and Technology*, 24:1, 112-135.
- [13] Huang, M.F.; Lin, T.R. Application of grey-Taguchi method to optimize drilling of aluminum alloy 6061 with multiple performance characteristics. *Material Science and Technology* 2004, 20 (4), 528 – 532.

- [14] Xu, D., Feng, P., Li, W. et al. Research on chip formation parameters of aluminum alloy 6061-T6 based on high-speed orthogonal cutting model. *Int J Adv Manuf Technol* 72, 955–962 (2014).
- [15] Uddin M, Basak A, Pramanik A, Singh S, Krolczyk GM, Prakash C. Evaluating Hole Quality in Drilling of Al 6061 Alloys. *Materials*, 2018; 11(12):2443.
- [16] Islam MN and Boswell B (2016) Effect of cooling methods on hole quality in drilling of aluminium 6061-6T. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing.
- [17] Lmalghan, R., Rao M C, K., S, A. et al. Machining Parameters Optimization of AA6061 Using Response Surface Methodology and Particle Swarm Optimization. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 19, 695–704 (2018).
- [18] Ulaş H.B. "AA 6061 Alüminyum Alaşımının Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Analizi Ve Optimizasyonu." *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 14 (2), 48-56, 2019.
- [19] M. Pul ve H. B. Özerkan. "Al 6061 alaşımının işlenmesinde kesme derinliği ve kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınma davranışına etkisi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 37, sayı. 4, ss. 2013-2024, Şub. 2022.
- [20] Carmita Camposeco-Negrete, 2013. "Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA." *Journal of Cleaner Production*, Volume 53, 15 pp. 195–203.
- [21] Murtha SJ. "New 6XXX aluminum alloy for automotive body sheet applications." *SAE Int J Mater Manuf* 1995; 104:657–66.
- [22] Buha J, Lumley RN, Crosky AG. "Microstructural development and mechanical properties of interrupted aged Al–Mg–Si–Cu alloy." *Metall Mater Trans A* 2006;37A:3119–30.
- [23] Abis S, Boeuf A, Caciuffo R, Fiorini P, Magnani M, Melone S, et al. "Investigation of Mg<sub>2</sub>Si precipitation in an Al–Mg–Si alloy by small angle neutron scattering." *J Nucl Mater* 1985; 135:181–9.
- [24] Pitchayapillai, G.; Seenikannan, P.; Balasundar, P.; Narayanasamy, P. "Effect of nano-silver on microstructure, mechanical and tribological properties of cast 6061 aluminum alloy." *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 2017, 27, 2137–2145.
- [25] Bang, H.; Bang, H.; Jeon, G.; Oh, I.; Ro, C. "Gas tungsten arc welding assisted hybrid friction stir welding of dissimilar materials Al6061-T6 aluminum alloy and STS304 stainless steel." *Mater. Des.* 2012, 37, 48–55.
- [26] Cetin O, Vedat S (2012) "The optimization of Cutting Parameters on Surface Roughness in Tangential Turn-milling using Taguchi Method." *Adv Nat Appl Sci* 6(6):866–874.
- [27] Chehrehgani, S., Noaparast, M., Rezai, B., & Shafaei, S. Z. (2017). "Bonded-particle model calibration using Response Surface Methodology." *Particuology*, 32, 141–152.

- [28] Türkşen, Ö., & Ertunç, S. (2015). "Optimization of saponification process in Multi-Response Framework by using Desirability Function Approach." *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(2), 141-149.
- [29] Başar, G., Kahraman, F. "Delik işleme prosesinde kesme parametrelerinin Taguchi metodu ve regresyon analizi kullanılarak modellenmesi ve optimizasyonu." 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress, Antalya, Turkey, 2017.
- [30] Gökçe, H. (2021). "Investigation of Drilling Performance of CuZn15 Brass Material." *European Journal of Science and Technology*, (22), 32-42.





## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tevfik Kürşad KUZUCU

### ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2021, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- Yükseklisans** : Devam ediyor, Sakarya Üniversitesi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2023 yılından bu yana ISILSAN MAKİNA şirketinde Proje Mühendisi olarak çalışmaktadır.