



**AI 6061-T6 ALAŞIMININ DELİNMESİ
ESNASINDA KESME BÖLGESİNDEKİ
SICAKLIĞA, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE
ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİ EDEN KESME
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Cihat ÖZDEMİR

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Halil DEMİR**

**Al 6061-T6 ALAŞIMININ DELİNMESİ ESNASINDA KESME
BÖLGESİNDEKİ SICAKLIĞA, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE ENERJİ
TÜKETİMİNE ETKİ EDEN KESME PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

Cihat ÖZDEMİR

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Halil DEMİR**

**KARABÜK
Mayıs 2022**

Cihat ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “Al 6061-T6 ALAŞIMININ DELİNMESİ ESNASINDA KESME BÖLGESİNDEKİ SICAKLIĞA, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİ EDEN KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hasan Basri ULAŞ (GÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Cihat ÖZDEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Al 6061-T6 ALAŞIMININ DELİNMESİ ESNASINDA KESME BÖLGESİNDEKİ SICAKLIĞA, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİ EDEN KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Cihat ÖZDEMİR

Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Haziran 2022, 65 sayfa

Bu çalışmada, Al 6061-T6 alaşımının delinmesinde matkap helis açısının ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine incelenmiştir. Bu amaçla, 10 mm çapında ve 120° sabit uç açısına sahip üç farklı helis açısında (15°, 30° ve 45°) kaplamasız karbür matkaplar ürettirilmiştir. Deney tasarımı; helis açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı üç farklı seviyede tanımlanarak Taguchi L27 deney düzenine göre hazırlanmıştır. Deneyler sırasında kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi ölçülmüştür. Delinen deliklerin yüzey kalitesini değerlendirmek için deliklerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Deney sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketiminin en düşük değerleri için Sinyal/Gürültü (S/N), ANOVA ve Regresyon analizleri yapılmıştır. Ayrıca bütün çıktı parametreleri için optimum deney kombinasyonunu belirlemek

amacıyla GRİ ilişki analizi yapılmıştır. Deneyle sonucunda en düşük yüzey pürüzlülüğü ($A_3=30^\circ$ helis açısı, $B_3=100$ m/dk kesme hızı ve $C_1=0,05$ mm/dev ilerleme miktarı) $0,87 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. En düşük kesme sıcaklığı ($A_1=15^\circ$ helis açısı, $B_1=40$ m/dk kesme hızı ve $C_1=0,05$ mm/dev ilerleme miktarı) $36,1^\circ\text{C}$ ölçülmüştür. En düşük enerji tüketimi ($A_1=15^\circ$ helis açısı, $B_3=100$ m/dk kesme hızı ve $C_3=0,15$ mm/dev ilerleme miktarı) $4,3 \text{ j/mm}^3$ olarak ölçülmüştür. Yapılan ANOVA analizleri sonucu yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi üzerine en etkin parametreler; sırası ile ilerleme miktarı %54,93; kesme hızı %52,02 ve ilerleme miktarı %68,12 oranlarına sahip bulunmuştur. Yapılan Regresyon analizinden elde edilen tahmini değerler ile deney sonuçları arasında çok yakın bir ilişki olduğu görülmüştür. Son olarak; Gri ilişkisel analiz sonucuna göre yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi değerleri 25 numaralı deneyde (45° helis açısı, 100 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarı) $0,67 \mu\text{m}$; $84,46^\circ\text{C}$ ve $11,2 \text{ j/mm}^3$ olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Al 6061-T6 alaşımı, Delik delme, Helis açısı, Taguchi, Yüzey pürüzlülüğü, Kesme sıcaklığı, Enerji tüketimi, Gri ilişkisel analiz.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS AFFECTING THE TEMPERATURE IN THE CUTTING ZONE, SURFACE ROUGHNESS AND ENERGY CONSUMPTION DURING DRILLING OF Al 6061-T6 ALLOY

Cihat ÖZDEMİR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Halil DEMİR

June 2022, 65 pages

In this study, the effects of drill helix angle and cutting parameters on cutting temperature, surface roughness and energy consumption in drilling Al 6061-T6 alloy were investigated. For this purpose, uncoated carbide drills with a diameter of 10 mm and a fixed tip angle of 120° were produced at three different helix angles (15°, 30° and 45°). The experimental design was prepared according to Taguchi's L27 standard by defining helix angle, cutting speed and feed rate at three different levels. The cutting temperature and energy consumption were measured during the experiments. To evaluate the surface quality of the drilled holes, the surface roughness of the holes was measured. Experiment results were evaluated separately. Signal/Noise (S/N), ANOVA and Regression analyzes were performed for the lowest values of cutting temperature, surface roughness and energy consumption. In addition, GRAY Correlation Analysis was performed to determine the optimum combination of experiments for all output

parameters. As a result of the experiments, the lowest surface roughness (A3=30° helix angle, B3=100 m/min cutting speed and C1=0.05 mm/rev feed rate) was measured as 0.87 μm . The lowest cutting temperature (A1=15° helix angle, B1=40 m/min cutting speed and C1=0.05 mm/rev feed rate) was measured as 36.1 °C. The lowest energy consumption (A1=15° helix angle, B3=100 m/min cutting speed and C3=0.15 mm/rev feed rate) was 4.3 j/mm³. As a result of ANOVA analysis, the most effective parameters on surface roughness, cutting temperature and energy consumption were - in written order- feed rate 54.93%, cutting speed 52.02% and feed rate 68.12%. It has been observed that there is a very good relationship between the estimated values obtained by the regression analysis and the experimental results. Finally, according to the GRAY Correlation Analysis results the surface roughness, cutting temperature and energy consumption values were determined as 0.67 μm , 84.46 °C and 11.2 j/mm³ in test number 25 (45° helix angle, 100 m/min cutting speed and 0.05 mm/rev feed rate).

Key Word : Al 6061-T6 alloy, Hole drilling, Helix angle, Taguchi, Surface roughness, Cutting temperature, Energy consumption, Gray relational analysis.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca tez konusunun belirlenmesinde, hazırlanmasında ve beni her konuda yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Halil DEMİR'e teşekkür ederim.

Deneylerin yapılmasında bilgi ve tecrübelerinin esirgemeyen değerli hocam Öğr.Gör.Dr. Barıő ÖZLÜ'ye teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalıőmamız KBÜ-BAP-FYL-2020-2400 nolu BAP Bilimsel Araőtırma Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bu çalıőmayı destekleyen KBÜ Rektörlüğüne ve BAP komisyonuna teşekkür ederim.

Hayatım boyunca varlıkları ile bana destek olan maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen annem Billur ÖZDEMİR'e ve babam Ahmet ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkür ederim. Son olarak yüksek lisans çalıőmalarım süresinde göstermiőt olduğu sabır ve anlayıő için eőtım Merve ÖZDEMİR'e Őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	8
ALÜMİNYUM	8
3.1. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ	8
3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	9
3.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Kodlaması.....	9
3.2.2. Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	9
3.2.3. Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	10
3.2.3.1. 1XXX Serisi.....	11
3.2.3.2. 2XXX Serisi.....	11
3.2.3.3. 3XXX Serisi.....	12
3.2.3.4. 4XXX Serisi.....	12
3.2.3.5. 5XXX Serisi.....	12
3.2.3.6. 6XXX Serisi.....	12

	<u>Sayfa</u>
3.2.3.7. 7XXX Serisi.....	13
3.2.3.8. 8XXX Serisi.....	13
3.3 ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUM MALZEMEYE ETKİLERİ.....	13
3.3.1. Bakırın Etkisi.....	13
3.3.2. Silisyumun Etkisi.....	14
3.3.3. Magnezyumun Etkisi.....	14
3.3.4. Manganezin Etkisi.....	14
3.3.5. Çinkonun Etkisi.....	15
3.3.6. Titanyumun Etkisi.....	15
3.3.7. Demirin Etkisi.....	15
BÖLÜM 4	16
DELİK DELME	16
4.1. DELİK DELME İŞLEMİ.....	16
4.2. DELİK DELME İŞLEMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	17
4.2.1. Kesici Takım, Matkap.....	17
4.2.2. Delik Delme İşleminde Kesme Parametreleri.....	18
4.3. MATKAP GEOMETRİSİ VE KISIMLARI.....	20
4.3.1. Matkap Ucu Öz ve Kanal Geometrisi.....	20
4.3.2. Matkap Kanal Sayısı.....	21
4.3.3. Matkap Ucu Uç (Bileme) Açısı.....	21
4.3.4. Matkap Ucu Helis Açısı.....	21
4.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ ESNASINDA ISI VE SICAKLIK OLUŞUMU.....	22
4.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	23
BÖLÜM 5	25
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
5.1. DENEY MALZEMESİ.....	25
5.2. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR.....	26
5.3. TAKIM TEZGAHI.....	26
5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ.....	27

	<u>Sayfa</u>
5.5. ISI OLUŞUMUNUN ÖLÇÜLMESİ.....	28
5.6. ENERJİ TÜKETİMİNİN ÖLÇÜLMESİ	29
5.7. DENEY TASARIMI	30
5.4. GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ (GİA).....	30
BÖLÜM 6	32
DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	32
6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	32
6.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN OPTİMİZASYONU	36
6.2.1. S/N Oranı	36
6.2.2. Varyans Analizi (ANOVA)	39
6.2.3. Regresyon Analizi	40
6.3. KESME SICAKLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ	41
6.4. KESME SICAKLIĞININ OPTİMİZASYONU	43
6.4.1. S/N Oranı	43
6.4.2. Varyans Analizi (ANOVA)	46
6.4.3. Regresyon Analizi	46
6.5. ENERJİ TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	47
6.6. ENERJİ TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU	50
6.6.1. S/N Oranı	50
6.6.2. Varyans Analizi (ANOVA)	52
6.6.3. Regresyon Analizi	53
6.7. GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ.....	54
BÖLÜM 7	58
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
7.1. SONUÇLAR	58
7.2. ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.1.	Diğer talaş kaldırma işlemleriyle delik delme işleminin karşılaştırılması.	16
Şekil 4.2.	Delik delme performansı kriterlerini etkileyen faktörler	17
Şekil 4.3.	Çift ağızlı matkap geometrisi	18
Şekil 4.4.	Farklı matkaplara ait uç açılarının gösterimi.....	21
Şekil 4.5.	Farklı matkaplara ait helis açılarının gösterimi.....	22
Şekil 4.6.	İşleme esnasında ısının oluşumu.	23
Şekil 4.7.	Ortalama yüzey pürüzlülüğü çizgi sistemi (Ra, Rq)	24
Şekil 5.1.	Deney numunesinin teknik resmi.....	25
Şekil 5.2.	Deneylerde kullanılan matkapların teknik bilgileri ve görüntüleri.	26
Şekil 5.3.	Deneysel çalışmalarda kullanılan CNC dik işleme merkezin görüntüsü.27	
Şekil 5.4.	Deneysel çalışmalarda kullanılan yüzey pürüzlülük cihazının görüntüsü.....	28
Şekil 5.5.	Deneysel çalışmalarda kullanılan a) Data logger, b) Isıl-çift.....	29
Şekil 5.5.	Deneysel çalışmalarda kullanılan a) Lutron DW-6095-3 faz güç analizörü, b) Akım probu (CP-1201).	29
Şekil 6.1.	Kesme hızının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi.	33
Şekil 6.2.	İlerleme miktarının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	34
Şekil 6.3.	Matkap helis açısının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi.	34
Şekil 6.4.	Matkap üzerinde meydana gelen BUE görüntüsü. (15° helis açısı, 40 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı).....	36
Şekil 6.5.	Yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği.	38
Şekil 6.6.	Yüzey pürüzlülüğü değerleri ile tahmini değerlerin karşılaştırılması.	40
Şekil 6.7.	Kesme hızının kesme sıcaklığına etkisi.	41
Şekil 6.8.	İlerleme miktarının kesme sıcaklığına etkisi.....	42
Şekil 6.9.	Helis açısının kesme sıcaklığına etkisi.....	43
Şekil 6.10.	Kesme sıcaklığı için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği.	45
Şekil 6.11.	Kesme sıcaklığı değerleri ile tahmini değerlerin karşılaştırılması.	47
Şekil 6.12.	Kesme hızının ortalama enerji tüketimine etkisi.....	48

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.13. İlerleme miktarının ortalama enerji tüketimine etkisi.....	49
Şekil 6.14. Matkap helis açısının ortalama enerji tüketimine etkisi.	50
Şekil 6.15. Enerji tüketim için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği.	52
Şekil 6.16. Enerji tüketimi değerleri ile tahmini değerlerin karşılaştırılması.	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	10
Çizelge 3.2. Mekanik işlem (dövme) alaşımlarının kodlama sistemi.....	11
Çizelge 5.1. Al-6061-T6 alaşımının kimyasal kompozisyonu.	25
Çizelge 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.....	27
Çizelge 5.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.....	28
Çizelge 5.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.....	30
Çizelge 5.5. Gri ilişkisel analizde kullanılan adımlar ve formüller.....	31
Çizelge 6.1. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ve S/N oranları.....	37
Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.....	38
Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.	39
Çizelge 6.4. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ve S/N oranları.....	44
Çizelge 6.5. Kesme sıcaklığı için S/N yanıt tablosu.....	45
Çizelge 6.6. Kesme sıcaklığı için ANOVA tablosu.	46
Çizelge 6.7. Enerji tüketimi için deney sonuçları ve S/N oranları.	51
Çizelge 6.8. Enerji tüketimi için S/N yanıt tablosu.	52
Çizelge 6.9. Enerji tüketimi için ANOVA tablosu.....	53
Çizelge 6.10. Gri ilişkisel analizde kullanılan kesme parametreleri ve deney sonuçları.	55
Çizelge 6.11. Gri ilişkisel analiz sonuçları.....	56
Çizelge 6.12. Analize göre Ra, T ve SEC için optimum kesme parametreleri seviyeleri.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al : alüminyum

Cu : bakır

Si : silisyum

Mg : magnezyum

Zn : çinko

Ni : nikel

Sn : kalay

Li : lityum

µm : mikrometre

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASA : Aluminium Standard Association (Alüminyum Standartları Birliği)

AA : Alüminyum Alaşımı

S/N : Sinyal/Gürültü

CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarla Sayısal Denetim)

MQL : Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)

VAD : Veri Akış Diyagramları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum, denizcilik ve havacılık, otomotiv, elektrik ve elektronik, ulaşım, bina ve inşaat gibi alanlarda geniş uygulama yelpazesi nedeniyle büyük önem taşıyan malzemelerden olmuştur. Bu malzemenin gelecekteki genel pazar tahminleri, 2018'de 147,2 milyar ABD dolarından 2026'ya kadar 189,8 milyar ABD dolarına yükseleceği şeklindedir. Sadece otomotiv endüstrisinde, bir binek araçtaki ortalama alüminyum içeriği, 1970'lerde 35 kg iken, 2025'te 250 kg'a ulaşacağı ve bazı özel arabaların malzemece ağırlığının %40'ını alüminyum alaşımlarının oluşturacağı beklenmektedir. Ayrıca tipik bir sivil uçağın ağırlığının %80'i alüminyum alaşımlarından oluşmaktadır. Alüminyumun uçak gövdesi tasarımlarındaki rolü; bu malzemenin yorulma performansları, azaltılmış ağırlıkları ve korozyon dirençleri nedeniyle belirli bir dereceye kadar sınırlı kalmıştır. Bununla birlikte, düşük darbe direnci, çevresel koşullara bağlı karmaşık mekanik davranış, yani nem absorpsiyonunun yanı sıra onarım ve geri dönüşüm, alüminyum matrisli kompozitler için önemli bir zorluk olmaya devam etmektedir. Buna bağlı olarak, alüminyum alaşımları, bilinen üretim süreçleri, korozyon direnci, hafifliği ve diğer metallere ve kompozitlere göre düşük maliyetleri nedeniyle havacılık endüstrisinde yapısal bir malzeme olarak halen çekiciliğini sürdürmektedir [1-3].

Alüminyum alaşımlarının işleme parametrelerinin ve metalürjik yapısının işlenebilirliğini etkilediği bilinmektedir. Bihassa alüminyum alaşımlarında ana işlenebilirlik sorunu, işleme sırasında meydana gelen talaşların kesme ortamından uzaklaştırılmasına dayalı olmuştur. Alüminyum alaşımların işlenmesi sırasında kalın, sürekli ve kırılması zor talaşlar meydana gelmektedir. Delme işlemi sırasında talaşın kesici ve kesme bölgesinden uzaklaştırılması ciddi bir seri üretim engeli doğurmaktadır. Ayrıca alüminyum gibi sünek malzemelerin takıma yapışması diğer bir önemli problemdir [4-6].

Talaşlı imalat endüstrisinde uygulanan metal kesme karmaşık bir süreçtir. Bunun için firmaların kaliteyi artırmak ve maliyeti düşürmek için yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi gibi çıktı parametreleri için optimum işleme koşullarının belirlenmesi hayati önem taşımaktadır. Yapılan literatür taramasında; Al 6061-T6 alaşımının farklı matkap geometrilerinde ve kesme parametrelerinde delinmesi sonucu yüzey pürüzlülüğüne, kesme sıcaklığına ve enerji tüketimine etkileri üzerine incelemelerin yeterince yapılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada; Al 5083 alaşımının farklı helis açısına ve uç açısına sahip karbür matkaplarla, kuru ortamda, farklı kesme parametrelerinde delinmesi sonucu matkap geometrisinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne, kesme sıcaklığına ve enerji tüketimine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi açılarından en iyi sonuçlar için optimum matkap geometrisi ve kesme parametrelerinin belirlenmesine yönelik olarak Sinyal/Gürültü (S/N) oranları elde edilmiş, ANAVO ve regresyon Analizi yapılmıştır. Son olarak yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi gibi çıktı parametrelerinin fazla olması ve bunlar için tek bir deney kombinasyonunun olması istendiği için GRİ ilişki analizi yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Talaşlı üretim endüstrisinde temel metal kesme işlemlerinden biri olan delme; başta havacılık, otomotiv, kalıp ve makine imalat endüstrileri olmak üzere birçok uygulama alanında yaygın imalat operasyonları arasında olmuştur. Bunun için delme sırasında kullanılan takım tezgâhları, kesici takımlar (kaplama ve geometri), işlenecek malzeme ve kesme parametreleri üzerine yıllardır araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarla işleme sırasında elde edilen kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi gibi çıktı parametrelerinin en iyi sonuçlarının elde edilmesi için gerekli olduğu tespit edilmiştir. Bunun için tez konusu kapsamında kalan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Chen ve Tsao, JIS SS 400 karbon çeliğinin farklı kaplamalara sahip HSS matkapla delinmesinde matkapların kesme performansını deneysel olarak incelemiştir. Tüm matkaplar için ilerleme miktarının artması ile kuvvetin arttığı ve kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin dar bir aralıkta azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca matkap yan yüzeylerinde artan aşınma miktarlarının olduğunu görmüşlerdir [7].

Kim ve Ahn yaptıkları çalışmada, matkap geometrisi ve kesme şartlarını referans olarak kuvvet ve gerilme analizi yapmıştır. İtme kuvveti ve torkun tahmini için teorik modeller geliştirerek kuvvetlerin tahmini için sonlu elemanlar modeli kullanmışlardır. Eğik kesme için kesici ağzın modelini ve dik kesme içinde radyal ağzın modelini çıkararak itme ve torku kuvvetini deneysel çalışma yapmadan sadece takım geometrilerini dikkate alarak analitik olarak tahmin etmişlerdir. Gerilme analizinde ANSYS yazılımından faydalanmış, elde ettiği sonuçların matkap dizaynında uygulanabilir datalar olduğunu ifade etmişlerdir [8].

Kelly ve Cotterell çalışmalarında değişik kesme sıvılarını en az seviyede kullanmış veya kuru delme yapmıştır. Çalışmasında iş parçası olarak alüminyum alaşım tercih etmişlerdir. Delme sırasında sıcaklık ölçme metodu olarak ise termokapıl kullanmıştır. Termokapıl alüminyum malzemeye gömülerek, kesici takımın dış çapına yaklaşık 0,2 mm kadar yaklaşmış ve delme esnasında kesici takım dış çapında oluşan sıcaklığı, iş parçası sıcaklığını değerlendirmiştir. Ayrıca bitirme yüzeyini ve delinmiş deliğın doğruluğunu da incelemiştir [9].

Nouari ve arkadaşları, alüminyum alaşımı kuru delmede kesici takım aşınmasının deneysel olarak analizini ve optimizasyonunu yapmışlardır. Kesme parametrelerinin delik kalitesine tesirini inceleyerek, alüminyum malzeme için optimal kesme hızının 65 m/dak olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca deliğın ortalama yüzey pürüzlülüğünü, çapak boyunu ve ölçülerdeki sapmaları da kesme parametrelerine bağılı olarak incelemiştir. Ayrıca değişik kaplama türlerinin delik kalitesine tesirini de inceleyen Nouari ve arkadaşları, kaplamaların işleme kalitesini ciddi mahiyette etkilemediğini ortaya koymuştur [10].

Hanyu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmasında alüminyum alaşımı (Al 7075), kuru ve yarı kuru delmede kristalleştirilmiş elmas kaplı takımların etkisini incelemiştir. Bu kaplama türünü de kendi çalışma grupları geliştirmiş olup, geleneksel elmas kaplama ile kristalleştirilmiş elmas kaplama arasındaki farkı görmek için alüminyum malzemeyi her iki kaplama ile delme yapmışlardır. Kuru delmede yüzey pürüzlülüğü açısından, kendi geliştirdikleri kristalleştirilmiş elmas kaplamanın normal elmas kaplamaya göre dört kat daha iyi sonuç verdiğini deneysel olarak kanıtlamışlardır. Deneyde, kullanılan matkap 6 mm çapında olup, kesme hızını 85 m/dak ve ilerlemeyi 0,12 mm/dev olarak seçmişlerdir. Delik derinliğini ise matkabin çapının 3 katı olan 18 mm seçmişlerdir [11].

Batman yaptığı çalışmada, 2011-T6 alüminyum alaşımının delik delme işleminde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkilerinin incelemiştir. Uygulamış olduğu deneyler sonucunda kesme hızının artması sonucunda yüzey pürüzlülüğünün arttığını; ilerme miktarının artmasının aksenal sapmayı arttırdığını; kesme hızının en

yüksek değeri ve ilerme miktarının en yüksek değeri için dairesellikte iyileşme sağlandığını tespit etmiştir [12].

Şencan ve arkadaşları, AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarını iş parçası olarak kullanarak farklı soğutma tekniklerinin delik kalitesine ve matkap ömrüne etkilerini incelemişlerdir. Düşük kesme parametrelerinde en az soğutucu sıvı püskürtme metodunun (MQL), soğutucu hava püskürtme metoduna göre daha kaliteli delik ve daha uzun ömürlü matkap değerlerini sağladığını gözlemlemişlerdir. Fakat kesme parametreleri arttıkça bu farkın azaldığını ve hatta belli değerlerden sonra bir farkı gözlemleyememişlerdir [13].

Mydin ve arkadaşları, Al7075 alüminyum alaşımının delinmesinde soğutucu havanın çapak oluşumuna etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda yüksek ilerleme hızlarında soğutucu hava kullanmanın çapak boyutunu 36% oranında azalttığını gözlemlemişlerdir [14].

Lee ve arkadaşları, 6061-T6 alüminyum alaşımında mikro işlemler sonucu oluşan çapakları incelemişlerdir. Çıkış tarafındaki çapakların durumunu kesme hızının ve ilerleme hızının etkilemediğini tespit etmişler. Kıvrıkcık tipte giriş tarafında oluşan çapağın ise yüksek ilerleme hızlarında arttığını, yüksek kesme hızlarında ise azaldığını tespit etmişlerdir [15].

Simon ve arkadaşları, 6061-T6 alüminyum alaşımının vibrasyon desteği ile delinmesi üzerine çalışma yapmışlardır. VAD modellemesi kullanarak itme kuvvetini simüle etmeye çalışsalar da en fazla 33% doğruluk yakalanmış. Titreşim dolayısıyla matkabın kesme yüzeyinin malzemeye çarptığı gözlenmiş, bu çarpmanın itme kuvvetini simüle etmeyi zorlaştırdığını tespit etmişler. Yine VAD modellemesinde çapak yüksekliğini simüle ederken eksi değerler elde edildiği için başarı sağlanamamış, fakat deneysel metodlarla vibrasyon frekansı arttıkça çapak yüksekliğinin azaldığını tespit etmişlerdir [16].

Zedan ve arkadaşları, Al 6061-T6 alaşımının delinmesinde yağlama ile soğutma metodlarının delik kalitesine etkilerini incelemişlerdir. En az sıvı püskürtme

metodunun (MQL) kuru işleme oranla daha az yüzey pürüzlülüğü sağladığını tespit etmişlerdir. MQL metodu ile delinen malzemelerde çapağın küçüldüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca MQL metodu ile delinen deliklerde yüzeysel sertleşme önemli oranda azaldığını bildirmişlerdir [17].

Kumar ve arkadaşları, Al 6061-T6 alaşımının delinmesi sırasında oluşan itme kuvveti ve torku modelleyerek tahmin etmeye çalışmışlardır. Hazırlanan 3B model standart matkap çeşitlerinin yanı sıra farklı formlardaki matkapların da itme kuvvetini ve torkunu başarılı bir şekilde deneysel sonuçlarına yakın bir şekilde tahmin etmişlerdir [18].

Ravisubramanian ve Shunmugam yaptıkları çalışmada, Al 6061-T6 alaşımında mikro delme işleminde gagalama yöntemini incelemişlerdir. İnce plakalarda sıkıntısız delme gözlemlenirken, parça kalınlığı artıkça matkap kırılmalarını ve deliğin çapakla tıkanması olumsuzluklarını gözlemlemişlerdir. Ayrıca soğutma yöntemlerinin delik kalitesini etkilemediğini tespit etmişlerdir [19].

Safiei ve arkadaşları, Al 6061-T6 alüminyum alaşımının parmak freze ile işlenmesi sırasında en az miktarda püskürtme ile soğutmayı (MQL) ve Taguchi Metodu ile soğutma yöntemi-yüzey kalitesi optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. MQL metodunun işlemeyi önemli oranda iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Kendi deneylerinde en uygun soğutmanın 30° nozul açısı, 30 mm'lik nozul mesafesi ve 1,98 ml/dak akış hızı ile sağlamışlardır [20].

Uddin ve arkadaşları, Al 6061 alaşımının delinmesinde delik kalitesini değerlendirmişlerdir. Devire oranla ilerme hızının delik kalitesini daha fazla etkilediğini beyan etmişlerdir [21].

Seifa ve arkadaşları, Al 6061-T6 alaşımının delinmesinde sırasında Johnson Cook gerilimlerini tespit edebilmek için kesme kenarını incelemişlerdir [22].

Thuan yaptığı çalışmada, geleneksel delme işlemini Al 6061-T6 alüminyum alaşımında deneysel olarak uygulayarak incelemiştir. Deneyler Taguchi Metoduna

göre düzenlenmiştir. Deneyleerde itme kuvvetinin ve delme torkunun diğer parametrelerle oranla delme kalitesini da çok etkilediğini gözlemlemiştir [23].

Dutta ve Majumder yaptıkları çalışmada, Al 6061-T6 alüminyumun delinmesinde plakada çapağı azalmak için optimum delme parametrelerini bulmaya çalışmışlardır. Yüzey yanıt yöntemi kullanmışlardır [24].

Tameemi ve arkadaşları, matkapta kullanılan kaplamanın Al 6061-T6 alüminyum alaşımında açılan delikteki yüzey pürüzlülüğüne ve delik ölçü toleransları üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. TiN kaplı matkaplarda, kaplamanın alaşım ile etkileşime girmesi sonucu en yüksek yüzey pürüzlülüğünü gözlemlemiştirlerdir. Girişteki delik çapı ve dairesellik kaplamaların hepsinde kötü sonuç vermiş. Özellikle TiN/TiAlN kaplı matkaplarda eliptikliğin oldukça fazla olduğunu gözlemlemiştirlerdir [25].

Daha önceki çalışmalarda görüldüğü gibi delme üzerinde yapılan çalışmalarda farklı metallerde matkap ucunun, kesme hızının, helis açısının ve ilerleme miktarının çapak oluşumuna, yüzey pürüzlülüğüne, kesme sıcaklığına ve enerji tüketimine etkileri incelenmiş. Matkap uçlarında ise özellikle kaplamanın yüzey kalitesine etkileri ve çapak boyutlarındaki değişimi üzerine çalışmalar yapılmış. Ayrıca farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarında oluşan yüzey pürüzlülüğü değişimleri de incelenmiştir. Al 6061-T6 alaşımı üzerine yapılan çalışmalarda ise ağırlıklı olarak işlenebilirlik araştırılmış. Özellikle havacılıkta küçük çapta delikler ön planda olduğu için bu boyutlarda delikler işlenirken ilerleme miktarı ve kesme hızının delik kalitesine etkileri incelenmiş. Bu çalışmada ise Al 6061-T6 alaşımının delinmesinde matkap helis açısının ve kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM

3.1. ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ

Demirden sonra en çok mekanik ürünlerde yer alan ve dünyada en fazla bulunan üçüncü metaldir. Alüminyum alaşımlandırma ile mukavemeti artırılarak havacılık, otomotiv ve savunma sanayisinde yaygın olarak kullanılmasıdır. Özellikle alüminyumlar hafifliği, kolay şekillendirilmesi, korozyon direnci, ısı ve elektrik iletkenliği özellikleri bakımından da en çok tercih edilen bir metaldir [26-28]. Ayrıca alüminyum alaşımları; çeliğin yaklaşık üçte biri oranında düşük yoğunluğu nedeni ile bir çok sektörde tercih edilmektedir. Alüminyumun alaşımlarının hafif olması özellikle saf alüminyumun mukavemetinin düşük olması bazı uygulamalar için büyük bir dezavantajdır. Alüminyumlara yapılan alaşımlama işlemi ile yüksek dayanım kazanması ile uzay ve havacılık sektöründe kullanılmaya fırsat vermiştir. Alüminyum malzemelerin elektrik iletkenliğinin iyi olması özellikle ısı iletkenliğinin çeliğin yaklaşık katına ulaşması endüstriyel uygulamalar için farklı tercih sebebi olmuştur. Işığı yüksek oranlarda yansıtması ve bakırdan ağırlığa kıyasla elektrik iletkenliği daha iyi olması da alüminyum malzemelerin olumlu yönlerindedir [29-32]. Kimyasal tepkimeye girme arzusunun yüksek olması alüminyumun doğada saf olarak bulunmasını engellemektedir. Alüminyumun yüzeylerinde oluşabilecek oksit tabakası, oksidasyona karşı yüksek mukavemet sağlamaktadır. Ayrıca bu malzemenin zehirlenme özelliği bulunmadığından gıda endüstrisinde de yaygınlaşmasına yol açmıştır. Kimyasal kompozisyonuna ilave edilen bakır, magnezyum, çinko ve silisyum alaşım elementleri uygulanan ısıl işlemlerde mukavemet artışına yardımcı olur. Ayrıca şekillendirme özelliğinin kolay olması haddeleme, çekme, bükme ve presleme işlemlerinde de kullanılmasına olanak sağlamaktadır [33-36].

3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Metalik özellikleri sayesinde alüminyum, bir çok sektörde uygun ve ekonomik bir malzeme olmuştur. Yumuşak ve demirden üç katı kadar hafif olan alüminyum alaşımlandırma işlemi ile mukavemet bakımından demire yakın bir malzemeye dönüştürülebilmektedir [37]. Alüminyumun sektörde tercih edilmesinin sebepleri aşağıdaki gibidir:

- Alüminyum özgül ağırlığı bakımından demirin üçte birinden düşük olmakla beraber iletkenliği demirin %62'sine ulaşmaktadır.
- Yüksek korozyon dayanımı.
- Plastik şekillendirme özelliği.
- Talaşlı imalata uygunluğu.
- Karmaşık döküm parçaların üretilmesine uygunluğu.

3.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Kodlaması

Alüminyum Standartları Birliği (ASA) tarafından alüminyum alaşımlar; belirlenen üretim metoduna göre döküm ve dövme alüminyum alaşımları olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Bunlarda kendi aralarında ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çizelge 3.1'de alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması gösterilmektedir [34]

3.2.2. Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Döküm yolu ile kum veya metal kalıplarda elde edilen alaşımlardır ve döküm yöntemlerine göre özellikleri değişmektedir. Başta manganez, bakır, çinko ve silisyum gibi metal elementlerle alaşım yapılmaktadır. Deniz motoru gövde ve blokların imalatında, süslemecilikte, mimaride ve korozyona karşı direnç istenen yerlerde silisyum ile alaşımlandırma yapılmaktadır. Manganezle yaptığı alaşımda alüminyuma korozyona karşı üstün özellik kazandırmaktadır. Alüminyuma alaşım elementi olarak çinkonun katılması ağırlık ve sertlik açısından olumlu özellikler kazandırırken korozyona karşı direncini azaltmaktadır [37-38].

Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [34].

Döküm Alüminyum Alaşımları		
Alaşım Serisi	Ana Alaşım Elementi	Isıl İşlem Durumu
1XX.X	Saf Alüminyum (Al)	Uygulanamaz
2XX.X	Bakır (Cu)	Uygulanabilir
3XX.X	Silisyum (Si) + Bakır (Cu) veya Magnezyum (Mg)	Uygulanabilir
4XX.X	Silisyum (Si)	Uygulanabilir
5XX.X	Magnezyum (Mg)	Uygulanamaz
6XX.X	Kullanılmayan Seri	-
7XX.X	Çinko (Zn)	Uygulanabilir
8XX.X	Kalay (Sn)	Uygulanamaz
Dövme Alüminyum Alaşımları		
Alaşım Serisi	Ana Alaşım Elementi	Isıl İşlem Durumu
1XX.X	Saf Alüminyum	Uygulanamaz
2XX.X	Bakır (Cu)	Uygulanabilir
3XX.X	Mangan (Mn)	Uygulanamaz
4XX.X	Silisyum (Si)	Uygulanamaz
5XX.X	Magnezyum (Mg)	Uygulanamaz
6XX.X	Magnezyum ve Silisyum	Uygulanabilir
7XX.X	Çinko (Zn)	Uygulanabilir
8XX.X	Lityum (Li)	Uygulanabilir

3.2.3. Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarını nitelemek için dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi olan mekanik işlem (dövme) kullanılır. Bu tasarımda ilk rakam ana alaşım elementinin ne olduğunu gösterir. Örneğin, 1XXX serisi saf alüminyumu gösterir (Çizelge 3.2). son iki basamak ise alüminyumun saflığını ifade eder. İkinci basamak orijinal alaşımın modifikasyonunu veya safsızlık (impurite) sınırlarını gösterir. Çizelge 3.2’de alüminyum alaşımları için mekanik işlem (dövme) grupları gösterilmiştir [37-38].

Çizelge 3.2. Mekanik işlem (dövme) alaşımlarının kodlama sistemi [39].

Alaşım	Açıklama
1XXX	Saf alüminyum.
2XXX	Ana alaşım elementi bakır olan alüminyum alaşımları, özellikle magnezyum gibi diğer elementlerde belirtilebilir.
3XXX	Ana alaşım elementi mangan olan alüminyum alaşımları.
4XXX	Ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımları.
5XXX	Ana alaşım elementi magnezyum olan alüminyum alaşımları.
6XXX	Başlıca alaşım elementleri magnezyum ve silisyum olan alüminyum alaşımlar.
7XXX	Ana alaşım elementi çinko olan alüminyum alaşımları, ancak bakır, magnezyum, krom ve zirkonyum gibi elementler belirtilebilir.
8XXX	Kalay ve biraz lityum içeren alüminyum alaşımları.
9XXX	Gelecek uygulamalar için saklı kalmıştır.

3.2.3.1. 1XXX Serisi

İçeriğinde %99 alüminyum içeren saf alüminyum 1XXX şeklinde gösterilir. Korozyon direnci, şekillendirilebilirlik ve elektrik iletkenliği gibi özellikleri iyidir. 1XXX serisinin son iki rakamı, %99 değerinin virgülden sonraki kısmını belirlemede kullanılır. Örneğin, 1100 malzemesinin alüminyum oranı %99, 1050 malzemesinin alüminyum oranı %99,50 ve 1070 alüminyum malzemesinin ise %99,70 alüminyum içerdiğini göstermektedir. Kimya ve elektrik endüstrilerinde yaygın olarak tercih edilen bir seridir [33,36,40].

3.2.3.2. 2XXX Serisi

2XXX serisinde bakır ana alaşım elementi olarak kullanılmakla birlikte magnezyumda bulundurmaktadır. Yüksek mukavemet ve düşük yoğunluğa sahip olması bu serinin havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasına neden olmaktadır. 2017 serisi ilk çökeltme sertleştirilmesi uygulanan seridir. 2XXX serisine eklenen magnezyum çökeltme sertleştirilmesi mekanizmasını hızlandırarak mukavemetini de yükseltmektedir. %12'ye kadar bakırın eklenmesi dayanımını yükseltirken bu oranın artırılması malzemenin gevrekliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu grupta endüstriyel ürünlerde en yaygın yer alanı 2024 alüminyum serisidir. Bu seri;

alüminyum malzeme içerisinde %4,5 bakır, %1,5 magnezyum ve %0,6 oranında mangan ihtiva etmektedir [41,42].

3.2.3.3. 3XXX Serisi

3XXX serisinde ana alaşım elementi olarak mangan bulunmaktadır. Bu seri yaygın olarak boru üretiminde, sıvı tankerlerin üretiminde ve mimaride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu seriye %12 oranına katılan mangan mukavemeti artırmaktadır. 3003, 3004 ve 3105 serilerinin işlenebilme yeteneğinin ve korozyon direncinin yüksek olması nedeni ile mimari uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir [43,44].

3.2.3.4. 4XXX Serisi

4XXX serisinin ana alaşım elementi silisyumdur. Düşük ısıl genleşme katsayısı, korozyon direnci ve aşınma mukavemeti yüksek alaşımdır. Bu seriye silisyumun eklenmesi ergime noktasını aşağıya çekerken lehimlenme ve kaynak kabiliyetini yükseltmektedir. Döküm yöntemiyle üretilmesine olanak sağlamak için akıcılığı artıran silisyum eklenmektedir. 4043 alaşımı dolgu ve kaynak teli olarak da ticari ürün tipleri bulunmaktadır. Vites kutusu ve motor bloklarının imalatı için yüksek miktarlarda silisyum katılmaktadır. Ayrıca piston imalatında kullanılması için nikel gibi alaşım elementleri de katılmaktadır [36,45].

3.2.3.5. 5XXX Serisi

Magnezyum bu seride ana alaşım elementidir. 5XXX seriye katılan magnezyum oranının artırılması sertliği ve mukavemeti artırırken sünekliliğin azalmasına neden olmaktadır. Yüksek korozyon direncine sahip olması denizcilik ve petrol endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmesine yol açmıştır [37, 38, 45].

3.2.3.6. 6XXX Serisi

Magnezyum ile silisyum 6XXX serisinin ana alaşım elementleridir. Ekstrüzyonla üretim işlemlerinde yaygın olarak tercih edilmesi yüksek deformasyon kabiliyetine

sahip olmasındandır. Ana aşalım elementleri çökelleme sertleşmesi ile (Mg₂Si) mukavemet artışını neden olmaktadır [36].

3.2.3.7. 7XXX Serisi

7XXX serisinin ana aşalım elementinin çinko olması ile birlikte magnezyum, zirkonyum ve krom gibi elementleri de içermektedir. Diğer alüminyum serilerine göre daha yüksek mukavemet göstermektedir. Bu serilerin havacılık ve askeri alanlarda yaygın olarak ürüne dönüştürülmesinin ana nedeni yüksek mukavemete sahip olmasıdır. Ayrıca korozyon direnci düşüktür [36,46].

3.2.3.8. 8XXX Serisi

8XXX serisinin ana aşalım elementi lityum iken bunun yanında kalayda eklenmektedir. Yüksek tokluk ve yorulma direnci sayesinde bu seri havacılık ve uzay sanayisinde de ayrıcalıklı yeri bulunmaktadır. Maliyet bakımından diğer serilere göre yüksektir [36,46].

3.3 ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUM MALZEMEYE ETKİLERİ

3.3.1. Bakırın Etkisi

Bakır elementi alüminyumda ilk aşalım elementi olarak kullanılmıştır. Alüminyuma sertlik kazandıran başlıca element bakırdır. Bakır en fazla %12 oranında döküm aşalımında bulunur. Bu miktar mukavemeti artırırken bu oranın üstüne çıkılması alüminyumda gevrek bir yapının oluşmasına neden olur. %3-%5 oranlarında bakır dövme aşalımında tercih edilirken %5 oranını geçmesi mekanik işleme güçlüğü artırılmaktadır. Ayrıca korozyon direnci ile elektrik özelliğinin azaltır. Alüminyum içerisindeki bakırın çözünürlüğü sıcaklık ile artmaktadır. Bünyesinde bakır ihtiva eden alüminyum aşalım ısı işlem ile çökelleme sertleşmesi ile sertliği artırmak mümkündür. Çökelleme işlemi için gerekli olan zaman, kimyasal kompozisyona ve sıcaklıkla ilişkilidir. Çökellenin mekanik özelliğe etkisi çökelen fazın miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlı değişmektedir [37,39,47].

3.3.2. Silisyumun Etkisi

Alüminyumun kimyasal kompozisyonuna bakırın katılmasından sonra en önemli element silisyumdur. Silisyum alüminyumun içerisinde en fazla %13 oranında içermektedir. Bu oranı geçmesi alüminyumun işlenmesini çok zor bir hale getirmektedir. Isıl işleme gören bir alaşım olabilmesi için bakır, nikel ve magnezyum ile birlikte eklenmelidir. Çok yüksek çekme mukavemetine sahip değildirler silisyumun artışı ile mukavemet artışı orantılıdır. Korozyon direnci, akışkanlık ve kaynak kabiliyeti silisyum elementinin katılması ile artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile işlenebilirlik özelliği kazandırılır. Akışkanlık özelliğini artırırken sıcak çatlama eğilimini düşürür. Silisyum bulunduran fazların şekil ve dağılımı mekanik özellikleri belirler. Yüksek mukavemeti küçük ve primer fazlar kazandırır. Çekme mukavemetinin artmasına ancak süneklik, darbe ve yorulma mukavemetinin azalmasına iğne şeklindeki silisyumlu faz neden olmaktadır [37, 39, 47].

3.3.3. Magnezyumun Etkisi

Alüminyum alaşımlarında sünekliliğe, kaynak edilebilirliğe, yüksek korozyon direncine ve yüksek mukavemete magnezyum katkı sağlamaktadır. Dövme alaşımlarında magnezyum %1-%6 aralığındaki oranlarda katılması şekillendirebilme yeteneğinin artırmaktadır [36].

3.3.4. Manganezin Etkisi

Dökülebilirlik yeteneğini artırmak için demir katkısıyla birlikte kullanılmaktadır. Ayrıca metaller arası bileşiklerin özelliklerini değiştirir. Alaşımların tokluk ve süneklilik özelliklerinin artırmakla birlikte işlenebilirlik üzerinde de olumlu etki yaratmaktadır [37,47].

3.3.5. Çinkonun Etkisi

Alüminyuma eklenen çinko yüksek mukavemete sahip Al-Zn alaşımlarının meydana gelmesini sağlar. Bu şekilde alüminyum alaşımlarının haddeleme mukavemeti ile kopma mukavemeti artar. Bu seride temel alaşım elementleri AA 7075 ve AA 7078 dir. Sıcak yırtılmalara çinko elementi neden olurken yetersiz süneklik ve uzama özelliklerin giderilebilmesi için bakır katılmaktadır. Çinko ile birlikte magnezyumunda katılması haddeleme özelliğini artırdığı gibi yüksek çekme ve darbe mukavemeti de kazandırır [37,47,48].

3.3.6. Titanyumun Etkisi

Titanyumun ilave edilmesi yapıda tane küçültücü etkiye neden olur. Mekanik özelliklerde artma ve iyileşme sağlar. Titanyum, alüminyuma %20 oranından fazla katılmaz ve bor ile birlikte kullanılmasıyla daha iyi özellik gösterir. Eklenen titanyum ısıl iletkenliği azalmasına neden olurken sünekliliğin ve çekme mukavemetinin artmasına yol açmaktadır [37].

3.3.7. Demirin Etkisi

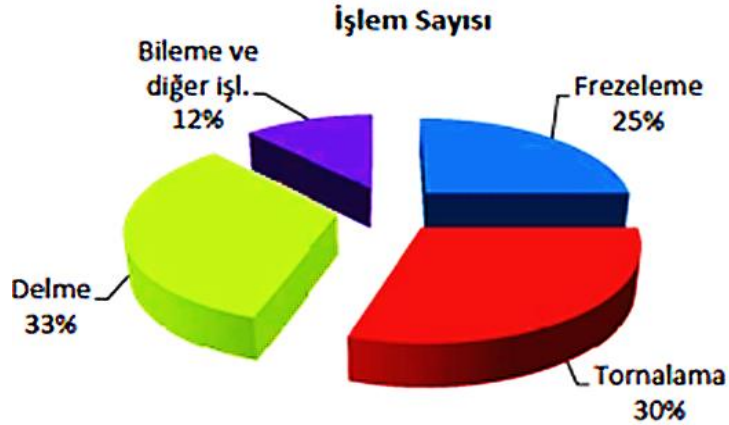
Alüminyum cevheri içerisinde demir doğal olarak bulunmaktadır. Sertlik ve dayanım özelliklerini bazı alüminyum alaşımlarında artırmaktadır. Döküm alaşımlarında sıcak çatlama eğilimini azaltıcı yönde etki etmektedir [37].

BÖLÜM 4

DELİK DELME

4.1. DELİK DELME İŞLEMİ

Delme işlemi, üretim sektöründe yaygın olarak kullanılan talaş kaldırma işlemlerinden biridir. Delik delme işlemi matkap tezgâhı ile birlikte freze ve torna tezgahında da gerçekleştirilmektedir. Bu işlem, diğer talaşlı imalat yöntemlerinin uygulanma sıklığı ile karşılaştırılırsa, ortalama %33'lük oranla diğer talaş kaldırma işlemlerine nazaran daha yaygın olduğu görülmektedir (Şekil 4.1) [6,49].



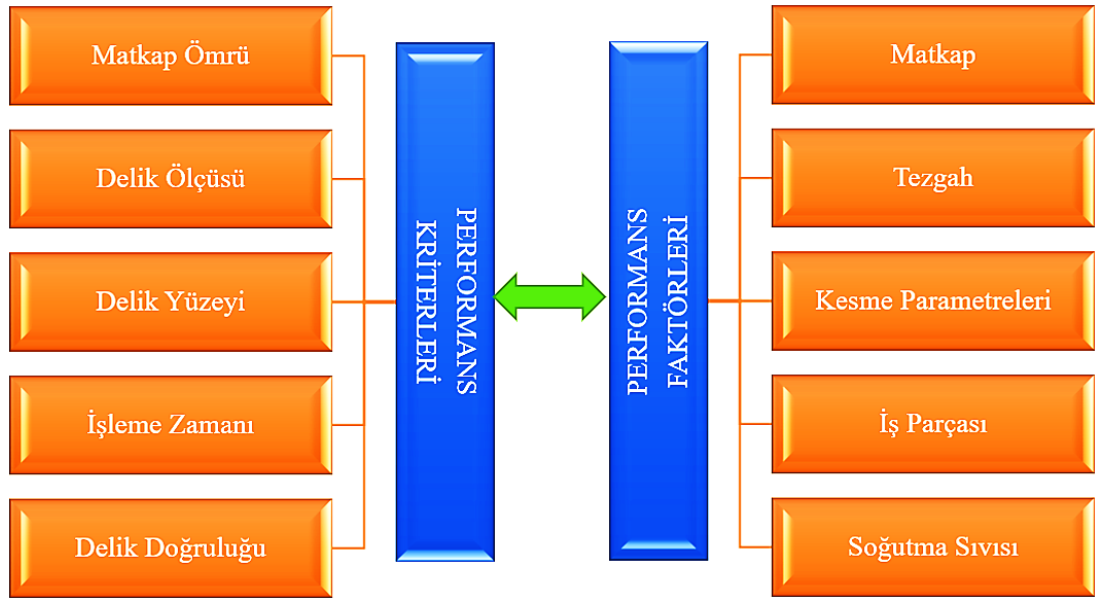
Şekil 4.1. Diğer talaş kaldırma işlemleriyle delik delme işleminin karşılaştırılması [6, 49].

Matkap olarak adlandırılan kesici takımın kendi eksenini etrafında dönerken aynı zamanda matkap eksenini doğrultusunda ilerlemesi ile iş parçasından talaş kaldırarak silindirik boşluk açma işlemi delmedir. Delme işlemi sırasında oluşan talaşın kırılması ve iş parçasından talaşın atılması önemle dikkate alınması gereken bir alt işlemdir. Delme işleminin kontrolünde ve kaldırılacak talaşın atılma zorluğu ve delinecek olan deliğin uzunluğu belirleyicidir. Bu işlemde kesme parametreleri, meydana gelen talaş, sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü gibi çıktı parametrelerinin ölçü tamliğini

etkilemektedir [50]. İmalat uygulamalarının, namlu matkapları hariç tutulursa, neredeyse tamamında kullanılan matkaplar ise helisel matkaplardır [51,52].

4.2. DELİK DELME İŞLEMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Delik delmede işlenebilirlik performansını etkileyen faktörler takım malzemesi, takım geometrisi, soğutma şartları, kesme parametreleri, iş parçasının mikroyapısı, mekanik özellikleri ve takım tezgahının özellikleri gibi sıralanabilir. Bu parametreler diğer talaşlı imalat yöntemlerinde olduğu gibi delme işlemini de performansını da doğrudan etkilemektedir [53, 54]. Delik delme işleminde performans değerlendirme kriterleri; kesici takım ömrü, delik kalitesi (yüzey kalitesi, deliklerde ölçü-şekil doğruluğu) ve talaş kaldırma verimliliği olarak dikkate alınabilir. Şekil 4.2’de bu kriterleri etkileyen faktörler şematik olarak verilmiştir.

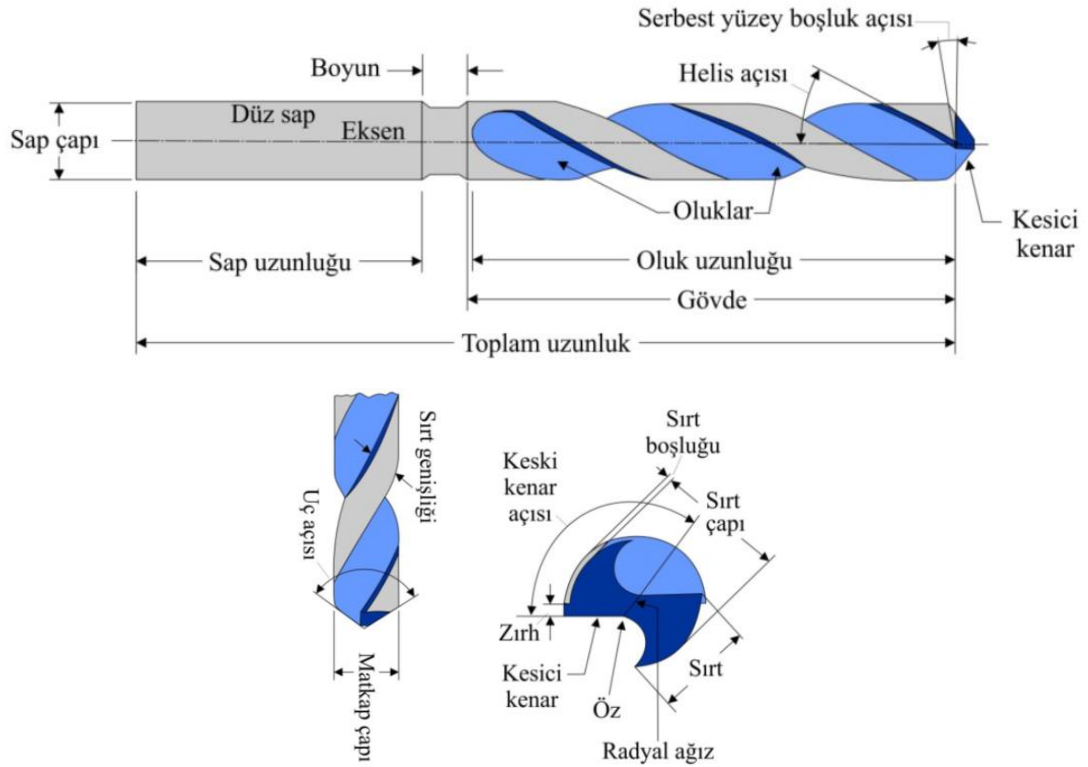


Şekil 4.2. Delik delme performansı kriterlerini etkileyen faktörler [6]

4.2.1. Kesici Takım, Matkap

İş parçası üzerine delik delme işleminde kullanılan kesici takımlar matkaplardır. Matkaplar dönel yapıya ve bir veya birden fazla kesici kenara sahip, talaşın dışarıya atılabilmesi için bir veya daha fazla helisel ve/veya düz kanallara sahip talaş kaldırma takımlarıdır. Matkaplar şekilleri, toleransları ve ölçüleri bakımından çok çeşitlilik

gösterirler. Ayrıca takım malzemesi, boylarına, üzerindeki kanalların sayısı, kesici ucun özellikleri ve sap şekillerine göre de çok çeşitlilik göstermektedirler [6, 52]. Delme işlemini kendi içinde sınıflandırmak mümkündür. Delik boyu / çap oranı 3 ve bu oran daha küçükse kısa delik, bu oran 4 ile 10 arasında ise normal delik eğer bu oran 10'dan büyükse bu deliklere derin delik denmektedir [6]. Genel olarak kullanılan çift ağızlı bir matkabın geometrisi Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Çift ağızlı matkap geometrisi [6].

4.2.2. Delik Delme İşleminde Kesme Parametreleri

Delik delme işleminde takımın dönme ve ilerleme hareketi olmak üzere iki hareketi vardır. Yapılan bu hareketlerin sayısal oranları kesme hızı ve ilerleme miktarı tarafından belirlenir. Bu hareketler, birlikte, takım geometrisince oluşturulacak, kaldırılacak talaş kesitini belirler.

Kesme hızı (V_c)

Delme işleminde takım veya iş parçasının dönme hareketi ana harekettir. Bu hareketi oluşturan fener mili hızı (n) dakikada yapılan devir sayısı olarak adlandırılır. Çevresel hızdan yararlanılarak kesme hızı belirlenmektedir. Matkap çapı (D) iken matkabın bir dönüşü, çevresi $\pi \cdot D$ olan bir daire çizer ve dönme hareketi (n) olur. Buna göre kesme hızı (V_c);

$$V_c = \pi \cdot D \cdot n / 1000 \text{ (m/dak)} \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanır. Delme işleminde kesme hızı çevreden merkeze gidildikçe azaldığı için kesme kenarı matkabın enine kesici kenarda etkin bir şekilde çalışmayacaktır. Matkabın ucunda kesme hızı sıfıra yaklaştığı için matkabın ucu iş parçasını ezmeye başlayacaktır. Bu bölgede negatif kesme açısı ile düşük kesme hızı plastik deformasyona neden olur.

Kesme hızının etkileri;

Takım ömrünün belirlenmesinde temel etken olduğu kadar delme işleminde ihtiyaç duyulan güç tüketimini de etkiler. Yüksek kesme hızı; hızlı serbest yüzey aşınmasına, kesme kenarlarında plastik deformasyona, düşük delik kalitesine ve tolerans dışı sonuçlara yol açabilir [55]. Düşük kesme hızı ise; matkap üzerinde yığıntı talaş oluşumuna, talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine ve delik başına düşük verimliliğe ve yüksek maliyete sebep olur.

İlerleme hızı (V_f)

Matkabın birim zamanda iş parçasında eksen boyunca aldığı yol ilerleme hızı (V_f), ilerleme oranı olarak ifade edilir. Ayrıca bu tezgahın yada tezgah tablasının ilerleme hızı olarak da bilinmektedir. İlerleme hızını hesaplamak için devir başına ilerleme (f), olup, takım veya iş parçasının bir devirdeki ilerlemesidir (Eş. 4.2).

$$V_f = f \cdot n \text{ (mm/dk)} \quad (4.2)$$

İlerleme hızının etkileri;

Talaş oluşumunu belirleyici etkidir ve kesme hızında olduğu gibi güç tüketimini de etkiler mekanik ve termal gerilmelere katkıda bulunur. Yüksek ilerleme hızı; iyi talaş kontrolü, düşük kesme süresi, daha düşük takım aşınması sağlarken; matkap kırılması riskini artırır ve delik kalitesinin kötüleşmesine sebep olur. Düşük ilerleme hızı ise; uzun talaş oluşumu, yüzey kalitesinde iyileşme, takım aşınmasında daha hızlı artış ve daha uzun kesme süresi/delik başına daha yüksek maliyet anlamı taşımaktadır [55].

4.3. MATKAP GEOMETRİSİ VE KISIMLARI

Günümüzde geliştirilen İş Çeliği - WS (Work Steel), Yüksek Hız Çeliği - HSS (High Speed Steel) Set Metal Uç – WC (Wolfram Carbide) ve kaplamalı olmak üzere çok çeşitli matkap kesiciler ticari olarak bulunabilmektedir. Sert metal uç (karbür) matkaplar, sadece delik delme işlemi ile, istenilen boyut ve tolerans aralığında ve istenilen yüzey pürüzlülüğüne yakın kalitede delikler açabilmektedir. Matkaplar etkin kesici ağız sayısına bağlı ve öz kısmında oluşan kesme geometrisi ile talaş kaldırmaktadır [56].

4.3.1. Matkap Ucu Öz ve Kanal Geometrisi

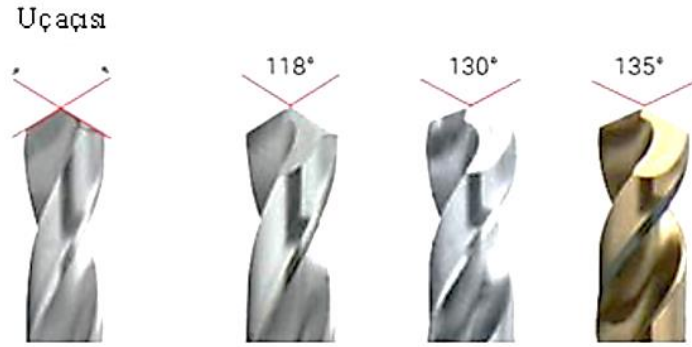
Matkaplardaki çap öz oranı burulma ve eğilme dayanımlarından doğrudan etkilenmektedir. Matkap öz kalınlığı mukavemetle doğrudan ilişkilidir. Delme işlemi sırasında ilerleme kuvvetinin düşürülmesinde matkap özünün et kalınlığı ve delik merkezinde oluşturulan kesme geometrisi önemli bir rol oynar. Silindirik malzemelerden üretilen matkaplarda bilenme sırasında öz kalınlığı, uç kısmından sap kısmına doğru imalatçısınınca belirlenen bir koniklik değerinde artar. Öz kalınlığı matkabın aşınarak körlenmesi sonrası bilenmesi ve matkap boyunun azalmasıyla artar. Matkap öz kalınlığının artması delik konumunun merkezlenmesini ve iş parçasına batmasını zorlaştırmaktadır. Buda delme kuvvetini artırmaktadır [56].

4.3.2. Matkap Kanal Sayısı

Matkaplar genel olarak iki ağızlı üretirler. Fakat işlem maliyeti, istenilen yüzey kalitesi ve matkap çapına bağlı olarak kanal sayısı 1-4 arasında değişiklik göstermektedir. İki ağızlı matkaplarda talaş atımı iyi, üretimi kolay ve ucuzdur. Bu matkaplarda titreşim eğilimi yüksek ancak kesme kuvveti ve delme momenti diğer matkaplara göre düşüktür [56].

4.3.3. Matkap Ucu Uç (Bileme) Açısı

Matkapların bilenerak oluşturulan kesme ağızları arasındaki açıdır (Şekil 4.4). Genel kullanım amaçlı matkaplar 118° uç aşısında bilenir. Matkabın uç açısı; delinecek malzemenin sertliği, özgül kesme direnci, talaş formu, vd. özelliklerine göre belirlenmektedir. İş parçasının sertliği arttıkça matkap uç açısı da artırılır (118° - 140°). Uç açısı arttıkça kesici ağızın uzunluğu azalır. Buda daha düşük kesme kuvveti ve delme momentinin oluşmasını sağlar [56].

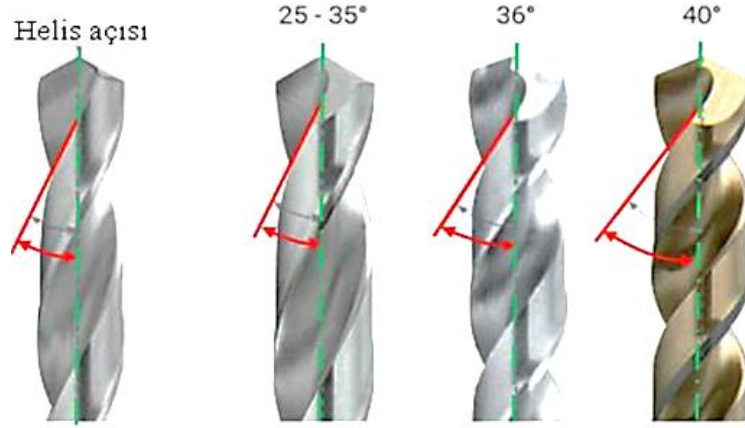


Şekil 4.4. Farklı matkaplara ait uç açılarının gösterimi [56].

4.3.4. Matkap Ucu Helis Açısı

Matkap ucu eksenini ile helisel oluklar arasında kalan açıya helis açısı denir (Şekil 4.5). Matkap helis adımı bu açıya bağlıdır. Matkaptaki kesme ağızlarının talaş açısını ve kama açısını helis açısı belirler. Helis açısı delme sırasında talaş oluşum formunu ve talaşın hızlı tahliyesinin kontrol eder. İş parçasının özelliklerine göre ideal helis açısı

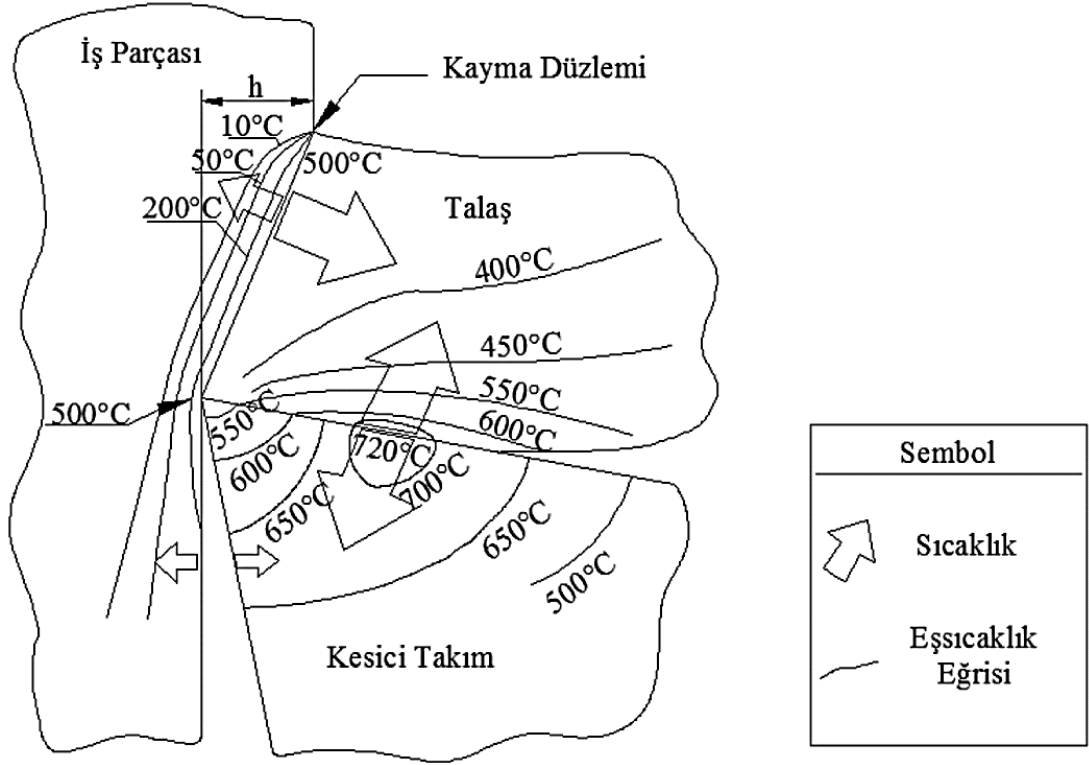
belirlenir. İş parçasının sertliğinin artması ile helis açısının da artırılması önerilmektedir.



Şekil 4.5. Farklı matkaplara ait helis açılarının gösterimi.

4.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ ESNASINDA ISI VE SICAKLIK OLUŞUMU

Talaşlı imalat operasyonlarında güç genellikle ısıya dönüşerek takımın, iş parçasının ve talaşın sıcaklığını yükseltmektedir. Metal kesme işlemlerinde ısının artışı istenmez ve ısının uzaklaştırılması istenir. Kesici takımda oluşan ısının en az seviyeye indirilmesi takım ömrünü artırırken yüzey pürüzlülüğünü de etkilemektedir. Dikey kesme yönteminde kesme işlemi yapan matkabın malzemeye temaslı halde olan kesici kenarında ısı dağılımına bir örnek Şekil 4.6'da gösterilmiştir [52, 57].



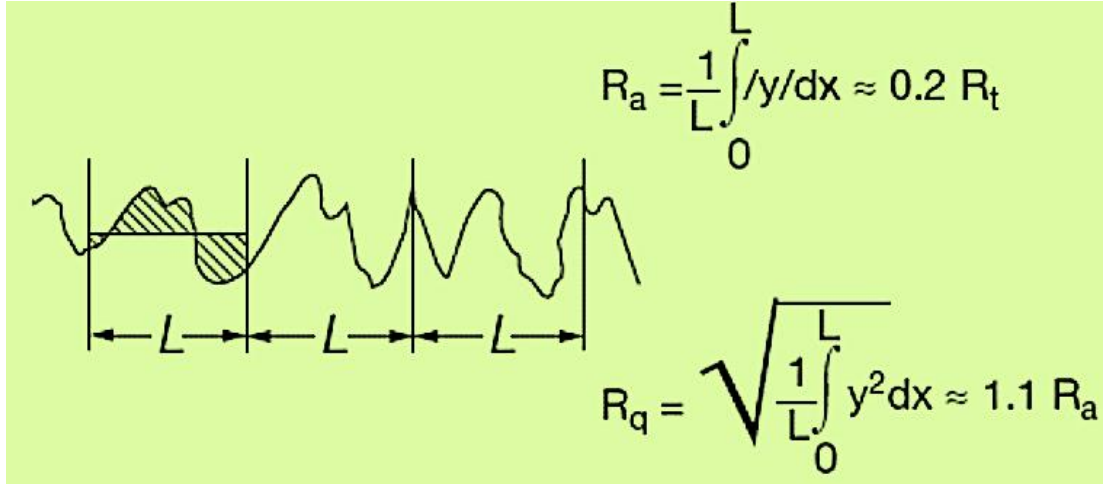
Şekil 4.6. İşleme esnasında ısının oluşumu [52].

Metal kesme işleminde meydana gelen ısı enerjisinin çoğu kayma düzleminde plastik deformasyon enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu oluşmaktadır. Elastik deformasyon toplam deformasyonun küçük bir kısmını oluşturduğundan tüm enerjinin ısıya dönüştüğü kabul edilmektedir. Oluşan ısının çoğu kesme bölgesinde talaş, malzeme, kesici takım ve işlem ortamı tarafından uzaklaştırılmaktadır. Bunlar tarafından uzaklaştırılan ısı miktarı iş parçası malzemesi, işleme parametreleri, kesici takımın malzemesi, takımın geometrisi ve kesme koşullarıyla değişmektedir [52].

4.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey pürüzlülüğü kesici kenar kalitesine, iş parçasının yapısına ve kesme parametrelerine bağlıdır [6, 55]. Diğer bir deyişle yüzey pürüzlülüğü yüzeyin mikro yapısıdır. Yüzey pürüzlülüğü profilometre denilen bir cihazla ölçülür [6]. Ra bir yüzey pürüzlülük göstergesine ait semboldür ve pürüzlülük profilinin orta çizgisinden sapmaların aritmetik ortalamasıdır. Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi birbiri ardınca birkaç L örnekleme uzunluk boyunca meydana gelen tepe ve çukurların oluşturduğu alanların

ortalamasının sonucu olarak belirlenir. Grafikteki R_a değerleri yüzey kalitesinin yetersiz göstergeleridir, yalnızca ortalama sapmayı gösterir ve dalgalılığı içermez. R_t değerlendirilen uzunluk boyunca en büyük tepe-çukur değeridir, yani L örnekleme uzunluğu ise, R_{max} bir L örnekleme uzunluğundaki yüksekliktir [6, 55].



Şekil 4.7. Ortalama yüzey pürüzlülüğü çizgi sistemi (R_a , R_q) [6].

Ortalama çizgi tepe ve çukurlar boyunca merkezi olarak devam eder. Ortalama çizgi, matematiksel olarak çizginin alt ve üstünde yer alan tepe ile çukurları birbirinden alansal olarak ikiye ayırır [6]. R_q bilimsel ölçüm ve istatistiklerde kullanılan ortalama alanı hesaplamasının diğer bir yöntemidir ve ortalama alanların kareleri toplamının karekökünü alma şeklinde ifade edilir.

$$R_a = \frac{a+b+c+d}{4} \quad \text{ve} \quad R_q = \sqrt{\frac{a^2+b^2+c^2+d^2}{4}} \quad (4.3)$$

R_a değerini profilden kaydederek grafiksel olarak belirlemek daha kolaydır. R_a değeri, pürüzlülük ölçüm cihazları genel kullanımda yaygınlaşmadan önce kullanılmaya başlanmıştır. Pürüzlülük parametresi aletsel olarak belirlendiği zaman R_q değeri elektriksel filtrelerdeki faz etkisinin önemsiz olmasından dolayı basitlik avantajına sahiptir [6].

BÖLÜM 5

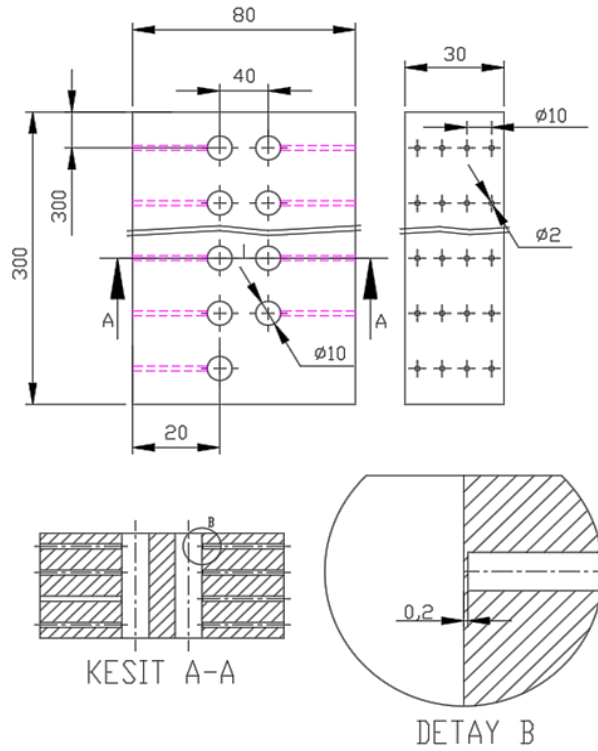
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. DENEY MALZEMESİ

Bu çalışmada savunma sanayi ve havacılık endüstrisinde artan sıklıkta ürün imalatında tercih edilen Al-6061-T6 alaşımı seçilmiştir. Al-6061-T6 alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Al-6061-T6 alaşımının kimyasal kompozisyonu.

Kimyasal Bileşim									
Element	Mg	Si	Cr	Mn	Ti	Cu	Zn	Fe	Al
Ağırlıkça (%)	0,86	0,55	0,19	0,07	0,04	0,32	0,08	0,44	Denge

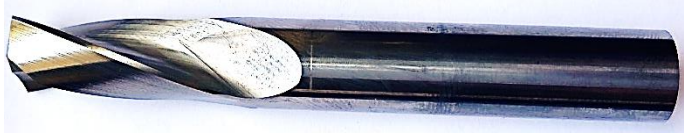
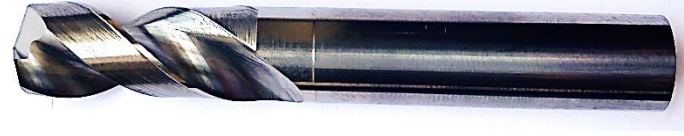



Şekil 5.1. Deney numunesinin teknik resmi.

90x40x310 mm ebatlarında temin edilen Al-6061-T6 alaşımı işlenerek iş parçası ölçüleri 80x30x300 mm boyutlarına getirilmiştir. İş parçasının üzerine deney delikleri ve ısı ölçümleri için termokupl deliklerinin açıldığı temsili resim Şekil 5.1’de sunulmuştur.

5.2. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR

Deneyleerde kullanılacak olan kaplamasız sert metal uç (WC-karbür) matkaplar istenilen uç açısında ve helis açılarında özel olarak üretilmiştir. Matkapların şekilleri ve teknik bilgileri Şekil 5.2’de verilmiştir.

Uç Açısı (°)	Helis Açısı (°)	Matkap Resmi
120	15	
	30	
	45	

Şekil 5.2. Deneyleerde kullanılan matkapların teknik bilgileri ve görüntüleri.

5.3. TAKIM TEZGAHI

Delme Deneyleeri, Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü laboratuvarında bulunan Hanssa YH 1600-A marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. CNC dik işleme merkezine ait Teknik özellikler Çizelge 5.2’de ve tezgah görüntüsü Şekil 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.

Markası	Hanssa YH 1600-A
Tabla ölçüleri (mm)	1800 x 840
Azami iş parçası ağırlığı (kg)	2200
Azami devri (dev/dak)	6000
Magazin kapasitesi (adet)	24
İş mili motor gücü (kW)	18,5
İşletim sistemi	Fanuc OİMD



Şekil 5.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan CNC dik işleme merkezi.

5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

Delinen parçanın yüzey kalitesinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 4.5' teknik özellikleri verilen Mahr Perthometer M1 cihazı kullanılmıştır. Ölçümlere başlamadan önce yüzey pürüzlülük cihazının kalibrasyonu yapılmıştır. Delme sonrası deliklerin delik eksenine paralel olacak şekilde dört ölçümün aritmetik ortalaması hesaplanarak ortalama yüzey pürüzlülükleri belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının Teknik bilgileri Çizelge 5.3'de ve görüntüsü Şekil 5.4'de sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.

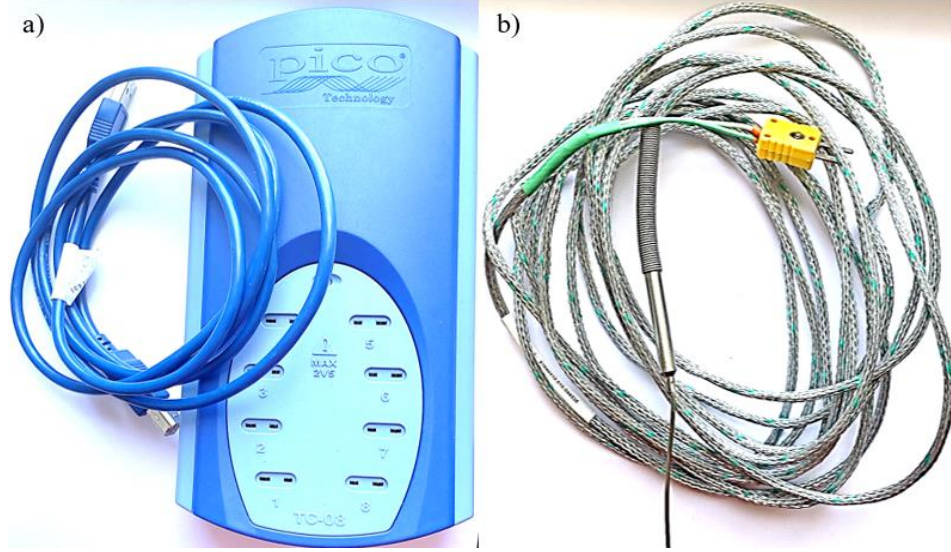
Tarama ucu	2 µm
Tarama boyu	17,5 mm
Ölçüm aralığı	360 µm
Hareket	17,5 mm
Ağırlık	500 g
Ölçüm kuvveti	0,75 mN
Ölçüm metodu	İndüksiyon yöntemi
Kızak yarı çapı	40 mm
Ölçüm uzunluğu	1,75 mm, 5,6mm, 17,5mm



Şekil 5.4. Yüzey pürüzlülük cihazının görüntüsü.

5.5. ISI OLUŞUMUNUN ÖLÇÜLMESİ

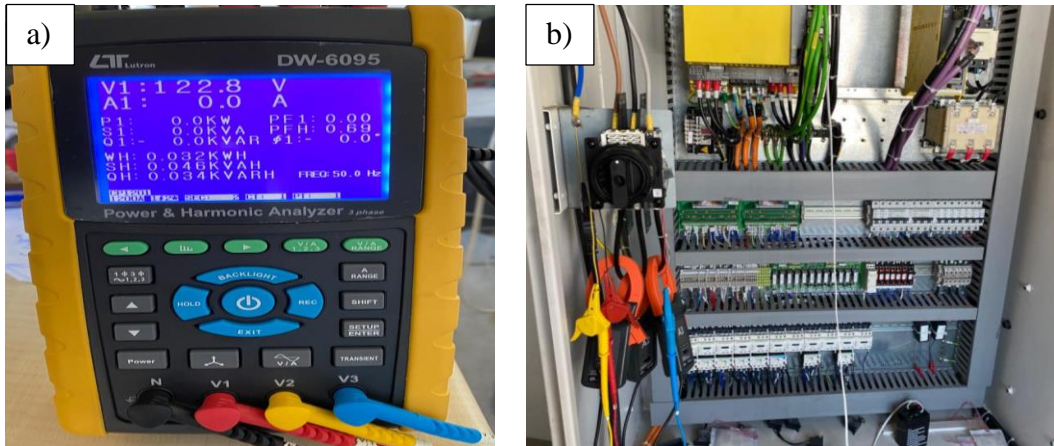
Delme esnasında kesme bölgesindeki sıcaklığı, kesme parametreleri, takım geometrisi, talaş derinliği ve iş parçasının fiziksel özellikleri gibi faktörler etkilemektedir. Delme sırasında matkap ucunda meydana gelen ısının ölçülmesinde -200 °C ile 1200 °C arası ısıyı ölçebilen K tipi bir ısı-çift (termokapıl) kullanılmıştır. Isıl çift 2 mm çapında delik eksenine dik olacak şekilde ve delik yüzeyine 0,2 mm kalacak şekilde delinen deliklere yerleştirilmiştir. Isı ölçümleri sırasında verilerin toplanmasında Pico marka 8 kanallı veri toplayıcı (data logger) tercih edilmiştir. Delme sırasında sıcaklık ölçümlerinde yer alan ısı-çiftin ve data logger'ın resimleri Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan a) Data logger, b) Isıl-çift.

5.6. ENERJİ TÜKETİMİNİN ÖLÇÜLMESİ

Yapılan çalışmada kesme parametrelerinin enerji tüketimine etkisinin ölçülmesinde Şekil 5.6'da verilen Lutron DW-6095-3 faz güç analizörü kullanılmıştır. Tezgahın enerji girişindeki üç faza 3 akım probu (CP-1201) bağlanarak tezgahın boşta çektiği akım ölçülmüştür. Her deney kombinasyonunda delme işlemi gerçekleştirilirken tezgahın tükettiği enerji ölçülmüştür. Delme sırasında ölçülen enerji tüketiminden boşta ölçülen enerji tüketimi çıkarılarak kesme parametrelerinin enerji tüketimine etkisi belirlenmiştir.



Şekil 5.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan a) Lutron DW-6095-3 faz güç analizörü, b) Akım probu (CP-1201).

5.7. DENEY TASARIMI

Taguchi yöntemi, imalat aşamalarında ürün maliyetini ve kalitesine etki eden kesme parametrelerini optimize edilmesinde etkili bir analiz tekniği olarak bilinmektedir. Bu yöntemle ortogonal dizilerle deney sayısını önemli ölçüde azaltılmakta ve zaman kaybını en az seviyeye indirilmektedir. Bu nedenlerden dolayı yapılan çalışmada optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi için Taguchi yöntemi tercih edilmiştir. Taguchi yöntemi ile yapılacak deney tarımı için öncelikle dikkate alınacak girdi parametrelerinin (kesme parametrelerini; helis açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı) ve kalite özelliklerinin (çıkıtı parametreleri; yüzey pürüzlülüğü, ısı oluşumu ve enerji tüketimine) tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma için belirlenen kesme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 5.4'de sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.

Semboller	Kesme Parametreleri	Birimler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Helis Açısı (θ)	($^{\circ}$)	15	30	45
B	Kesme hızı (Vc)	(m/dak)	40	70	100
C	İlerleme Miktarı (f)	(mm/dev)	0,05	0,1	0,15

5.4. GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ (GİA)

Çok yanıtli optimizasyon problemini tek amaçlı bir probleme dönüştürmek için kullanılan Gri ilişki analizi tercih edilmiştir. GİA, başlangıçta, daha az bilgi veya verinin bulunduğu karmaşık bir problemin performansını değerlendirmek için uygun bir prosedür sunmaktadır. İşlenebilirlik çalışmalarında olduğu gibi çok sayıda çıkıtı parametreleri için en uygun kesme koşullarını belirlemek amaçlandığında GİA güvenilir sonuçlar vermektedir. GİA'nin hesaplanmasında aşağıda verilen adımlar izlenmektedir.

Çizelge 5.5. Gri ilişkisel analizde kullanılan adımlar ve denklemler.

Adım	Formüller
1	<p>“n” tane değişkenin oluşturduğu faktör serisi;</p> $x_0 = (x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)) \quad (5.1)$
2	<p>Verilerin normalize edilmesi.</p> <p>En büyük en iyi:</p> $x_i(k) = (x_i^0(k) - \min x_i^0(k)) / (\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)) \quad (5.2)$ <p>Nominal en iyi:</p> $x_i(k) = (x_i^0(k) - x^0) / (\max x_i^0(k) - x^0) \quad (5.3)$ <p>En küçük en iyi:</p> $x_i(k) = (\max x_i^0(k) - x_i^0(k)) / (\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)) \quad (5.4)$
3	<p>x_i serisi ile karşılaştırılacak m tane seri</p> $x_i = (x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)), i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5.5)$
4	<p>Gri ilişkisel katsayısının hesaplanması</p> $\epsilon(x_0(k), x_i(k)) = (\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}) / (\Delta_{0i}(k) + \zeta \Delta_{\max}) \quad (5.6)$ $\Delta_{0i}(k) = x_0(k) - x_i(k) \quad (5.7)$ $\Delta_{\min}(k) = \min_i \min_k x_0(k) - x_i(k) \quad (5.8)$ $\Delta_{\max}(k) = \max_i \max_k x_0(k) - x_i(k) \quad (5.9)$
5	<p>Gri ilişki derecesi</p> $\gamma(x_0, x_i) = 1/n \sum_{k=1}^n \epsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (5.10)$ $\gamma(x_0, x_i) = 1/n \sum_{k=1}^n W_k \epsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (5.11)$

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

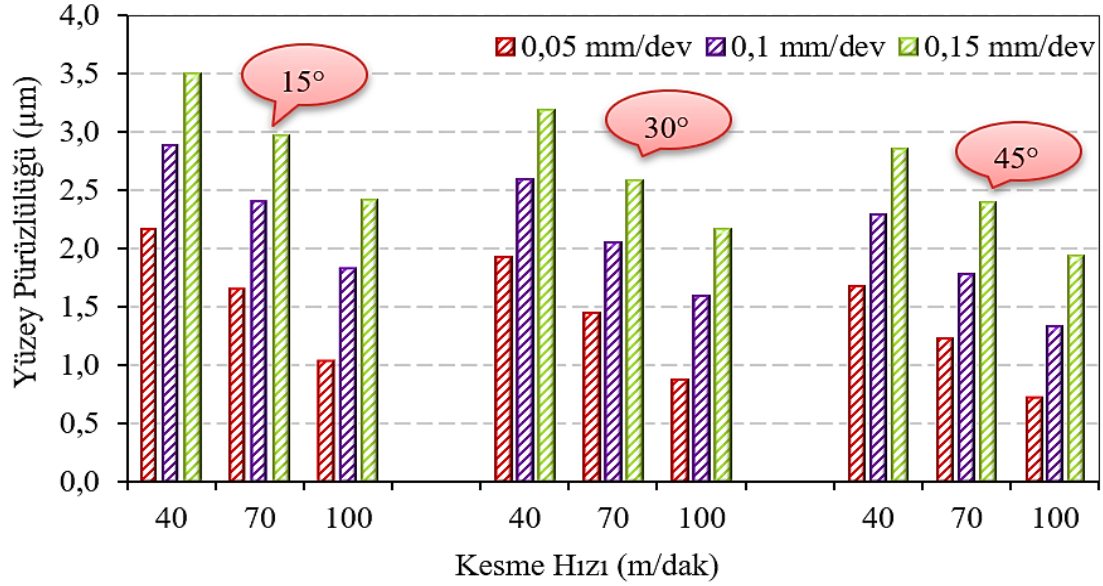
6.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan çalışmada, Al-6061-T6 malzemesinin üç farklı helis açısı (15° , 30° ve 45°), kesme hızı (40 m/dak, 70 m/dk ve 100 m/dak) ve ilerleme miktarında (0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev) delinmesiyle delik yüzeylerinin ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucu kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişimler Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de verilmiştir

Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 incelendiğinde Al-6061-T6 malzemesinin delinmesinde yüzey pürüzlülük değerleri 0,67-3,49 μm arasında değişmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 45° helis açısı, 100 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında 0,67 μm ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 15° helis açısı, 40 m/dk kesme hızı ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 3,49 μm olduğu görülmüştür.

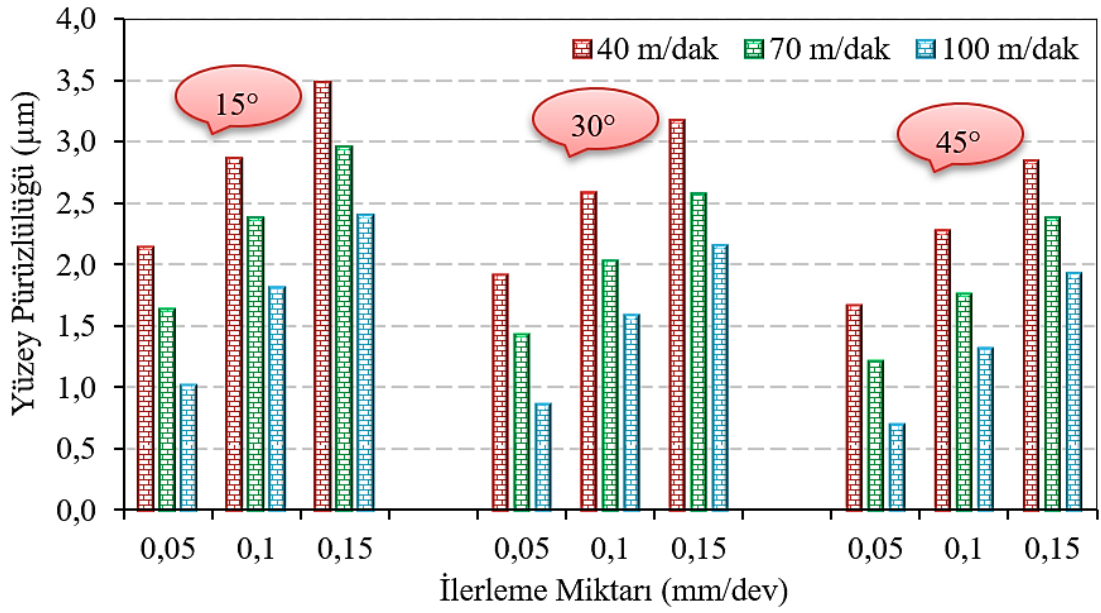
Delme işlemi sonrası kesme hızındaki değişime bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Farklı helis açılarında ve ilerleme miktarlarında kesme hızının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde azalmanın olduğu görülmektedir. Örneğin; 15° helis açısında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 40 m/dk kesme hızında yüzey pürüzlülüğü 2,15 μm ölçülmüştür. 15° helis açısında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının sırası ile 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılması ile ortalama yüzey pürüzlülüklerinde sırası ile %23,72 ve %52,1 oranlarında azalma olmuştur. 30° helis açısında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 40 m/dk kesme hızında yüzey pürüzlülüğü 1,92 μm iken, kesme hızının sırası ile 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla %25 ve %54,7 oranlarında azalma olmuştur. 45° helis açısında, 0,05

mm/dev ilerleme miktarında ve 40 m/dk kesme hızında yüzey pürüzlülüğü 1,67 μm olmuştur. Kesme hızının sırası ile 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde sırası ile ortalama %27 ve %60 oranlarında azalmanın olduğu görülmüştür.

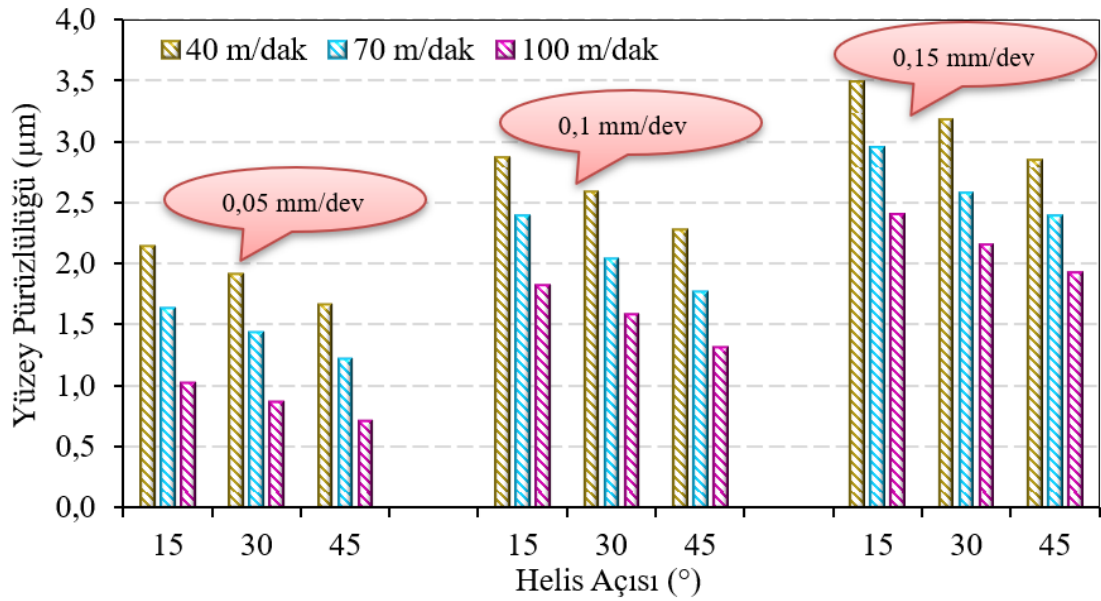


Şekil 6.1. Kesme hızının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Al-6061-T6 malzemesinin delinmesinde ilerleme miktarındaki değişime bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim Şekil 6.2’de verilmiştir. Farklı helis açılarında ve kesme hızlarında ilerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artmanın olduğu izlenmiştir. Örneğin; 15° helis açısında, 70 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğü 1,64 μm ölçülmüştür. 15° helis açısında, 70 m/dk kesme hızında ilerleme miktarının sırasıyla 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev oranlarına çıkarılması ile ortalama yüzey pürüzlülükleri sırasıyla ile %45,73 ve %64 oranlarında azaldığı gözlemlenmiştir. 30° helis açısında, 70 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğü 1,44 μm iken, kesme hızının sırasıyla 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla %41,67 ve %79,17 oranlarında azalma olmuştur. 45° helis açısında, 70 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğü 1,22 μm ölçülmüştür. Kesme hızının sırası ile 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde sırası ile ortalama %18 ve %95,9 oranlarında azalma olmuştur.



Şekil 6.2. İlerleme miktarının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

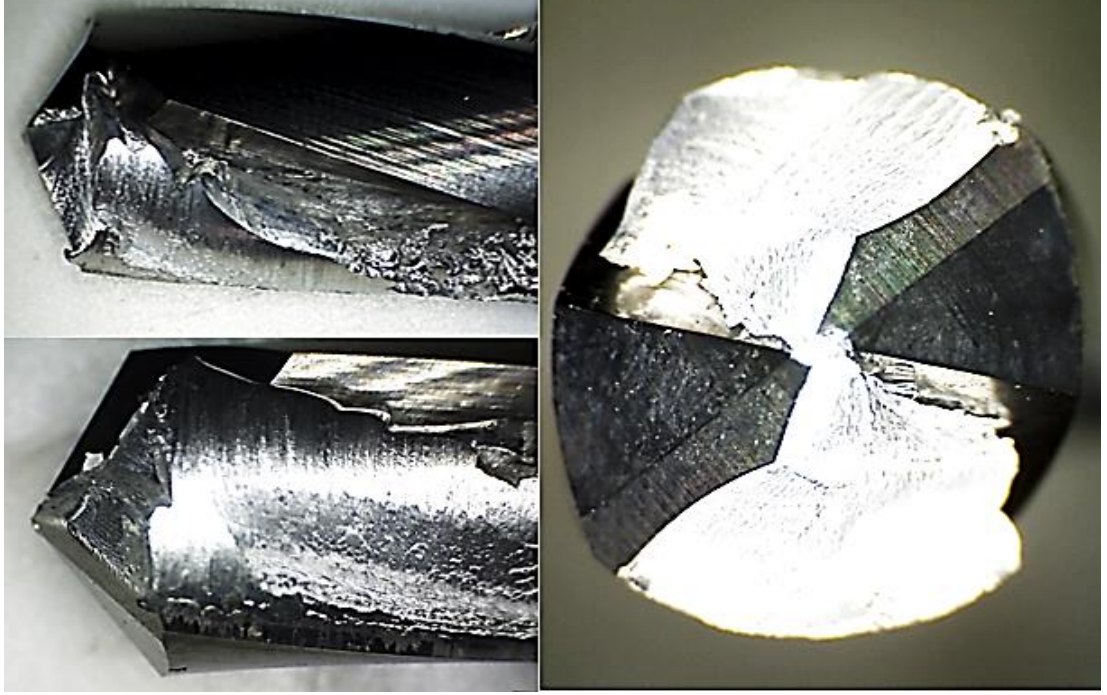


Şekil 6.3. Matkap helis açısının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Al-6061-T6 malzemesinin delinmesinde helis açısının değişime bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim Şekil 6.3' de verilmiştir. Farklı kesme hızlarında ve ilerleme miktarlarında helis açısının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Örneğin; 100 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 15° helis açısında yüzey pürüzlülüğü 1,03 µm ölçülmüştür. Helis açısının 30° ve 45° çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri ortalama %15,54 ve

%31,07 oranlarında azalma olmuştur. 100 m/dk kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15° helis açısında yüzey pürüzlülüğü 1,82 µm olmuştur. Helis açısının 30° ve 45° çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri ortalama %12,64 ve %27,5 oranlarında azalma gözlemlenmiştir. 100 m/dk kesme hızında, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında ve 15° helis açısında yüzey pürüzlülüğü 2,41 µm olduğu görülmüştür. Helis açısının 30° ve 45° çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri ortalama %10,37 ve %20 oranlarında azalma olmuştur.

Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 incelendiğinde genel olarak kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde azalmanın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kesme hızının artması ile kesme bölgesindeki sıcaklık artışı kesme olayını kolaylaştırdığı bilinmektedir. Artan kesme sıcaklığıyla birlikte takım iş parçası temas alanının azalması ile sürtünmenin azalması yüzey pürüzlülüğünü düşüreceği rapor edilmiştir [58]. Talaşlı imalat işlemlerinde bilindiği gibi yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkili parametre ilerleme miktarıdır. Yapılan çalışmanın sonuçlarına bakıldığında genel olarak ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Bunun ana nedeni artan ilerleme miktarı ile birlikte birim zamanda kat edilen yol artmakta buda daha geniş adımla meydana gelen helisel izler daha pürüzlü yüzeylerin oluşmasına neden olmaktadır [59]. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden bir diğer parametre ise matkap geometrisidir. Çalışmada farklı helis açılara sahip matkapların yüzey pürüzlülüğüne etkilerini değerlendirecek olursak. Helis açısının artması yüzey pürüzlülüğünde olumlu etkiler sahip olduğu görülmüştür. Büyük helis açısının çapak oluşumunu azaltmada, talaşların çıkarılmasını iyileştirmede ve kesici kenarda yığılmaya (BUE: Built Up Edge) neden olan malzemelerin matkaba yapışmasını önlemede kolaylık sağlayacağı rapor edilmiştir [60]. Ancak yüzey pürüzlülük grafiklerinde (Şekil 6.1) dikkat çeken bir nokta ise 15° helis açısında, 40 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıktığı görülmüştür. Talaşlı imalat işlemlerinde alüminyum gibi sünekliliği yüksek malzemelerin düşük kesme hızı ve ilerleme miktarında kesici takım üzerinde BUE oluşum eğilimi neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca buna düşük helis açısı da eklendiğinde Şekil 6.4’de görüldüğü gibi matkap helis kanallarında ve matkap ucunda malzeme yığılması/sıvanma yoğun olarak görülmüştür.



Şekil 6.4. Matkap üzerinde meydana gelen BUE görüntüsü. (15° helis açısı, 40 m/dak kesme hız, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı).

6.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN OPTİMİZASYONU

İkinci adımda, farklı helis açılarında, kesme hızında ve ilerleme miktarında yapılan delme deneylerinde delme parametrelerinin optimizasyonu hedeflenmiştir. Bu nedenle Taguchi L27 ortogonal deney tasarımı oluşturularak optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir.

6.2.1. S/N Oranı

Üretim sektöründe talaşlı imalatla şekillendirilen ürünlerin yüzey pürüzlülük değerleri nihai ürünler için en önemli kalite göstergelerinden biridir. Nihai üründe en düşük yüzey pürüzlülüğü ürünün mekanik özelliklerini iyileştireceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, talaşlı imalata maruz kalan ürünlerde en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği kesme parametrelerinin optimizasyonu, işlemin verimliliği için büyük önem arz etmektedir.

Helis açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının değişken kesme parametresi olarak kullanıldığı çalışmada ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri ve bunlara ait S/N oranları Çizelge 6.1’de sunulmuştur. Taguchi yöntemi ile kesme parametrelerinin optimum seviyelerinin bulunmasında S/N oranları kullanılmıştır. İşlenebilirlik üzerine yapılan bu çalışmada yüzey pürüzlülük değerlerinin en düşük değerinin olması arzulandığı için S/N oranlarının belirlenmesinde Eş. 6.1’deki En Küçük En İyi yaklaşımı kullanılmıştır.

Çizelge 6.1. Yüzey pürüzlülüğü için deney sonuçları ve S/N oranları.

Deney No	Helis Açısı (θ) ($^{\circ}$)	Kesme Hızı (Vc) (m/dk)	İlerleme Hızı (f) (mm/dev)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μm)	Yüzey Pürüzlülüğü S/N Oranı (dB)
1	15	40	0,05	2,15	-6,649
2	15	40	0,1	2,87	-9,158
3	15	40	0,15	3,49	-10,857
4	15	70	0,05	1,64	-4,297
5	15	70	0,1	2,39	-7,568
6	15	70	0,15	2,96	-9,426
7	15	100	0,05	1,03	-0,257
8	15	100	0,1	1,82	-5,201
9	15	100	0,15	2,41	-7,640
10	30	40	0,05	1,92	-5,666
11	30	40	0,1	2,59	-8,266
12	30	40	0,15	3,18	-10,049
13	30	70	0,05	1,44	-3,167
14	30	70	0,1	2,04	-6,193
15	30	70	0,15	2,58	-8,232
16	30	100	0,05	0,87	1,210
17	30	100	0,1	1,59	-4,028
18	30	100	0,15	2,16	-6,689
19	45	40	0,05	1,67	-4,454
20	45	40	0,1	2,28	-7,159
21	45	40	0,15	2,85	-9,097
22	45	70	0,05	1,22	-1,727
23	45	70	0,1	1,77	-4,960
24	45	70	0,15	2,39	-7,568
25	45	100	0,05	0,67	3,479
26	45	100	0,1	1,38	-2,798
27	45	100	0,15	1,93	-5,711

$$S/N = -10 \log_{10} (1/n(\sum y^2))$$

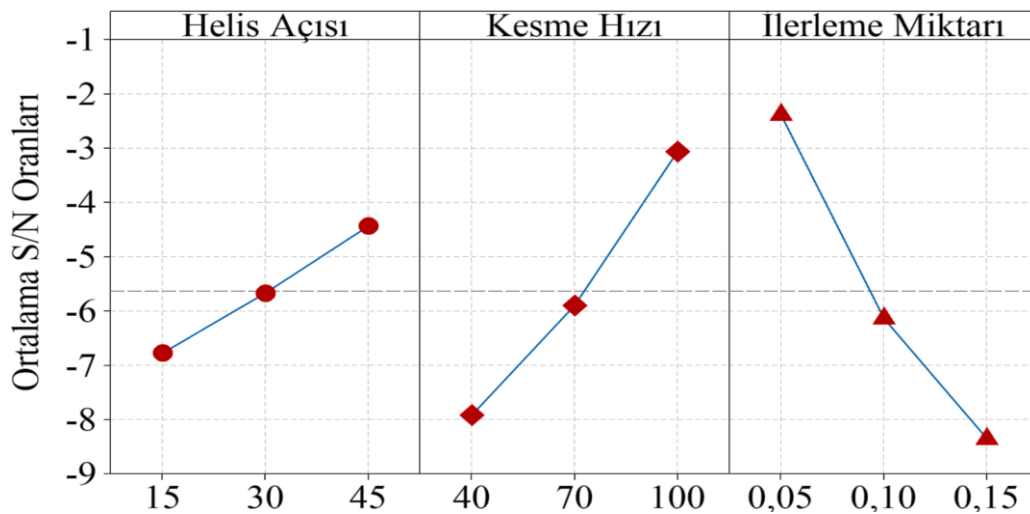
6.1

Delme deneyleri sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra_{ort}) 2,048 μm ve ortalama S/N oranı -5,634 dB olarak tespit edilmiştir.

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini ortaya koymak için S/N yanıt tablosu dikkate alınmaktadır. Bunun için S/N yanıt sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Taguchi yöntemiyle oluşturulan bu tabloda optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri için kesme parametrelerinin optimum değerleri verilmiştir. Kesme parametreleri için en iyi seviyesi, o kesme parametrelerinin tüm seviyeleri içindeki en büyük S/N oranına göre tesbit edilmiştir. Sonuçlara göre en düşük yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin ve seviyeleri sırası ile A3B3C1 olmuştur.

Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu.

Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μm)			
Kesme Parametreleri			
Seviyeler	Helis Açısı	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı
Seviye 1	-6.784	-7.928	-2.392
Seviye 2	-5.676	-5.904	-6.148
Seviye 3	-4.444	-3.071	-8.363
Delta	2.340	4.857	5.971



Şekil 6.5. Yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin s/n oranları ana etki grafiği.

Yüzey pürüzlülüğüne ait S/N oranı grafiği Şekil 6.5’de verilmiştir. Şekil 6.5’te S/N oranının en yüksek olduğu değere bakıldığında optimum yüzey pürüzlülüğü değeri 45° helis açısında (A3), 100 m/dk kesme hızında (B3) ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında (C1) ile elde edildiği görülmektedir.

6.2.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine bütünleşik etkilerini belirlemek için Varyans Analizi (ANOVA) yapılmıştır. Yapılan ANOVA analizi %95 güven seviyesinde ve %5 anlamlılık düzeyinde gerçekleşmiştir. P anlamlılık değeri 0,05’den büyükse deney parametrelerinin bir etkisinin olmadığı kabul edilmiştir. Bağımsız değişken olarak üç farklı helis açısı (15°, 30° ve 45°), kesme hızı (40 m/dak, 70 m/dk ve 100 m/dak) ve ilerleme miktarında (0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev) bağımlı değişken yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerine bütünleşik etkileri elde edilmiştir.

Deneysel olarak kullanılan kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne katkısını değerlendirmek için varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 6.3’de sunulmuştur.

Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı (%)
Helis Açısı	2	1,17616	0,58808	207,72	0,000	9,02
Kesme Hızı	2	4,64109	2,32054	819,66	0,000	35,61
İlerleme Miktarı	2	7,15920	3,57960	1264,38	0,000	54,93
Hata	20	0,05662	0,00283			0,43
Toplam	26					100

Yüzey pürüzlülüğü için R-sq değerleri sırası ile %99,57 olarak hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en yüksek etkiye %54,93 ile ilerleme miktarı ve bunu sırası ile %35,61 ile kesme hızı ve %9,02 helis açısının sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 6.3).

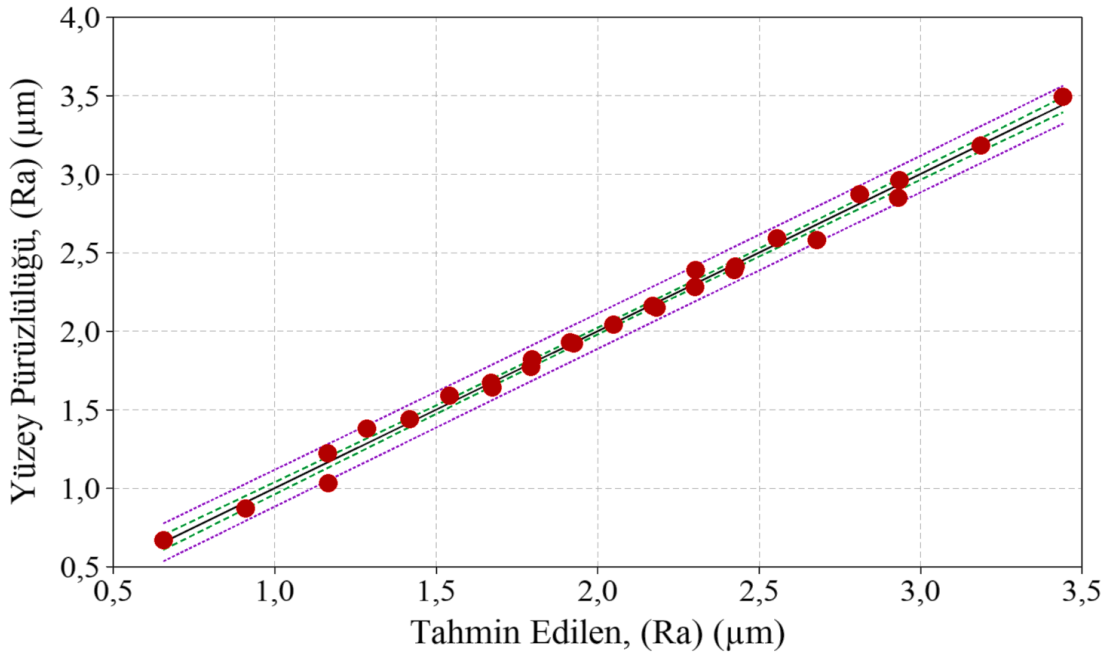
6.2.3. Regresyon Analizi

Kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkinin matematiksel bir deklemler şeklinde yazılması regresyon analizi ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada kesme parametreleri helis açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı iken bağımlı değişken yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü için yapılan regresyon analizi ile elde edilen tahmini lineer denklem Eş 6.2’de verilmiştir.

$$Ra (\mu\text{m}) = 2,4837 - 0,017037 \theta - 0,016926 Vc + 12,6 f \quad (6.2)$$

$$R^2 = \%99,45 \quad R^2 (\text{Düzeltilmiş}) = \%99,37$$

Lineer regresyon modeli ile yüzey pürüzlülüğü için gerçek deney sonuçları ile tahmini değerlerin kıyaslanması Şekil 6.6’da verilmiştir. Gerçek deney sonuçları ile tahmin edilen değerler arasında kabul edilebilir ve mantıklı bir uyumun olduğu Şekil 6.6’da görülmektedir. Lineer regresyon modeli ile yüzey pürüzlülüğü için elde edilen $R^2=99,45$ olarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü için ulaşılan lineer regresyon denkleminin R^2 değerinin yüksek olması, kesme parametrelerinin etkileşimlerinin tahmin gücüne etkisinin doğruluğunu da göstermektedir.

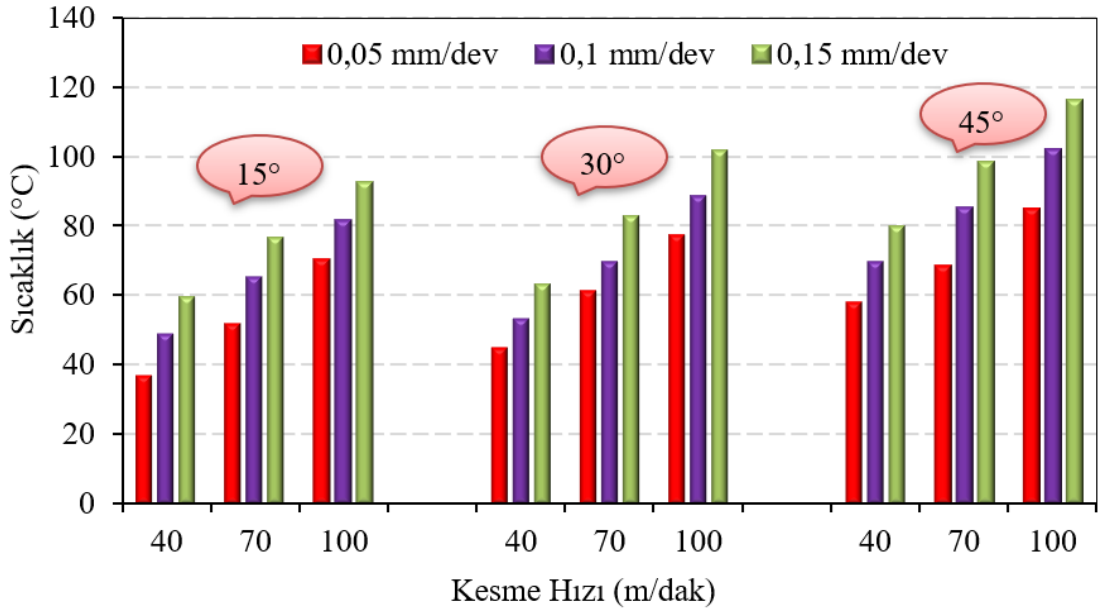


Şekil 6.6. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ile tahminideğerlerin karşılaştırılması.

6.3. KESME SICAKLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu bölümünde, Al-6061-T6 malzemesinin üç farklı helis açısı (15°, 30° ve 45°), kesme hızı (40 m/dak, 70 m/dk ve 100 m/dak) ve ilerleme miktarında (0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev) delinmesi sırasında ortalama kesme sıcaklığı (°C) ölçülmüştür. Delme sırasında kesme parametrelerine bağlı kesme sıcaklığındaki değişimler Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'daki çubuk grafiklerinde sunulmuştur.

Deney sonuçlarına göre kesme sıcaklığı değerleri 36,21 °C ile 116,19 °C arasında değişmiştir. Delme sırasında ölçülen kesme sıcaklığına kesme hızındaki değişim etkisi Şekil 6.7'de verilmiştir. Şekil 6.5'de 15° helis açısında 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 40 m/dak kesme hızında kesme sıcaklığı 36,21 °C ölçülmüştür. Kesme hızının sırası ile 70 m/dak ve 100 m/dak çıkarılması ile kesme sıcaklığında %41,23 ve %92,82 oranlarında artma olduğu görülmüştür. 30° helis açısında, 0,1 mm/dev ilerleme miktarının ve 40 m/dak kesme hızında yapılan deneyde kesme sıcaklığı, 52,67 °C olmuştur.

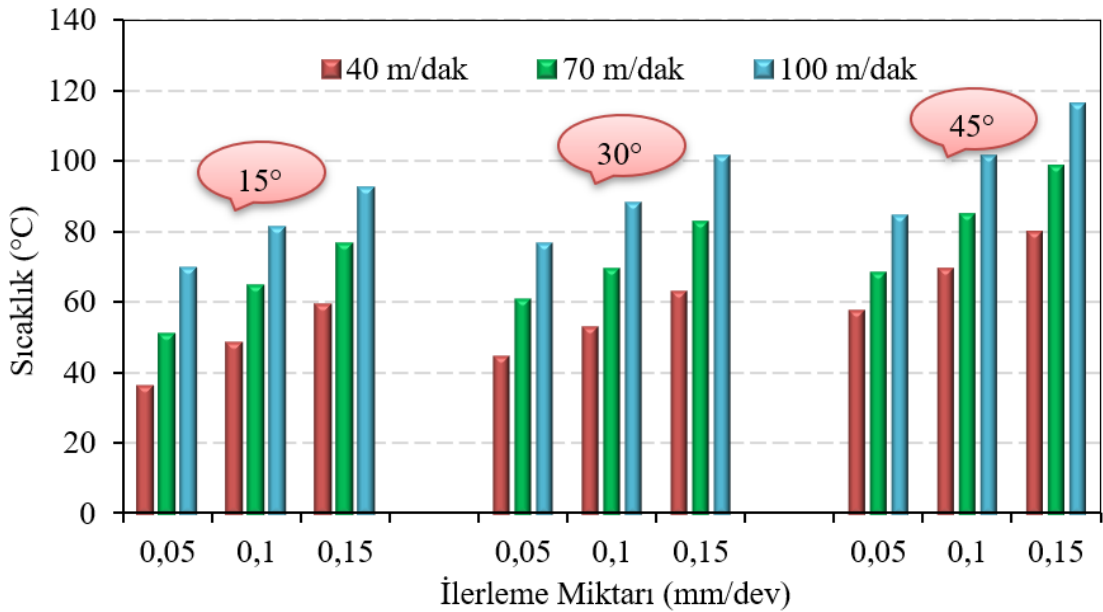


Şekil 6.7. Kesme hızının kesme sıcaklığına etkisi.

Kesme hızının 70 m/dak ve 100 m/dak değerlerine çıkarılmasıyla kesme sıcaklıklarında %31,50 ve %67,8 oranlarında artma olduğu tesbit edilmiştir. 45° helis

açısında, 0,15 mm/dev ilerleme miktarının ve 40 m/dak kesme hızında yapılan deneyde kesme sıcaklığı 79,82 °C olur iken, kesme hızının 70 m/dak ve 100 m/dak çıkarılmasıyla kesme sıcaklıklarında %23,4 ve %45,6 oranlarında artma olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak üç farklı helis açısında ve üç farklı ilerleme miktarında kesme hızının artması ile kesme sıcaklığının arttığı görülmüştür.

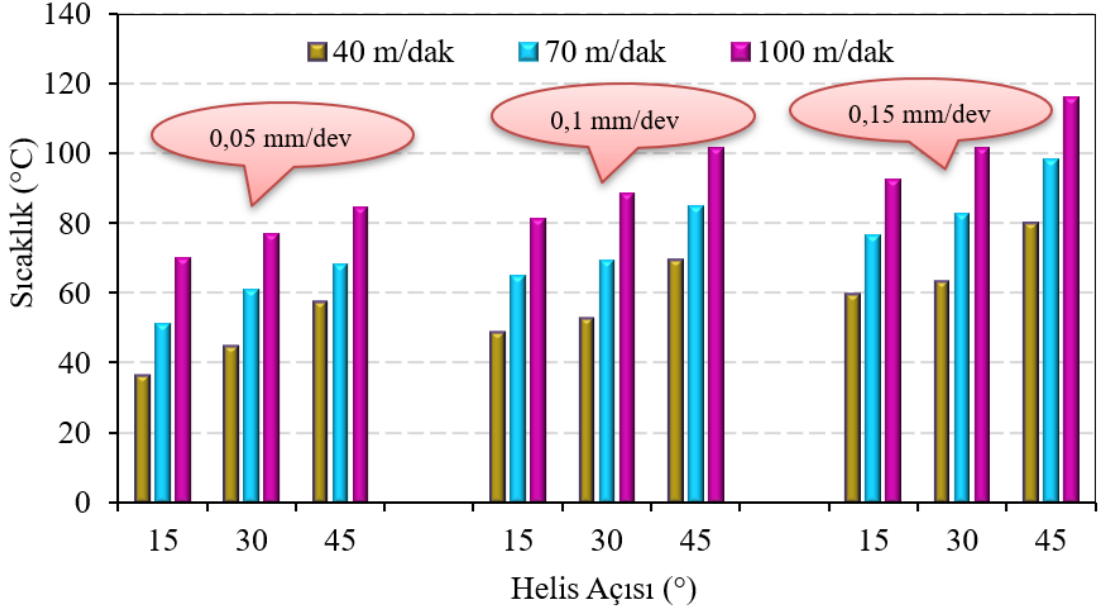
Al-6061-T6 malzemesinin delinmesinde kesme sıcaklığına ilerleme miktarındaki değişimin etkisi Şekil 6.8’de görülmektedir. 15° helis açısında, 40 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında en düşük kesme sıcaklığı 36,21 °C ölçülmüştür. Aynı helis açısında ve kesme hızında ilerleme miktarının 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev çıkarılması ile kesme sıcaklığında sırası ile %33,85 ve %63,93 oranlarında artma olmuştur. 45° helis açısında, 100 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 116,19 °C ile en yüksek kesme sıcaklığı ölçülmüştür. 15°, 30° ve 45° helis açısında ve 40-70-100 m/dak kesme hızlarında yapılan deneylerde ilerleme miktarının artması ile kesme sıcaklığının arttığı Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6.8. İlerleme miktarının kesme sıcaklığına etkisi.

Delme deneyleri sırasında farklı matkap helis açılarının kesme sıcaklığına etkisi Şekil 6.9’ da verilmiştir. Şekil 6.9’da 70 m/dak kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 15° helis açısında kesme sıcaklığı 51,14 °C olarak ölçülmüştür. 70

m/dak kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında helis açısının 30° ve 45° çıkarılması ile kesme sıcaklığında sırası ile %19,1 ve 33,4 oranlarında artış olmuştur. Helis açısındaki artışa bağlı kesme sıcaklığındaki artış diğer kesme hızlarında ve ilerleme miktarlarında da görülmüştür.



Şekil 6.9. Helis açısının kesme sıcaklığına etkisi.

6.4. KESME SICAKLIĞININ OPTİMİZASYONU

6.4.1. S/N Oranı

Al-6061-T6 malzemesinin üç farklı helis açısı (15°, 30° ve 45°), kesme hızı (40 m/dak, 70 m/dk ve 100 m/dak) ve ilerleme miktarında (0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev) delinmesiyle gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen kesme sıcaklığı değerleri ve S/N oranları Çizelge 6.4' te verilmiştir. Deneyler sırasında ölçülen kesme sıcaklıklarının ortalaması (T_{ort}) 73,33 °C ve ortalama S/N oranı -36,9979 dB olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4. Kesme sıcaklığı için deney sonuçları ve S/N oranları.

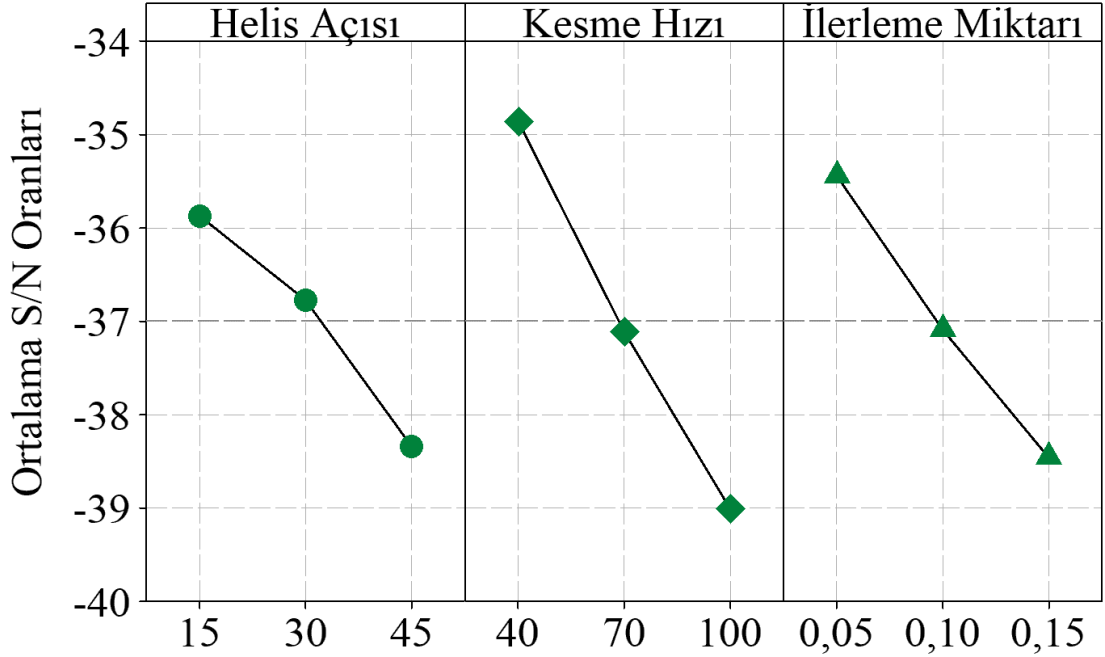
Deney No	Helis Açısı (θ) ($^{\circ}$)	Kesme Hızı (Vc) (m/dk)	İlerleme Hızı (f) (mm/dev)	Kesme Sıcaklığı (T) ($^{\circ}$ C)	Kesme Sıcaklığı S/N Oranı (dB)
1	15	40	0,05	36,21	-31,177
2	15	40	0,1	48,47	-33,710
3	15	40	0,15	59,36	-35,470
4	15	70	0,05	51,14	-34,175
5	15	70	0,1	64,72	-36,221
6	15	70	0,15	76,64	-37,689
7	15	100	0,05	69,82	-36,880
8	15	100	0,1	81,32	-38,204
9	15	100	0,15	92,44	-39,317
10	30	40	0,05	44,51	-32,969
11	30	40	0,1	52,67	-34,431
12	30	40	0,15	62,93	-35,977
13	30	70	0,05	60,91	-35,694
14	30	70	0,1	69,26	-36,810
15	30	70	0,15	82,68	-38,348
16	30	100	0,05	76,78	-37,705
17	30	100	0,1	88,34	-38,923
18	30	100	0,15	101,52	-40,131
19	45	40	0,05	57,36	-35,172
20	45	40	0,1	69,37	-36,823
21	45	40	0,15	79,82	-38,042
22	45	70	0,05	68,22	-36,678
23	45	70	0,1	84,76	-38,564
24	45	70	0,15	98,47	-39,866
25	45	100	0,05	84,46	-38,533
26	45	100	0,1	101,54	-40,133
27	45	100	0,15	116,19	-41,303

Kesme sıcaklığı üzerine etki eden kesme parametrelerinin önem sırasını gösteren S/N yanıt tablosu Çizelge 6.5’de verilmiştir. Çizelge 6.5’de en düşük kesme sıcaklığı için optimum kesme parametrelerini göstermektedir. Kesme parametreleri için en iyi seviyesi o kesme parametrelerinin tüm seviyeleri içindeki en büyük S/N oranına göre tesbit edilmiştir. Buna göre en düşük kesme sıcaklığı için kesme parametrelerinin ve seviyeleri sırası ile A1B1C1 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.5. Kesme sıcaklığı için S/N yanıt tablosu.

Kesme Sıcaklığı (T) (°C)			
Kesme Parametreleri			
Seviyeler	Helis Açısı	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı
Seviye 1	-35,87	-34,86	-35,44
Seviye 2	-36,78	-37,12	-37,09
Seviye 3	-38,35	-39,01	-38,46
Delta	2,47	4,15	3,02

Şekil 6.10'da kesme sıcaklığı için S/N oranı grafiği görülmektedir. S/N oranı grafiğinde en yüksek seviyeler kesme parametrelerinin optimum seviyeleridir. Şekil 6.8'deki en yüksek S/N oranları dikkate alındığında optimum kesme sıcaklığı değeri 15° helis açısı (A1), 40 m/dak kesme hızı (B1) ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında (C1) elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6.10. Kesme sıcaklığı için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği.

6.4.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı üzerine etki düzeylerini belirlemek için ANOVA analizi, %95 güven seviyesinde yapılmıştır. Çizelge 6.6'da kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı üzerine katkısı verilmiştir. Çizelgedeki katkı oranları kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı önem derecesini belirtmektedir.

Çizelge 6.6. Kesme sıcaklığı için ANOVA tablosu.

Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı (%)
Helis Açısı	2	1870,56	935,28	208,04	0,000	19,24
Kesme Hızı	2	5058,84	2529,42	562,63	0,000	52,02
İlerleme Miktarı	2	2704,59	1352,30	300,80	0,000	27,81
Hata	20	89,91	4,50			0,92
Toplam	26					100

Çizelge 6.6'deki sonuçlar dikkate alındığında kesme sıcaklığı için en etkin kesme parametresi %52,02 ile kesme hızı olduğu görülmektedir. Bunu sırası ile en etkin kesme parametresi sırasıyla %27,81 ile ilerleme miktarı ve %19,24 ile helis açısı olduğu görülmektedir.

6.4.3. Regresyon Analizi

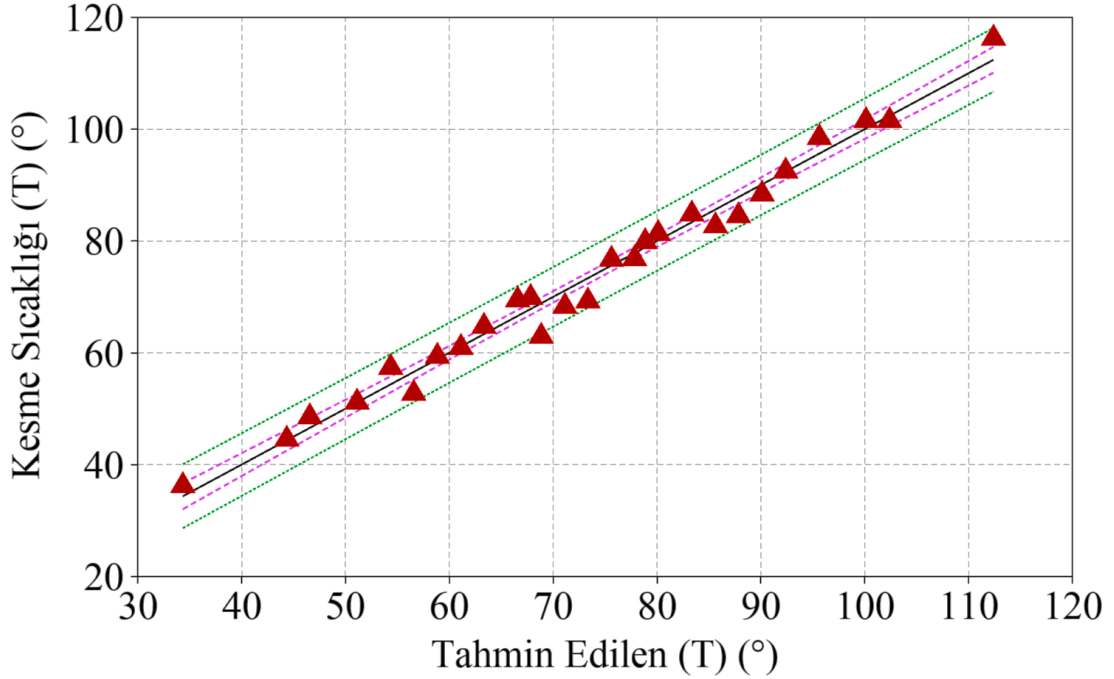
Delme sırasında kesme bölgesinde oluşan kesme sıcaklığını tahmin etmek için elde edilen lineer regresyon denklemi Eş. 6.3'de sunulmuştur.

$$T (^{\circ}\text{C}) = -10,30 - 0,6669 \theta + 0,5587 V_c + 245,2 f \quad (6.3)$$

$$R^2 = \%98,35 \quad R^2 (\text{Düzeltilmiş}) = \%98,13$$

Deneyler sırasında elde edilen kesme sıcaklığı sonuçları ile lineer regresyon modeli ile kesme sıcaklığı için elde edilen tahmini değerlerin kıyaslanması Şekil 6.9'da görülmektedir. Gerçek deney sonuçları ile tahmin edilen değerler arasında iyi bir

ilişkinin olduğu Şekil 6.11’de görülmektedir. Lineer regresyon modeli ile kesme sıcaklığı için elde edilen $R^2=99,35$ olarak bulunmuştur. Kesme sıcaklığı için ulaşılan lineer regresyon denkleminin R^2 değerinin yüksek olması, kesme parametrelerinin etkileşimlerinin tahmin gücüne etkisini göstermektedir.

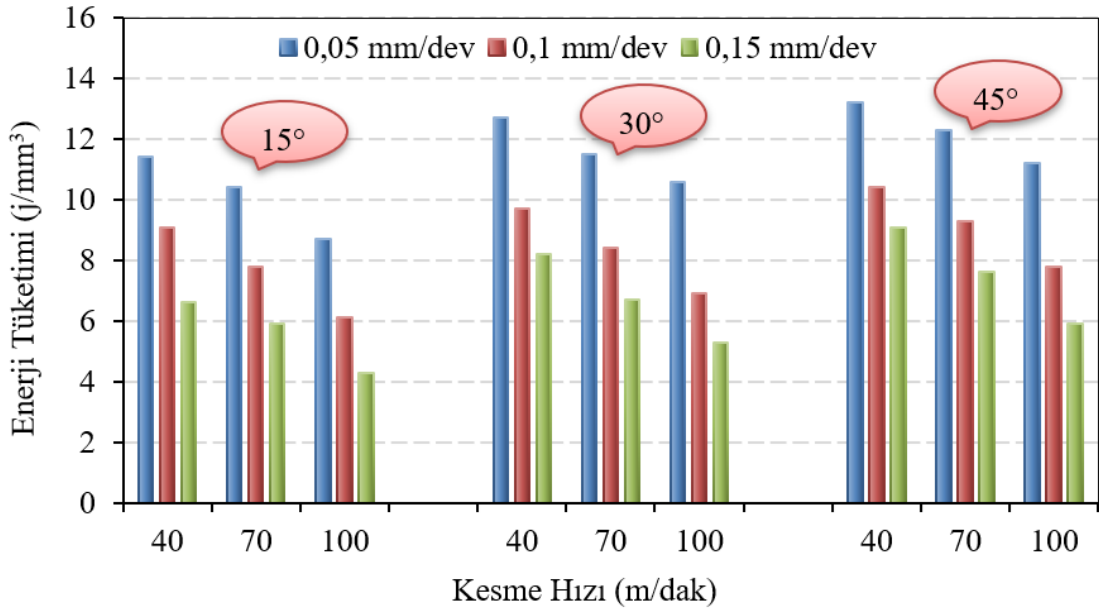


Şekil 6.11. Kesme sıcaklığı değerleri ile tahmini değerlerin karşılaştırılması.

6.5. ENERJİ TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Enerji tasarrufu, üreticilere daha düşük enerji maliyeti ile ekonomik fayda sağlamanın ve daha düşük karbon emisyonu ile çevresel performansı iyileştirmenin en uygun maliyetli ve bilinen bir yoludur. İmalat biliminin görevi; parametreleri optimize ederek proseslerinin çevresel etkisini azaltmaktır [62]. Bu nedenle, işleme parametreleri seçimi imalatta enerji tasarrufunda önemli bir rol oynar. Çalışmanın bu bölümünde, Al-6061-T6 malzemesinin üç farklı helis açısı (15° , 30° ve 45°), kesme hızı (40 m/dak, 70 m/dk ve 100 m/dak) ve ilerleme miktarında (0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev) delinmesinde matkap geometrisinin ve kesme parametrelerinin enerji tüketimine etkileri ölçülmüştür. ortalama kesme sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) ölçülmüştür. Delme sırasında kesme parametrelerine bağlı enerji tüketimindeki değişimler Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’deki çubuk grafiklerinde sunulmuştur.

Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'deki çubuk grafikleri incelendiğinde Al-6061-T6 malzemesinin delinmesinde enerji tüketim değerleri 4,13-13,2 j/mm³ arasında değişmektedir. En düşük enerji tüketim değeri 15° helis açısı, 100 m/dk kesme hızı ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 4,13 j/mm³ ölçülmüştür. En yüksek enerji tüketim değeri ise 45° helis açısı, 40 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında 13,2 j/mm³ olduğu görülmüştür.

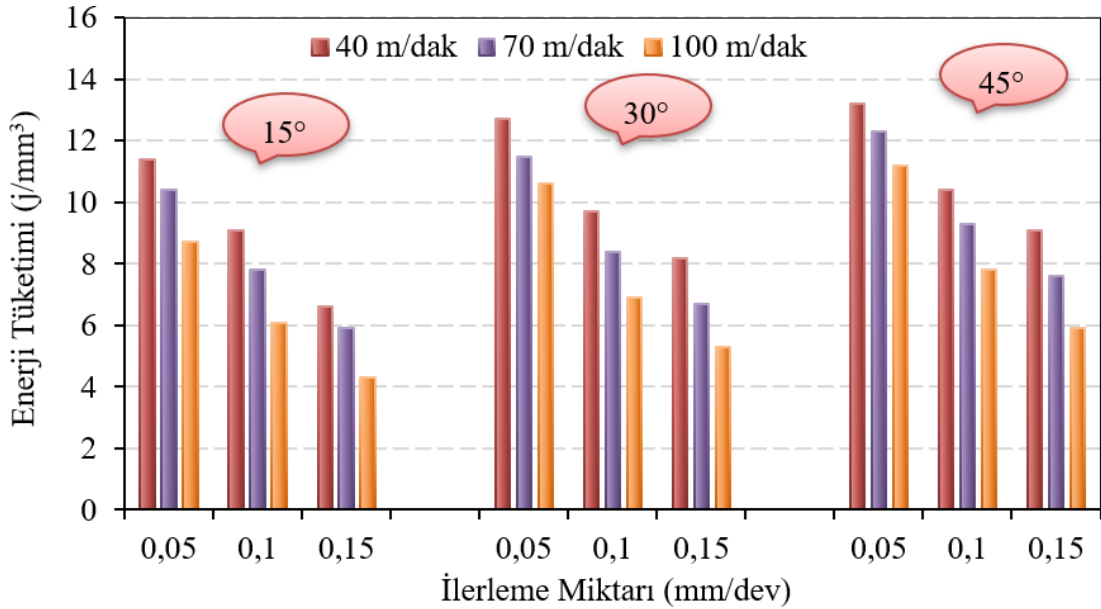


Şekil 6.12. Kesme hızının ortalama enerji tüketimine etkisi.

Delme işlemi sonrası kesme hızındaki değişime bağlı enerji tüketim değerlerindeki değişim Şekil 6.12'de gösterilmiştir. Helis açılarının ve ilerleme miktarının artması ile enerji tüketim değerlerinde azalmanın olduğu görülmektedir. Örneğin; 15° helis açısında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 40 m/dk kesme hızında enerji tüketim değerleri 11,4 j/mm³ ölçülmüştür. 15° helis açısında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının sırası ile 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılması ile enerji tüketim değerleri sırası ile %8,77 ve %23,68 oranlarında azalma olmuştur. 30° helis açısında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 40 m/dk kesme hızında kesme hızında enerji tüketim değerleri 12,7 j/mm³ iken, kesme hızının sırası ile 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılması ile enerji tüketim değerleri sırasıyla %9,45 ve %16,54 oranlarında azalma olmuştur. 45° helis açısında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 40 m/dk kesme hızında enerji tüketim değerleri 13,2 j/mm³ ölçülmüştür. Kesme hızının sırası ile 70 m/dk ve 100

m/dk çıkarılması ile enerji tüketim değerlerinde sırası ile ortalama %6,82 ve %15,15 oranlarında azalmanın olduğu görülmüştür.

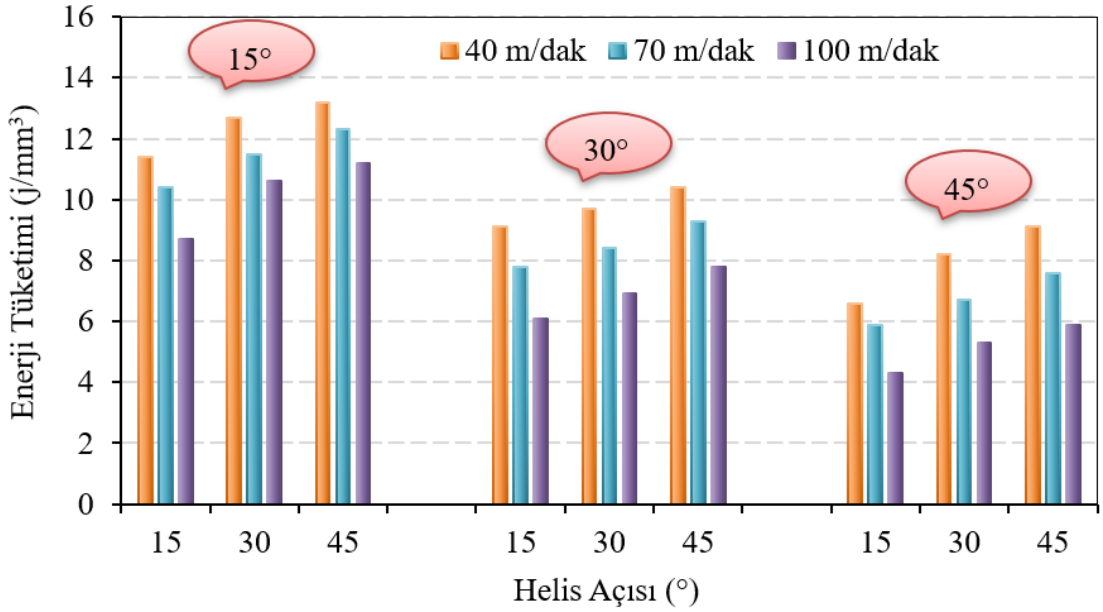
Al-6061-T6 malzemesinin delinmesinde ilerleme miktarındaki değişime bağlı enerji tüketimindeki değişim Şekil 6.13’de verilmiştir. Farklı ilerleme miktarlarında helis açılarının artması ile enerji tüketimi artarken kesme hızının artması ile enerji tüketimini düşürdüğü izlenmiştir. Örneğin; 15° helis açısında, 70 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında enerji tüketimi 10,4 j/mm³ ölçülmüştür. 15° helis açısında, 70 m/dk kesme hızında ilerleme miktarının sırasıyla 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev çıkarılması ile enerji tüketim değerlerinde sırasıyla ile %25 ve %43,27 oranlarında azaldığı gözlemlenmiştir. 30° helis açısında, 70 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında enerji tüketimi 11,5 j/mm³ iken, kesme hızının sırasıyla 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılmasıyla enerji tüketim değerlerinde sırasıyla ile %27 ve %41,74 oranlarında azalma olmuştur. 45° helis açısında, 70 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında enerji tüketimi 11,5 j/mm³ ölçülmüştür. Kesme hızının sırası ile 70 m/dk ve 100 m/dk çıkarılması ile enerji tüketim değerlerinde sırası ile ortalama %24,4 ve %38,21 oranlarında azalma olmuştur.



Şekil 6.13. İlerleme miktarının ortalama enerji tüketimine etkisi.

Al-6061-T6 malzemesinin delinmesinde helis açısının değişime bağlı enerji tüketim değişimi Şekil 6.14’ de verilmiştir. Farklı kesme hızlarında ve ilerleme miktarlarında

helis açısının artması ile ortalama enerji tüketiminin azaldığı görülmüştür. Örneğin; 100 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 15° helis açısında enerji tüketimi 8,7 j/mm³ ölçülmüştür. Helis açısının 30° ve 45° çıkarılmasıyla enerji tüketim değerleri ortalama %21,84 ve %28,74 oranlarında artma olmuştur. 100 m/dk kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15° helis açısında enerji tüketimi 6,1 j/mm³ olmuştur. Helis açısının 30° ve 45° çıkarılmasıyla enerji tüketim değerleri ortalama %13,12 ve %27,87 oranlarında artma gözlemlenmiştir. 100 m/dk kesme hızında, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında ve 15° helis açısında enerji tüketimi 4,3 j/mm³ olduğu görülmüştür. Helis açısının 30° ve 45° çıkarılmasıyla enerji tüketim değerleri ortalama %22,33 ve %37,91 oranlarında azalma olmuştur.



Şekil 6.14. Matkap helis açısının ortalama enerji tüketimine etkisi.

6.6. ENERJİ TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU

6.6.1. S/N Oranı

Al-6061-T6 malzemesinin üç farklı helis açısı (15°, 30° ve 45°), kesme hızı (40 m/dak, 70 m/dk ve 100 m/dak) ve ilerleme miktarında (0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev ve 0,15 mm/dev) delinmesiyle gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen enerji tüketimi değerleri ve S/N oranları Çizelge 6.7’ de görülmektedir. Deneyler sırasında ölçülen

enerji tüketimlerinin ortalamalar (Tort) $8,781 \text{ j/mm}^3$ ve ortalama S/N oranı $-18,538 \text{ dB}$ olarak hesaplanmıştır.

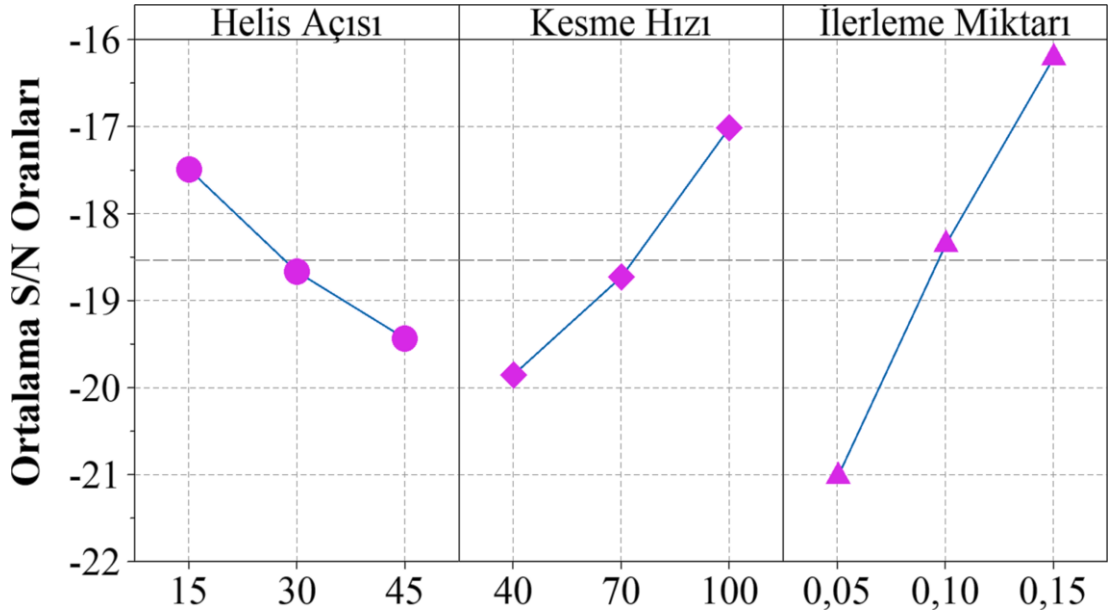
Çizelge 6.7. Enerji tüketimi için deney sonuçları ve S/N oranları.

Deney No	Helis Açısı (θ) ($^\circ$)	Kesme Hızı (Vc) (m/dk)	İlerleme Hızı (f) (mm/dev)	Enerji Tüketimi SEC (j/mm^3)	Enerji Tüketimi S/N Oranı (dB)
1	15	40	0,05	11,4	-21,138
2	15	40	0,1	9,1	-19,181
3	15	40	0,15	6,6	-16,391
4	15	70	0,05	10,4	-20,341
5	15	70	0,1	7,8	-17,842
6	15	70	0,15	5,9	-15,417
7	15	100	0,05	8,7	-18,790
8	15	100	0,1	6,1	-15,707
9	15	100	0,15	4,3	-12,669
10	30	40	0,05	12,7	-22,076
11	30	40	0,1	9,7	-19,735
12	30	40	0,15	8,2	-18,276
13	30	70	0,05	11,5	-21,214
14	30	70	0,1	8,4	-18,486
15	30	70	0,15	6,7	-16,521
16	30	100	0,05	10,6	-20,506
17	30	100	0,1	6,9	-16,777
18	30	100	0,15	5,3	-14,486
19	45	40	0,05	13,2	-22,411
20	45	40	0,1	10,4	-20,341
21	45	40	0,15	9,1	-19,181
22	45	70	0,05	12,3	-21,798
23	45	70	0,1	9,3	-19,370
24	45	70	0,15	7,6	-17,616
25	45	100	0,05	11,2	-20,984
26	45	100	0,1	7,8	-17,842
27	45	100	0,15	5,9	-15,417

Kesme parametrelerinin enerji tüketimi üzerine etkilerini ortaya koymak için S/N yanıt tablosu kullanılmıştır. Bunun için S/N yanıt sonuçları Çizelge 6.8’de sunulmuştur. Taguchi yöntemi ile oluşturulan bu tabloda en düşük enerji tüketim değerleri için kesme parametrelerinin optimum değerleri görülmektedir. Kesme parametrelerinin en iyi seviyesi tüm seviyeleri içindeki en büyük S/N oranına göre tesbit edilir. Buna göre en düşük enerji tüketimi için kesme parametreleri seviyeleri sırasıyla A1B3C3 olmuştur.

Çizelge 6.8. Enerji tüketimi için S/N yanıt tablosu.

Enerji Tüketimi (j/mm ³)			
Kesme Parametreleri			
Seviyeler	Helis Açısı	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı
Seviye 1	-17,50	-19,86	-21,03
Seviye 2	-18,68	-18,73	-18,36
Seviye 3	-19,44	-17,02	-16,22
Delta	1,94	2,84	4,81



Şekil 6.15. Enerji tüketimim için kesme parametrelerinin S/N oranları ana etki grafiği.

Enerji tüketimi için S/N oranı grafiği Şekil 6.15'de verilmiştir. S/N oranı grafiğinde en yüksek seviyeler kesme parametrelerinin optimum seviyeleridir. Şekil 6.15'deki en yüksek S/N oranları dikkate alındığında optimum enerji tüketim değeri 15° helis açısı (A1), 100 m/dak kesme hızı (B3) ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında (C3) elde edildiği görülmektedir.

6.6.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Kesme parametrelerinin enerji tüketimi üzerine etki düzeylerini belirlemek için %95 güven seviyesinde ANOVA analizi yapılmıştır. Kesme parametrelerinin enerji

tüketimi üzerine katkı oranları Çizelge 6.9’da verilmiştir. Çizelgedeki katkı oranları kesme parametrelerinin enerji tüketimi için önem derecesini göstermektedir.

Çizelge 6.9. Enerji tüketimi için ANOVA tablosu.

Kesme Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı (%)
Helis Açısı	2	15,281	15,281	112,67	0,000	10,21
Kesme Hızı	2	31,067	31,067	229,06	0,000	20,76
İlerleme Miktarı	2	101,956	101,956	751,73	0,000	68,12
Hata	20	1,356	1,356			0,91
Toplam	26					100

Çizelge 6.9’daki sonuçlar dikkate alındığında enerji tüketimi için en etkin kesme parametresi %68,12 ile ilerleme miktarının olduğu görülmektedir. Bunu sırası ile en etkin kesme parametresi %20,76 ile kesme hızı ve %10,21 ile helis açısı olduğu görülmektedir.

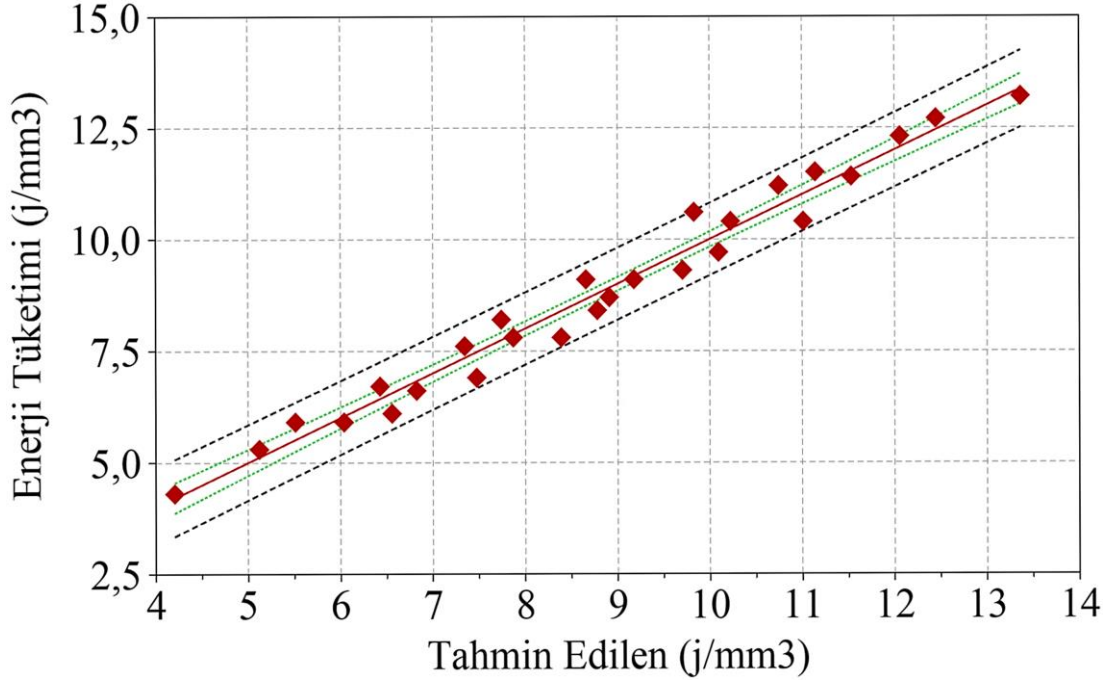
6.6.3. Regresyon Analizi

Delme sırasında enerji tüketiminin tahmini için elde edilen lineer regresyon denklemi Eş. 6.4’de sunulmuştur.

$$SEC (j/mm^3) = 14,719 + 0,0611 \theta - 0,04370 Vc - 47,11 f \quad (6.4)$$

$$R^2 = \%97,52 \quad R^2 (\text{Düzeltilmiş}) = \%97,19$$

Deneysel sırasında elde edilen enerji tüketim sonuçları ile lineer regresyon modeli ile enerji tüketim için elde edilen tahmini değerlerin kıyaslanması Şekil 6.16’da verilmiştir. Gerçek deney sonuçları ile tahmin edilen değerler arasında iyi bir ilişkinin olduğu Şekil 6.14’de görülmektedir. Lineer regresyon modeli ile enerji tüketimi için elde edilen $R^2=97,52$ olarak hesaplanmıştır. Enerji tüketimi için ulaşılan lineer regresyon denkleminin R^2 değerinin yüksek olması, kesme parametrelerinin etkileşimlerinin tahmin gücüne etkisini göstermektedir.



Şekil 6.16. Enerji tüketimi değerleri ile tahmini değerlerin karşılaştırılması.

6.7. GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ

Bu bölümde, gri ilişkisel analiz kullanılarak Al-6061-T6 malzemesinin delinmesi sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi bakımından kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bu yöntemle en düşük yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketiminin elde edildiği kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çizelge 6.10'da çalışma kapsamında kullanılan kesme parametreleri ve deneyler sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.10. Gri ilişkisel analizde kullanılan kesme parametreleri ve deney sonuçları.

Deney No	Helis Açısı (θ) (°)	Kesme Hızı (Vc) (m/dk)	İlerleme Hızı (f) (mm/dev)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (µm)	Kesme Sıcaklığı (T) (°C)	Enerji Tüketimi SEC (j/mm ³)
1	15	40	0,05	2,15	36,21	11,4
2	15	40	0,1	2,87	48,47	9,1
3	15	40	0,15	3,49	59,36	6,6
4	15	70	0,05	1,64	51,14	10,4
5	15	70	0,1	2,39	64,72	7,8
6	15	70	0,15	2,96	76,64	5,9
7	15	100	0,05	1,03	69,82	8,7
8	15	100	0,1	1,82	81,32	6,1
9	15	100	0,15	2,41	92,44	4,3
10	30	40	0,05	1,92	44,51	12,7
11	30	40	0,1	2,59	52,67	9,7
12	30	40	0,15	3,18	62,93	8,2
13	30	70	0,05	1,44	60,91	11,5
14	30	70	0,1	2,04	69,26	8,4
15	30	70	0,15	2,58	82,68	6,7
16	30	100	0,05	0,87	76,78	10,6
17	30	100	0,1	1,59	88,34	6,9
18	30	100	0,15	2,16	101,52	5,3
19	45	40	0,05	1,67	57,36	13,2
20	45	40	0,1	2,28	69,37	10,4
21	45	40	0,15	2,85	79,82	9,1
22	45	70	0,05	1,22	68,22	12,3
23	45	70	0,1	1,77	84,76	9,3
24	45	70	0,15	2,39	98,47	7,6
25	45	100	0,05	0,67	84,46	11,2
26	45	100	0,1	1,38	101,54	7,8
27	45	100	0,15	1,93	116,19	5,9

Gri ilişkisel analizin birinci aşaması, deneyler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi gibi çıktı parametreleri arasında kıyaslama yapabilmek için deney sonuçları normalizasyonu yapılmıştır (Çizelge 6.11). Normalizasyon işleminde “En düşük daha iyidir” yöntemi kullanılmıştır [44, 60, 93–95]. İkinci aşamada ise gri ilişkisel katsayısı ve üçüncü aşamada, gri ilişkisel derecesi hesaplanmıştır. Gri ilişkisel derece hesaplanırken, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketiminin önem dereceleri eşit olası için ağırlık katsayısı 0,333 alınmıştır [44, 60, 96].

Çizelge 6.11. Gri ilişkisel analiz sonuçları.

Deney No	Normalizasyon			Gri İlişki Katsayısı			Gri İlişkisel Derecesi	Sıralama
	Ra (µm)	T (°C)	SEC (j/mm ³)	Ra (µm)	T (°C)	SEC (j/mm ³)		
1	0,475	1,000	0,202	0,328	0,500	0,278	0,369	24
2	0,220	0,847	0,461	0,391	0,434	0,325	0,383	19
3	0,000	0,711	0,742	0,333	0,388	0,397	0,373	22
4	0,656	0,813	0,315	0,592	0,421	0,297	0,437	5
5	0,390	0,644	0,607	0,450	0,369	0,359	0,393	17
6	0,188	0,494	0,820	0,381	0,332	0,424	0,379	20
7	0,872	0,580	0,506	0,797	0,352	0,335	0,494	3
8	0,592	0,436	0,798	0,551	0,320	0,416	0,429	9
9	0,383	0,297	1,000	0,448	0,294	0,500	0,414	10
10	0,557	0,896	0,056	0,530	0,453	0,257	0,413	11
11	0,319	0,794	0,393	0,423	0,415	0,311	0,383	18
12	0,110	0,666	0,562	0,360	0,375	0,348	0,361	26
13	0,727	0,691	0,191	0,647	0,382	0,276	0,435	6
14	0,514	0,587	0,539	0,507	0,354	0,342	0,401	14
15	0,323	0,419	0,730	0,425	0,316	0,394	0,378	21
16	0,929	0,493	0,292	0,876	0,332	0,293	0,500	2
17	0,674	0,348	0,708	0,605	0,303	0,387	0,432	8
18	0,472	0,183	0,888	0,486	0,275	0,449	0,404	13
19	0,645	0,736	0,000	0,585	0,395	0,250	0,410	12
20	0,429	0,585	0,315	0,467	0,353	0,297	0,372	23
21	0,227	0,455	0,461	0,393	0,324	0,325	0,347	27
22	0,805	0,600	0,101	0,719	0,357	0,263	0,447	4
23	0,610	0,393	0,438	0,562	0,311	0,320	0,398	16
24	0,390	0,222	0,629	0,450	0,281	0,365	0,365	25
25	1,000	0,397	0,225	1,000	0,312	0,282	0,531	1
26	0,748	0,183	0,607	0,665	0,275	0,359	0,433	7
27	0,553	0,000	0,820	0,528	0,250	0,424	0,401	15

Deney sonuçlarına bağlı bağlı gri ilişkisel dereceleri Çizelge 6.11’de görülmektedir. Çizelge 6.11’de yüzey pürüzlülüğünün, kesme sıcaklığının ve enerji tüketiminin en düşük değerleri için gri ilişkisel derecesi en yüksek değeri 25 numaralı deneyden elde edildiği görülmektedir. Bunun sonucunda, en düşük yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi değerlerini elde etmek için kullanılacak en ideal parametrelerin kombinasyonunun 25 numaralı (A3B3C1) deneyde elde edildiği görülmektedir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre Al-6061-T6 malzemesinin delinmesi sonucu elde edilen optimum kesme parametreleri seviyeleri Çizelge 6.12’de sunulmuştur.

Çizelge 6.12. Analize göre Ra, T ve SEC için optimum kesme parametreleri seviyeleri.

Analiz Yöntem	Çıktı Parametreleri	Optimum Kesme Parametreleri
Taguchi Yöntemi	Optimum Ra	A3B3C1
Taguchi Yöntemi	Optimum T	A1B1C1
Taguchi Yöntemi	Optimum SEC	A1B3C3
Gri ilişkisel analiz	Optimum Ra, T ve SEC	A3B3C1

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı helis açılara sahip kaplamasız sert metal uç (WC-karbür) matkaplarla Al6061-T6 alaşımının farklı kesme parametreleri ile delinmesinde kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Ayrıca kesme sıcaklığının, yüzey pürüzlülüğünün ve enerji tüketiminin en düşük değerleri için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Son olarak kesme sıcaklığının, yüzey pürüzlülüğünün ve enerji tüketiminin en düşük değerleri için optimum kesme parametresinin belirlenmesinde Gri ilişki analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. En düşük yüzey pürüzlülüğü 30° helis açısında, 100 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında 0,87 µm olarak ölçülmüştür.
2. Yüzey pürüzlülüğünün en düşük değeri için S/N analizi sonucu optimum kesme parametres kombinasyonu A1B3C1 olmuştur.
3. En düşük kesme sıcaklığı 15° helis açısında, 40 m/dk kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında 36,1 °C ölçülmüştür.
4. Enerji tüketiminin en düşük değeri için S/N analizi sonucu optimum kesme parametre kombinasyonu A1B1C1 olmuştur.
5. En düşük enerji tüketimi 15° helis açısında, 100 m/dk kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 4,3 j/mm³ olarak ölçülmüştür.

6. Kesme sıcaklığının en düşük değeri için S/N analizi sonucu optimum kesme parametre kombinasyonu A1B3C3 olmuştur.
7. ANOVA analizleri sonucu yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi üzerine en etkin kesme parametreleri sırası ile ilerleme miktarı %54,93, kesme hızı %52,02 ve ilerleme miktarı %68,12 olmuştur.
8. Yüzey pürüzlülüğünün, kesme sıcaklığının ve enerji tüketiminin tahmininde lineer regresyon modeli ile oluşturulan eşitliklerin R2değerleri sırasıyla %99,45, %98,35 ve %97,52 olarak elde edilmiştir.
9. Gri ilişkisel analiz sonucuna göre yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi değerleri 25 numaralı deneyde (45° helis açısı, 100 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarı) 0,67 µm, 84,46 °C ve 11,2 j/mm³ olarak belirlenmiştir.

7.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı helis açlarına sahip kaplamasız karbür matkaplarla Al6061-T6 alaşımının farklı kesme parametreleri ile delinmesinde kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine etkileri değerlendirilmesi üzerine hazırlanan bu çalışmanın daha kapsamlı sonuçlarına ve bundan sonra yapılacak olan benzer çalışmalar ışık tutacak öneriler aşağıda verilmiştir:

Al6061-T6 alaşımına yaşlandırma işlemi uygulayarak delme sırasında kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine mikroyapının ve mekanik özelliklerin etkileri incelenebilir. Farklı uç açısının kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine etkileri değerlendirilebilir. Delme işleminde helis açısının kesme kuvvetleri üzerine etkileri tespit edilebilir. Farklı soğutma yöntemlerinin kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Starke, E.A., Staley, J.T., "Fundamentals of Aluminum Metallurgy ", *Oxford: Elsevier*, 747-783, (2011).
2. Dursun, T., Soutis, C., "Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys", *Materials & Design*, 862-871, (2014).
3. Aamir, M., Giasin, K., Tolouei-Rad, M., Vafadar, A., "A review: Drilling performance and hole quality of aluminium alloys for aerospace applications", *Journal of Materials Research and Technology*, 12484-12500, (2020).
4. Erdoğan, M., "Demir Dışı Alaşımlar, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri", *Nobel yayınevi*, Cilt1 (2000).
5. Mills, B., Redford., A.H., "Mechanibility of Engineering Metarials", NewYork, USA, (1983).
6. Çakır, A., "AA 7075 VE AA 2024 Alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2015).
7. Chen, W.C., Tsao, C.C., "Cutting Performance of Different Coated Twist Drills", *Journal of Materials Processing Technology*, 203-207, (1999).
8. Kim, K.W., Ahn, T.K., "Force Prediction and Stres Analysis of A Twist Drill From Tool Geometry and Cutting Conditions", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 65-72, (2005).
9. Kelly, J.F., Cotterell, M.G., "Minimal Lubrication Machining of Aluminium Alloys", *Journal of Materials processing Technology*, 327-334, (2002).
10. Nouari, M., List, G., Giroto, F., Coupard, D., "Experimental Analysis And Optimisation of Tool Wear In Dry Machining of Aluminium Alloys", *Wear*, 1359-1368, (2003).
11. Hanyu, H., Kamiya, S., Murakami, Y., Saka, M., "Dry and Semi-Dry Machining Using Finely Crystallized Coating Cutting Tools", *Surface and Coatings Technology*, 992-995, (2003).

- 12- Batman, Ö., "2011-T6 Alüminyum Alaşımının Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2019).
- 13- Şencan, A.Ç., Duran, A., Şeker, U., "The Effect of Different Cooling Methods to Hole Quality and Tool Life in the Drilling of AA7075 and AA2024 Aluminum Alloys", *Manufacturing Technologies and Applications*, 1-13, (2020).
- 14- Mydin, N.M.M., Dahnel, A.N., Raof, N.A., Khairussaleh1, N.K.M., Mokhtar, S., "The Effect of Chilled Air on Burr Formation When Drilling Aluminium Alloy in Manufacturing Industry", *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 437-445, (2021).
- 15- Lee, K., Stirn, B., Dornfeld, D.A., "*Proceedings 10th ICOPE Int'l Conference on Precision Engineering*", Japonya (2001).
- 16- Chang S., "Vibration Assisted Drilling Of Aluminum 6061-T6", *Doctor of Philosophy, McMaster University, School of Graduate Studies*, Ontario, 2010.
- 17- Zedan, Y., Songmene, V., Kouam, J., Masounave, J., "Effects of lubrication modes on part quality during drilling 6061-T6 aluminium alloy", *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 231-252, (2013).
- 18- Kumar, P.K., Kishore, K., Laxminarayana, P., "Prediction Of Thrust Force And Torque In Drilling On Aluminum 6061-T6 Alloy", *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 2278-0181, (2013).
- 19- Ravisubramanian, S., Shunmugam, M.S., "Investigations into peck drilling process for large aspect ratio microholes in aluminum 6061-T6", *Materials and Manufacturing Processes*, 935-942, (2018).
- 20- Safiei, W., Rahman, M.M., Rusdan, S.A., "Experimental Investigation of MQL Optimum Parameters in End Milling of AA6061-T6 using Taguchi Method", *International Journal of Engineering & Technology*, 186-189, (2018).
- 21- Uddin, M., Basak, A., Pramanik, A., Singh, S., Krolczyk, G.M., Prakash, C., "Evaluating Hole Quality in Drilling of Al 6061 Alloys", *Materials*, 2443, (2018).
- 22- Seifa, C.Y., Hageb, I.S., Hamadea, R.F., "Utilizing the drill cutting lip to extract Johnson Cook flow stress parameters for Al6061-T6", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 26-40, (2019).
- 23- Thuan, N., Thuan, N., "An Experimental Study on Conventional Drilling of Al6061-T6 Aluminum Alloy", *Journal of Research in Mechanical Engineering*, 21-25, (2021).
- 24- Dutta, P., Majumder, M., "Parametric Optimization of Drilling Parameters in Aluminum 6061T6 Plate to Minimize the Burr", *International Journal of Engineering and Manufacturing*, 36-47, (2021).

- 25- Al-Tameemi, H.A., Al-Dulaimi, T., Awe, M.O., Sharma, S., Pimeno, D.Y., Koklu, U., Giasin, K., “Evaluation of Cutting-Tool Coating on the Surface Roughness and Hole Dimensional Tolerances During Drilling of Al6061-T651 Alloy”, *Materials*, 1783, (2021).
- 26- Nalçacıoğlu, C., “Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımlarında T6 ısıtma işlem parametrelerinin elektrik iletkenliği ve korozyon özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-5 (2017).
- 27- Dilmeç, M., Tınkır, M. ve Arıkan, H., “Al 2024 alaşımının çökelme sertleşmesi işlemi koşullarının şekillendirilebilirliğe etkisinin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (1): 231-248 (2015).
- 28- Yalçın, N., Kayır, Y. ve Erkal, S., “AA2024 alüminyum alaşımına uygulanan yaşlanma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisinin taguchi ve anova ile araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 20 (4): 743-751 (2017).
- 29- Güner, A. T., “Yarı-katı halde şekil verilmiş alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerine su verme sıcaklığının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 3-4 (2013).
- 30- Çakır, A., “AA 7075 ve AA 2024 alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-9 (2015).
- 31- Fakıoğlu, A., “Yaşlandırılan AA7075 alüminyum alaşımlarının yorulma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-4 (2012).
- 32- Başer, E., “Yaşlandırma parametrelerinin ETİAL-160 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-12, 17, 20 (2018).
- 33- Öcal, M., “T4 ve T6 yaşlandırma işlemleri uygulanmış 2014 alüminyum alaşımının fretting yorulma davranışı üzerine relatif kayma genliğinin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 9-11, 14, 17-20 (2011).
- 34- Eren, H., “Al-Si alaşımının mekanik özelliklerine magnezyum elementinin etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-9, 12, 17 (2017).
- 35- Onur, A., “AA6XXX serisi alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemine bağlı olarak işlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, 2-9 (2014).

- 36- Coşkun, A., “Yaşlandırılan AA 2024 alüminyum alaşımının soğuk, ılık ve sıcak deformasyon kabiliyetinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 3-9, (2020).
- 37- Büyükdoğan, S., “Yaşlandırılan Al-Mg-Si alaşımının aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 8-9, (2011).
- 38- William, F.S., “Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri 2nd ed.” Çeviri editörü, Mehmet Erdoğan, **Akademik Ltd.Şti.** Yayınları, New York, 251-292 (1981).
- 39- Sun Y., “Yaşlanabilir Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı**, İstanbul, 58-69 (1998).
- 40- Meyveci, A., “Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 9, 12-13, 18-27, 52-53 (2007).
- 41- Özel, S., “Alüminyum alaşımı ve bronzü yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanmasının araştırılması”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elâzığ, 3-5 (2009).
- 42- Erkal, S., “AA2024 Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıl işlemlerinin mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-10, 14-16 (2011).
- 43- Tekin, R., “AA 2014, AA 6082 Alüminyum alaşımlarının oksidasyonu ve mekanik özelliklerin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, 10, 12, 15-17, 27 (2014).
- 44- Bıçaklı, E. E., “Yaşlandırma işleminin tam yoğun ve T/M AA2024 alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Isparta, 34 (2018).
- 45- Burmabıyık, M., “Bakır-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Edirne, 7-8 (2019).
- 46- Mercan, E., “5XXX-6XXX Alüminyum alaşımlarının otomatik mig kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük**, 10-11 (2018).
- 47- Adın B., “AA2014 alaşımında yaşlandırma ısıl işleminin işlenebilirlik üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı**, Ankara, 129 (2002).

- 48- Doğan M., “Alüminyumların ısıı işlemeı”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 54 (1989).
- 49- Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W., Neises, A., (1994). “Machining of Holes Developments in Drilling Techonolgy“, *Annals of the CIRP*, 43 (2): 551-560.
- 50- Coromant, S., "Modern metal cutting", *Sandvik* (1994).
- 51- Tonshoff, H. L., Spintig, W., Konig, W. and Neises, A., "Machining of Holes developments in drilling techonolgy", *Annals of the CIRP*, 2 (43); 551-561 (1994).
- 52- Yiğit, C., "Ti6Al4v malzemesinin farklı geometrideki matkaplarla delinmesi esnasında matkap sıcaklığının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-9, (2020).
- 53- Taşgetiren, S., Aslantaş, K., "Tornada kesme için yeni bir sert metal uç tutucusu tasarımı", 3. *GAP Mühendislik Kongresi*, Şanlıurfa,150-157, (2000).
- 54- Mendi, F., "Takım tezgâhları teori ve hesapları", *ISBN 975-96008*, Ankara, 5- 40, (1996).
- 55- Kesici Takım El Klavuzu, *Sandvik Coromant*, İsveç, (2008).
- 56- Yıldız, T., "AA7xxx ve seramik parçacıklardan oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin üretimi ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2020).
- 57- Yontar, A.A., "AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 16 (2011).
- 58- Trent, E.M., (1989). *Metal cutting*, Butterworths Press, London, 1-171.
- 59- Çelik, Y.H., “Investigating the Effects of Cutting Parameters on the Hole Quality in Drilling The Ti-6Al4V Alloy”, *Materiali in Tehnologije*, 653-659, (2014).
- 60- Rahman, M., Kumar, A.S., Salam, M. U., “Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 539-547, (2002).
- 61- Anastas, P. and Zimmerman, J. “Design through the Twelve Principles of Green Engineering”, *Environmental Science & Technology*, 37, 94A-101A, (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Cihat Özdemir ilk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2006 yılında Gazi Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2013 yılı şubat ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Mezun olduktan sonra kısa bir süre Gençlerler Kompresörde Tübitak Proje Sorumlusu olarak görev aldı. Yönetimin projeyi durdurması sonucu ayrılıp askeri görevini yerine getirdi. 2014 yılında Ankara Seramik firmasında Proje Mühendisi olarak görev aldı. 2017 Ekim ayında Ankara Seramik'in alt firması olan Şahin Grup'a geçip, burada önce CNC Üretim Sorumlusu sonrasında Üretim Müdürü oldu. 2018 Mart ayında buradaki görevinden istifa etti. 2018 yılında Sekiza Savunma firmasında Üretim Mühendisi olarak göreve başladı. Sonrasında Kıdemli Tasarım Mühendisi olarak görevine devam etmekte.