



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN**  
**ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**AL 6061 VE AL 7075 SERİSİ ALÜMİNYUM**  
**ALAŞIM MALZEMELERİNİN SU JETİ İLE**  
**KESİLMESİ ŞARTLARININ BELİRLENMESİ**

**Muhammed Eren KÖSEZADE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**12-2024**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Eren KÖSEZADE tarafından hazırlanan “**AL 6061 VE AL 7075 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIM MALZEMELERİNİN SU JETİ İLE KESİLMESİ ŞARTLARININ BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışması 12/12/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Danışman

Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK

.....

#### Üye

Prof. Dr. Ahmet CAN

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serhat ERSOYOĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Muhammed Eren KÖSEZADE

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### AL 6061 VE AL 7075 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIM MALZEMELERİNİN SU JETİ İLE KESİLMESİ ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

**Muhammed Eren KÖSEZADE**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK**

**2024, 51 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK**

**Prof. Dr. Ahmet CAN**

**Dr. Öğretim Üyesi Ali Serhat ERSOYOĞLU**

Geleneksel kesim metotları frezeleme, tornalama ve delme gibi operasyonlarda oluşan ısıdan etkilenen bölge, yüzey pürüzlülüğü, rötuşlama ihtiyacı olan yüzeyler, alternatif kesim metotlarına olan ilgiyi arttırmıştır. Aşındırıcı su jeti kesim teknolojisi bu problemlerin çoğuna çözüm sunan etkili bir yöntem olup optimum kesim parametreleri oluşturulması maliyet ve süre açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada AL6061 ve AL 7075 alaşımlarının kesme basıncı, aşındırıcı akış oranı ve ilerleme hızı parametreleri değiştirilerek aşındırıcı su jeti ile kesimi sonucunda boyutsallıktan sapma ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Sonuçlara göre basınç ve aşındırıcı akış oranının artışı yüzey pürüzlülüğü değerini azaltırken, ilerleme hızı parametresi yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmuştur. Ayrıca ilerleme hızı ve aşındırıcı akış oranı boyutsallıktan sapmanın artmasına sebep olurken, kesme basıncı boyutsallıktan sapmayı azaltmıştır. Deney sonuçlarına göre en düşük Ra değeri AL 6061 için en 3800 bar basınç, 350 gr/dk aşındırıcı akış oranı ve 430 mm/dk değerlerinde elde edilmiştir. AL 7075 için 3800 bar basınç, 430 mm/dk ilerleme hızı ve 350 gr/dk aşındırıcı akış oranı değerinde elde edilmiştir. En düşük sapma değeri AL6061 3800 bar basınç, 400 mm/dk ve 300 gr/dk değerinde; AL7075 için ise, 3800 bar basınç, 460 mm/dk ilerleme hızı ve 350gr/dk değerlerinde elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşındırıcı su jeti kesim, boyutsallıktan sapma,, su jeti, su jeti ile kesim, su jeti teknolojisi , yüzey pürüzlülüğü

## ABSTRACT

### MS THESIS

# DETERMINATION OF WATER JET CUTTING CONDITIONS OF AL 6061 AND AL 7075 SERIES ALUMINUM ALLOY MATERIALS

Muhammed Eren KÖSEZADE

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK

2024, 51 Pages

Jury

Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK

Prof. Dr. Ahmet CAN

Asst. Prof. Ali Serhat ERSOYOĞLU

Traditional cutting methods such as milling, turning and drilling have increased the interest in alternative cutting methods due to the heat-affected zone, surface roughness and the need for retouching. Abrasive water jet cutting technology is an effective method that offers solutions to most of these problems and establishing optimum cutting parameters is of great importance in terms of cost and time. In this study, the dimensionality deviation and surface roughness of AL6061 and AL 7075 alloys were investigated by varying the cutting pressure, abrasive flow rate and feed rate parameters. According to the results, the increase in pressure and abrasive flow rate decreased the surface roughness value, while the feed rate parameter increased the surface roughness. In addition, feed rate and abrasive flow rate increased the dimensionality deviation, while cutting pressure decreased the dimensionality deviation. According to the test results, the lowest Ra value was obtained for AL 6061 at 3800 bar pressure, 350 g/min abrasive flow rate and 430 mm/min. For AL 7075, it was obtained at 3800 bar pressure, 430 mm/min feed rate and 350 g/min abrasive flow rate. The lowest deviation value was obtained for AL6061 T651 at 3800 bar pressure, 400 mm/min and 300 g/min and for AL7075 at 3800 bar pressure, 460 mm/min feed rate and 350 g/min.

**Keywords:** Abrasive water jet cutting, dimensionality from circularity, water jet, water jet cutting, water jet technology, surface roughness

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca değerli vaktini ayırarak yönlendiren, tecrübeleriyle kılavuzluk yapan danışmanım Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK ' e teşekkürleri borç bilirim.

Desteklerini her zaman derinden hissettiğim aileme sevgilerimle.

MUHAMMED EREN KÖSEZADE

KONYA-2024



# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Alüminyum Malzeme Kullanım Avantajları.....	1
1.2. Alüminyum Malzeme Kullanım Dezavantajları .....	1
1.3. Alüminyum Alaşımlar.....	1
1.3.1. Döküm Alaşımlar.....	1
1.3.2. Dövme Alüminyum Alaşımlar.....	3
1.4. Alüminyum Temper Tanımları .....	4
1.5. Al 6061 T651 .....	4
1.6. AL 7075 T651 .....	5
2. Su Jeti Kesim Teknolojisi .....	5
2.1. Aşındırıcı Su Jeti Kesim ile İşleme Avantajları .....	6
2.2. Aşındırıcı Su Jeti Kesim ile İşleme Dezavantajları.....	7
2.3. Su Jeti Kesim Makinası Bileşenleri .....	7
2.3.1. Pompa .....	7
2.3.2. Kesim Kafası.....	8
2.3.3. Aşındırıcı Çeşitleri.....	9
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	10
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
4.1. Numune Hazırlama .....	13
4.2. Deneylerin Yapılması.....	16
4.2.1. CMM Cihazı ile Ölçüm .....	16
4.2.1.1. AL 6061 T651 Basınç ile Boyutsallıktan Sapma İlişkisi .....	17
4.2.1.2. Al 6061 T651 İlerleme Hızının Boyutsallıktan Sapmaya Olan İlişkisi	18
4.2.1.3.AL6061 T651 Aşındırıcı Akış Oranı ile Boyutsallıktan Sapma İlişkisi.	19
4.2.1.4. AL 7075 T651 İlerleme Hızının Boyutsallıktan Sapmaya Etkisi.....	20
4.2.1.5. AL7075 T651 Kesme Basıncının Boyutsallıktan Sapmaya Etkisi....	21

4.2.1.6.	AL 7075 T651 Aşındırıcı Akış Oranının Boyutsallıktan Sapmaya Olan Etkisi .....	21
4.2.2.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	22
4.2.2.1.	AL 6061 T651 Yüzey Pürüzlülüğü ile Aşındırıcı Akış Oranı İlişkisi	23
4.2.2.2.	AL6061 T651 Basınç ile Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi.....	24
4.2.2.3.	AL6061 T651 İlerleme Hızı ile Yüzey Pürüzlülüğü ilişkisi.....	25
4.2.2.4.	AL7075 T651 Basınç Artışının Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) İlişkisi .....	26
4.2.2.5.	AL7075 Yüzey Pürüzlülüğü ile Aşındırıcı Akış Oranı İlişkisi .....	27
4.2.2.6.	AL7075 T651 İlerleme Hızı ile Yüzey Pürüzlülüğü .....	28
<b>5.</b>	<b>DENEYSEL TASARIM.....</b>	<b>32</b>
5.1.	AL6061 T651 Anova Regresyon Analizi.....	32
5.1.1.	AL6061 T651 Anova Analizi.....	32
5.1.2.	AL6061 T651 Regresyon Analizi.....	34
5.2.	AL7075 T651 Anova ve Regresyon Analizi.....	36
5.2.1	AL7075 T651 Anova Analizi.....	36
5.2.2	AL7075 T651 Regresyon Analizi.....	37
<b>6.</b>	<b>ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>36</b>
6.1.	AL6061 T651 Deney Sonuçları .....	36
6.2.	AL 7075 T651 Deney Sonuçları .....	36
<b>7.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>39</b>
7.1.	Sonuçlar.....	39
7.2.	Öneriler.....	39
<b>8.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>40</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

Ra	Yüzey Pürüzlülüğü
BS	Boyutsallıktan Sapma
m	Aşındırıcı Akış Oranı
P	Kesme Basıncı
F	İlerleme Hızı



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Su Jeti Kesim Tezgahı .....	5
Şekil 2.1.1. Su Jeti Kesim Tablasına Malzeme Yükleme.....	7
Şekil 2.3.2.1. Su Jeti Kesim Kafası .....	8
Şekil 2.3.2.2. Su Jeti Kesim Kafası Çalışma Prensibi .....	8
Şekil 2.3.3.1. Kesimde kullanılan garnet kum.....	9
Şekil 4.1. Kesim Malzemesi Görseli .....	12
Şekil 4.1.1. A:Kesilmiş deney numuneleri, B: Kesim işlemi örnek 1, C:Tabla üzerinde kesilmiş numuneler, D: Kesim işlemi örnek 2.....	15
Şekil 4.2.1.1. A: CMM ölçüm tezgahı, B: Ölçüm hazırlığı, C: Ölçüm yapılması, D: Deney numunesi .....	16
Şekil 4.2.1.1.1. AL 6061 T651 Basınç-Boyutsallıktan Sapma İlişkisi.....	18
Şekil 4.2.1.2.1. AL 6061 T651 İlerleme Hızı-Boyutsallıktan Sapma İlişkisi.....	18
Şekil 4.2.1.3.1. AL 6061 T651 Aşındırıcı Akış Oranı ile Boyutsallıktan Sapma ilişkisi.....	19
Şekil 4.2.1.4.1. AL7075 T651 İlerleme Hızı – Boyutsallıktan Sapma.....	20
Şekil 4.2.1.5.1. AL7075 T651 Boyutsallıktan Sapma- Basınç .....	21
Şekil 4.2.1.6.1. AL7075 T651 Aşındırıcı Akış Oranı – Boyutsallıktan Sapma .....	22
Şekil 4.2.2.1. A: Deney numunesi Ra ölçümü, B: Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ....	22
Şekil 4.2.2.1.1. AL6061 T651 Aşındırıcı Akış Oranı ile Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi....	24
Şekil 4.2.2.2.1. AL6061 T651 Basınç – Yüzey Pürüzlülüğü .....	24
Şekil 4.2.2.3.1. AL6061 T651 İlerleme hızı – Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi .....	25
Şekil 4.2.2.4.1. AL 7075 T651 Basınç – Yüzey Pürüzlülüğü .....	26
Şekil 4.2.2.5.1. AL 7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü ile Aşındırıcı Akış Oranı .....	27
Şekil 5.1.2.1. AL6061 T651 Boyutsallıktan Sapma Kuadratik Regresyon Modeli Normal Olasılık Grafiği.....	34
Şekil 5.1.2.2. AL6061 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Normal Olasılık Grafiği.....	35
Şekil 5.2.2.1. AL7075 T651 Boyutsallıktan Sapma Normal Olasılık Grafiği.....	38
Şekil 5.2.2.2. AL7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Normal Olasılık Grafiği.....	39

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.3.1.1.</b> Döküm Alaşımı Gösterim Tanımlaması .....	2
<b>Tablo 1.3.1.2.</b> Döküm Alüminyum Alaşım Sınıfları .....	3
<b>Tablo 1.3.2.1.</b> Dövme Alaşım Kod Gösterimi .....	4
<b>Tablo 1.3.2.2.</b> Dövme Alaşım Seri Gösterimleri .....	4"
<b>Tablo 1.4.1.</b> Temper Tanımlama Kodları.....	5
<b>Tablo 1.5.1.</b> T651 Temper Kodu Tanımlaması.....	5
<b>Tablo 1.5.2.</b> AL6061 Alaşım İçeriği .....	5
<b>Tablo 1.6.1.</b> AL7075 T651 Alaşım İçeriği.....	5
<b>Tablo 4.1.</b> AL 7075 T651 Alaşım İçeriği ve Test Sonuçları.....	12
<b>Tablo 4.2.</b> AL7075 Mekanik Test Sonuçları.....	12
<b>Tablo 4.3.</b> AL6061 T651 Alaşım İçeriği ve Test Sonuçları.....	13
<b>Tablo 4.4.</b> AL6061 T651 Mekanik Özellikler ve Test Sonucu.....	13
<b>Tablo 4.1.1.</b> Kesim için Kullanılan Parametreler ve Aralıkları .....	14
<b>Tablo 4.1.2.</b> AL 6061 T651 Deney Tasarımı .....	14
<b>Tablo 4.2.1.1.</b> AL6061 Deney Tasarımı ve CMM Sonuçları.....	17
<b>Tablo 4.2.1.3.1.</b> AL 7075 T651 CMM Ölçüm Sonuçları.....	19
<b>Tablo 4.2.2.1.</b> AL 6061 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları .....	22
<b>Tablo 4.2.2.3.1.</b> AL 7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Değerleri.....	25
<b>Tablo 5.1.1.1.</b> AL6061 T651 Anova Analizi için Faktörler ve Seviyeleri.....	32
<b>Tablo 5.1.1.2.</b> Al6061 T651 Anova Yüzey Pürüzlülüğü Modeli.....	32
<b>Tablo 5.1.1.3.</b> AL6061 T651 Anova Boyutsallıktan Sapma Modeli.....	33
<b>Tablo 5.1.2.1.</b> AL6061 T651 Boyutsallıktan Sapma Regresyon Denklemi ve Modeli..	34
<b>Tablo 5.1.2.2.</b> AL6061 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Regresyon Denklemi ve Modeli ...	35
<b>Tablo 5.2.1.1.</b> AL7075 Yüzey Pürüzlülüğü Anova Analizi .....	36
<b>Tablo 5.2.1.2.</b> AL7075 Boyutsallıktan Sapma Anova Analizi.....	36
<b>Tablo 5.2.2.1.</b> AL7075 T651 Boyutsallıktan Sapma Regresyon Denklemi ve Modeli..	37
<b>Tablo 5.2.2.2.</b> AL7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Regresyon Denklemi ve Modeli...	39
<b>Tablo 6.2.1.</b> AL 606 T651 ve AL7075 T651 Optimum Ra değerleri.....	41
<b>Tablo 6.2.2.</b> AL 606 T651 ve AL7075 T651 En Düşük BS Değerleri.....	41

## 1. GİRİŞ

Alüminyum, Dünya üzerinde en çok bulunabilen 5 elementten birisidir. Alüminyum oksijene olan eğilimi ile oksitlenmeye müsaittir. Genellikle alüminyum oksit olarak( $Al_2O_3$ ) bulunmaktadır. Bu yüzden özünden ayırıştırmak için enerjiye ihtiyaç duyulduğundan pahalı bir malzemedir.

### 1.1. Alüminyum Malzeme Kullanım Avantajları

- Hafifliği, diğer malzemelere göre düşük yoğunluğuna karşın yüksek seviyede dayanıma sahip olması ile birçok sektörde yoğun şekilde kullanılmaktadır.
- Alüminyumun oksijene olan yatkınlığı ile malzeme yüzeyinde oksitleme oluşturur.(Wessel, 2004)
- Bu tabaka dış ortam koşullarına yüksek derecede dayanım özelliği sağlar.
- Geleneksel olarak uygulanan imalat yöntemleri ile kolaylıkla üretilebilir.
- Mükemmel seviyede elektrik iletkenliği sağlarlar.
- Geri dönüştürülebilirliği çok kolay malzeme olması, tercih edilme sebeplerinden birisidir.(Kaufman Kaufman & Columbus, n.d.)

### 1.2. Alüminyum Malzeme Kullanım Dezavantajları

- Yüksek ısı olan ortamlarda bulundurulmamalıdır. Çünkü yaklaşık 950-1000 derece arasında erime sıcaklığına sahiptir.
- Cıva ile aynı ortamda olmamalıdır. Çünkü cıva, alüminyum üzerinde önemli derecede tane sınırı gevrekleşmesi meydana getirir.
- Kaynaklı imalatta, özel yöntem gerektirmesi maliyeti arttırır.

### 1.3. Alüminyum Alaşımlar

#### 1.3.1. Döküm Alaşımlar

Alüminyum birliği tanımlama sistemine göre döküm alaşımlar için tasarlanmış gösterim vardır. Dökme alüminyum alaşımlar bu gösterime göre sınıflandırılmaktadır.

**Tablo 1.3.1.1.** Döküm Alaşımı Gösterim Tanımlaması(Ghali, n.d.-a)

X <u>Y Z</u> . T	
X	Alaşım sınıfını belirtir.
YZ	Alaşımında % 99 'un üzeri oranı belirtir.
T	Alaşımın form durumunu belirtir.
T = 0 ise;	Dökümdür.
T = 1 / 2	Külçedir.

**Tablo 1.3.1.2.** Döküm Alüminyum Alaşım Sınıfları (*Dashwood & Grimes, 2010*)

Seri	Temel Alaşım Elementi	Üretim yöntemleri
1xx.x	Yok	Kum döküm, basınçlı döküm, kokil döküm, vakumlu döküm ve Hassas döküm
2xx.x	Bakır	
3xx.x	Silikon + bakır / Magnezyum	
4xx.x	Silikon	
5xx.x	Magnezyum	
6xx.x	kullanılmıyor	
7xx.x	Çinko	
8xx.x	Kalay	

### 1.3.2. Dövme Alüminyum Alaşımlar

**Tablo1.3.2.1.** Dövme Alaşım Kod Gösterimi (*Dashwood & Grimes, 2010*)

X Y Z T	
X	Alaşım sınıfını belirtir.
ZT	Seri içindeki belirli alaşımları ifade eder.( NOT: Yalnızca 1xxx serisinde son iki rakam alüminyum' un % 99 üzerindeki oranını belirtir.)
Y	Alaşım içerisindeki varyasyonu ifade eder.
Y :0	Varyasyon yok
Y:1	1 Varyasyon var
Y:2	2 Varyasyon var

**Tablo 1.3.2.2.** Dövme Alaşım Seri Gösterimleri (Ghali, n.d.-b)

Seri	Temel Alaşım Elementi	Üretim yöntemleri
1xxx	Yok	Kum döküm, basınçlı döküm, kokil döküm, vakumlu döküm ve Hassas döküm
2xxx	Bakır	
3xxx	Manganez	
4xxx	Silikon	
5xxx	Magnezyum	
6xxx	Magnezyum + Silikon	
7xxx	Çinko	

## 1.4. Alüminyum Temper Tanımları

**Tablo 1.4.1.** Temper Tanımlama Kodları (Sanders et al., 2021)

KOD	TANIM	UYGUN ÜRETİM METODU
F	Fabrikasyon. Ürüne şekil vermek amacıyla ısı ve sertleştirme işlemi uygulanmayan	Dökme
O	Alaşımındaki direnci azaltarak süneklik kazandırmak için yapılan tavlama	Dökme
T	F, O ve H' den farklı olarak stabil temper elde etmek amacıyla yapılır.	Dövme-Dökme
W	Çözelti ısı işlemi yapılmış malzemenin doğal yaşlandırmaya bırakılmasını ifade eder.	Dökme
H	Isı uygulamasının önemli olmadığı gerinim sertleşmesidir.	Dövme-Dökme

Endüstrilerdeki uygulamalarda en çok kullanılanların başında H ve T tanımlı alaşımlardır. Belirli yönlerden zayıf olan alaşımları kullanıma daha uygun hale getirmek amacıyla oluşturulmuştur.

## 1.5. Al 6061 T651

Yoğunluğu  $2.7 \text{ g/cm}^3$  Esas alaşım elementleri magnezyum ve silikondur. Silikon içeriği, alaşımın akışkanlığını arttırmaya sebep olur. Bu sebepten dökme yöntemi ile üretilmesi uygun değildir. Mükemmel korozif direncin fazla istendiği alanlarda tercih edilir. Uçak ve gemi yapısal parçalarında yaygın şekilde kullanılır.

**Tablo 1.5.1.** T651 Temper Kodu Tanımlaması

T	6	5	1
Isıl işleme tabi tutulmuş	Yapay yaşlandırma	Gerilim giderme işlemi	Gerilim giderme işlemi sonrası düzlemselliği sağlanmış

**Tablo 1.5.2.** AL6061 Alaşım İçeriği

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn
< 0.70 %	0.40 – 0.80 %	< 0.150 %	0.04 - 0.35 %	< 0.15 %	0.15-0.40 %	0.80-1.2 %	< 0.25 %

### 1.6. AL 7075 T651

Ana elementi çinko ve magnezyum olan alaşım elementidir. Çok iyi seviyede dayanım özelliği ile uzay havacılık sektöründe yoğun olarak tercih edilmektedir. Dayanım oranı ısıtılma yöntemi ile önemli oranda artırılabilir.

**Tablo 1.6.1.** AL7075 T651 Alaşım İçeriği

Cr	Cu	Mg	Zn	Fe	Si	Mn	Ti	AL
0.18-0.28 %	1.2-2 %	2.1-2.9 %	5.1-6.1 %	< 0.5 %	< 0.4 %	< 0.3 %	< 0.2 %	Kalan

## 2. Su Jeti Kesim Teknolojisi

1950' li yılların sonunda yüksek basınçlı suyun kesme etkisinin farkedilmesi ile bu metoda ilgiyi arttırmıştır. Araştırmalarda malzeme yüzeyini daha kolay aşındırılması için aşındırıcı malzeme kullanılmıştır. 1990 yıllarına gelindiğinde ticari olarak geleneksel işleme yöntemlerine alternatif olarak yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. (ALTINSOY & ARSLAN, 2021)

**Şekil 2.1.** Su Jeti Kesim Tezgahı

Geleneksel kesim metotları tornalama, frezeleme ve delme gibi operasyonlarda kesim sırasında ya da sonrası karşılaşılan bölgesel ısı deformasyonu, takım aşınmaları, çapak oluşumu, hassas toleranslarda uyumsuzluk, rötuş yapma ihtiyacı, istenen yüzey kalitesini elde edememe gibi birçok sorunun çözümünde alternatif kesme yöntemleri araştırılmaya başlandı. Aşındırıcılı su jeti bu problemlerin çoğuna çözüm sunan etkili yöntemlerden birisidir.

AWJ ile kesimin diğer yöntemlere göre yavaş olması sebebiyle optimum kesim parametrelerinin oluşturulması önem taşımaktadır. AWJ ile kesimde temel parametreler kesme basıncı, aşındırıcı akış oranı, ilerleme hızı ve kesme yüksekliği' dir. Bu parametrelerin ideal halde belirlenmesi maliyet, zaman ve kalite için çok önemlidir. Su basıncının artışı tanecikler arasında kinetik enerji oluşturur. Dolayısıyla kesime en kolay etki eden parametrelerin başında basınç gelmektedir.

Temel olarak, su arıtma ünitesinden geçen saf su pompa vasıtasıyla çok yüksek basınçlara ulaştırılarak kesme kafasına iletilir. Kesme kafasında basıncı daha da arttırmak amacıyla yerleştirilmiş olan boru hattından daha küçük çaplı orifisten geçirilir. Ardından karışım odasında aşındırıcı malzeme ile birleştirilerek malzeme yüzeyinde aşındırma yoluyla işleme gerçekleştirilir. Aşındırıcı kullanılmasının sebebi malzeme(Klichová et al., n.d.) yüzeyinin aşındırılmasını hızlandırmak ve kolaylaştırmaktır.

Su jetinin aşındırıcı ile birlikte kullanımının en önemli amacı, yüzey pürüzlülüğü ve kesim toleranslarıdır. Basınçlı suyun akış tutarlılığı sağlandıkça yüzey iyileşmeye başlar. Kesme derinlikleri arttıkça yüzey pürüzlülüğü artabilir. Havacılık gibi bindelik hassasiyetin istendiği alanlarda kullanım açısından çok uygundur. Son zamanlarda, titanyum ve alaşımları, kompozitler gibi işlenmesi zor malzemelerin aşındırıcılı su jetinde işlenmesi konularında çok sayıda denemeler yapılmaktadır. (Akkurt et al., 2002)

## **2.1. Aşındırıcılı Su Jeti Kesim ile İşleme Avantajları**

- Isıdan etkilenen bölge bulunmamaktadır.
- Soğuk kesim yapıldığı için yüzeyde çapak ve tozlar bulunmaz. Bu sayede kesim sonrası malzeme rötuşlama işlemine neredeyse ihtiyaç duyulmaz.
- Kesimi çok zor olan birçok malzeme türünü sorunsuz kesebilir.
- Tezgah setup süresi kısadır. Bu sayede iş değiştirildiğinde süre kaybı azdır.
- Çok küçük çapta nozullar kullanıldığı için kerf verme işlemini azaltır.

- İnsan sağlığı açısından zararlı maddeler kullanılmadığı için sağlıklı bir yöntemdir.(Kapil Gupta, n.d.)
- Kompleks ve hassas parçaların kesimine elverişlidir.
- Farklı çeşitlerde malzeme kesebilmesi çok avantajlıdır.
- Bindelik seviyede tolerans ile plazma ve lazer kesim teknolojilerine nazaran çok küçük hassasiyet sağlar.



Şekil 2.1.1. Su Jeti Kesim Tablasına Malzeme Yükleme

## 2.2. Aşındırıcılı Su Jeti Kesim ile İşleme Dezavantajları

- İşletme maliyeti yüksektir.
- İlk kurulum maliyeti yüksektir.
- Kesim süresi uzundur.
- Kompleks bir sistem olduğundan bakımı zor ve maliyetlidir.
- Sistemin elektrik tüketimi fazladır.

## 2.3. Su Jeti Kesim Makinası Bileşenleri

### 2.3.1. Pompa

Genellikle su pompa yardımıyla 3500 – 5000 bar aralığında çok yüksek basınçlara çıkarılır. Önemli işlevi, suyun kafaya kadar aynı basınçta iletilmesini sağlamaktır. Bazı sistemlere su basıncının stabil tutulabilmesi için enerji depolama yapan araçlar eklenir. Sistemde anormallik oluştuğunda ihtiyaç olan basınçlı suyun sisteme iletilmesi vasıtasıyla basınç korunmuş olur.(Bañon et al., 2021)

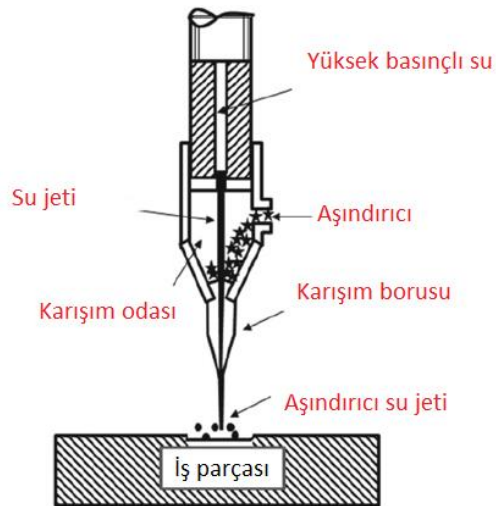
### 2.3.2. Kesim kafası

Kesim işleminin ana bileşenidir. Dışarıdan birkaç girişi bulunmaktadır. Bunlar; aşındırıcı giriş hattı, basınçlı su hattıdır. İçerisinde kum ile suyu karıştırmaya yarayan karıştırıcılar sayesinde nozul' a homojen ve sürekli bir akış sağlanır.(Bañon et al., 2021)

Çok küçük çaplarda nozul kullanılmaktadır. Genelde 1.02 mm çapında nozul tercih edilmektedir. Çap küçüldükçe daha hassas bir kesim toleransı elde edilir. Ancak kesim hızı azalır. Kesme hızının azalması daha tutarlı enerji akışı sağlandığından tutarlı yüzey sağlar. Malzeme olarak safir ve tungsten karbür yaygın olarak tercih edilir.



Şekil 2.3.2.1. Su Jeti Kesim Kafası



Şekil 2.3.2.2. Su Jeti Kesim Kafası Çalışma Prensibi (Kapil Gupta, n.d.)

### 2.3.3. Aşındırıcı Çeşitleri

Aşındırıcı seçiminde sertlik arttıkça malzeme kaldırma oranı ve malzeme kalınlığıda artar. Sertlik oranı malzeme türüne göre belirlenir. Aşındırıcı boyutu büyüdüğünde malzeme işleme süresi kısalmıştır çünkü malzeme kaldırma oranı artar. Garnet, endüstriyel olarak en yaygın şekilde kullanılan aşındırıcı türüdür. Bunun sebebi elde edilen yüzey kalitesi ve uzun süre kullanılabilmesidir. Garnet saf olmaya ne kadar yaklaşırsa kesim kalitesi o kadar artar.(Oh et al., 2019)



Şekil 2.3.3.1. Kesimde kullanılan garnet kum

En sert aşındırıcı çeşidi silisyum karbürdür(SiC). Sert olmasından dolayı çabuk bozulur. Sert malzemelerde iyi derecede yüzey pürüzlülüğü sağlar. Isıya karşı direnci çok iyidir. Olivin, kalın olmayan malzemelerin kesiminde tercih edilir.(Khan & Haque, 2007)

### 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kütle akış hızı, su jeti basıncı ve traverse hızının kesme derinliği üzerindeki etkileri elektron mikroskobu ile tarama yapılarak araştırılmıştır. Minimum basınç ve en yüksek traverse hızında kesme derinliğini en düşük olduğu, maksimum basınç ve maksimum traverse hızında kesme derinliğini en yüksek seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.(Prabhuswamy et al., 2018)

Farklı yüksek basınç değerlerinin, işlenmiş jet giriş ve çıkış yüzey genişliğinde, diklikten sapmada, sapma açısında ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Basınç arttığında giriş ve çıkış yüzey genişliğinin arttığı; sapma açısı, diklikten uzaklaşma ve yüzey pürüzlülüğünde azalma olduğu sonucuna varılmışlardır.(Herghelegiu et al., 2013)

Bu çalışmada, aşındırıcı su jeti ile AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde nozul travers hızının geometrik toleranslara etkisi araştırılmıştır. Farklı nozul travers hızları kullanılarak açılan deliklerin dairesel ve silindiriklik sapması CMM kullanılarak ölçülmüştür. Nozul traverse hızı artışının silindiriklik ve dairesellikten sapma değerlerinin artışına neden olduğu tespit edilmiştir. Artan nozul traverse hızı birim yüzeye temas eden aşındırıcı miktarını azaltmakta olduğu ve istenilen geometri doğrultusunda kesme işleminin gerçekleştirmediği sonucuna varılmıştır.(Tekaüt, 2019)

Farklı traverse hızları ve kesme basınçlarının, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Travers hızı arttıkça hem ortalama hem de maksimum yüzey pürüzlülüğü değerlerinde bir artış olduğu; traverse hızı ne kadar yüksek olursa, birim mesafede birim zamanda oluşan talaş miktarının da o kadar düşük olduğu sonucuna varılmıştır.(Tosun et al., 2013)

Endüstriyel olarak yaygın kullanılan Ticari Saf Alüminyum ve Al-6061 Alüminyum Alaşımı malzemelerden hazırlanan farklı kalınlıklardaki (5, 10, 15, 20mm) numunelerin AWJ ile farklı yanal hızlarda kesilerek, yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi araştırılmıştır. Belirlenen hızlarda ve 20 mm/dk'lik ortak hızda kesilen numunelerin yüzey özellikleri değerlendirildiğinde işleme parametrelerinden yanal hızın, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin oldukça düşük olduğu sonucuna varılmıştır.(Akkurt et al., n.d.)

Bu çalışmada kesme hızı, malzeme kalınlığı, su basıncı aşındırıcı akış oranının, çentik konikliği üzerindeki değişimi incelenmiştir. Deneylede malzeme kalınlığı arttırıldığında çentik konikliğinde azalma, kesme hızı arttığında çentik konikliğinde artma meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca su basıncı ve aşındırıcı akış oranının çentik konikliğini etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır.(Wang et al., 2021)

Bu araştırmada, kesme basıncı, programlanmış kesme kalitesi ve uzaklaşma mesafesi girdi parametreleri kullanılarak, çıkış kesme genişliği ve koniklik açısı çıktı parametreleri arasındaki ilişki ANOVA yöntemi ile analiz edilmiştir. Kesim çıkış genişliğinin kesme kalitesinden önemli oranda etkilendiği, kesim kalitesinin kesme basıncı ile ilişkili olmadığı ve kesim giriş genişliğinin kesme yüksekliğinden büyük oranda etkilendiği belirlenerek, ANOVA analizinin kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.(Grigora et al., 2020)

Bu çalışmada diğer önemli parametreler sabit tutularak, 200, 250, 300, 350 ve 400 gr/dk oranlarında yüzey pürüzlüğü incelemesi yapılmıştır. 400 gr/dk akış oranında en yüksek Ra değeri 3.3 µm iken, 200 gr/dk oranında en yüksek Ra değeri 9.2 µm elde edilmiştir. Akış oranındaki artış' ın yüzey pürüzlülüğü' nü düşürdüğü sonucuna varılmıştır.(Babu et al., 2015)

Araştırmada, Al 7075 T6 malzemesinin delme operasyonunda çentik profili ve malzeme kaldırma oranını tahminlemek, jet dinamik akış modellemesi, aşındırıcı parçacık takibi ve erozyon oranı takibi için üç boyutlu model oluşturularak, simülasyonu yapılmıştır. Uzaklaşma mesafesi, basınç ve işleme süresi parametrelerinin, çentik özelliklerini etkileyen önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir. Konik çentik probleminin önüne basıncın arttırılması, uzaklaşma mesafesinin ve tanecik boyutunun azaltılması ile geçilebileceği sonucuna varılmıştır.(Nyaboro et al., 2021)

Bu çalışmada, basınç, aşındırıcı hacim oranı ve uzaklaşma mesafesi parametrelerinin, titanyum alaşım Ti-6Al-4V malzemesi üzerinde malzeme kaldırma oranı ve kesme derinliği üzerinde oluşturduğu etki araştırılmıştır. Su basıncı ve kütle akış hızı kesme derinliği üzerinde yüksek derecede etkiye sahip olduğu; su basıncı, uzaklaşma mesafesi, aşındırıcı akış oranı ve traverse hızının malzeme kaldırma oranını önemli seviyede etkilediği sonucuna varılmıştır.(Muzammil et al., 2018)

#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylerde 110x110x10 mm ebatlarında 27 adet AL6061 T651 ve 27 adet AL7075 T651 deney numunesi hazırlanmıştır. Deney malzemeleri SeyKoç Alüminyum firmasından temin edilmiştir. Malzemeler EN485, EN 573 standardına göre üretilmiştir.



Şekil 4.1. Kesim Malzemesi Görşeli

Tablo 4.1. AL 7075 T651 Alaşım İçeriği ve Test Sonuçları

Değerler	ELEMENTLER( % ) (Elements)											
	Standart	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Each	Total	Al
Min.					0,18		1,2	2,1	5,1			
Max.	0,5	0,4	0,3	0,28	0,2	2	2,9	6,1	0,05	0,15	Kalan	
<b>Test Sonuçları (%) (Test Results)</b>												
	0,34	0,15	0,16	0,22	0,03	1,5	2,6	5,5				

Tablo 4.2. AL7075 T651 Mekanik Test Sonuçları

Mekanik Özellikler					
Standart	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama %	Sertlik (HB)	Elastisite E
Min	540	470	8	x	
Max					
Test Sonuçları	570	498	13,5	168-170	71-72 GPa

**Tablo 4.3.** AL6061 T651 Alaşım İçeriği ve Test Sonuçları

<b>Kimyasal Analiz ( Chemical Analysis)</b>											
Değerler	<b>ELEMENTLER( % ) (Elements)</b>										
Standart	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Each	Total	AL
Min.		0,4		0,04		0,15	0,8				
Max.	0,7	0,8	0,15	0,35	0,15	0,4	1,2	0,25			Kalan
<b>Test Sonuçları (%) (Test Results)</b>											
Test sonuçları	0,51	0,635	0,129	0,104	0,024	0,232	1,023	0,199			
	0,38	0,612	0,105	0,099	0,027	0,225	1,016	0,086			

**Tablo 4.4.** AL6061 T651 Mekanik Özellikler ve Test Sonucu

<b>AL 6061 T651 Mekanik Özellikler</b>					
Standart	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama %	Sertlik (HB)	Elastisite ( E)
Min.	290	240	6		
Max.					
Test Sonuçları	311	276	17	85-100	68-70 GPa

#### 4.1.Numune Hazırlama

Deneyler için numune malzeme kesim işlemi, Bronz Otomotiv şirketinde RESATO ACM 2040 model su jeti kesim makinasında gerçekleştirilmiştir. Kesim işleminde kesme basıncı, aşındırıcı akış oranı ve ilerleme hızı parametreleri 3 farklı seviyede değiştirilmiş olup, diğer parametreler sabit tutulmuştur. Aşındırıcı malzeme olarak 80 mesh garnet kullanılmıştır.

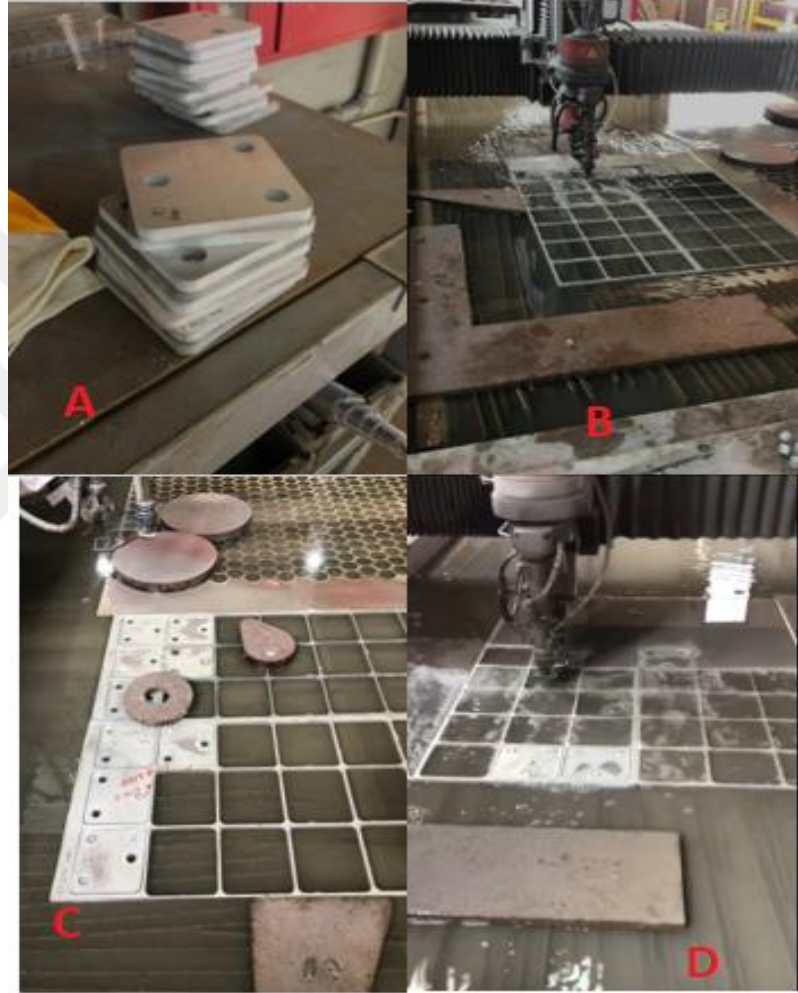
**Tablo 4.1.1.** Kesim için Kullanılan Parametreler ve Aralıkları

Değişken Parametreler	Kesme basıncı	İlerleme hızı	Aşındırıcı Akış Oranı
	3000-3400-3800 bar	400-430-460 mm/dk	250-300-350 g/dk
Aşındırıcı boyutu	80 mesh		

**Tablo 4.1.2.** AL 6061 T651 Deney Tasarımı

	Kesme Basıncı (bar)	Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)
1	3000	250	400
2	3000	250	430
3	3000	250	460
4	3000	300	400
5	3000	300	430
6	3000	300	460
7	3000	350	400
8	3000	350	430
9	3000	350	460
10	3400	250	400
11	3400	250	430
12	3400	250	460
13	3400	300	400
14	3400	300	430
15	3400	300	460
16	3400	350	400
17	3400	350	430
18	3400	350	460
19	3800	250	400
20	3800	250	430
21	3800	250	460
22	3800	300	400
23	3800	300	430
24	3800	300	460
25	3800	350	400
26	3800	350	430
27	3800	350	460

Değişken parametreler kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarıma göre kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki malzeme kesimi içinde aynı deney tasarımı kullanılmıştır. Kesimlerde nozul çapı ve diğer parametreler sabit tutulmuştur.

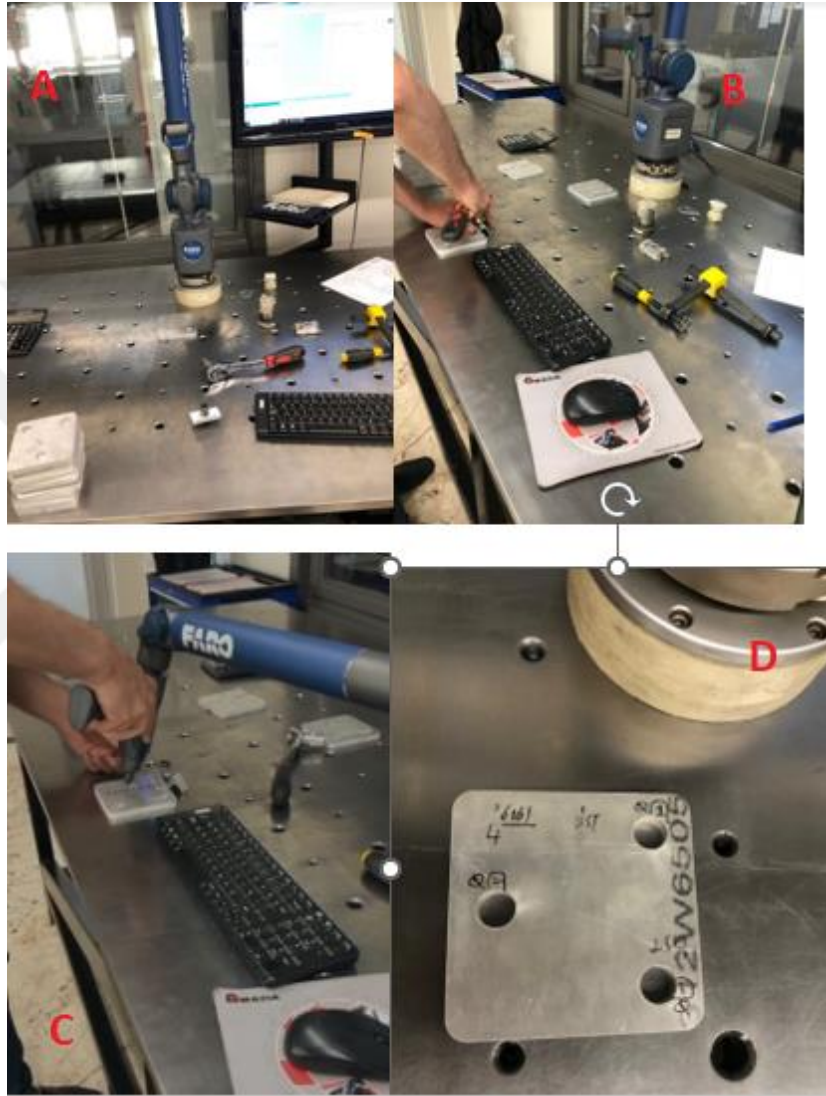


**Şekil 4.1.1.** A: Kesilmiş deney numuneleri, B: Kesim işlemi örnek 1, C: Tabla üzerinde kesilmiş numuneler, D: Kesim işlemi örnek 2

## 4.2. Deneylerin Yapılması

### 4.2.1. CMM Cihazı ile Ölçüm

Kesim işlemi tamamlanan deney numuneleri Bronz Otomotiv firmasında FARO CMM cihazı ile deliklerin boyutsal sapmaları incelenmiştir. Her delik 10 farklı noktadan ölçülmüştür. Ölçülen sonuçlar tablo 15' te listelenmiştir.



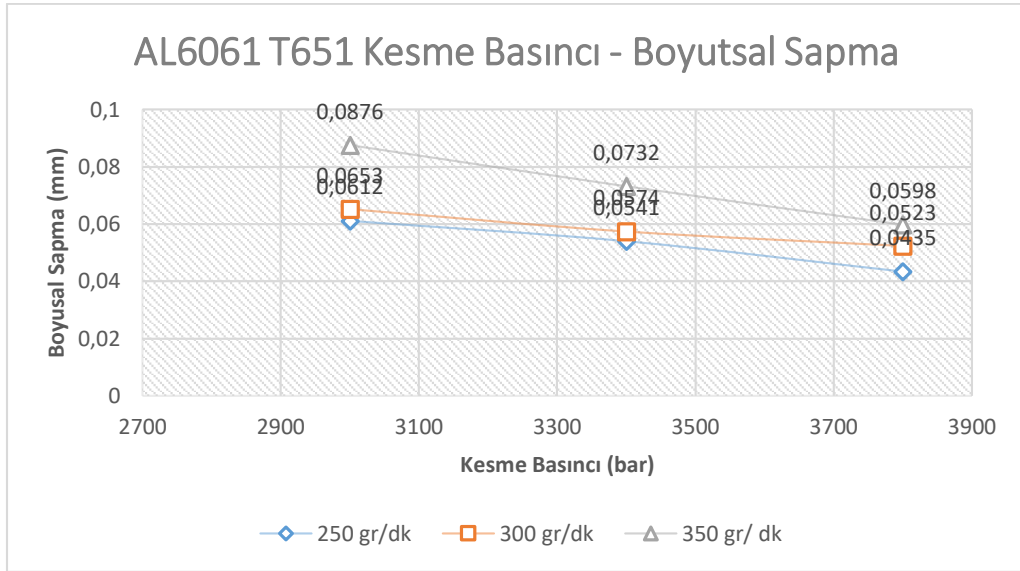
Şekil 4.2.1.1. A: CMM ölçüm tezgahı, B: Ölçüm hazırlığı, C: Ölçüm yapılması, D: Deney numunesi

**Tablo 4.2.1.1. AL6061 T651 Deney Tasarımı ve CMM Sonuçları**

	Kesme Basıncı (bar)	Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Boyutsal Sapma
1	3000	250	400	0,0612
2	3000	250	430	0,0685
3	3000	250	460	0,0762
4	3000	300	400	0,0653
5	3000	300	430	0,0726
6	3000	300	460	0,0811
7	3000	350	400	0,0876
8	3000	350	430	0,0911
9	3000	350	460	0,0981
10	3400	250	400	0,0541
11	3400	250	430	0,0465
12	3400	250	460	0,0648
13	3400	300	400	0,0574
14	3400	300	430	0,0525
15	3400	300	460	0,0689
16	3400	350	400	0,0732
17	3400	350	430	0,0613
18	3400	350	460	0,0715
19	3800	250	400	0,0435
20	3800	250	430	0,0412
21	3800	250	460	0,0465
22	3800	300	400	0,0523
23	3800	300	430	0,0457
24	3800	300	460	0,0539
25	3800	350	400	0,0598
26	3800	350	430	0,0602
27	3800	350	460	0,0653

#### 4.2.1.1. AL 6061 T651 Basınç ile Boyutsal Sapma İlişkisi

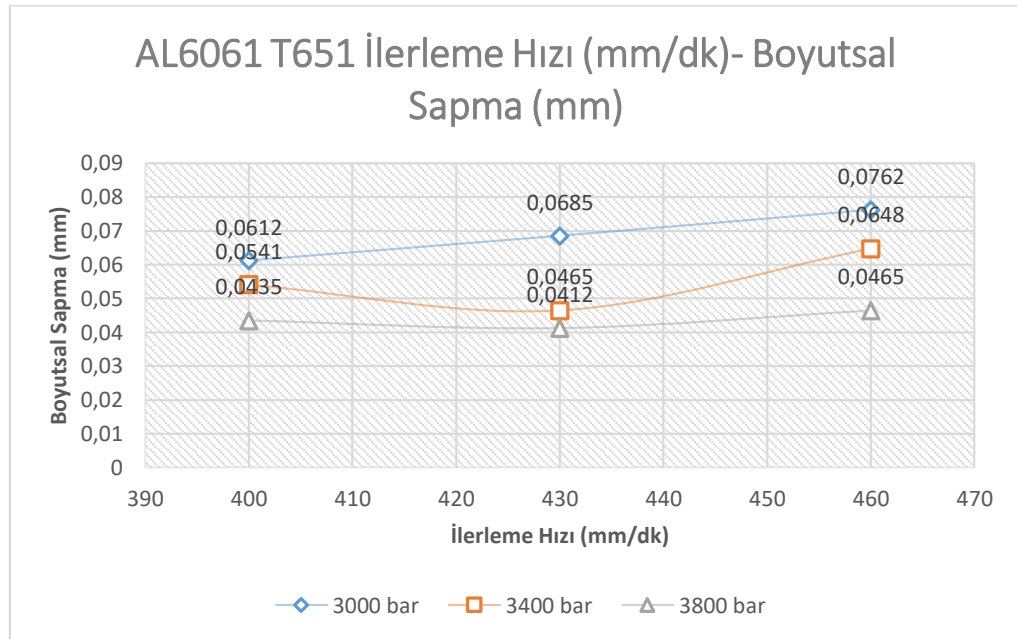
AL 6061 T651 malzemesin' de basıncın artışı sonucu boyutsal sapmada gözle görünür şekilde azalma görülmüştür. Kesim yapılan noktada kararlı enerji yoğunluğunun artması buna sebep olmaktadır. Grafikte 3 farklı seviyede aşındırıcı oranı değerinde de boyutsal sapma değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.2.1.1.1. AL 6061 T651 Basınç-Boyutsal Sapma İlişkisi

#### 4.2.1.2. Al 6061 T651 İlerleme Hızının Boyutsal Sapmaya Olan İlişkisi

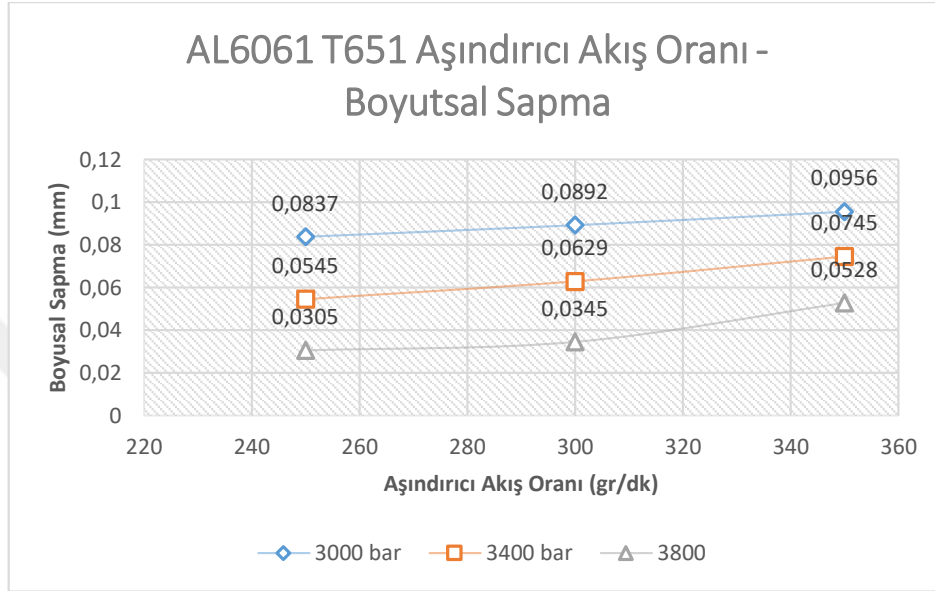
Tablodaki değerler incelendiğinde ilerleme hızı arttığında, Boyutsal sapma değerinde artış görülmektedir. Kesim noktasına yeteri kadar aşındırılmadığından BS değerinde artış meydana gelmiştir. İlerleme hızının yanı sıra 3 farklı basınç değerinde de boyutsal değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.2.1.2.1. AL 6061 T651 İlerleme Hızı-Boyutsal Sapma İlişkisi

#### 4.2.1.3. AL6061 T651 Aşındırıcı Akış Oranı ile Boyutsal Sapma İlişkisi

Aşağıdaki grafik incelendiğinde aşındırıcı akış oranı arttığında boyutsal sapmada artış görülmüştür. Kesim enerjisi yeterli olmadığında boyutsallıktan sapma meydana getirmiştir. Aşındırıcı akış oranının yanı sıra basınç değişiminde de boyutsal değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.



**Şekil 4.2.1.3.1.** AL 6061 T651 Aşındırıcı Akış Oranı ile Boyutsal Sapma ilişkisi

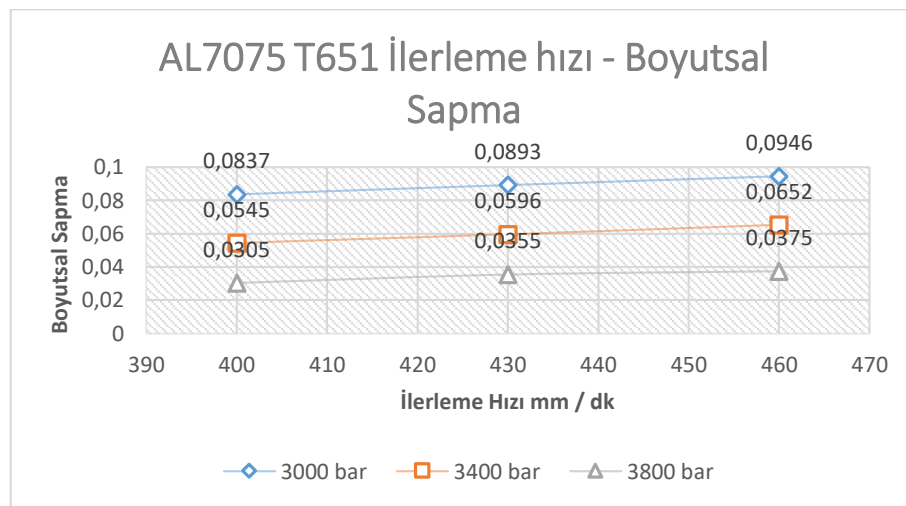
**Tablo 4.2.1.3.1.** AL 7075 T651 CMM Ölçüm Sonuçları

	Kesme Basıncı (bar)	Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Boyutsal Sapma
1	3000	250	400	0,0837
2	3000	250	430	0,0893
3	3000	250	460	0,0946
4	3000	300	400	0,0892
5	3000	300	430	0,0905
6	3000	300	460	0,0915
7	3000	350	400	0,0956
8	3000	350	430	0,0968
9	3000	350	460	0,0998
10	3400	250	400	0,0545
11	3400	250	430	0,0596
12	3400	250	460	0,0652

13	3400	300	400	0,0629
14	3400	300	430	0,0725
15	3400	300	460	0,0822
16	3400	350	400	0,0745
17	3400	350	430	0,0798
18	3400	350	460	0,0875
19	3800	250	400	0,0305
20	3800	250	430	0,0355
21	3800	250	460	0,0375
22	3800	300	400	0,0345
23	3800	300	430	0,0365
24	3800	300	460	0,0404
25	3800	350	400	0,0528
26	3800	350	430	0,0598
27	3800	350	460	0,0624

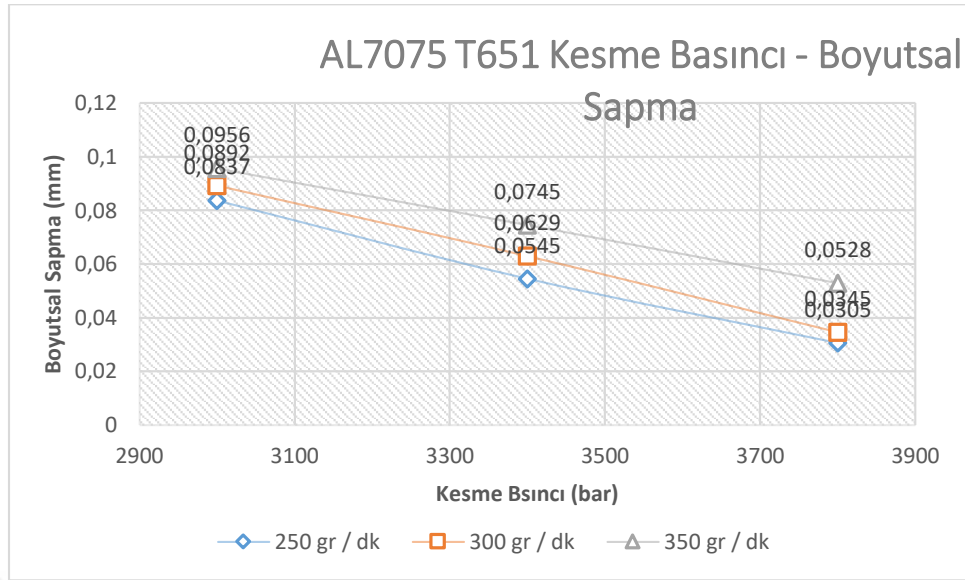
#### 4.2.1.4. AL 7075 T651 İlerleme Hızının Boyutsal Sapmaya Etkisi

Sonuçlarda görüldüğü üzere ilerleme hızı arttıkça boyutsallıktan sapma da artış görülmüştür. Hızın artışı ile yüzeyi aşındırma süresi azalacak ve yeteri kadar aşındırma sağlanamayacağından boyutsallıktan sapmadan artış meydana gelmektedir. İlerleme hızının yanı sıra basınç değişimine bağlı eğriler grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.2.1.4.1. AL7075 T651 İlerleme Hızı – Boyutsallıktan Sapma

#### 4.2.1.5. AL7075 T651 Kesme Basıncının Boyutsallıktan Sapmaya Etkisi

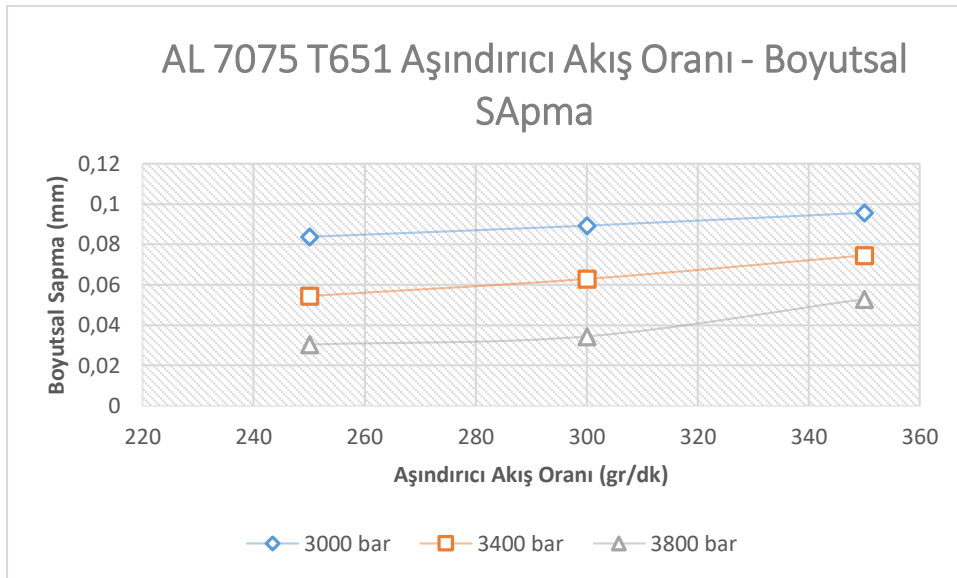


Şekil 4.2.1.5.1. AL7075 T651 Boyutsallıktan Sapma- Basınç

Deney sonuçları incelendiğinde ilk durumda şekil 4.2.1.5.1' de kesme basıncı artışı boyutsallıktan sapmada düşüşe neden olmaktadır. Daha kararlı enerji yoğunluğu daha temiz bir yüzey elde edilmesini sağlar. Basınç artışının yanı sıra aşındırıcı akış oranının da artışına bağlı değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.

#### 4.2.1.6. AL 7075 T651 Aşındırıcı Akış Oranının Boyutsal Sapmaya Olan Etkisi

Şekil 16' da, aşındırıcı akış oranı artışı ile boyutsallıktan sapmada artış gözlenmiştir. Akış oranının fazla olması daha çok malzeme kaldırılmasına sebep olmakta ve bunun sonucunda sapma artma eğilimindedir. Akış oranının yanı sıra basınç artışına bağlı değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.2.1.6.1. AL7075 T651 Aşındırıcı Akış Oranı – Boyutsallıktan Sapma

#### 4.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Deney numunelerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümü Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi deney Laboratuvarında, Mahr marka yüzey pürüzlülüğü cihazında ölçülmüştür. Deliklerin yüzey pürüzlülüğüne her delikten 3 noktadan değer alınmıştır. Prob ilerlemesi 1,750 mm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.2.2.1. A: Deney numunesi Ra ölçümü, B: Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihaz

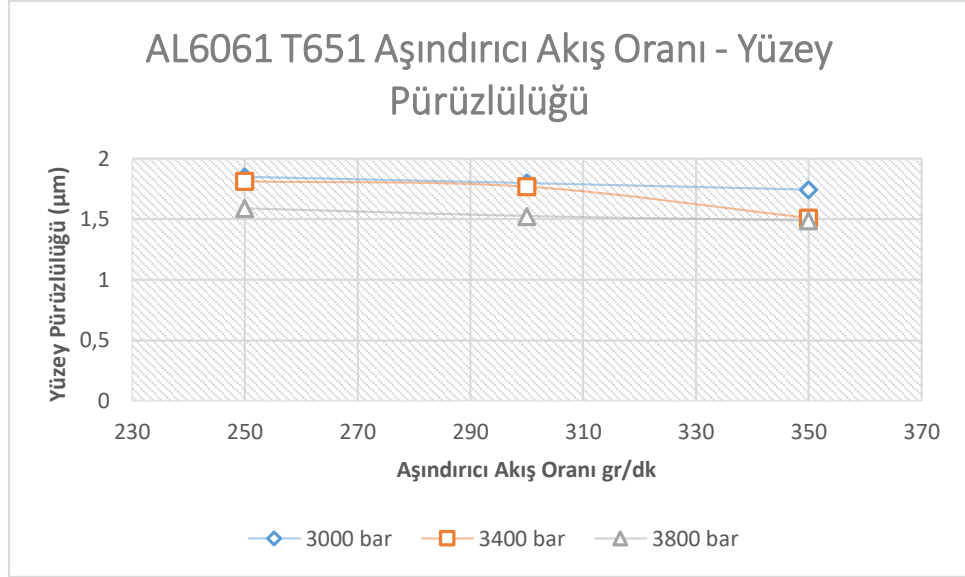
Tablo 4.2.2.1. AL 6061 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

	Kesme Basıncı (bar)	Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Yüzey Pürüzlülüğü(µm)
1	3000	250	400	1,850
2	3000	250	430	1,920
3	3000	250	460	2,037

4	3000	300	400	1,799
5	3000	300	430	1,862
6	3000	300	460	2,001
7	3000	350	400	1,745
8	3000	350	430	1,789
9	3000	350	460	1,827
10	3400	250	400	1,813
11	3400	250	430	1,845
12	3400	250	460	1,899
13	3400	300	400	1,769
14	3400	300	430	1,798
15	3400	300	460	1,837
16	3400	350	400	1,510
17	3400	350	430	1,594
18	3400	350	460	1,653
19	3800	250	400	1,588
20	3800	250	430	1,618
21	3800	250	460	1,643
22	3800	300	400	1,525
23	3800	300	430	1,568
24	3800	300	460	1,669
25	3800	350	400	1,487
26	3800	350	430	1,588
27	3800	350	460	1,601

#### 4.2.2.1.AL 6061 T651Yüzey Pürüzlülüğü ile Aşındırıcı Akış Oranı İlişkisi

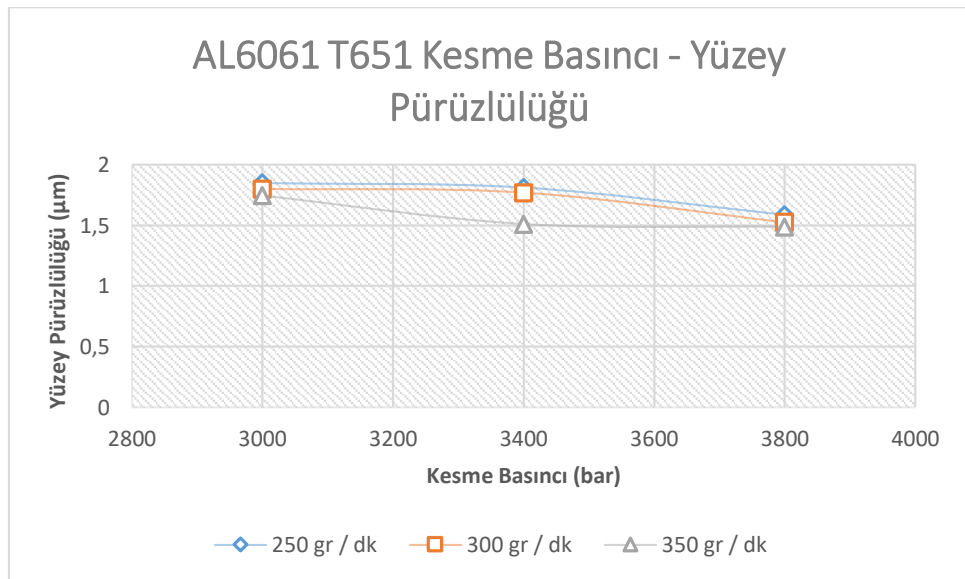
Aşağıdaki tablodan elde edilen grafiğe göre aşındırıcı akış oranı arttığı zaman yüzey pürüzlülüğünde düşüş meydana gelmiştir. Akış oranının artması daha tutarlı bir yüzey oluşturmuştur. Akış oranının yanında basınç artışına bağlı değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.



**Şekil 4.2.2.1.1.** AL6061 T651 Aşındırıcı Akış Oranı ile Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

#### 4.2.2.2.AL6061 T651 Basınç ile Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

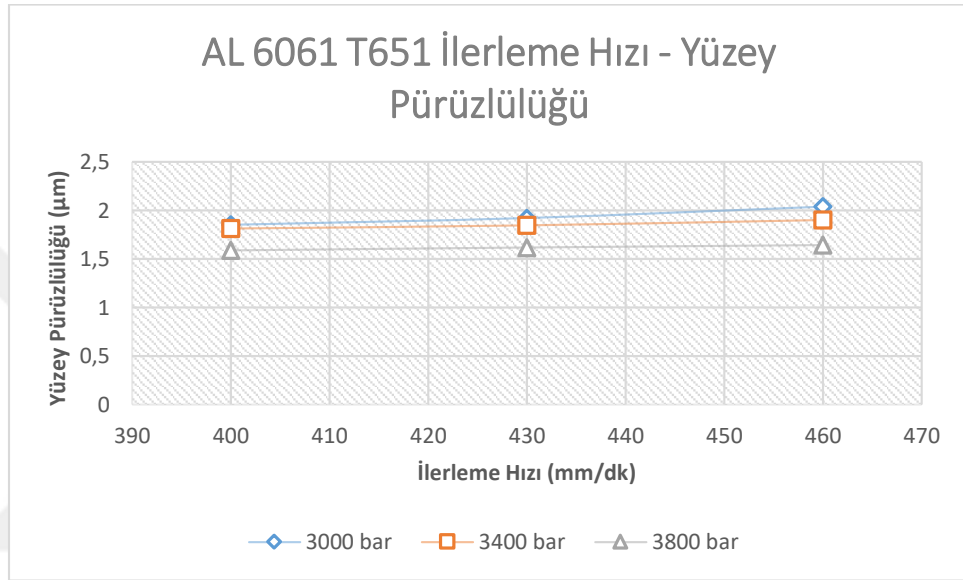
Aşağıdaki şekil 4.2.2.2.1’ de görüldüğü üzere basınç değerini artırılması yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma eğilimi meydana gelmiştir. Bu sayede yüzey kalitesi istenen seviyeye gelebilmektedir. Basınç artışının yanında aşındırıcı akış oranındaki artışa bağlı değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.



**Şekil 4.2.2.2.1.** AL6061 T651 Basınç – Yüzey Pürüzlülüğü

#### 4.2.2.3. Al6061 T651 İlerleme Hızı ile Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

Grafik incelendiğinde ilerleme hızı arttığında yüzey pürüzlülüğü değerinde artış gözlenmiştir. Aşındırılması gereken yerde yeterince işleme yapılamadığından yüzey pürüzlülüğü değerinde artışa sebebiyet vermektedir. İlerleme hızının yanı sıra kesme basıncının artmasına bağlı değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.



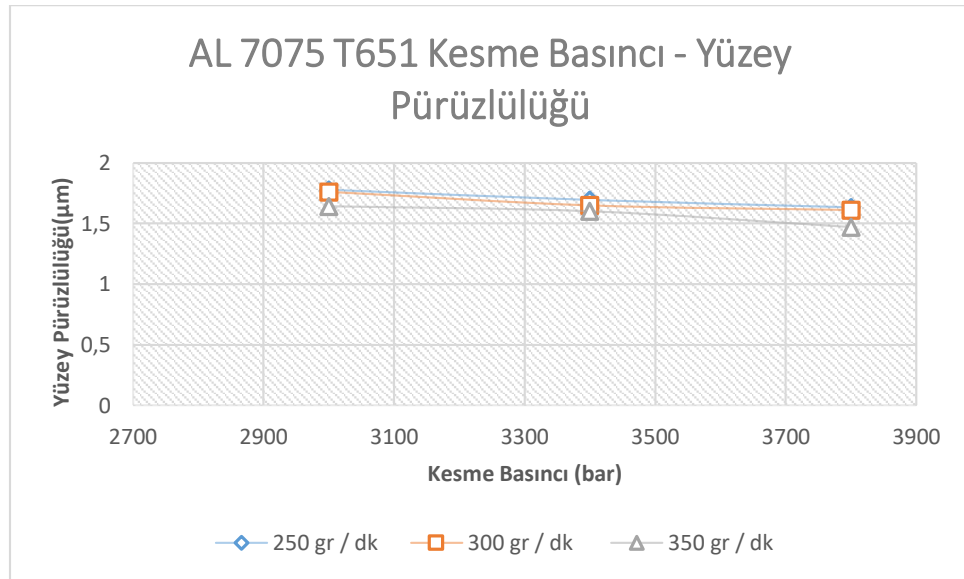
Şekil 4.2.2.3.1. AL6061 T651 İlerleme hızı –Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

Tablo 4.2.2.3.1. AL 7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Değerleri

	Kesme Basıncı (bar)	Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
1	3000	250	400	1,778
2	3000	250	430	1,876
3	3000	250	460	1,895
4	3000	300	400	1,762
5	3000	300	430	1,816
6	3000	300	460	1,835
7	3000	350	400	1,643
8	3000	350	430	1,665

9	3000	350	460	1,736
10	3400	250	400	1,695
11	3400	250	430	1,752
12	3400	250	460	1,789
13	3400	300	400	1,650
14	3400	300	430	1,755
15	3400	300	460	1,752
16	3400	350	400	1,602
17	3400	350	430	1,650
18	3400	350	460	1,656
19	3800	250	400	1,635
20	3800	250	430	1,735
21	3800	250	460	1,736
22	3800	300	400	1,612
23	3800	300	430	1,659
24	3800	300	460	1,702
25	3800	350	400	1,472
26	3800	350	430	1,489
27	3800	350	460	1,512

#### 4.2.2.4. AL7075 T651 Basınç Artışının Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) İlişkisi

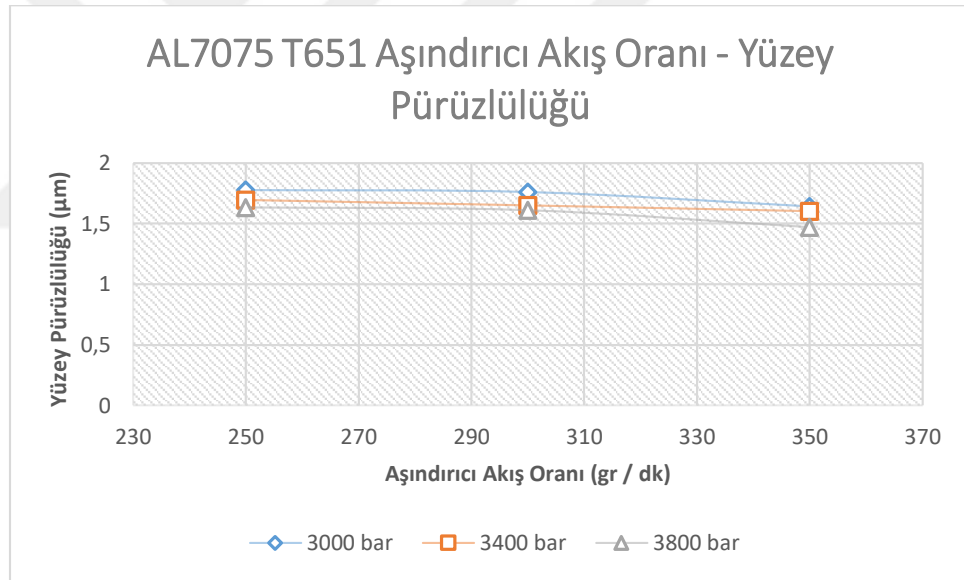


Şekil 4.2.2.4.1. AL 7075 T651 Basınç – Yüzey Pürüzlülüğü

Grafik incelendiğinde, kesme basıncı arttığında, yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma meydana gelmiştir. Basıncın artması ile yüzeye daha tutarlı enerji yoğunluğu ileildiği için yüzey kalitesinde iyileşme meydana gelmiştir. Basıncın yanı sıra aşındırıcı akış oranının da artmasına bağlı değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.

#### 4.2.2.5. AL7075 Yüzey Pürüzlülüğü ile Aşındırıcı Akış Oranı İlişkisi

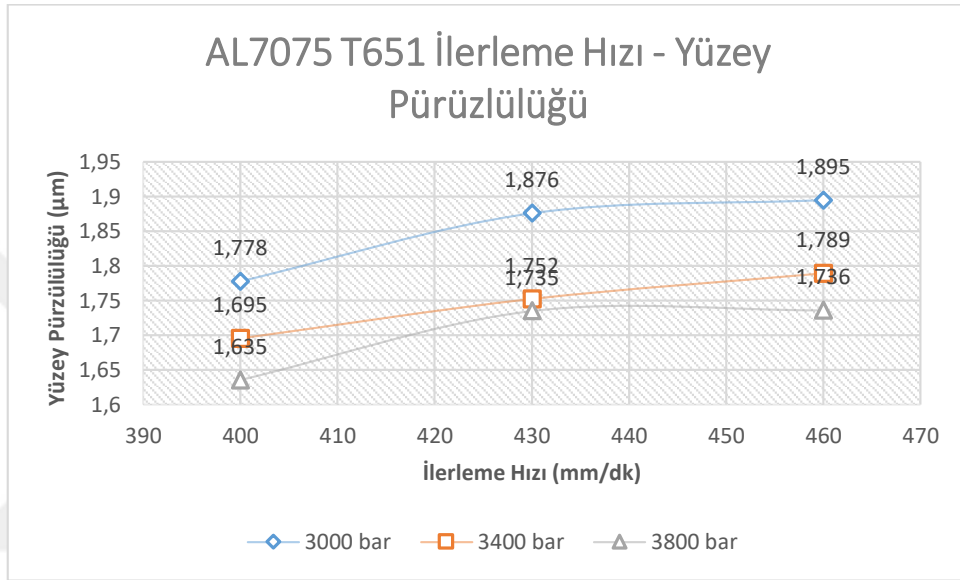
Grafik 4.2.2.5.1.' te görüldüğü üzere, aşındırıcı akış oranının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi, artan oranda akış malzemedan kararlı talaş kaldırdığı için yüzeyde iyileşmeye sebep olur. Ra değerinin düşmesi, şekil 4.2.2.5.2' ye bakıldığında basıncın artması ile birlikte azalmaya devam etmiştir. Daha da düşük seviyeye gerilemiştir.



**Şekil 4.2.2.5.1.** AL 7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü ile Aşındırıcı Akış Oranı

#### 4.2.2.6.AL7075 T651 İlerleme Hızı ile Yüzey Pürüzlülüğü

İlerleme hızı arttığında, şekil 4.2.2.6.1.' de yüzey pürüzlülüğü değerinde de artış gözlenmiştir. Artan ilerleme, yeteri kadar nüfuz edilemeyen yerlerde pürüzlü bir yapı oluşmasına sebep olur. İlerleme hızının çok küçük olması ile de bölgesel enerji yoğunluğuna sebep olabilir. Bu sayede Ra değeri yine artmış olur. İlerleme hızının yanında basınç artışına bağlı değişim eğrileri grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.2.2.6.1. AL7075 T651 İlerleme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü

## 5. SONUÇLAR

### 5.1. AL6061 T651 Anova ve Regresyon Analizi

#### 5.1.1. AL6061 T651 Anova Analizi

Anova analizi ile oluşturulan parametre tasarımının yüzey pürüzlülüğü ile dairesellikten sapmaya olan etkisi 27 deney sonucu kullanılarak bakılmıştır.

**Tablo 5.1.1.1.** AL6061 T651 Anova Analizi için Faktörler ve Seviyeleri

Faktör	Tipi	Seviye	Değerler
Kesim Basıncı (P)(bar)	Sabit	3	3000; 3400; 3800
Aşındırıcı Akış Oranı(gr/dk)( $\dot{m}$ )	Sabit	3	250; 300; 350
İlerleme Hızı (F)(mm/dk)	Sabit	3	400; 430; 460

**Tablo 5.1.1.2.** Al6061 T651 Anova Yüzey Pürüzlülüğü Modeli

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,0309661	98,72%	95,85%	0,0873796	85,44%	36,14	-77,95

Kaynak Parametreleri	DF	Seq SS	Katkı Oranı	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
P	2	0,361154	60,18%	0,361154	0,180577	188,32	0,000
$\dot{m}$	2	0,119665	19,94%	0,119665	0,059832	62,40	0,000
F	2	0,065067	10,84%	0,065067	0,032533	33,93	0,000
P* $\dot{m}$	4	0,040053	6,67%	0,040053	0,010013	10,44	0,003
P*F	4	0,003768	0,63%	0,003768	0,000942	0,98	0,469
$\dot{m}$ *F	4	0,002750	0,46%	0,002750	0,000687	0,72	0,604
Error	8	0,007671	1,28%	0,007671	0,000959		
Total	26	0,600126	100,00%				

**Tablo 5.1.1.3** AL6061 T651 Anova Boyutsal Sapma Modeli

<b>S</b>	<b>R-sq</b>	<b>R-sq(adj)</b>	<b>PRESS</b>	<b>R-sq(pred)</b>	<b>AICc</b>	<b>BIC</b>
0,0025982	99,04%	96,87%	0,0006152	89,02%	-97,68	-211,76

<b>Kontrol Parametreleri</b>	<b>DF</b>	<b>Seq SS</b>	<b>Katkı Oranı</b>	<b>Adj SS</b>	<b>Adj MS</b>	<b>F-Değeri</b>	<b>P-Değeri</b>
<b>P</b>	2	0,003114	55,57%	0,003114	0,001557	230,63	0,000
<b>ṁ</b>	2	0,001617	28,86%	0,001617	0,000809	119,80	0,000
<b>F</b>	2	0,000478	8,53%	0,000478	0,000239	35,40	0,000
<b>P* ṁ</b>	4	0,000113	2,03%	0,000113	0,000028	4,20	0,040
<b>P*F</b>	4	0,000202	3,61%	0,000202	0,000051	7,50	0,008
<b>ṁ*F</b>	4	0,000025	0,44%	0,000025	0,000006	0,92	0,500
Error	8	0,000054	0,96%	0,000054	0,000007		
Total	26	0,005604	100,00%				

Tablo 5.1.1.2' de gösterilen Anova analizi çıktılarına göre deney tasarımında kullanılan parametreler içerisinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en çok katkıyı veren parametre %60,18 oranı ile P kesim basıncı' dır. İkinci en çok katkıyı veren parametre % 19,94 oranı ile (ṁ) aşındırıcı akış oranıdır. Üçüncü parametre ise, % 10,84 ile ilerleme hızı(F)' dir.

Boyutsallıktan sapma için ise tablo 5.1.1.3' de gösterilen Anova analizi çıktılarına göre % 55,17 ile kesme basıncı(P)' dır. İkinci en çok katkıyı veren parametre % 28,86 ile aşındırıcı akış oranı(ṁ)' dir. Üçüncü parametre ise % 8,53 ile ilerleme hızı(F)' dır.

Çıktılara göre R-kare değeri yüzey pürüzlülüğü değeri için % 98,72, boyutsallıktan sapma değeri için % 99,04' tür.

Tüm parametreler için P değeri 0,05' e eşit ve küçük olduğundan bütün parametreler anlamlıdır.

### 5.1.2. AL6061 T651 Regresyon Analizi

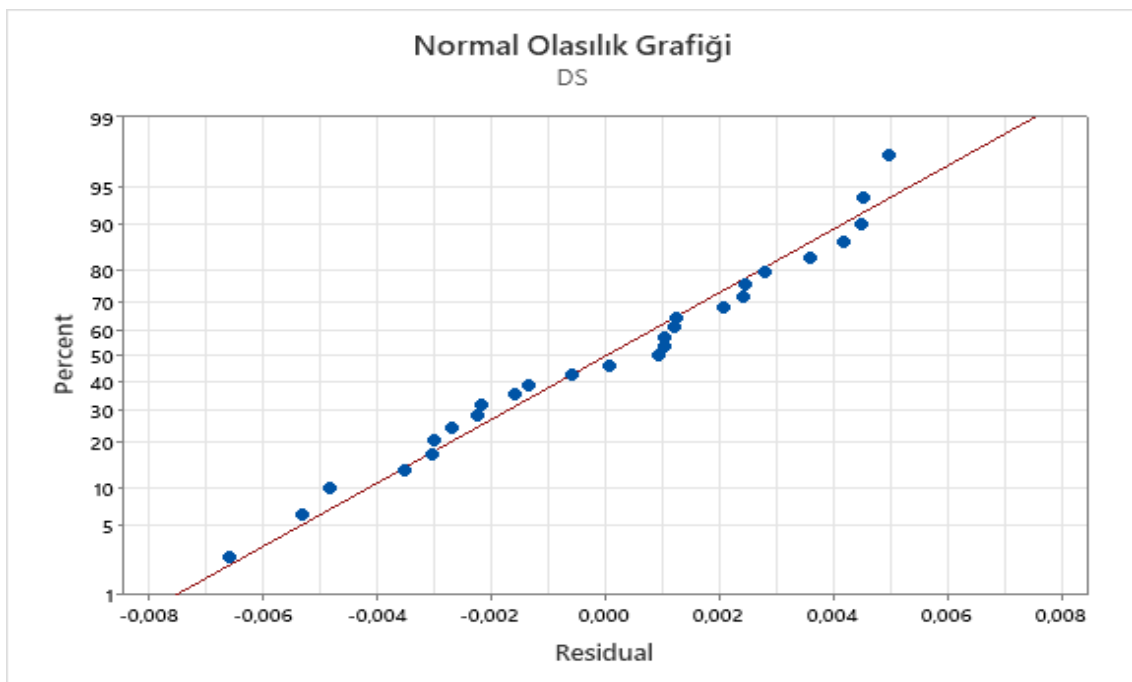
Tablo 5.1.2.1. AL6061 T651 Boyutsallıktan Sapma Regresyon Denklemi ve Modeli

#### Regresyon Eşitliği

$$DS = 1,142 - 0,000183 (\dot{m}) - 0,000083 (P) - 0,00428 (F) + 0,000002 (\dot{m} * \dot{m}) + 0,000000 (P*P) \\ + 0,000006 (F*F) - 0,000000 (\dot{m} * P) - 0,000001 (\dot{m} * F) - 0,000000 (P*F)$$

#### Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,0040050	95,13%	92,56%	0,0006604	88,22%	-194,36	-197,71



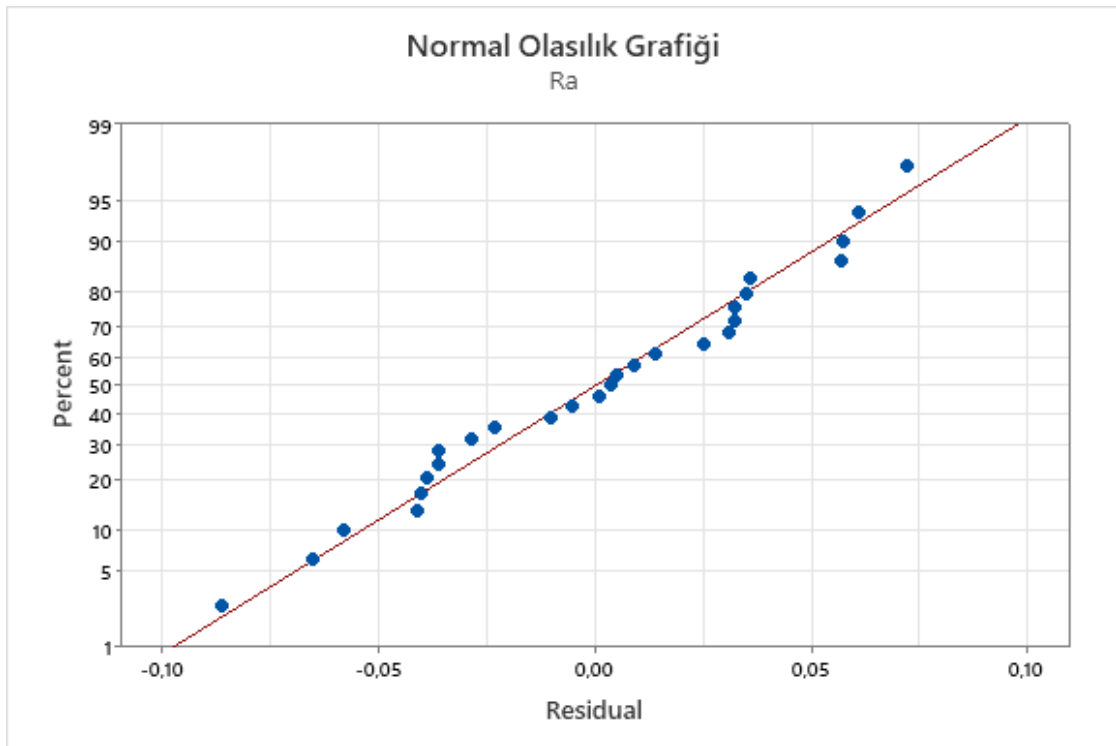
Şekil 5.1.2.1. AL6061 T651 Boyutsal Sapma Kuadratik Regresyon Modeli Normal Olasılık Grafiği

**Tablo 5.1.2.2.** AL6061 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Regresyon Denklemi ve Modeli**Regresyon Eşitliği**

$$Ra = 0,65 + 0,00053 (P) + 0,00295 (\dot{m}) + 0,0008 (F) - 0,000014 (\dot{m} * \dot{m}) - 0,000000 (P*P) \\ + 0,000005 (F*F) + 0,000001 (\dot{m} * P) + 0,000001 (\dot{m} * F) - 0,000001 (P*F)$$

**Model Özeti**

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,0519842	92,34%	88,29%	0,115131	80,82%	-55,94	-59,28

**Şekil 5.1.2.2.** AL6061 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Normal Olasılık Grafiği

Tablo 5.1.2.1' de gösterilen Anova analizine göre, kuadratik regresyon modeli oluşturulmuştur. Çıktılara göre, boyutsallıktan sapma için R-kare değeri % 95,13 elde edilirken, Yüzey pürüzlülüğü 92,34' tür.

## 5.2. AL7075 T651 Anova ve Regresyon Analizi

### 5.2.1. AL7075 T651 Anova Analizi

Tablo 5.2.1.1. AL7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Anova Analizi

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,0325547	98,10%	93,84%	0,0965748	78,41%	38,84	-75,24

#### Kaynak

Parametreleri	DF	Seq SS	Katkı Oranı	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
P	2	0,365434	81,68%	0,365434	0,182717	172,41	0,000
ṁ	2	0,049316	11,02%	0,049316	0,024658	23,27	0,000
F	2	0,006482	1,45%	0,006482	0,003241	3,06	0,103
P* ṁ	4	0,002186	0,49%	0,002186	0,000547	0,52	0,727
P*F	4	0,012426	2,78%	0,012426	0,003106	2,93	0,091
ṁ*F	4	0,003088	0,69%	0,003088	0,000772	0,73	0,597
Error	8	0,008478	1,90%	0,008478	0,001060		
Total	26	0,447410	100,00%				

Tablo 5.2.1.2. AL7075 Boyutsallıktan Sapma Anova Analizi

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,0047654	96,55%	95,52%	0,0008277	93,71%	-196,18	-193,82

#### Kaynak

Parametreleri	DF	Seq SS	Katkı Oranı	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
P	2	0,010869	82,55%	0,010869	0,005434	912,50	0,000
ṁ	2	0,001462	11,10%	0,001462	0,000731	122,74	0,000
F	2	0,000382	2,90%	0,000382	0,000191	32,06	0,000
P* ṁ	4	0,000342	2,60%	0,000342	0,000086	14,37	0,001
P*F	4	0,000063	0,48%	0,000063	0,000016	2,66	0,111
ṁ*F	4	0,000001	0,01%	0,000001	0,000000	0,04	0,997
Error	8	0,000048	0,36%	0,000048	0,000006		
Total	26	0,013166	100,00%				

Tablo 5.2.1.1' de gösterilen Anova analizi çıktılarına göre deney tasarımında kullanılan parametreler içerisinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en çok katkıyı veren parametre %81,68 oranı ile kesim basıncı(P)' dir. İkinci en çok katkıyı veren parametre % 11,02 oranı ile aşındırıcı akış oranı(ṁ)' dir. Üçüncü parametre ise, % 1,45 ile ilerleme hızı(F)' dir.

Boyutsallıktan sapma için ise tablo 5.2.1.2' de gösterilen Anova analizi çıktılarına göre %82,55 ile kesme basıncı(P)' dir. İkinci en çok katkıyı veren parametre % 11,10 ile aşındırıcı akış oranı(m)' dir. Üçüncü parametre ise % 2,90 ile ilerleme hızı(F)' dir.

Çıktılara göre R-kare değeri yüzey pürüzlülüğü değeri için % 98,10 ve Boyutsallıktan sapma değeri için % 96,55' tir.

Tüm parametreler için P değeri 0,05' e eşit ve küçük olduğundan Bütün parametreler anlamlıdır.

## 5.2.2. AL7075 T651 Regresyon Analizi

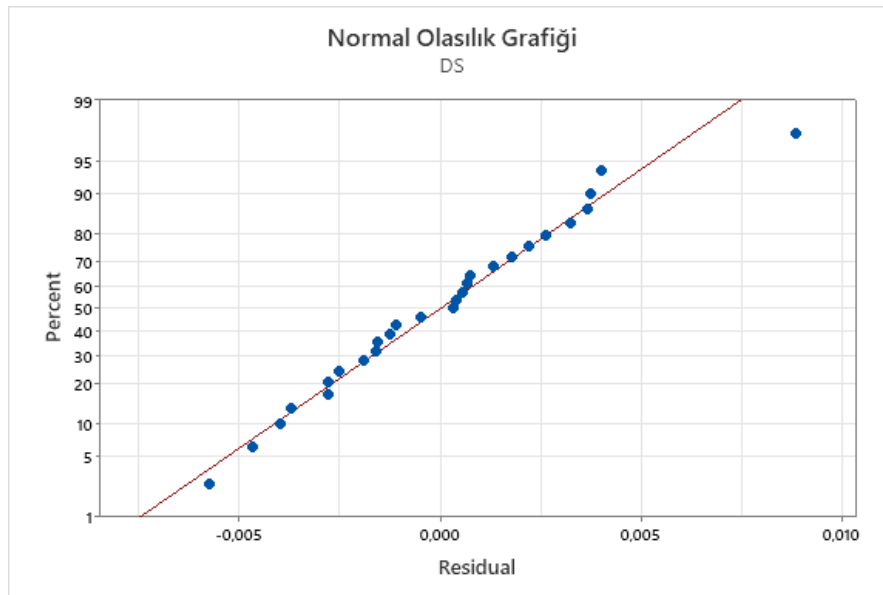
**Tablo 5.2.2.1.** AL7075 T651 Boyutsallıktan Sapma Regresyon Denklemi ve Modeli

### Regression Eşitliği

$$D_s = 0,273 - 0,000002 (P) - 0,001232 (m) + 0,00013 (F) - 0,000000 (P*P) + 0,000001 (m*m) - 0,000000 (F*F) + 0,000000 (P*m) + 0,000000 (P*F) - 0,000000 (m*F)$$

### Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,0272207	95,51%	93,52%	0,0289879	90,25%	-95,18	-95,97



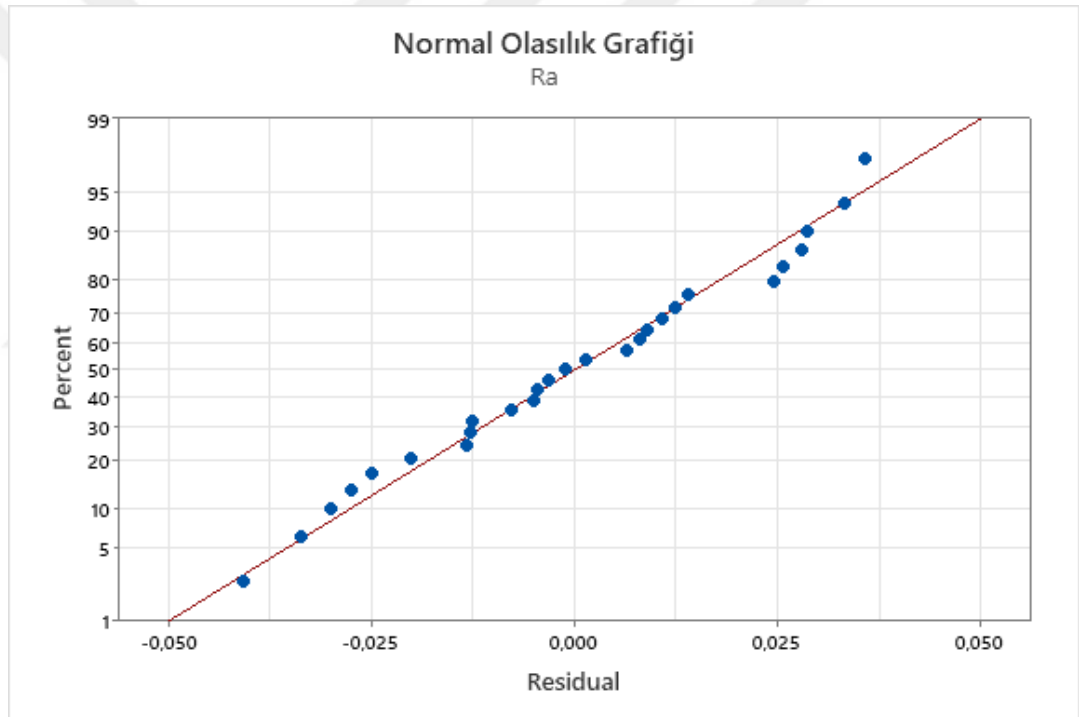
**Şekil 5.2.2.1.** AL7075 T651 Boyutsallıktan Sapma Normal Olasılık Grafiği

**Tablo 5.2.2.2.** AL7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Regresyon Denklemi ve Modeli**Regresyon Eşitliği**

$$\begin{aligned}
 R_a = & -5,17 + 0,000217(P) + 0,01344(\dot{m}) \\
 & + 0,0224(F) - 0,000000(P*P) - 0,000017(\dot{m}*\dot{m}) - 0,000020(F*F) - 0,000001(P*\dot{m}) \\
 & - 0,000000(P*F) - 0,000007(\dot{m}*F)
 \end{aligned}$$

**Model Özeti**

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,0266075	95,95%	93,81%	0,0277499	90,66%	-92,10	-95,45

**Şekil 5.2.2.2.** AL7075 T651 Yüzey Pürüzlülüğü Normal Olasılık Grafiği

Tablo 5.2.2.1 ve tablo 5.2.2.2.' de gösterilen Anova analizine göre, daha kararlı ve sağlıklı sonuçlar elde etmek kuadratik regresyon modeli oluşturmuştur. Çıktılara göre yüzey pürüzlülüğü için R-kare değeri % 95,95 elde edilirken boyutsallıktan sapma değeri %95,51' tür. Elde edilen denklemlerde, P değerleri 0,05 değerinden düşük olduğunda parametreler güvenilirdir

## 6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 6.1. AL6061 T651 Deney Sonuçları

- AL6061 T651 tüm deneylerin sonuçları incelendiğinde basınç yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerden birisidir. Optimum değere kadar Ra değerini düşürücü etkiye sahiptir.
- AL6061 T651 malzemesi için aşındırıcı akış oranı, yüzey pürüzlülüğü değerini düşüren etkiye sahiptir. Malzeme kaldırılan yüzeye daha fazla aşındırıcı etki ettiğinden yüzeyde daha tutarlı yapı oluşur. Çok fazla seviyede artırılması bu eğilimi değiştirebilir.
- AL 6061 T651 deneyinde ilerleme hızının artışı ile yüzey pürüzlülüğü değerinde artış meydana gelmiştir. Yanı sıra basınç ve aşındırıcı akış oranının artması ile de artış eğilimi devam etmiştir.
- AL 6061 T651 malzemesi için en iyi yüzey, en düşük Ra değeri 3800 bar basınç, 350 gr / dk aşındırıcı akış oranı ve 430 mm / dk ilerleme hızında elde edilmiştir.
- AL 6061 T651 Basınç, boyutsallıktan sapma üzerindeki etkisi doğru orantılıdır. Ancak ilerleme hızı ve aşındırıcı akış oranı artışı ile artış engellenmiştir.
- AL 6061 T651 ilerleme hızı artıkça, boyutsallıktan sapma eğilimi artmıştır. Basıncın artırılması bu eğilimi daha da arttırmıştır.
- AL 6061 T651 aşındırıcı akış oranı artıkça, boyutsallıktan sapma artmıştır. Basınç değerini artması ile birlikte sapma düşüşe geçmiştir.
- AL 6061 T651 kesim parametreleri incelendiğinde en az sapma 300 g/dk aşındırıcı akış oranı, 3800 bar basınç ve 400 mm / dk değerlerinde elde edilmiştir.

### 6.2. AL 7075 T651 Deney Sonuçları

- AL7075 T651 deney sonuçları incelendiğinde basınç artışı ile birlikte Ra değerinde azalma meydana gelmiştir. Basınç, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen başlıca parametrelerdendir.

- AL7075 T651 kesim işleminde, aşındırıcı akış oranının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerinde artış görülmüştür.
- Aşındırıcı akış oranının artması yüzey kalitesini bozmuştur. Ancak akış oranının yanında basınç değerinde paralel olarak artışı, Ra değerini düşürmüştür. Yüzey kalitesini iyileştirmiştir.
- AL7075 T651 kesimi sonunda, ilerleme hızı artığında Ra değeri de artış göstermektedir.
- AL7075 T651 kesim işleminde, basıncın artırılması ilk denemelerde artış göstermiştir. Basıncın yanı sıra ilerleme hızı ve akış oranı değerleri ayrı ayrı artırılarak incelendiğinde boyutsallıktan sapma değerinde önemli düşüş görülmüştür.
- AL7075 T651 işlenmesinde, aşındırıcı akış oranı artığında boyutsallıktan sapma miktarında artış tespit edilmiştir. Yanı sıra basıncın artması ile dairesellikten sapmada azalma görülmüştür.
- AL7075 T651 malzemesinin kesim işleminde, ilerleme hızı artığında boyutsallıktan sapmada artış görülmüştür.
- AL 7075 T651 malzemesinin aşındırıcı su jeti ile işlenmesinde en düşük sapma değeri; 3800 bar basınç, 350 g / dk aşındırıcı akış oranı ve 460 mm / dk ilerleme hızında tespit edilmiştir.
- AL7075 T651 malzemesinin kesiminde en iyi yüzey, 3800 bar basınç, 350 gr / dk aşındırıcı akış oranı ve 430 mm / dk değerinde elde edilmiştir.

**Tablo 6.2.1.** AL 606 T651 ve AL7075 T651 Optimum Ra değerleri

Malzeme	BASINÇ	İLERLEME HIZI	AŞINDIRICI AKIŞ ORANI	Ra( $\mu$ m)
Ra ( AL6061)	3800 bar	400 mm / dk	350 gr / dk	1,487
Ra ( AL7075)	3800 bar	400 mm / dk	350 gr / dk	1,472

**Tablo 6.2.2.** AL 606 T651 ve AL7075 T651 En Düşük BS Değerleri

Malzeme	BASINÇ	İLERLEME HIZI	AŞINDIRICI AKIŞ ORANI	BS (mm)
DS ( AL6061)	3800 bar	400 mm / dk	300 g / dk	0,0412
DS ( AL7075)	3800 bar	460 mm / dk	350 gr / dk	0,0305

### 6.3. TARTIŞMA

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Pankaj K. Shahu ‘ nun AL 6061 T6’ nin aşındırıcı su jeti kullanılarak işleme performansının değerlendirilmesi adlı çalışmasında, 3 farklı seviyede aşındırıcı akış oranı, kesme basıncı ve kesme yükseliği parametrelerini kullanarak yaptığı kesim sonucunda, su basıncı ve aşındırıcı akış oranı artışının yüzey pürüzlülüğü değerini azalttığı sonucuna varılmıştır.

Herghelegiu Eugen’ in AL6061 T651’ in yüksek basınçlı su jetinde kesilmesi adlı çalışması sonucunda, yüksek basınç değerlerinde yüzey kalitesinin arttığı sonucuna varılmıştır. Basınç düştükçe, yüzeyde bozulmalar meydana geldiği tespit edilmiştir.(Herghelegiu et al., 2013)

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Her iki malzeme kesimi detaylı incelendiğinde yüksek basınç değerlerinde Çoğunlukla iyi yüzey ve en az sapma gözlenmiştir. Bunun yanı sıra diğer parametreler ile ortak kombinasyon içinde olması daha iyi sonuç almamızı sağlamıştır. Deney sonuçlarından da görüldüğü üzere optimum parametre seçimi ve belirlenmesi son derece hayatidir. Yüzey kalitesi ve sapma değerleri hassas imalat yapan endüstrilerde önemli rol almaktadır.

### 7.2. Öneriler

Optimum parametre bulunurken yüksek basınç değerinden başlanması hedeflenen değerlere ulaşmada etkili olabilir. Deneyler sonucunda basınç parametresinin en önemli parametre olduğu anlaşıldığından diğer kesim parametreleri ile olan uyumu optimum parametreleri elde etmede yardımcı olacaktır.

## 8. KAYNAKLAR

- Akkurt, A., Şeker, U., Ercan, F., Üniversitesi, G., Bilimleri Enstitüsü-Ankara, F., Eğitim, T., Makine, F., Bölümü, E., Teknikokullar, A., Mimarlık, M., & Bölümü-Ankara, M. (2002). AŞINDIRICILI SU JETİYLE (AWJ) KESMEDE ELDE EDİLEN YÜZEY ÖZELLİKLERİ YAPILAN ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ. In *Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic Cilt* (Vol. 5, Issue 4).
- Akkurt, A., Üniversitesi, G., Fakültesi, T., Tasarım, E., & Bölümü, M. (n.d.). *THE CHARACTERIZATION OF FRONT CUTTING GEOMETRY AND SURFACE PROPERTIES IN ABRASIVE WATER JET CUTTING OF ALUMINUM ALLOY MATERIALS*.
- ALTINSOY, A., & ARSLAN, Y. (2021). Polioksümetilen Kopolimerinin Su Jeti Tezgâhlarında İşlenebilirliğinin Taguchi Metodu Kullanılarak Optimizasyonu. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 333–349. <https://doi.org/10.47898/ijeased.842732>
- Babu, N. N., Fernando, A. G., & Muthukrishnan, A. (2015). Analysis on surface roughness in abrasive water jet machining of aluminium. In *Progress in Industrial Ecology-An International Journal* (Vol. 9, Issue 2).
- Bañon, F., Sambruno, A., González-Rovira, L., Vazquez-Martinez, J. M., & Salguero, J. (2021). A review on the abrasive water-jet machining of metal–carbon fiber hybrid materials. In *Metals* (Vol. 11, Issue 1, pp. 1–29). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/met11010164>
- Dashwood, R. J., & Grimes, R. (2010). Structural Materials: Aluminum and Its Alloys – Properties. In *Encyclopedia of Aerospace Engineering*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470686652.eae195>
- Ghali, E. (n.d.-a). *Chapter 4 Properties, Use, and Performance of Aluminum and Its Alloys*.
- Ghali, E. (n.d.-b). *Chapter 4 Properties, Use, and Performance of Aluminum and Its Alloys*.
- Grigora, C. C., Chiria, B., Brabie, G., Zichil, V., Herghelegiu, E., Tampu, C., Ciofu, C., & Iancu, C. (2020). The analysis of high-pressure water jet cutting of thick aluminium alloy 6061-T651 from a statistical perspective. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 916(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/916/1/012043>
- Herghelegiu, E., Radu, C., Schnakovszky, C., & Cristea, I. (2013). High pressure water jet cutting of the Al 6061 T651 aluminum alloy. *Applied Mechanics and Materials*, 371, 245–249. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.371.245>
- Kapil Gupta, J. (n.d.). *SPRINGER BRIEFS IN APPLIED SCIENCES AND TECHNOLOGY □ MANUFACTURING AND SURFACE ENGINEERING Abrasive Water Jet Machining of Engineering Materials*. <http://www.springer.com/series/10623>
- Kaufman Kaufman, J. G., & Columbus, A. (n.d.). *ALUMINUM ALLOYS*.
- Khan, A. A., & Haque, M. M. (2007). Performance of different abrasive materials during abrasive water jet machining of glass. *Journal of Materials Processing Technology*, 191(1–3), 404–407. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.03.071>
- Klichová, D., Sitek, L., & Hloch, S. (n.d.). *Lecture Notes in Mechanical Engineering. Development, Applications*. <http://www.springer.com/series/11693>
- Muzammil, S. B., Endale, A. E., & Bihon Gasha, S. (2018). Studies on machining characteristics of titanium alloy Ti-6Al-4V using abrasive water jet cutting. *Syed*

- Basith Muzammil Journal of Engineering Research and Application*  
*Www.Ijera.Com*, 8, 81–87. <https://doi.org/10.9790/9622-0805048187>
- Nyaboro, J., Ahmed, M., El-Hofy, H., & El-Hofy, M. (2021). Experimental and numerical investigation of the abrasive waterjet machining of aluminum-7075-T6 for aerospace applications. *Advances in Manufacturing*, 9(2), 286–303. <https://doi.org/10.1007/s40436-020-00338-7>
- Oh, T. M., Joo, G. W., Cha, Y., & Cho, G. C. (2019). Effect of garnet characteristics on abrasive waterjet cutting of hard granite rock. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5732649>
- Prabhuswamy, N. R., Srinivas, S., Vasli, A., Sheshashayan, M. V., Venkatesh, S., & Roongta, Y. (2018). Machinability Studies of Aluminium 6061 cut by Abrasive Water Jet. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2865–2870. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.01.078>
- Sanders, R. E., Lyle, J. P., & Granger, D. A. (2021). Aluminum Alloys. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (pp. 1–50). Wiley. [https://doi.org/10.1002/14356007.a01\\_481.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a01_481.pub2)
- Tekaüt, İ. (2019). ), ss. 1-8, Haziran. In *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture* (Vol. 34, Issue 2).
- Tosun, N., Dagtekin, I., Ozler, L., & Deniz, A. (2013). Abrasive waterjet cutting of aluminum alloys: Workpiece surface roughness. *Applied Mechanics and Materials*, 404, 3–9. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.404.3>
- Wang, S., Hu, D., Yang, F., & Lin, P. (2021). Investigation on kerf taper in abrasive waterjet machining of aluminium alloy 6061-T6. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.012>
- Wessel, J. K. . (2004). *Handbook of advanced materials : enabling new designs*. J. Wiley.