

**AA7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ  
TORNADA İŞLENMESİNDE KESME  
PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK  
TOLERANSLARA VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2019  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Seven BOZKURT**

**AA7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TORNADA İŞLENMESİNDE  
KESME PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK TOLERANSLARA VE  
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Seven BOZKURT**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Ocak 2019**

Seven BOZKURT tarafından hazırlanan “AA7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TORNADA İŞLENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK TOLERANSLARA VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Öğr. Gör. Dr. İsmail TEKAÜT

Tez Danışmanı, Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/12/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

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

Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA (AÜ)

...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



*“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.”*

Seven BOZKURT

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AA7075 T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TORNADA İŞLENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK TOLERANSLARA VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Seven BOZKURT

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Dr. İsmail TEKAÜT

Ocak 2019, 91 sayfa

Tornalama, talaşlı imalatta en yaygın kullanılan parçayı şekillendirme işlemidir. Teknik resimde belirtilen geometrik şekillerin elde edilmesinde kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin uyumu en önemli faktördür. Özellikle delik- mil tertibinde çalışan sistemleri oluşturan parçaların imalatında istenilen dar tolerans değerlerinin (geometrik toleranslar ve yüksek yüzey kalitesi) istenmesi, ideal kesme şartlarının tespit edilmesini kaçınılmaz kılmaktadır. Çünkü istenilen tolerans değerlerinde olmayan makina parçaları, titreşim, sürtünme gibi istenmeyen durumlara sebebiyet vererek, sistemlerin daha kısa ömürlü olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu dar tolerans değerlerini yakalamak için ikinci işleme (taşlama, vb.) ihtiyaç duyulmakta, ikinci işlemlerde zaman kaybını ve ekonomik

maliyeti artırmaktadır. Dolayısıyla, istenilen tolerans değerleri arasında ve tek seferde parçaların üretilmesi



birçok açıdan fayda sağlamaktadır. Bu amaçla bu çalışmada AA7075 T651 Alüminyum alaşımı 4 farklı keme hızı (100, 200, 300 ve 400 m/dak), 3 farklı ilerleme miktarı (0,05-0,1-0,25 mm/dev) ve 3 farklı kesme derinliği (0,5-1,5-3 mm) parametrelerinin kombinasyonunda tornalanarak, kesme parametrelerinin geometrik toleranslara (silindiriklik, dairesellik, doğrusallık) ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. İlerleme miktarı artışının geometrik tolerans değerlerinde ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artışa yol açtığı gözlemlenmiştir. Kesme hızı ve kesme derinliği artışının geometrik tolerans değerleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde inişli çıkışlı bir eğilime neden olduğu tespit edilmiştir. Dört farklı kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin 3 mm olduğu kombinasyonlarda geometrik tolerans değerleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin en yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Tüm deneylerde kesici takım uç bölgesinde yıgıntı talaş (BUE) oluştuğu ve bunun geometrik toleranslar ve yüzey pürüzlülük değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Tornalama, silindiriklik, dairesellik, doğrusallık, yüzey pürüzlülüğü.

**Bilim Kodu :** 708.3.028

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON GEOMETRIC TOLERANCES AND SURFACE ROUGHNESS OF AA7075 T651 ALUMINUM ALLOY DURING THE TURNING PROCESS**

**Seven BOZKURT**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Manufacturing Engineering Education**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Halil DEMİR**

**Dr. İsmail TEKAÜT**

**January 2019, 91 pages**

Turning is the most commonly used forming process in machining. The geometry of the cutting tool and the adaptation of the cutting parameters are the most important factors in obtaining the geometric shapes mentioned in the technical drawing. In particular, it is inevitable to determine the ideal cutting conditions in order to obtain desired tight tolerance values (geometrical tolerances and high surface quality) for manufacturing of the parts in the hole-shaft operating systems. This is because machine parts which do not have the desired tolerance values lead to undesirable situations such as vibration and friction, resulting in shorter life span of the systems. For this reason, second process (grinding etc.) is needed to achieve these tight tolerance values and this second process increases the time loss and economic cost.



For this reason, the production of parts with the desired tolerance values in one go provides many benefits. For this purpose, in this work, AA7075 T651 Aluminum alloy were machined in the lathe for the combinations of the parameters which are 4 different cutting speeds (100, 200, 300 and 400 m/min), 3 different feed amounts (0,05-0,1-0,25 mm/rev) and 3 different cutting depth (0,5-1,5-3 mm). After machining, the effects of cutting parameters on geometric tolerances (cylindricity, circularity, linearity) and surface roughness have been investigated. It has been observed that the increase of the feed amounts leads to an increase in the geometric tolerance and the surface roughness values. It has been found that the increase in the cutting speed and the depth of cut causes a bumpy tendency in the geometric tolerance and the surface roughness values. The geometric tolerance and surface roughness values have been found to be at the highest values in the combinations with four different cutting speeds, 0,25 mm/rev feed amount and 3 mm cutting depth. It has been observed that in all experiments, build up edges (BUE) were formed on the tip region of the cutting tool, which increases geometric tolerances and surface roughness values.

**Key Word** : Turning, cylindricity, circularity, straightness, surface roughness

**Science Code** : 708.3.028

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocalarım Dr. İsmail TEKAÜT'e, Prof. Dr. Halil DEMİR'e ve Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen TÜBİTAK SAGE çalışanlarından Emre OKUR'a mekanik üretim altyapısı çalışanlarına ve kalite kontrol alt yapısı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince KBÜBAP-18-YL-028 numaralı proje kapsamında verilen maddi destekten dolayı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü'ne de teşekkür ederim.

Son olarak tez süresi boyunca bana destek olan anneme, eşime ve ailesine sevgi ve şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

KABUL.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
1.1.1. Yapılan Çalışmalar .....	4
1.1.2. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi.....	13
BÖLÜM 2 .....	15
ALÜMİNYUM .....	15
2.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE SINIFLANDIRILMASI.....	16
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMI .....	17
2.2.1. Dökme Alüminyum Alaşımları .....	17
2.2.2. Dövme Alüminyum Alaşımları .....	17
2.3. ALÜMİNYUM AA7075 ALAŞIMI ÖZELLİKLERİ .....	18
2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR ..	19
2.5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YAŞLANDIRILMASI .....	21
BÖLÜM 3 .....	22
TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK .....	22
3.1. TALAŞLI İMALAT .....	22

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2. TALAŞ MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU .....	23
3.3. KESME PARAMETRELERİ .....	25
3.3.1. Kesme Hızı .....	25
3.3.2. İlerleme Miktarı .....	27
3.3.3. Kesme Derinliği.....	27
BÖLÜM 4 .....	28
GEOMETRİK TOLERANSLAR VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	28
4.1. GEOMETRİK TOLERANSLARIN AMACI .....	28
4.2. GEOMETRİK TOLERANSLARIN AVANTAJLARI.....	29
4.3. GEOMETRİK TOLERANS SEMBOLLERİ .....	30
4.3.1. Şekil Toleransları.....	30
4.3.1.1. Düzlemsellik.....	31
4.3.1.2. Silindiriklik.....	32
4.3.1.3. Dairesellik.....	34
4.3.1.4. Doğrusallık .....	35
4.3.2. Profil Toleransları.....	37
4.3.3. Yön Toleransları .....	37
4.3.4. Salgı (Yalpalama) Toleransları.....	38
4.3.5. Yerleşim Toleransları .....	38
4.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	39
4.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Tanımı.....	39
4.4.2. Yüzey Kaliteleri.....	41
BÖLÜM 5 .....	43
MALZEME VE METOT .....	43
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	43
5.1.1. Deney Malzemesi .....	43
5.1.2. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı.....	44
5.1.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım .....	45
5.1.4. Deneylerde Kullanılan Takım Tutucu .....	45
5.1.5. Deneylerde Kullanılan Kesme Sıvısı.....	46

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.1.6. Deney Sonrası Kullanılan Ölçüm Cihazları .....	46
5.2. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI .....	50
5.2.1. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri .....	51
5.2.2. Deney Parçalarının CNC Torna Tezğahına Bağlanması .....	52
BÖLÜM 6 .....	55
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	55
6.1. KESME HIZI ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	55
6.2. KESME DERİNLİĞİ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	63
6.3. İLERLEME MİKTARININ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	69
BÖLÜM 7 .....	75
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	75
7.1. SONUÇLAR .....	75
7.2. ÖNERİLER .....	77
KAYNAKLAR .....	78
EK AÇIKLAMALAR A. DENEY SONRASI KESİCİ TAKIM UÇ BÖLGESİNDEKİ DEĞİŞİMLER .....	85
ÖZGEÇMİŞ .....	93

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1.	Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimi .....	12
Şekil 3.1.	a) Torna tezgâhı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi, b) Kesme derinliği, c) Kesme alanı .....	23
Şekil 3.2.	a) Dik kesme modeli, b) Talaş oluşma düzlemi .....	24
Şekil 3.3.	Gerçek talaş oluşumu .....	25
Şekil 4.1.	Kordinat ölçülendirilmesi yapılmış parça .....	28
Şekil 4.2.	30±1 mm tolerans içindeki imal edilebilecek çeşitli şekiller .....	29
Şekil 4.3.	Düzlemsellik sembolü ve gösterimi .....	31
Şekil 4.4.	Bu çalışmada araştırılan geometrik şekil toleransları .....	32
Şekil 4.5.	Silindiriklik sembolü ve gösterimi .....	32
Şekil 4.6.	Örnek silindiriklik uygulaması .....	33
Şekil 4.7.	Örnek dairesellik gösterimi .....	34
Şekil 4.8.	Parçalarda dairesellik durumu .....	34
Şekil 4.9.	Doğrusallık toleransının gösterilmesi .....	36
Şekil 4.10.	Örnek doğrusallık uygulaması .....	36
Şekil 4.11.	Referans düzlem sembolü .....	39
Şekil 4.12.	Tolerans çerçevesi .....	39
Şekil 4.13.	Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterilmesi .....	40
Şekil 4.14.	Yüzey pürüzlülüğü profili .....	40
Şekil 5.1.	Sertlik ölçümü .....	44
Şekil 5.2.	CNC torna tezgâhı .....	44
Şekil 5.3.	ISKAR marka VCGT 160404-AS kesici takım .....	45
Şekil 5.4.	Takım tutucu .....	46
Şekil 5.5.	CMM tezgâhı .....	47
Şekil 5.6.	Deney parçalarının CMM ölçüm cihazında programlanması .....	48
Şekil 5.7.	Mitutoyo yüzey pürüzlülük cihazı .....	48
Şekil 5.8.	ZEISS KL 1500 LCD mikroskop cihazı .....	49
Şekil 5.9.	Ham malzeme ölçüleri .....	50
Şekil 5.10.	Deneye hazır malzeme ölçüleri .....	51

Şekil 5.11. Deney numunesinin CNC tornaya bağlanması. ....	52
Şekil 5.12. Bir parçadan 4 deney numunesi elde edilmesi. ....	52
Şekil 5.13. Deney numunesinin işlenmesi aşaması. ....	53
Şekil 5.14. Deney numunesinin işlenmesi sırasında talaşların sarması.....	53
Şekil 6.1. Kesme derinliğinin 0,5 mm ilerleme miktarının 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğu durumlarda kesme hızına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	57
Şekil 6.2. Kesme derinliğinin 1,5 mm ilerleme miktarının 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğu durumlarda kesme hızına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	59
Şekil 6.3. Kesici takımında BUE oluşumu ve talaş sarması.....	60
Şekil 6.4. Kesme derinliğinin 3 mm ilerleme miktarının 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğu durumlarda kesme hızına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	61
Şekil 6.5. Kesme derinliği 0,5-1,5-3 mm ilerleme miktarı 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğu durumlarda kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması. ....	62
Şekil 6.6. İlerleme miktarı 0,05 mm/dev kesme hızları 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda kesme derinliğine bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	63
Şekil 6.7. Talaş sarması ve BUE oluşumu. ....	64
Şekil 6.8. İlerleme miktarı 0,1 mm/dev kesme hızları 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda kesme derinliğine bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	65
Şekil 6.9. İlerleme miktarı 0,25 mm/dev kesme hızları 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda kesme derinliğine bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	67
Şekil 6.10. İlerleme miktarı 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğunda kesme derinliğine bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması. ....	68
Şekil 6.11. Kesme derinliğinin 0,5 mm kesme hızlarının 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda ilerleme miktarına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	70
Şekil 6.12. Kesme derinliğinin 1,5 mm kesme hızlarının 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda ilerleme miktarına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	71
Şekil 6.13. Kesme derinliğinin 3 mm kesme hızlarının 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda ilerleme miktarına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması. ....	72
Şekil 6.14. Kesme derinliğinin 0,05-1,5- 3 mm olduğu durumda ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması. ....	74

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil Ek A.1. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları. ....	86
Şekil Ek A.2. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları. ....	87
Şekil Ek A.3. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları. ....	88
Şekil Ek A.4. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları. ....	89
Şekil Ek A.5. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları. ....	90
Şekil Ek A.6. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları. ....	91
Şekil Ek A.7. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları. ....	92





## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Saf alüminyumun özellikleri .....	15
Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımlarının ısıtılma işlem seri numaraları .....	16
Çizelge 2.3. Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması .....	17
Çizelge 2.4. Dövme alüminyum alaşımının sınıflandırılması .....	18
Çizelge 2.5. AA7075 kalite alüminyumun kimyasal bileşimi (% ağırlık) .....	18
Çizelge 2.6. AA7075 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri .....	18
Çizelge 4.1. Geometrik tolerans sembolleri .....	30
Çizelge 4.2. Yüzey kaliteleri .....	41
Çizelge 4.3. Boyut, yüzey ve toleranslar arasında ilişki .....	42
Çizelge 5.1. (AA7075-T651) Kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri .....	43
Çizelge 5.2. Deneilerde kullanılan CNC torna tezgâhının teknik özellikleri .....	45
Çizelge 5.3. Ölçümlerde kullanılan CMM cihazının teknik özellikleri .....	47
Çizelge 5.4. Kullanılan yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri .....	49
Çizelge 5.5. Ölçümlerde kullanılan mikroskop cihazının teknik özellikleri .....	49
Çizelge 5.6. Deneilerde kullanılacak kesici takım ve kesme parametreleri .....	51
Çizelge 5.7. Deneilerde kullanılan kesme parametreleri ve ölçüm sonuçları .....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $V_c$  : kesme hızı (m/dak)  
 $f$  : ilerleme miktarı (mm/dev)  
 $a_p$  : kesme derinliği (mm)  
 $n$  : devir sayısı (devir/dak)  
 $R_t$  : pürüzlülük yüksekliği ( $\mu\text{m}$ )  
 $R_a$  : ortalama pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )  
 $R_{\text{max}}$  : en büyük yüzey pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )

### KISALTMALAR

- BUE : Built-up Edge (Talaş yapışması ve sıvanması)  
AA : Alüminyum alaşımı  
CMM : Coordinate Measuring Machines (Koordinat Ölçme Cihazı)  
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)  
YK : Yığıntı Katmanı  
YT : Yığıntı Talaşı  
AISI : American Iron and Steel Institute  
TS : Türk Standardı  
ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilen malzemelerin üretimi tasarımcıların seçim yelpazesini genişletmekte ve son zamanlarda bu genişlemede alüminyum alaşımları önemli bir pay sahibi olmaktadır. Fakat alüminyum alaşımlarının tercih edilebilmesi için çelik ve çelik alaşımlarından oluşan makina parçalarının fiziksel özelliklerine yakın fiziksel özellik sergilemesi gerekmektedir. Alüminyum yumuşak ve demirden çok hafif olmasına rağmen, alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri nedeniyle alüminyum alaşımının yoğunluğunun çok az artmasına karşılık mekanik dayanımında önemli oranlarda artışlar meydana gelmektedir. Alüminyum içerisine farklı elementler katılarak farklı mukavemet değerleri elde etmek mümkündür. Minimum yapı çeliklerine yakın mukavemet değerlerine sahip alüminyum alaşımları üretilebilmektedir. Yoğunluğu düşük mukavemeti yüksek olmasından dolayı savunma sanayisinden otomotiv sanayisine çeşitli sektörlerde çok farklı ihtiyaçlara çözüm sunabilen alüminyum alaşımları elde etmek mümkündür. Çelik malzemelerin aksine yüksek dayanım özelliğini düşük sıcaklıklarda bile koruyabilir. Yüksek mekanik dayanımına karşın hafif olması, başta uzay ve uçak endüstrisi olmak üzere birçok endüstri kolunda tercih edilmesine neden olur. Bu nedenle, endüstri alanında demir ve çelikten sonra en fazla alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kullanıldığı görülmektedir. Alüminyum alaşımları genellikle düşük yoğunluk, yüksek dayanım, süneklik, tokluk, iyi yorulma direnci, iyi elektriksel ve ısı iletkenliğinin yanında, yüksek bir ısı ve ışık yansıtma özelliği göstermektedir. Ayrıca korozyon direncinin iyi olması döküm ve şekillendirilmesinin kolaylığı farklı alanlarda kullanılmasını kolaylaştırmaktadır. Alüminyum alaşımlarının bu özelliklerinden dolayı savunma, havacılık ve uzak sanayisinde yaygın kullanılmakta ve bu alaşımların talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilmesinde işlenebilirlikleri yoğun araştırma konusu olmaktadır [1]. Özellikle birbirleri ile çalışan bu makine parçalarının talaşlı imalat yöntemiyle

şekillendirildikten sonra istenilen fonksiyonda çalışması geometrik toleranslara,  
yüzey



pürüzlülüğüne ve parçanın boyut hassasiyetine bağlıdır. Çünkü yüzey kalitesi, yorulma dayanımını, korozyon direncini ve malzemenin tribolojik özelliklerini ciddi derecede etkilemektedir [2].

Alüminyum alaşımlarının tornada işlenmesi sırasında, diğer talaş kaldırma işlemlerinde olduğu gibi birçok faktör etkilidir. Bunlardan talaş açısı faktörü ve kesme kuvvetleri ve yığıntı talaş (YT) oluşumu üzerinde çok büyük etkilere sahiptir [3,4].

Talaş açısının fazla olması iş parçası ile kesici takım arasındaki temas yüzeyini azaltarak kesme işlemini kolaylaştırır. Talaş açısının fazla olması kesici takım ucunun dayanımını azaltmaktadır. Bu etki kesici takımın uç bölgesinde hızlı aşınma olarak kendini göstermektedir. Bu oluşumlardan kaçınmak için talaş açısının uygun değerlerde seçilmesi gerekmektedir [5]. Tornalama işleminde talaş kontrolü en önemli faktörlerden biridir ve talaş kırmada üç alternatif şekilde oluşur. Talaşın kırılması birincisi gri döküm demir gibi kendinden talaşın kırılması, ikincisi iş parçası tarafından talaşın kırılması ve son olarak kesici takım tarafından talaşın kırılması şeklinde gerçekleşir. Talaş kırmayı etkileyen birçok faktör vardır. Kesici uç geometrisi, köşe radiusu, giriş açısı, kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı ve malzemenin mikro yapısı talaşın kırılmasında rol oynayan başlıca faktörlerdir. Tornalama işleminde iyi bir talaş kontrolü kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin uyumu ile sağlanabilir. Çünkü yüksek ilerleme miktarı talaşın kırılmasını kolaylaştırırken yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca kesme parametreleri (kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarı) kesici takım ömrünü doğrudan etkilemektedir. Çok küçük seçilen kesme derinliği talaş kontrolünün kaybına, titreşime ve aşırı takım ısınmasına neden olurken, çok büyük seçilmiş kesme derinliği, aşırı kesme kuvvetlerine ve yüksek güç tüketimine neden olmaktadır. Aşırı kesme kuvvetleride istenmeyen değerlerde geometrik tolerans değerlerine ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine sebep olmaktadır. Alüminyum gibi sünek malzemelerin işlenmesi esnasında kesici takımın talaş yüzeyine talaşın yapışarak yığıntı talaş (YT) oluşturması ve bu oluşumun kesici takımda aşınmayı hızlandırması önemli problemler arasındadır [6-10]. Bu çalışmada, AA7075 T651 alüminyum alaşımı tornalanarak kesme parametrelerinin geometrik toleranslara ve

yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, kesme parametrelerinden kesme hızı, ilerleme miktarları ve kesme derinliklerinin farklı kombinasyonlarına bağlı olarak, silindiriklik, dairesellik, doğrusallık ve yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişimler deneysel olarak belirlenmiştir.

## **1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Tornalama işlemlerinde malzemenin işlenebilirliğini artırmak ve işleme maliyetini düşürmek için işleme performansı ve işleme şartlarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için kesici takım ömrüne etkiden işleme faktörlerinin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca tornalama işleminde tek seferde istenilen tolerans değerlerinin elde edilmesi için en uygun kesme şartlarının belirlenmesi üreticiye bir çok fayda sağlamaktadır. Son yıllarda alüminyum alaşımlarının kullanım alanlarının genişlemesi bir çok tasarımcının dikkatini çekmektedir. Tasarımcıların yada teknik ressamların parçanın teknik resmi üzerinde bir yüzeye verdikleri geometrik toleransların uygunluğu konusunda üreticilerle sorunlar yaşamakta ve parçanın maliyetine doğrudan etki etmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada yaygın kullanım alanı olan AA7075 T651 malzemenin tornalanmasında kesme parametrelerinin geometrik toleransları ve yüzey pürüzlülüğünü ne kadar etkilediğine yönelik bir araştırma yapılmıştır.

### **1.1.1. Yapılan Çalışmalar**

Literatüre bakıldığında, tornalama ve kesme kuvvetleri ile ilgili olan bir çok araştırma vardır. Ele alınan literatürlerin bazılarında yalnızca kesme kuvveti ve bunların etkileri incelenirken, bir kısmında ise oluşan eğim vb. faktörlerin ölçülüp telafisi yönünde çalışmalar yapılmıştır.

Jeelani ve arkadaşı 2024-T351 alüminyum alaşımını 10°, 15°, 20°, 25° ve 30° talaş açısına sahip HSS kesici takımlarla işlemişlerdir. Kesme parametreleri olarak 0,254 mm/dev ilerleme miktarı ve 6,35 mm kesme derinliğini sabit tutup 100, 150, 200 ve 250 m/dak dört farklı kesme hızı kombinasyonunda gerçekleştirdikleri çalışmalarda, kesme hızının ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Kesme

hızında ve talaş açısında artışın deney numunesinin yorulma ömründe artışa yol açtığını gözlemlemişlerdir. Pozitif talaş açısı artışının yığıntı talaş (YT) oluşumunu azalttığını, yığıntı talaş oluşumundaki azalmanında yüzey pürüzlülük değerinde azalmaya yol açtığını tespit etmişlerdir [4].

List ve arkadaşları, 2024-T351 alüminyum alaşımını  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  ve  $30^\circ$  eğim açısına sahip üç farklı özel takım tutucular ile GSP 2108 R.20 kaplamasız karbür kesici takımlarla 0,05-0,1-0,3 mm kesme derinliği ve 0,1 ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile 30, 60, 180 ve 360 m/dak kesme hızı parametrelerinin kombinasyonlarında CNC tornada işlemişlerdir. Kuru işleme şartlarında gerçekleştirdikleri çalışmalarda, kesici takım üzerine yapışan malzemenin mikro yapısal özelliğini incelemişlerdir. Yığıntı katmanı (YK) ve yığıntı talaş (YT) oluşumuna termomekanik mekanizmaların zemin hazırladığı ve saf alüminyumun takım talaş yüzeyine bir kaplama biçiminde birikmesiyle yığıntı katmanının (YK) oluştuğunu gözlemlemişlerdir [10].

Gomez ve arkadaşları, UNS A92024 Al-Cu ve UNS A97050 Al-Zn alüminyum alaşımlarını CNC tornada DCMT 11T308-F2 HX kesici takımlarla işlemişlerdir. Çalışmalarında kesme hızı olarak 45, 65, 85, 125 ve 170 m/dak, ilerleme miktarı olarak 0,05-0,1-0,2-0,3 mm/dev ve 1 mm sabit kesme derinliğini seçerek yığıntı talaş oluşumunu incelemişlerdir. Ergime derecesi yüksek intermetaliklerin, talaşla birlikte sürüklenmesi sebebiyle takım talaş yüzeyinde alüminyumun ekstrüzyonu oluşmakta olduğunu gözlemlemişlerdir. Yığıntı talaş oluşumunun kaplamalı takımlarda, kaplamanın etkisiz duruma gelmesine neden olduğunu ve buna bağlı olarak da kesici takım geometrik formunun değişimine yol açtığını tespit etmişlerdir. Ayrıca YT artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir [11].

Gökkaya ve arkadaşı yaptıkları çalışmada, kesici takım geometrisinin ve kesme parametrelerinin iş parçası yüzey kalitesine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında, AISI 1030 malzemesini sabit kesme hızında (300 m/dak), beş farklı ilerleme miktarı (0,15-0,2-0,25-0,30-0,35 mm/dev), ile beş farklı kesme derinliği (0,5-1-1,5-2-2,5 mm) kombinasyonlarında CNC torna tezgâhında işlemişlerdir. Üç değişik kesici takım uç yarıçapına sahip (0,4, 0,8 ve 1,2 mm) kesici takımlarla yaptıkları deneysel çalışmada, ilerleme miktarı ve kesme derinliğindeki artışın, yüzey pürüzlülük

değerlerinde artışa yol açtığını gözlemlemişlerdir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri uç yarıçapı 1,2 mm olduğunda ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ortaya çıkan değerlendirmeler sonucu yüzey pürüzlülüğü en fazla, sırası ile ilerleme miktarı, kesici takım uç yarıçapı ve kesme derinliğinden etkilendiğini vurgulamışlardır [12].

Yeyen ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, AISI 303 paslanmaz ve AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme miktarının, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişler, AISI 303 paslanmaz çelikler ile AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini karşılaştırmışlardır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı ( $V_c=120, 150, 180$  ve  $210$  m/dak) ile üç farklı ilerleme miktarı ( $f= 0,20, 0,24$  ve  $0,30$  mm/dev) ve kesme derinliği 2,5 mm parametrelerini seçmişlerdir. Çalışmalarında AISI 303'ün işlenmesi sırasında AISI 304'e göre % 19 daha fazla kesme kuvvetleri oluştuğunu, yüzey pürüzlülüğünde ise %51 artış olduğunu ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülük değerinin en iyi olduğu parametreler, kesme hızının 150 m/dak ve ilerleme hızının 0,20 mm/dev olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme kuvvetinin azalması ile titreşimin azaldığını ve buna bağlı olarak da daha iyi yüzey kalitesi elde edildiğini vurgulamışlardır [13].

Aydın ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada HC-35 kaplamalı sert metal (HM) kesici takım ile iş parçası olarak AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin üniversal torna tezgâhında kuru tornalanabilmesinde kesme parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. En üst kaplaması TiN olan kesici takımın bunun altındaki kaplamalar sırasıyla TiCN, TiC, TiCN'dir. Deney numuneleri 60, 70 ve 80 mm çapında 50 mm uzunluğunda hazırlamışlardır. Deneylerde sabit kesme derinliği 0,75 mm, altı farklı kesme hızı ( $V_c=30, 45, 55, 75, 110$  ve  $130$  m/dak) ve 2 farklı ilerleme miktarı ( $f=0,05$  ve  $0,08$  mm/dev) kullanmışlardır. Ayrıca sabit ilerlemede 0,11 mm/dev kullanılan 6 kesme hızını kullanarak 4 farklı kesme derinliği ( $a_p=0,15-0,35-0,50-0,75$  mm) kullanmışlardır. Çalışmada ortaya çıkan değerlendirmelerden bazıları, düşük kesme hızlarında kesme hızı artıkça kesme kuvvetinin arttığı, orta kesme hızlarında ise; kesme hızı artıkça kesme kuvvetinin azalmaya başladığını görmüşlerdir. Tornalama esnasında kesme kuvvetini, talaş kaldırılan bölgenin ve talaşın ayrılma anındaki sıcaklığını ölçmüşlerdir. Takımın kesme kenarındaki aşınma miktarını



görüntülemişlerdir. Kesme hızının arttığında kesme bölgesindeki sıcaklığında arttığı belirtilmiştir. Kesici takımın sıcaklığının artması sonucu; kesici kenarın özellikle burun kısmında hem talaş yüzeyinde hem de serbest kenarında aşınma meydana geldiği ve kaplama malzemesinin kesme yüzeyinden ayrıldığını belirtmişlerdir. Ortaya çıkarılan talaşlar sınıflandırıldığında, talaşların genelde uzun veya kısa boru şeklinde olduğu belirtilmiştir. Ancak, ilerleme hızı ve kesme derinliğine göre şerit talaş, dolaşık veya karmaşık talaş formları elde etmişlerdir. En uygun kesme şartlarının; kesme hızının ( $V_c=70-90$  m/dak) aralığında, kesme derinliğinin ( $a_p=0,5-0,75$  mm) aralığında ve ilerleme miktarının ( $f=0,08-0,11$  mm/dev) olduğu durumlarda oluştuğunu belirtmişlerdir [14].

Tekaslan ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 5 farklı kesme hızında ( $V_c=50, 75, 100, 125$  ve  $150$  m/dak), 3 farklı ilerleme miktarı ( $f=0,15, 0,20, 0,25$  mm/dev) ve 2 farklı kesme derinliği ile ( $a_p=1,5$  ve  $2,0$  mm) CNC torna tezgâhında işleyerek en iyi yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametrelerini belirlemeye çalışmışlardır. İlerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu ve ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde arttığı belirtilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne, kesme hızının etkisinin ilerleme hızının etkisinden daha az olduğu belirtilmiştir. Kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı bildirilmiştir. Her zaman kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü iyileşmesi anlamına gelmediğini ve belli bir noktadan sonra kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin kötüleştiği sonucunu gözlemlemişlerdir [15].

Çiftçi, iki farklı kalitede östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deney numunelerini AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik malzemedan  $40$  mm çapında ve  $150$  mm boyunda hazırlanılarak, ticari kalite CVD yöntemiyle çoklu kaplanmış sementit karbür kesici takımla, kesici takımında en üst kaplama  $Al_2O_3$  ve onun altındakiler de sırasıyla TiCN ve TiC' dur. Deneyler dört farklı kesme hızında ( $V_c=120, 150, 180$  ve  $210$  m/dak), ilerleme miktarı ( $f=0,16$  mm/dev) ve kesme derinliği ( $a_p=1,6$  mm) sabit tutularak kuru tornalama metodu ile yapmıştır. Deneyler

esnasında kesme kuvvetleri ve işlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ) ile kesici takımın aşınan bölgeleri tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ile ölçmüşlerdir. Kesici takımdaki aşınmalar esas olarak üç bölgede gerçekleştiği bildirilmiştir. Kesici takımın işlenmemiş iş parçası yüzeyi ile temasta olduğu bölge kesici takımın yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile teması kestiği bölge ve burun bölgesi esas olarak aşınmanın gerçekleştiği bölgeler olarak bildirilmiştir. Ortaya çıkan aşınmalar küçük kırılmalar şeklinde olduğu belirtilmiştir. Bu kırılmalar, kesici takım üzerinde yapışmalara ve bu yapışan tabaka kesme işlemi sırasında kesici takım üzerinden koparak düşmesi ile ilişkilendirilmiştir. Kesici takım üzerindeki aşınmalar artan kesme hızı ile azalmış, kesme hızının artmasıyla ortaya çıkan yüksek sıcaklık sebebiyle daha az BUE meydana gelmesi ve kesici takıma düşük miktarda adhesiv kuvvet aktarılmasıyla açıklanmıştır. Kesme hızı artırıldığında, yüzey pürüzlülük değerleri azalmış, kesme hızı azaltıldığında yüzey pürüzlülük değerlerinde artış eğilimi olduğunu belirtmiştir. İşlenmiş yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) ve kesme kuvvetlerinin kesme hızı ile değişimi de aşınmaya benzer bir davranış sergilediğini belirtmiştir [16].

Tekaüt, takım tezgâhlarındaki malzemenin işlenmesi esnasında, kesici takımda oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceleyerek, en uygun kesme şartlarını tayin etmek istemiştir. Bu amaçla, kuru kesme şartları altında, dört farklı talaş kırıcı (SA, MA, MS, GH) formuna sahip kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanarak, işleme deneyleri gerçekleştirmiştir. Kesme parametreleri olarak, sabit kesme derinliği ( $a_p=2,5$  mm), dört farklı kesme hızı ( $V=200, 250, 300$  ve  $350$  m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı ( $f=0,15-0,25-0,35$  mm/dev) kullanmıştır. Bu kesme parametreleri ile 40 mm çapındaki AISI 1050 malzemesinden deney numunesi 50 mm boyunda talaş kaldırarak 48 adet deney yapmıştır. Farklı kesme hızlarında talaş kırıcı performansları değerlendirildiğinde; 200 m/dak kesme hızında en iyi sonuçlar MS talaş kırıcı formuyla, ikinci en iyi sonuçlar ise SA talaş kırıcı formuyla elde etmiştir. Her dört talaş kırıcı formu için 250 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme değeri, ortak olarak en iyi sonuçların gözlendiği optimum değerler olmuştur [17].

Karagöl, CNC torna tezgâhında Al 7075 alaşım malzemesinin DLC kaplamalı uçlarla işlenebilirliğini araştırmıştır. İlerleme miktarı ( $f=0,15-0,20-0,25$  mm/dev), kesme hızı olarak ( $V=150, 225$  ve  $300$  m/dak) ve kesme derinliği olarak ( $a_p=0,75-1,5-2,25$

mm) üç farklı seviyede seçmiş ve deneyler gerçekleştirmiştir. Kesme derinliğinin artışı ile birlikte, kesici takıma kesme düzleminde meydana gelen direnç artmakta buna bağlı olarak ta kesme kuvveti değerinin yükseldiğini belirtmiştir. Ancak ortaya çıkan artış, lineer olmamıştır. Özellikle kesme derinliğindeki artışın lineer olmasına rağmen, kesme kuvvetindeki artışın lineer olmamasının sebebini, diğer parametrelerin kesme kuvvetine etkisi şeklinde yorumlamıştır. Sıcaklık hem ilerleme oranındaki artış ile artmakta hem de kesme hızının artışı ile arttığını gözlemlemiştir. Ancak, yüksek kesme hızlarında meydana gelen sıcaklık değişimi, düşük kesme hızlarına oranla daha az olduğunu deneylerle ortaya koymuştur [18].

Lalwani ve arkadaşları, MDN250 çeliğinin tornalanmasında kesme hızı ( $V_c=55, 74$  ve  $93$  m/dak), ilerleme miktarı olarak ( $f=0,04-0,08-0,12$  mm/dev) ve kesme derinliği ( $a_p=0,1-0,15-0,2$  mm) parametrelerini seçerek, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini, kaplamalı seramik takımlar TNMA160408S01525 kullanarak araştırmışlardır. İlerleme ve kesme derinliği, kesme kuvvetlerinin değişiminde etkin bir doğrusal model oluşturduğunu ve kesme derinliğinin, ilerleme kuvveti üzerinde baskın bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörün ilerleme miktarı ile kesme derinliğinin yüksek seçildiği durum olduğu bildirilmiştir. Kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne çok etki etmediğini tespit etmişlerdir [19].

Chee Keong ve arkadaşları, yaptıkları deneylerde alüminyum 7075-T6 alaşımını SCD takım ile mikro ve nano ölçekli  $10$  nm ve  $2$   $\mu$ m aralığında işlenebilirlik karakterlerini araştırmışlardır. Kesme hızı  $V_c=10$  ve  $150$  m/dak kullanılarak alüminyum 7075-T6'nın ortogonal mikro ve nano ölçekli işlenmesinde kesme açısı, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, talaş biçimi, spesifik kesme enerjisi ve ortalama sürtünme katsayısı gibi kesme koşulları üzerindeki etkilerini inceleyerek, geleneksel makro ölçekli kesme işlemlerindeki gözlenen eğilimlerle karşılaştırmışlardır. Kesme hızının kesme işlemi üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu açıklanmıştır. Deforme olmamış talaş kalınlığının artması ile kesme kuvvetleride artmıştır. Genellikle deforme olmamış talaş kalınlığı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde arttığını vurgulamışlardır [20].

Fang, deneysel çalışmalarında, takım-talaş sürtünme analizinin büyük negatif talaş açılı takımlarla işlenmesinde, ortaya çıkan talaş oluşum mekanizmasının ve diğer kompleks olayların daha iyi kavranması amacıyla, Lee ve Shaffer modelini kullanarak; negatif talaş açısı ve kesme hızının, itme kuvvetinin kesme kuvvetine oranını, takım-talaş sürtünmesi üzerindeki etkilerini, kesme bölgesinin geometrisini, *BUE* malzeme akışının durağan bölge geometrisini ve talaş kalınlık oranı gibi işlenebilirlik performanslarının takım-talaş sürtünmesini nasıl daha fazla etkilediğini araştırmıştır. Negatif talaş açılarını ve kesme hızlarını içeren yayınlanmış deneysel verileri analitik modeli doğrulamak için kullanmıştır. Tahmini kesme kuvveti oranı ile talaş kalınlığı oranının birbirleriyle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir [21].

Shi ve Ramalingam, yaptıkları deneysel çalışmalarda talaş kırıcı ve yanak aşınmalı ortogonal kesme için bir kayma hattı bölgesi modeli geliştirmişlerdir. Ortaya koydukları modelde, kesme geometrisini talaş açısına, takım-talaş ara yüzey sürtünmesine ve talaş kırıcının kısıtlanması gibi faktörlere dayandırmışlardır. Takım talaş ara yüzünde hesaplanan normal stres dağılımı, daha önce yayınlanan deneysel verilerle genel olarak uyduğu gösterilmiştir. Talaşın bükülme yarıçapı, talaş kalınlığı, gerilme ve plastik bölgedeki hızları hesaplayabilmişlerdir. Önerilen modelle yanak aşınması ve kesme kuvveti bileşenleri arasında doğrusal bir bağlantı olduğunu ön görmüşlerdir. Aynı zamanda aşınmış bir kesici takım ile iş parçası işlerken işlenmemiş yüzeyde ve aşağısında sıfır olmayan gerilmelerin meydana geldiğini göstermişlerdir. İşlenmiş yüzeyin altındaki deformasyonun şiddeti ve derinliği yanak aşınmasının artması ile arttığını gözlemlemişlerdir [22].

Young ve Chou, yaptıkları araştırmada ortogonal kesme işlemi sırasında takım-talaş temas arayüzü sıcaklık dağılımını modellemişlerdir. Kullandıkları modeli daha gerçekçi yapmak için kayma düzleminde oluşan talaş hızının genelde olduğu gibi kabul etmişlerdir. Oluşturulan modelin deneysel verilerle uyumlu olduğunu vurgulamışlardır [23].

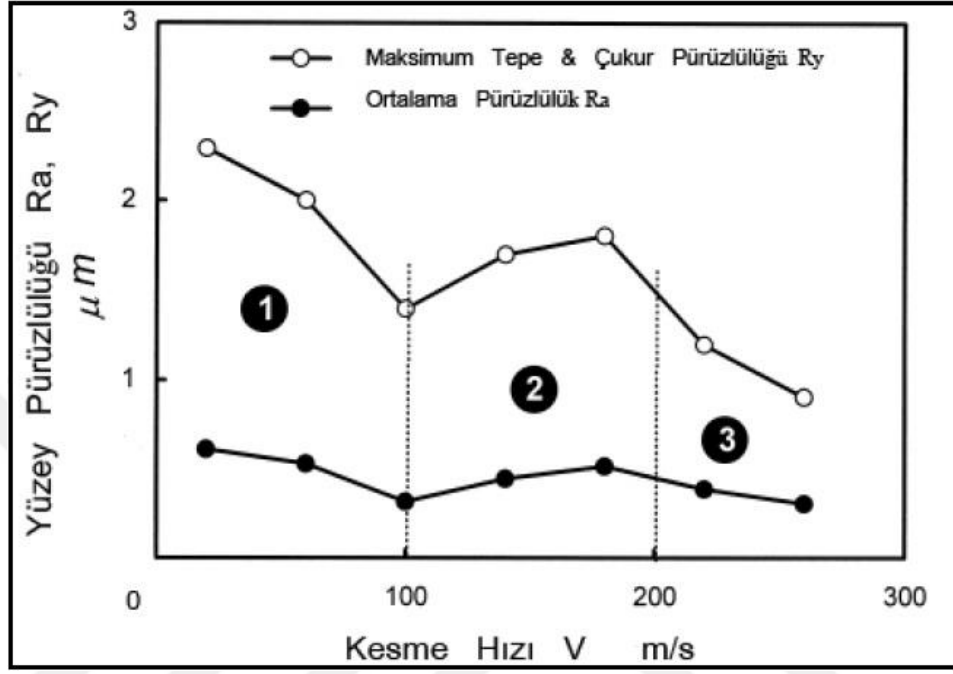
Maity ve Das, yapmış oldukları deneylerde, yüksek kesme hızlarında iş parçası yüzey bütünlüğünü korumak, talaş kırılması ve talaş akışını etkili bir biçimde kontrol etmek için ortogonal kesme işleminde işlenebilirliğinin teoriksel analizini

yapmışlardır. Gerçekleştirilen bu analizi; paralel basamak tipli kesici takım talaş kırıcı için kayma hattı bölgesi tekniğini kullanarak ve talaş-takım ara yüzündeki sabit sürtünmeyi tahmin ederek yapmışlardır. Kesme sırasındaki talaş ara yüzündeki sürtünmeyi ve talaş kırıcıyı göz ardı etmişlerdir. İşleme durumunda ortaya çıkan kesme kuvvetleri, talaşın bükülme yarıçapı, kesme kuvveti, temas uzunluğu, talaş ayırma katsayısı, talaş-takım arayüzündeki gerilme dağılımı ve ilişkilendirilen diğer parametreleri teorik analizle hesaplayabilmişlerdir. Yaptıkları çalışmayı yayınlanmış bazı deneysel verilerle karşılaştırarak örtüştüğünü tespit etmişlerdir [24].

Ghani ve Choudhury, nodüler dökme demirin DNGA 15-04-08-T01020 seramik kesici takımlar ile işlenmesinde takım ömrü, bitirme yüzeyi ve titreşim üzerine çalışma sunmuşlardır. Kesici takım aşınmasının artması nedeniyle iş parçasının yüzeyindeki değişikliği doğrulamak için bir dizi kesme testi yapmışlardır. Testler çeşitli kesme hızı ( $V_c=364, 500$  ve  $685$  m/dak), ilerleme miktarı ( $f=0,14-0,09-0,22$  mm/dev) ve kesme derinliği ( $a_p=1,4-0,89-2,3$  mm) kombinasyonları altında gerçekleştirmişlerdir. Hem ana kesme kuvveti istikametinde hemde radial kesme kuvveti yönünde titreşimin yan aşınma üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Titreşim, takım tutucusuna tutturulmuş iki ivme ölçer ile ölçmüşlerdir. Takım aşınması kenar aşınması için kesme hızı arttıkça işleme esnasında titreşimin azaldığını belirtmişlerdir. Düşük kesme derinliğinde yanal aşınma artmış, titreşim neredeyse sabit kalmıştır. İlerleme miktarı ve kesme derinliği arttıkça titreşim, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemlemişlerdir [25].

Yousefi ve Ichida yaptıkları çalışmada ise; ultra yüksek hızda torna tezgâhında alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne, kesme kuvvetlerine, talaş tipi ve talaş genişliğine olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde kesme sıvısı kullanmamışlardır. ( $V=20-260$  m/s) arasında kesme hızları, ( $f=0,01$  mm/dev) ilerleme miktarı ve ( $a=0,1$  mm) kesme derinliği seçerek deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızının yükselmesiyle yüzey pürüzlülüğü düşmeye başlamıştır. Ancak  $100-200$  m/s hız aralığında kesici takım kesme kenarında oluşan BUE ortalama yüzey pürüzlülüğünde artışa sebep olmuştur. İşleme sırasındaki kesme kuvvetlerinin ise;  $100$  m/s' ye kadar hızın artmasıyla azaldığı fakat  $100$  m/s' den sonra biraz artış gösterdiği belirtilmiştir. Şekil 1.1'de kesme hızına göre; yüzey

pürüzlülüğü değişimini gösteren grafik mevcuttur. Sürekli talaş tipi 20-260 m/s hız aralığında görülmüş olup; 100-200 m/s hız aralığında talaş genişliği azaldığını açıklamışlardır [26].



Şekil 1.1. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimi [26].

Abouelatta ve Madl yaptıkları araştırmada kesici takım olarak sementit karpit TPGN 160304 ve TPGN 160312 kullanmışlardır. Sabit kesme hızı ( $V=355$  m/dak), ilerleme miktarı ( $f=0,05$  ve  $0,2$  mm/dev), kesme derinliği ( $a_p=0,5$  ve  $2$  mm), kesici takım burun yarıçapı ( $r=0,4$  ve  $1,2$  mm), yanaşma açısı ( $45^\circ$  ve  $90^\circ$ ), radyal ve ilerleme yönlerindeki ivmeler ile iş parçası çapı ve uzunluğu gibi etkenler seçilerek takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim arasındaki ilişkileri deneysel veriler kullanılarak regresyon analizi yardımıyla araştırmışlardır. Radyal yöndeki titreşim değerleri ve kesme parametrelerinin birbirlerine olan etkileşimi üzerine dört farklı matematiksel model geliştirmişler ve ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $Ra$ ), maksimum yüzey pürüzlülüğü ( $Rt$ ) ile genlik dağılım eğrisi ( $Rsk$ ) değerlerini hesaplamışlardır. Ortaya çıkan sonuçlara göre, yüzey pürüzlülüğünün sadece kesme parametrelerine bağlı olmadığını ve titreşimin de etki ettiğini belirtmişlerdir [27].

Xavior ve Adithan, AISI 304 paslanmaz çeliğin, karbür takımlar yardımıyla tornalanması sırasında kesme sıvılarının, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini incelemiştir. Kesme hızı ( $V=38,95-61,35-97,38$  m/dak), ilerleme miktarı olarak ( $f=0,2-0,25-0,28$  mm/dev) ve kesme derinliği ( $a_p=0,5-1,0-1,2$  mm) seçerek deneyleri tamamlamışlardır. Deneyler İş parçasının işlenmesi sırasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmada hindistan cevizi yağının performansı emülsiyon ve saf kesme yağı gibi iki farklı kesme sıvısı ile karşılaştırmışlardır. Ortaya çıkan deneyler sonucu genellikle hindistan cevizi yağının takım aşınmasını azaltmada ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede diğer iki kesme sıvısından daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [28].

Turhan, tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun geometrik toleranslara etkilerini incelemiştir. Deneysel ve istatistiksel yöntemler uygulayarak yaptığı çalışmada üç farklı boy (50, 70 ve 90 mm), üç farklı çap (25, 20 ve 15 mm), üç farklı kesme derinliği ( $a_p=0,5-1-1,5$  mm) ve üç farklı ilerleme ( $f=0,15-0,3-0,45$  mm/dev) kullanarak deneylerini gerçekleştirmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne sadece kesme parametrelerinin değil aynı zamanda, titreşim ve işlenecek iş parçasının boyutlarının da önemli bir etkisinin olduğu yapılan çalışma ile ortaya koymuştur. Yapılan bu araştırma ile alüminyum malzemelerin, bağlama boyları ve işlenecek parçaların çaplarındaki değişikliğin hem parçanın yüzey pürüzlülüğünde hem de boyutsal doğruluğunun tayininde önemli faktör olan silindiriklik özelliğinde efektif rol oynadığını gözlemlemiştir. Talaşlı imalatta bir diğer önemli araştırma konusu olan kesme kuvvetlerinin oluşumunda da sadece işleme parametreleri değil aynı zamanda iş parçası boyutlarının önem dereceleri bu çalışma ile daha da aydınlık kazanmıştır. İmalatta yüzey pürüzlülüğü ve boyut hatalarının oluşumunda önemli sayılan titreşim bu çalışma ile irdelemiş ve titreşimin minimizasyonu için ideal kesme parametrelerini tespit etmiştir [29].

### **1.1.2. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi**

Literatürde yapılan çalışmalardan farklı türdeki malzemelerin tornalama yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu araştırmalarda ilerleme miktarının artması ile yüzey

pürüzlülüğünün arttığı kesin olarak ortaya çıkmıştır. Her zaman kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü iyileşmesi anlamına gelmediğini ve belli bir noktadan sonra kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin kötüleştiği sonucu deneylerde ortaya çıkmıştır. Deneyler sonunda, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinin düştüğü, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin artmasıyla yükseldiği ortaya çıkmıştır. Kesme derinliği artıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı gözükmemektedir. Kesici takımındaki YK ve YT oluşumunda yüzey pürüzlülüğünü artırdığı anlaşılmaktadır. Kesici takımındaki YK ve YT oluşumu azaltmak için kesme hızının artırılması gerektiği belirtilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü en fazla sırası ile; ilerleme miktarı, kesici takım uç yarı çapı, kesme derinliği ve kesme hızından etkilendiği yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, AA7075 T651 alaşımının işlenmesinde kesme parametrelerinin, geometrik toleranslara ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi, deneysel yöntemler kullanılarak incelenmiştir.



## BÖLÜM 2

### ALÜMİNYUM

Endüstride alüminyum ve alüminyum alaşımları çelikten sonra en fazla kullanılan malzemelerdir. Elektrik iletkenliklerinin iyi olması, yoğunluklarının düşük olması, ısıl iletkenliklerinin yüksek olması, artırılabilen mukavemet değerleri ve korozyona karşı dirençlerinin iyi olması sebebiyle günümüzde önemli bir malzeme konumundadır. Ayrıca döküm ve şekillendirilmesinin kolay olması bir çok hizmet alanında kullanılmasını sağlamaktadır [1]. Yoğunluğu  $2,7 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Görünüm olarak parlak gümüş rengine benzemektedir [30]. Özellikle günümüzde enerji tüketimi az olan, hafif, ucuz ve daha az yakıt harcayan cihazların üretimi açısından alüminyum alaşımlarını, uçak, otomobil, mühimmat, makine, tren ve deniz taşıtları yapımında öncelikli olarak tercih edilen malzeme konumuna getirmiştir [31,32]. Saf alüminyumun özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Saf alüminyumun özellikleri [33].

Yoğunluğu	$2,7 \text{ gr/cm}^3$
Atom ağırlığı	26,97 gr/mol
Atom numarası	13
Ergime noktası	658 °C
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kübik (YMK)
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150–300 °C
Kayma modülü	$27 \times 10^3 \text{ MPa}$
Elastisite modülü	$72 \times 10^3 \text{ MPa}$
Özgül ısı	0,224 cal/gr (100 °C)
Akma mukavemeti	10–30 MPa
Çekme mukavemeti	40–90 MPa
Kopma uzaması	%30–40

## 2.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE SINIFLANDIRILMASI

Saf alüminyuma farklı ısıl işlem adımları uygulanarak Çizelge 2.2'deki sınıflandırmalar ortaya çıkmıştır.

Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlem seri numaraları [34].

KOD	UYGULANAN ISIL İŞLEM	
F	Fabrikasyon hali.	
O	Tavlanmış (en yüksek süneklik, en düşük dayanım).	
H	Soğuk şekillendirilmiş.	
H	H1	Sadece soğuk şekillendirilmiş.
	H2	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış.
	H3	Soğuk şekillendirilmiş ve kararlı hale getirilmiş.
W	Solüsyona alma.	
T	Yaşlandırılmış.	
T	T1	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış.
	T2	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.
	T3	Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlandırılmış.
	T5	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış.
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlandırılmış.
	T7	Çözeltiye alınmış ve aşırı yaşlanma ile kararlı hale getirilmiş.
	T8	Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.
	T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş.
	T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış.
	T351	Çözeltiye alınmış, kontrollü miktarda germe ile gerilim giderilmiş ve doğal yaşlandırılmış. Hadde ürünleri uygulamaları için geçerlidir.
	T3510	T351 için uygulanan işlemler. Ekstrüzyonla üretilmiş boru, çubuk vb. profilleri için.
	T352	Çözeltiye alınmış, sıkıştırma ile gerilim giderilmiş ve doğal yaşlandırılmış.
T651	Yaşlandırmadan önce ilave kontrollü germe yaparak gerilimi rahatlatılmış.	

## 2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMI

Alüminyum alaşımları dökme alüminyum ve dövme alüminyum olarak iki sınıfa ayrılırlar. Bu alaşımlara ısı işlem yapılabilir ve ısı işlem yapılamaz alaşımlar olarak ikiye ayrılırlar. Bazıları ısı işlemle mukavemetleri arttırılamazken bazılarıysa ısı işlem yöntemleri uygulanarak uygun sıcaklıklarda belirli zaman bekletilerek mukavemetleri iyileştirilmektedir [34].

### 2.2.1. Dökme Alüminyum Alaşımları

Dökme alüminyum alaşımları, kalıp, kumlama veya basınçlı kalıp dökümü uygulamalarından birisi ile ve genellikle son halini alacak şekilde dökülürler.

Çizelge 2.3. Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [34].

Döküm alaşımlar		Isıl işlem
1XX.X	Ticari Saflıkta Al	Yaşlandırılmaz
2XX.X	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XX.X	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Kısmen yaşlandırılabilir
4XX.X	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5XX.X	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XX.X	Kullanımda değil	-
7XX.X	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8XX.X	Al-Sn	Yaşlandırılabilir
9XX.X	Kullanımda değil	-

### 2.2.2. Dövme Alüminyum Alaşımları

Bu alaşımlar, ilk aşamada külçe yada kütük şeklinde üretilirler. Daha sonra sıcak, soğuk yada sıcak ve soğuk olarak mekanik uygulamalardan geçirilirler. Dövme alüminyum alaşımları haddeleme, ekstrüzyon veya dövme gibi uygulamalardan faydalanılarak istenilen şekilde biçimlendirilerek elde edilirler [34].

Çizelge 2.4. Dövme alüminyum alaşımının sınıflandırılması [34].

Dövme Alaşımlar		Isıl İşlem
1xxx	Ticari Safılıkta Al (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2xxx	Al-Cu ve Al-Cu-Li	Yaşlandırılabilir
3xxx	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4xxx	Al-Si veya Al-Mg-Si	Mg varsa yaşlandırılabilir
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7xxx	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8xxx	Al-Li, Sn, Zr veya B	Yaşlandırılabilir
9xxx	Kullanımda değil	-

### 2.3. ALÜMİNYUM AA7075 ALAŞIMI ÖZELLİKLERİ

Alüminyum alaşımlarından 7xxx serisi alüminyum 7075 alaşımının kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.5. AA7075 kalite alüminyumun kimyasal bileşimi (% ağırlık) [35].

Alaşım Elementi	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al
(% Ağı).	5,1-6,1	2,1-2,9	1,2-2,0	Max 0,5	Max 0,4	Max 0,3	0,18-0,28	Max 0,2	Kalan

Çizelge 2.6. AA7075 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [35].

Akma (Mpa)	Çekme (Mpa)	Uzama (%)	Sertlik (Brinel)
460 -505	530 -570	6-8	145 -155

## 2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Alüminyum alaşımlarının düşük seyreden yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, yüksek korozyon direnci ve mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi, biçimlendirme ve işlenebilme rahatlığı gibi pek çok özelliklere sahip bulunması pek çok alanda kullanım sahalarını meydana çıkarmıştır. Özellikle havacılık-uzay, savunma sanayii, elektronik, taşımacılık ve otomotiv alanlarında çok hafif olmaları sebebiyle tercih edilirler. Ağırlık minimize edilerek yakıt tasarrufu ve hava kirliliğinin engellenmesinde ciddi bir fayda sağladıkları için otomotiv, taşımacılık uzay ve havacılık alanlarında özellikle tercih edilmektedir [36-40].

7xxx serileri içerisinde çinko %1-8 arasındaki miktarı ile temel alaşım elementini içerir ve daha ufak yüzde oranlarında magnezyum ikinci sırada bulunur. Bu iki alaşım çifti ısıya dayanıklı ve çok yüksek dayanımlara sahip bir alaşımı oluştururlar. Genellikle diğer elementler, bakır ve krom gibi çok ufak miktarlarda bulunmaktadır. 7xxx serisi alaşımlar, hava çerçevesi yapıları, hareketli cihazlar ve diğer oldukça yüksek gerilime maruz parçalarda kullanılmaktadırlar [41].

Graznya Mrowka-Nowotnik ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen araştırmada AA6005 ve AA6082 alaşımlarının çeşitli soğuma durumlarında, mekanik özelliklerindeki farklılıkları araştırmışlardır. Maksimum sertlik özelliğinin yağda soğutma yöntemi sayesinde oluştuğunu rapor olarak sunmuşlardır [42].

Meyveci ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen araştırmada AA6063 alaşımına yapılan yaşlandırma uygulaması mekanik özellikleri ve aşınma direncini geliştirdiğini rapor etmişlerdir [43].

Barbosa ve arkadaşları yapmış oldukları araştırmada yaşlandırma işlemi uygulanmış AA6013 ve AA6061 alaşımlarının mekanik özellikleri ve kaynaklanabilme özelliklerini incelemişlerdir. AA6013 alaşımının kaynak işlemi sonrasında mekanik fonksiyonlarında bir düşüşün gözlemlenmediği ve kaynak özelliğinin daha iyi olduğunu anlatmışlardır [44].

Braun, alüminyum AA6082 alaşımına (3-100 saat arasında, 191°C kadar) yaşlandırma süreci uygulamış mekanik özellikleri ile korozyon ve termal özellikleri özelinde çalışma sağlamıştır. Yaşlandırma sonrasında alaşımın mekanik özelliklerinde iyileşme olduğunu ifade etmiştir [45].

Petroyiannis ve arkadaşları yapmış oldukları 6013 alaşımında korozyonun mekanik özellikler üzerindeki etkisini irdelenmişlerdir. Korozyonun ciddi bir mukavemete maruz kalmış alaşımın mekanik özelliklerinin azalmasına sebep olduğunu tesbit etmişlerdir [46].

Tesch ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, alüminyum 6013 alaşımı için yorulma ve çentik darbe testleri yaparak çatlak oluşumunu araştırmışlardır. Gerçekleştiren bu konu üzerindeki uygulamalarda, yaşlandırma çalışmalarında alüminyum alaşımlarının alaşımında mevcut olan Si ve Mg'nin etkisiyle mikro yapıda Mg<sub>2</sub>Si intermetalik fazların oluştuğunu rapor etmişlerdir [47]. Ortaya çıkan fazların meydana gelmesi ile alaşımın dayanımı ve korozyon direncini artırdığı ifade edilmiştir [48,49].

Yine Alüminyum alaşımları ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada, Demir ve Gündüz'ün çalışmalarıdır ve bu araştırmada yaşlandırma işleminin etkisini, AA6061 alüminyum alaşımının işlenebilirliği ile irdelenmişlerdir. Yaşlandırma uygulanmış numuneleri düşük kesme hızlarında işlenmesi sırasında kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir [50].

7XXX serisi 7075 Al alaşımları düşük yoğunluğuna bağlı olarak yüksek mukavemet direnci sebebi ile havacılık, savunma sanayii endüstrisinde her geçen gün daha geniş uygulama alanlarına sahip olmaktadır. Son yıllarda ısıl davranışları konusunda da havacılık endüstrisinde dikkate değer bir davranış göstermiştir [51,52].

Parçanın işlenebilirliğini etkileyen özelliklerin başında malzemenin mekanik özellikleri ve kesme parametreleri gösterilebilir. Bu etkenler iş parçasının işlenmesi sırasında meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerini, kesme kuvvetlerini ve talaş oluşumunu etkilemektedir [53-56].

## 2.5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YAŞLANDIRILMASI

Demir içermeyen alaşımların sertlik ve dayanımları soğuk deformasyon veya uygun ısı işlemlerle yükseltilebilir. Isıl işlem kısmi katı çözünebilirlik gösteren, yani solvüs eğrisi içeren ve katı çözünebilirliği artan sıcaklıkla artan veya azalan sıcaklıkla azalan alaşım sistemlerine uygulanır. Bu sistem birbiri içerisinde sıvı durumda her oranda, katı durumda ise kısmen çözünen metaller tarafından oluşturulur. Yaşlandırma işlemindeki etkin mekanizma çekirdeklenme ve büyümedir [57].

Genel olarak çökelme sertleşmesi yöntemi işleme sıcaklığında, termodinamik denge halinde en az iki fazlı durumdayken, hızlı soğutma işlemiyle denge yapısı içerisinde fazların ortaya çıkmasına izin vermeyerek, tek fazlı yarı kararlı (aşırı doymuş katı eriyik) özelliğe çevrilebilen alaşımlara uygulanabilir [58,59].

Alüminyum alaşımlarından 7xxx serisi, çoğunlukla az yoğunluk, fazla mukavemete dayanım, süneklik, tokluk ve yorulmaya karşı direncinden kaynaklı yapısal uygulamalarda, uzay ve havacılık alanında yaygın şekilde kullanımı görülen malzemelerdir [60,61].

Alüminyumun Cu, Zn, Mg gibi elementlerle yaptığı alaşımlar sertlik, çekme ve akma mukavemetlerini artırarak taşıyıcı profiller ve konstrüksiyonlarda kullanılmaktadırlar [62].

İçeriğinde Al-Zn-Mg-Cu bulunması nedeniyle AA7075 alüminyum alaşımları çeşitli ısı işlemler uygulanarak mekanik özellikleri geliştirilerek kullanıma sunulmuştur. Mekanik özellikleri artırılan 7075 alaşımının kullanımında herhangi bir termal etki altına girdiğinde mekanik özelliklerindeki azalma, bu alüminyuma deformasyon yaşlanması yöntemi uygulayarak bertaraf edilebilmektedir [63-65].

## BÖLÜM 3

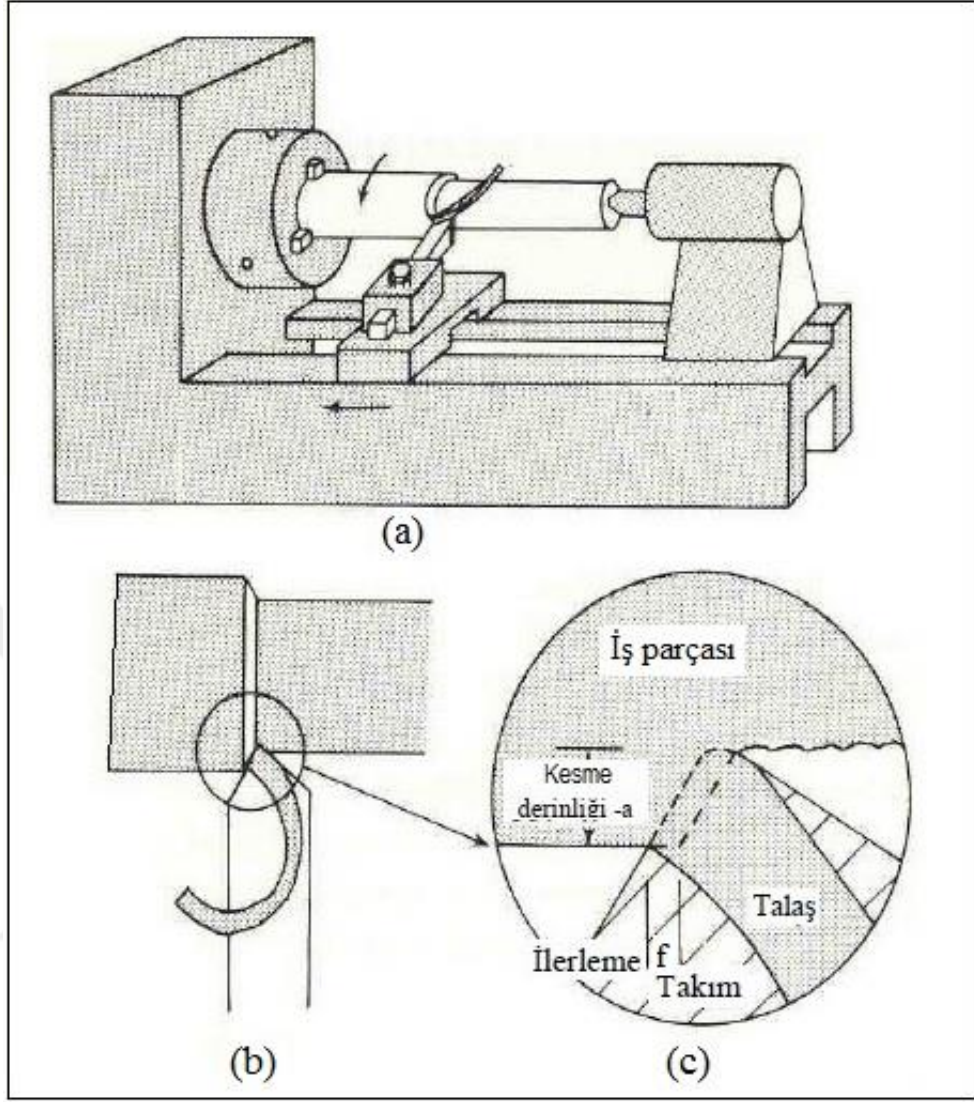
### TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

#### 3.1. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat yöntemi şekillendirme işlemlerinin başında gelmektedir. Bu işleme yöntemiyle, parça (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) üzerindeki fazla et kalınlıkları uygun takım tezgâhı (freze, torna, matkap, vb.) ve uygun kesici takım seçilerek belirtilen geometrik şekiller, boyutlar ve yüzey kaliteleri elde edilmeye çalışılır [66].

Talaşlı imalat yöntemlerinde çeşitli geometri ve boyuttaki parçaları biçimlendirebilmek için çok farklı tezgâhlar geliştirilmiştir. Tornalama yöntemi iş parçası üzerinden talaş alınarak yapılan bir işleme metodudur. Uzun yıllardan beri kullanılan talaşlı imalat yöntemi olan tornalama, genellikle dairesel iş parçalarının elde edilmesinde kullanılır. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 3.1’de torna tezgâhı ve tornalama yöntemini şematik olarak göstermektedir.



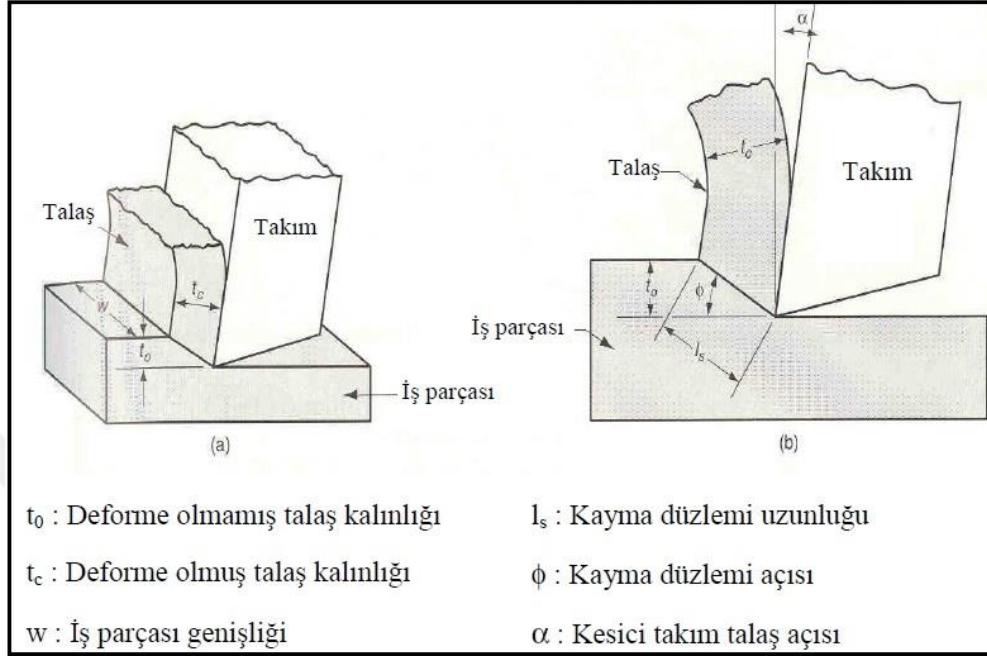


Şekil 3.1. a) Torna tezgâhı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi, b) Kesme derinliği, c) Kesme alanı [67].

### 3.2. TALAŞ MEKANIĞI VE TALAŞ OLUŞUMU

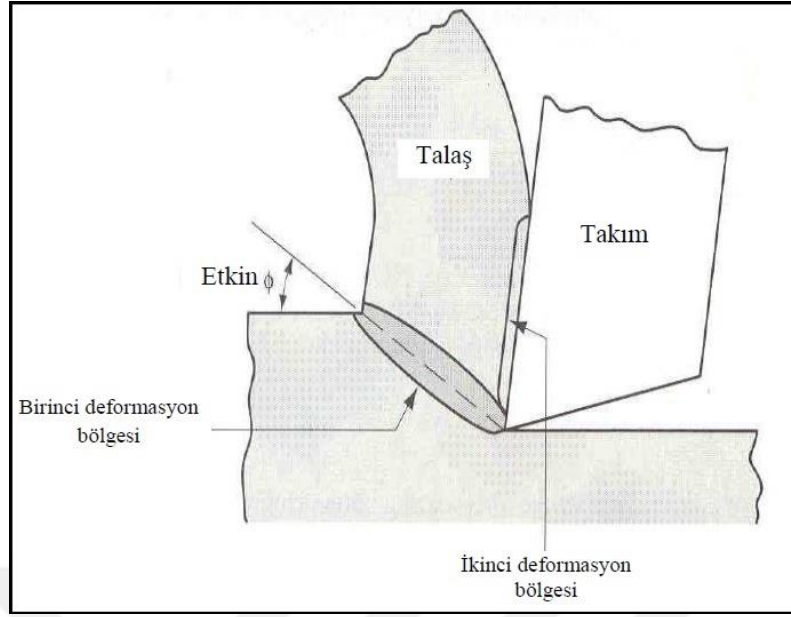
Talaşlı imalat yönteminde talaş mekaniği ve talaş oluşumu için yapılan çalışmalarda çoğunlukla kesme parçası olarak metaller dikkate alınır. Bununla beraber metal olmayan parçaların talaşlı imalat yöntemi ile benzer kurallar uygulanarak işlenebilir. Bu yöntem gerçekte üç boyutlu ve bir o kadar da karmaşık olması sebebiyle talaşlı imalat işleminin mekaniğinin açıklanmasında Şekil 3.2’de gösterilen iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli kullanılır. Bu gösterimin basit olması ile birlikte talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat yönteminin incelenmesinde önemli ölçüde fayda sağlamaktadır. Bu modele

göre, parçanın kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir [68].



Şekil 3.2. a) Dik kesme modeli, b) Talaş oluşma düzlemi [68].

Gerçekte talaş oluşumu, kesici ucundan itibaren talaşın gövdeden ayrıldığı bir hat boyunca oluşur (Şekil 3.3). Plastik deformasyonun talaş oluşumu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Talaş oluşumu, talaşlı imalat yönteminde kesici takım önündeki iş parçasının bölgesel deformasyonu ile ortaya çıkar. İşlenen parça ile kesici uç arasındaki kesme işlemi sonucu işlenen parçada meydana gelen gerilme iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona zorlayarak talaş oluşumunu bitirir. Ortaya çıkan talaş, kesme işlemi yapan takımın talaş yüzeyi üzerinden kayarak uzaklaştırılır. Birinci kayma düzleminde ortaya çıkan talaş, kesme işlemi yapan takımın talaş yüzeyi üzerinden geçer iken, kayma veya yapışma sonucu ikinci kez deformasyona uğrayarak kesme bölgesinden atılır [66-68].



Şekil 3.3. Gerçek talaş oluşumu [68].

### 3.3. KESME PARAMETRELERİ

#### 3.3.1. Kesme Hızı

Kesme hızı, ( $V$ ) iş parçasının kesilmemiş bölgesindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dak olarak ifade edilir. Parça çapı  $D$  (mm) ve dönme sayısı  $n$  (d/dak) olarak ifade edilirse, tornalama işleminde kesme hızı

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \left( \frac{m}{dak} \right); \quad (3.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Boyuna dış tornalamada, talaş kaldırma ile parçanın çapı  $D$ 'den  $d$ 'ye minimize olurken, takım ağzı, parça ile b doğrusu boyunca temas etmektedir. Parça çapı aşağı yönlü bir hareket gösterdiği için, temas boyunca kesme hızı değişim gösterecektir.

Fakat temas çizgisi fazla küçük olduğundan, kesme hızı parçanın başlangıçtaki çapı D'ye göre hesaplanmaktadır.

Alın tornalama halinde takım, çevreden merkez kısmına ya da merkezden çevre kısmına doğru ilerleme kaydetmektedir. Bundan kaynaklı da kesme hızı, parçanın çevresinde maksimum ve merkezinde sıfır olmak üzere ilerleme süresince değişkenlik gösterecektir. Bu duruma rağmen burada da kesme hızının parçanın başlangıçtaki D çapına göre belirlenmektedir.

Pratikte çoğunlukla kesme hızı teknik ve ekonomik şartlar altında tanımlanmakta ya da bu doğrultuda hazırlanmış cetvellerden seçilmektedir. Hatırlatmak maksadıyla belirli bir zamana karşılık gelen kesme hızı, parça malzemesine, takım malzemesine, talaş kesitini (kaba talaş, ince talaş) belirleyen kesme derinliğine ve ilerlemeye, kesme sıvısına ve tezgâhın konstrüksiyonuna doğrudan bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Tezgâh konstrüksiyonu açısından sadece rijitliği yüksek seyreden tezgâhlarda, yüksek kesme hızları seçilebilmektedir. Rijitliği yüksek seyretmeyen tezgâhlarda yüksek hızlar, işlenen yüzeyin bozuk bir şekilde meydana gelmesine zemin hazırlayan, titreşimler oluşabilir. Bunun yanında da tezgâhın universal veya otomat olması kesme hızını doğrudan etkileyen bir unsurdur. Tornalama tavsiye edilen kesme hızları, aktarılan unsurlara bağlı olarak gösterilmiştir. Kesme hızları seçildikten veya teknik ve ekonomik (optimizasyon) koşullara göre belirlenmesinden sonra yukarıdaki bağıntılardan parçanın dönme sayısı;

$$n = \frac{1000.v}{\pi.D} \left( \frac{d}{dak} \right) \quad (3.2)$$

Genellikle torna tezgâhlarında dönme sayıları  $n_1 = n_{min}$  ve  $n_{max}$  olmak kaydıyla iki sınır içerisinde aşama aşama değişme gösterir. Bunlara hız aşamaları denilmektedir. Buna bağlı olarak yukarıda verilen (n) bağıntısı ile önce teorik dönme sayısı hesaplanır ve ona en yakın fakat daha düşük bir hız kademesi seçilir. Dönme hız kademesi seçildikten sonra (v) bağıntısı ile bu kademeye karşılık gelen kesme hızı hesaplanır. Numerik kontrollü tezgâhlarda dönme hızları sürekli olarak değişir. Dolayısıyla bu tezgâhlarda v seçildikten sonra veya tayin edildikten sonra (n) bağıntısı ile n hesaplanır ve bununla talaş kaldırma gerçekleşir [69].

### 3.3.2. İlerleme Miktarı

İlerleme miktarı, iş paçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafedir. Kısaca bir takımın bir devir süresinde kat ettiği mesafedir. İlerleme miktarı (f) ile gösterilir (mm/dev) olarak ifade edilmektedir. Kesme hızlarında olduğu gibi, tezgâhların ilerleme hızlarında maksimum ve minimum iki sınır içerisinde değişim gösteren ve ilerleme miktarı aşamaları olarak isimlendirilen kademeler biçiminde verilir. Burada da teknik ve ekonomik şartlara göre seçilen ilerleme miktarının, tezgâhın ilerleme aşamaları içerisinde bulunması gerekmektedir.

### 3.3.3. Kesme Derinliği

Kesme derinliği ( $a_p$ ), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin birim düzenlemeleri yapılarak çarpımı genellikle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranını vermektedir [67].

Parçanın çapı başlangıçta D ve bir paso kaldırdıktan sonra d olursa, paso kalınlığı dış tornalama ve iç tornalama için sırasıyla

$$ap = \frac{D-d}{2} \text{ (mm)}; \quad ap = \frac{d-D}{2} \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir.

## BÖLÜM 4

### GEOMETRİK TOLERANSLAR VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

#### 4.1. GEOMETRİK TOLERANSLARIN AMACI

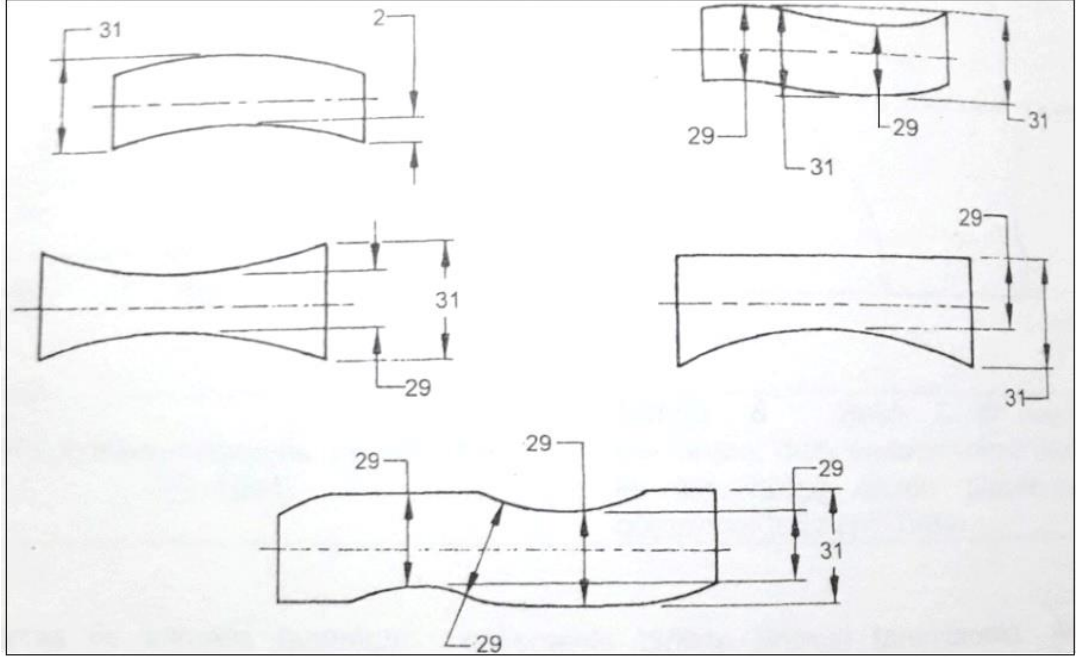
İş parçalarının üretilmesinde yüzey işleme işaretleri ile birlikte boyut toleransları parçayı tam olarak tanımlamaya yetmemektedir. Parça üzerindeki bütün yüzeylerin hassas bir şekilde üretilmesi çoğu zaman gereksiz ve maliyetli olmaktadır. Hızlı ve hatasız bütünlemenin son derece önem arz ettiği endüstri alanlarında ihtiyaç olan geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma ile parçaların doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmak aynı zamanda maliyetleri ve üretim sürecini azaltmak mümkündür. Örnek: Bir makine parçasındaki bir yüzeyin aynı parçanın bir başka yüzeyine belli tolerans dahilinde paralel veya dik olmasını sağlamak yahut bir delikteki ovalik veya başka bir delik ile aynı eksende olmasının sağlanması sadece boyut toleransı ve yüzey işleme işaretleri ile sağlanamaz. Bu durumlarda geometrik şekil toleransları kullanılmalıdır [70].

Parça ölçülendirilmesi parçanın boyutsal ölçülerini kontrol altına alırken parçanın şekilsel uygunluğu açısından kesin sonuç vermez. Şekil 4.1’de parçanın yükseklik ölçüsü kordinat ölçülendirilmesi ile  $30 \pm 1$  verildiği durumda parçamızın hangi şekillerde imal edilebileceğine bakalım.



Şekil 4.1. Kordinat ölçülendirilmesi yapılmış parça [71].

Şekil 4.2’de  $30\pm 1$  mm ölçüsünde imal edilen örnek parçaların çeşitli şekilleri gösterilmiştir. Bu kadar farklı şekil seçeneklerinin oluşması parçamızın uygunluğu açısından oluşabilecek imalat farklılıklarını da kontrol altına almamız gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4.2.  $30\pm 1$  mm tolerans içindeki imal edilebilecek çeşitli şekiller [71].

#### 4.2. GEOMETRİK TOLERANSLARIN AVANTAJLARI

Geometrik toleranslandırmanın sağlayacağı avantajları genel olarak sıralarsak;

- İmalatı tolerans açısından rahatlatır.
- Parçalara değiştirilebilirlik özelliği kazandırır.
- İmalat için ortak ve doğru bir lisan oluşturur.
- İstenilen şekilde parça elde edilir.
- Ölçüsel değişkenliği kontrol altına alır.

### 4.3. GEOMETRİK TOLERANS SEMBOLLERİ

Geometrik ölçülendirme ve toleranslama için gerekli geometrik toleranslar grup, isim ve sembolleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Geometrik tolerans sembolleri [71].

TOLERANS GRUPLARI	İSİM	SEMBOL
ŞEKİL (FORM)	DOĞRUSALLIK	—
	DÜZLEMSELLİK	▭
	DAİRESELLİK	○
	SİLİNDİRİKLİK	⊘
PROFİL	ÇİZGİ PROFİLİ	⌒
	YÜZEY PROFİLİ	⌒
YÖN	DİKLİK	⊥
	EĞİKLİK (AÇISALLIK)	∠
	PARALELLİK	//
YALPALAMA (SALGI)	DAİRESEL YALPALAMA (SALGI)	↗
	TOPLAM YALPALAMA (SALGI)	↗
YERLEŞİM	EŞEKSENLİLİK	⊙
	KONUM	⊕
	SİMETRİKLİK	≡

#### 4.3.1. Şekil Toleransları

Dairesel ve düz parçaların yüzey ya da yüzey çizgilerini tanımlamak için kullanılır. Şekil toleransları parça yüzeyinin veya yüzey çizgisinin doğru



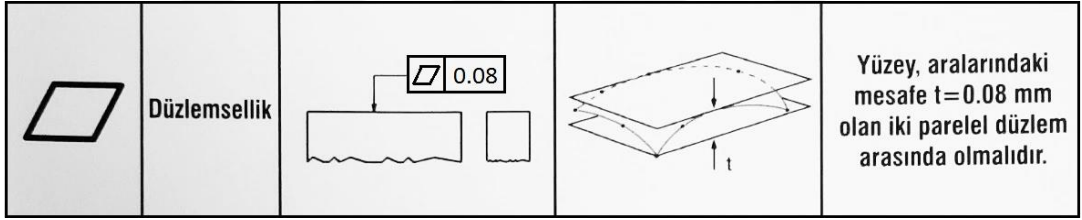
yüzeyden değişme mesafesini tanımlar. Parçanın yüzeyi ile ilgili sembollerdir. Referans düzlem tanımına gerek yoktur.

Şekil toleransları ve sembolleri 4 şekilde tanımlanır.

- Düzlemsellik
- Silindiriklik
- Dairesellik
- Doğrusallık

#### 4.3.1.1. Düzlemsellik

Parça yüzey elemanlarının tamamının bir düzlemde olma durumu düzlemsellik olarak tanımlanır.


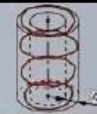


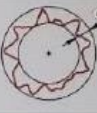






Şekil 4.3. Düzlemsellik sembolü ve gösterimi.

Düzlemsellik toleransı genel bilgileri;

- Düzlemsellik toleransı parçanın en, boy, yükseklik gibi herhangi bir parça özelliğine bağlı değildir.
- Parçaların birbirleriyle yüzeysel oturmaları gerektiren durumlarda parçanın ölçüleri yerine parça yüzeylerinin düzlemsellik toleransı ile sağlanır. (Örnek: Motor bloklarındaki parçaların birleşme biçimleri).
- Düzlemsellik toleransı değeri parça ölçüsü toplam tolerans değerinin yarısından az olmalıdır. Düzlemsellik değeri tasarım ve imalat koşullarına göre belirlenmelidir.


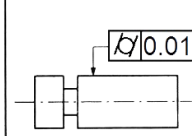
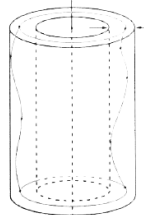
- Düzlemsellik toleransı parçaların imalat şeklini de belirler. Genel olarak düzlemsellik toleransı tanımlanan yüzey parçanın birinci referans düzlemini oluşturur.
- Düzlemsellik toleransı sadece yüzeyin kendisi ile ilişkili olduğu için en çok malzeme durumu (E.Ç.M.D) ve en az malzeme durumu (E.A.M.D) uygulanamaz.
- Düzlemsellik toleransı sadece yüzeyin kendisi ile ilişkili olduğu için referans düzlem tanımı gerektirmez. Düzlemsellik toleransını elde etmek için parça her türlü konumlanabilir.

BU ÇALIŞMADA ARAŞTIRILAN GEOMETRİK ŞEKİL TOLERANSLARI			
İsim	Ölçümün uygulanması	Sonuç	Mücade Edilen Hareket Şekli
Silindiriklik			
Dairesellik			
Doğrusallık			

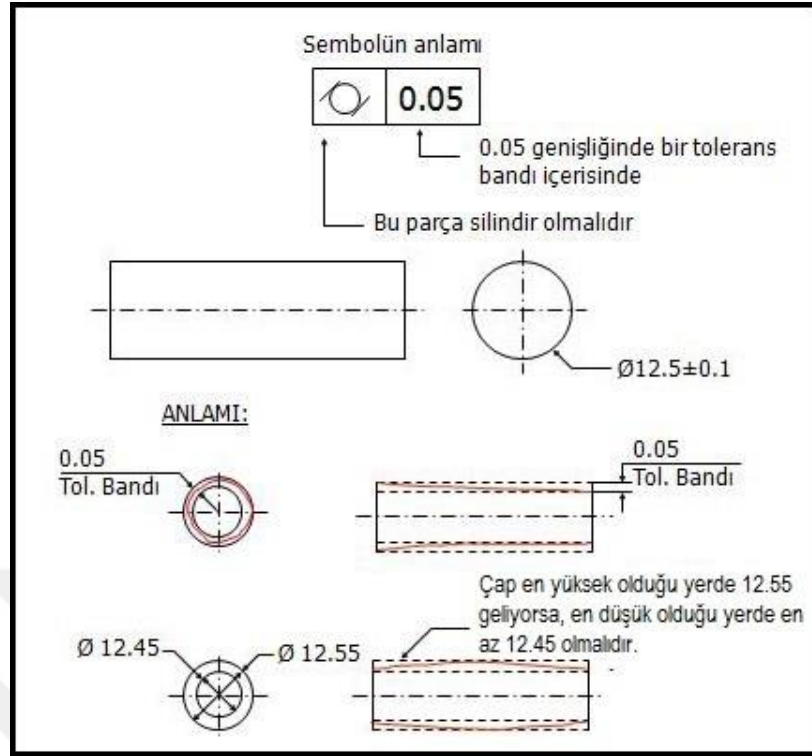
Şekil 4.4. Bu çalışmada araştırılan geometrik şekil toleransları.

#### 4.3.1.2. Silindiriklik

Silindiriklik, bir dönme yüzeyine ait elemanların dönme ekseninden eşit uzaklıkta bulunmaları koşuludur. Silindiriklik toleransı; yüzeyin içerisinde bulunması gereken, eşeksenli iki silindir arasındaki yarıçap farkıdır [70].

	Silindiriklik			Silindir dış yüzeyi, aralarında $t=0.01$ mm'lik yarıçap farkı olan eş eksenli iki silindir içerisinde olmalıdır.
-------------------------------------------------------------------------------------	---------------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Şekil 4.5. Silindiriklik sembolü ve gösterimi [70].



Şekil 4.6. Örnek silindiriklik uygulaması [70].

#### Silindiriklik toleransı genel bilgileri;

- Silindiriklik toleransı sadece silindirik yüzeylere uygulanır.
- Silindiriklik toleransı çap özelliğinden bağımsızdır. Sadece silindiriklik ölçümü için parça eksenine ilişki halindedir.
- En çok malzeme durumu uygulanamaz. En çok malzeme durumu uygulamasında çap toleransının artmasıyla birlikte silindiriklik toleransının artması parçanın silindirik olmama durumunu artırır.
- Silindiriklik toleransı aynı anda parça yüzeyinin dairesellik, doğrusallık ve paralellik toleranslarını da kontrol eder.
- Silindiriklik toleransı çap ölçüsü sınırları içinde olmalıdır. Silindiriklik toleransı parça tolerans sınırını aşamaz.
- Silindiriklik toleransı düzlemsellik toleransının silindire sarılmış biçimi olarak örneklendirilebilir.
- Genel olarak silindiriklik toleransı parça tolerans mesafesinin yarısından az olmalıdır.

Örnek

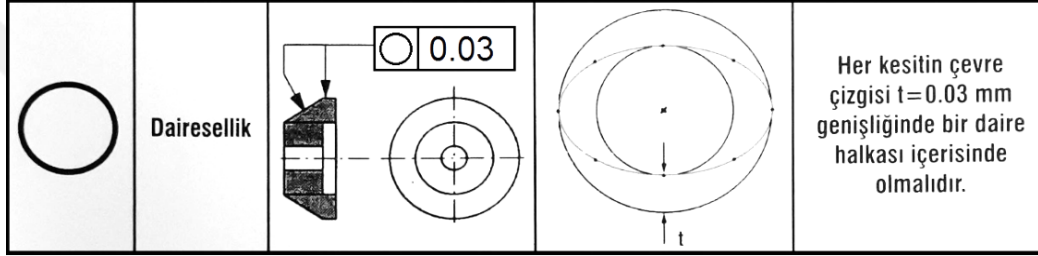
parça toleransı=  $\pm 0,1$  mm

parça tolerans aralığı= 0,2 mm

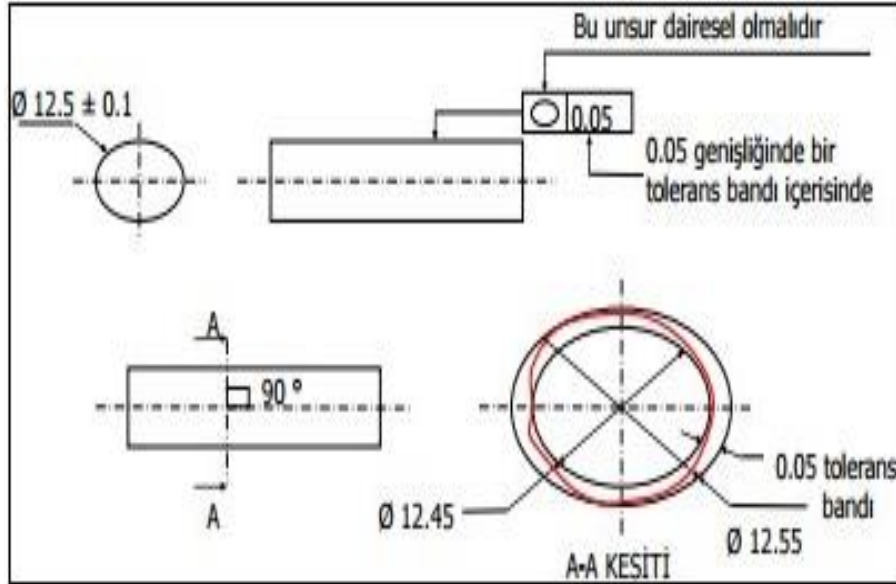
silindiriklik toleransı=  $0,2/2 > 0,09, 0,08$  mm, vb değer

#### 4.3.1.3. Dairesellik

Parça eksenini dik kesen düzlemdeki bütün elemanların dönme eksenine eşit mesafede olma şartıdır.



Şekil 4.7. Örnek dairesellik gösterimi [70].



Şekil 4.8. Parçalarda dairesellik durumu.

Dairesellik Toleransı;

- Bir yüzeyin bütün dairesel elemanlarının içerisinde bulunması gereken, eş merkezli iki daire arasında kalan bölgedir.
- Silindirin eksene dik her kesitinin dış çemberi (çevre zarfı), yarı çapları arasındaki fark 0,05 mm olan iki çember arasında bulunmalıdır.
- Bu çemberlerden büyük olanın çapı 12,6 mm olabilir.
- Bu durumda küçük olanın çapı en az 12,5 mm olmalıdır. Veya çemberlerden küçük olanın çapı 12,4 olabilir, bu durumda büyük olanın çapı en fazla 12,5 mm olmalıdır [72].

#### **Dairesellik toleransı genel bilgileri;**

- Dairesellik toleransı sadece silindirik yüzeylere uygulanır.
- Dairesellik toleransı parça özelliklerinden bağımsızdır. Sadece dairesellik ölçümü için parça eksenine ilişkilidir.
- En çok malzeme durumu (E.Ç.M.D) uygulanamaz. En çok malzeme durumunda çap toleransının artmasıyla birlikte dairesellik toleransının artması parçanın dairesellik olmama durumunu artırır.
- Dairesellik toleransı çap ölçüsü sınırları içinde olmalıdır.
- Genel olarak dairesellik toleransı parça tolerans mesafesinin yarısından az olmalıdır.

Örnek;

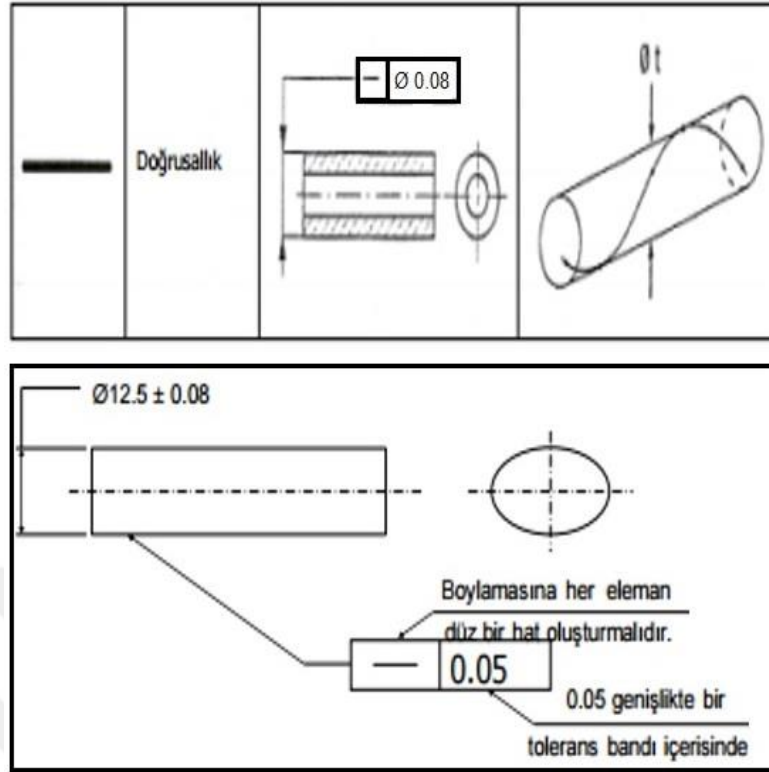
parça toleransı=  $\pm 0,1$  mm

parça tolerans aralığı= 0,2 mm

silindiriklik toleransı=  $0,2/2 > 0,09, 0,08$  mm, vb. değer [72].

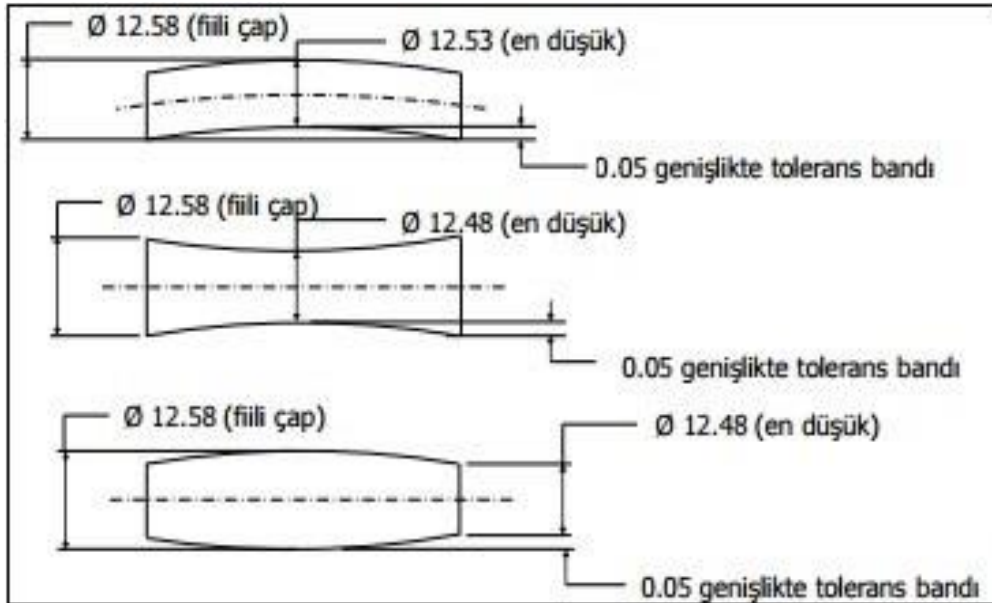
#### **4.3.1.4. Doğrusallık**

Doğrusallık, bir yüzeye veya bir eksene ait elemanların, sınırları belirlenmiş bir bant içerisinde bulunmaları koşuludur.



Şekil 4.9. Doğrusallık toleransının gösterilmesi.

Doğrusallık Toleransı: Kontrol edilen yüzey veya eksene ait tüm elemanların içinde bulunması istenen bant genişliğidir.



Şekil 4.10. Örnek doğrusallık uygulaması.

Doğrusallık bir özelliğin yüzeyinde yer alan her bir doğrusal elemanın boyut toleransını inceltmek (rafine etmek) için kullanılır.

#### **Doğrusallık genel bilgileri;**

- Doğrusallık tolerans değeri parça ölçüsü toplam tolerans mesafesinin yarısından az olmalıdır. Ne kadar az olacağına tasarım ve imalat koşullarına göre karar verilmelidir.
- Doğrusallık toleransı sadece parçanın doğrusallık tanımlanan yüzeyi ile ilişkili olduğu için referans düzlem tanımı gerektirmez.
- Doğrusallık toleransı silindirik ve konik yüzeylere uygulanır.
- Doğrusallık toleransı düzlemsellik ile kullanılacaksa tolerans değeri her zaman düzlemsellik toleransından düşük olmalıdır.
- Doğrusallık toleransı uygulanacağı görünüş yönünde parça yüzeyine veya ölçü uzatma çizgisine ilişkilendirilmelidir [72].

#### **4.3.2. Profil Toleransları**

Değişken parça yüzeylerini tanımlamak için kullanılır. Profil toleransı parça yüzey veya yüzey çizgisinin doğru yüzeyden değişme mesafesini tanımlar. Profil tolerans referans düzleme bağlı veya bağımsız olarak tanımlanabilir. Profil toleransları 2 şekilde tanımlanır.

- Çizgi Profili
- Yüzey Profili

#### **4.3.3. Yön Toleransları**

Parçaların yüzey ve parça özellikleri yönlerini referans düzleme göre tanımlamak için kullanılır. Yön toleransları parça yüzeyi ve parça özelliklerinin doğru yüzeyden mesafesini referans düzlemlere göre tanımlar.

Yön toleransları 3 şekilde tanımlanır.

- Diklik
- Açısallık
- Paralellik

#### **4.3.4. Salgı (Yalpalama) Toleransları**

Salgı, parça gerçek yüzeyinin doğru yüzeyden değişmesini dönme eksenine göre döndürülerek bulunmasıdır. Salgı toleransı parçanın dönme eksenine ilişkili olduğu için referans düzlem tanımı gerekmektedir. Salgı toleransı 2 şekilde tanımlanır.

- Dairesel Salgı (Yalpalama)
- Toplam Salgı (Yalpalama)

#### **4.3.5. Yerleşim Toleransları**

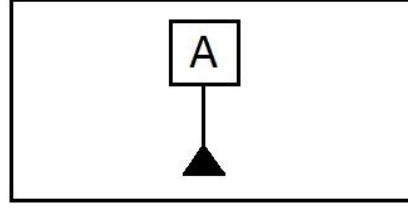
Yerleşim toleransları parça özelliklerinin (delik, pim, kanal vb) gerçek konumundan değişme mesafesini tanımlamak için kullanılır. Yerleşim toleransları referans düzlemlerle ilişkili olarak tanımlanması gerekir. Yerleşim toleransları 3 şekilde tanımlanır.

- Konum
- Eşeksellik
- Simetriklik

#### **Referans Düzlem**

Kare şeklinde olan bir çerçeve içine konulan büyük harflerle tayin edilir ve içi dolu bir üçgenle elemana bağlanma durumları gerçekleşir.

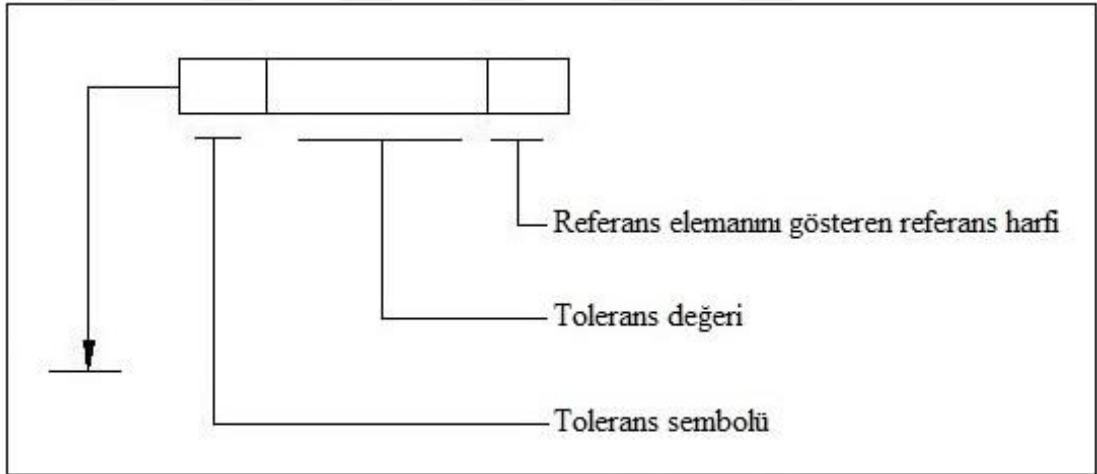




Şekil 4.11. Referans düzlem sembolü.

### Tolerans Çerçevesi

İki ya da daha fazla kısma bölünmüş dikdörtgen çerçevelerdir. Her bir bölüme nelerin yazıldığı Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Ok’un veya toleransın ait olduğu elemanı göstermektedir [73].

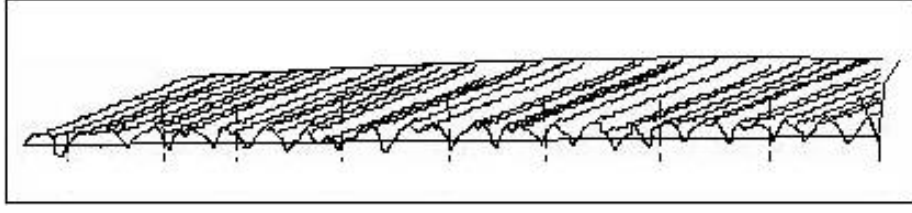


Şekil 4.12. Tolerans çerçevesi [73].

## 4.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

### 4.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Tanımı

İş parçasının işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü, işleme parametreleri, kesici takım, iş parçası malzemesi, takım tezgahı özellikleri vb. gibi çeşitli etkenlerin sonucunda, iş parçası yüzeyinde oluşan pürüzlülüğü ifade eder. İşlem görmüş yüzeylere çıplak gözle bakıldığında çok güzel görünürken, mikroskop altında bakıldığında Şekil 4.13’de ki gibi görünür. Tornalama işleminde iyi bir yüzey kalitesi için talaş derinliği ve ilerleme miktarının düşük tutulması istenir [69].



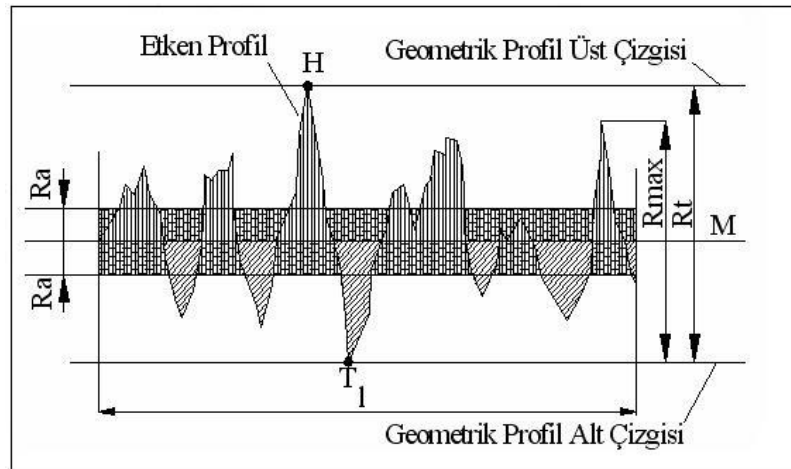
Şekil 4.13. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterilmesi [69].

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesine kullanılan bazı değerler bulunmaktadır. Şekil 4.14'de pürüzlülük için belirlenmiş ölçüm bilgileri görülmektedir.

- $R_a$  = Ortalama Pürüzlülük Değeri ( $\mu\text{m}$ )
- $R_t$  = Pürüzlülük Yüksekliği ( $\mu\text{m}$ )
- $R_{\text{max}}$  = En Büyük Pürüzlülük Derinliği ( $\mu\text{m}$ )
- $L$  = Örnek Uzunluk (mm)

Yüzey kalitesini etkileyen faktörleri genel olarak sıralarsak,

- Takım tezgahının rijitliği,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan tezgah hataları,
- Takım tutucunun rijitliği,
- Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar [81].



Şekil 4.14. Yüzey pürüzlüğü profili [69].

#### 4.4.2. Yüzey Kaliteleri

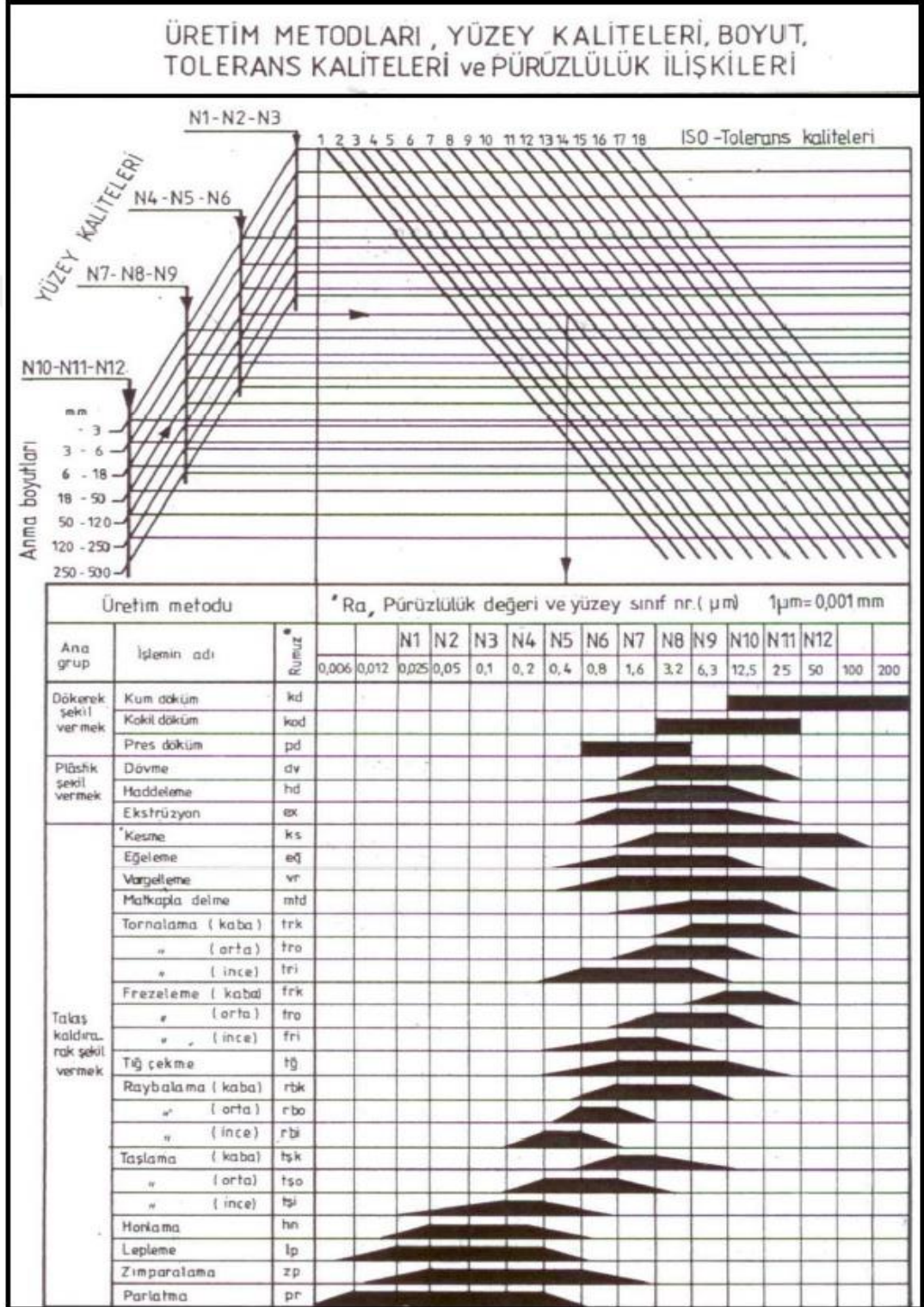
Talaş kaldırılarak şekillendirilen yüzeyler kaba, orta, ince ve hassas olarak bölümlere ayrılmış eski ve yeni gösterimleri Çizelge 4.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Yüzey kaliteleri [74].

YÜZEY KALİTELERİ											
ESKİ YÜZEY KALİTELERİ					YENİ YÜZEY KALİTELERİ						
DIN 140	DIN 3141		(ISO 1302) TS 2040								
YÜZEY TANIMI	SEMBOL	ANLAMI	Pürüzlülük derinliği Rt (µm)				YÜZEY SINIF NUMARASI	Ortalama pürüzlülük değeri Ra(µm)	SEMBOL	YÜZEY TANIMI	
			1	2	3	4					
Talaş kaldırılmadan şekillendirilen yüzeyler	Olduğu gibi kalan yüzeyler	İşaretsiz	—				N5 - N12 arasındaki yüzey kaliteleri	0,4 - 50µm değerlerinde pürüzlülüklere sahip yüzeyler	N12 N5 veya 50 0,4	Talaş kaldırılmadan şekillendirilen yüzeyler	
		Takribi işaret	—								
Talaş kaldırılarak şekillendirilen yüzeyler	KABA	1 Üçgen	160	100	63	25	N12	50	N12/50 veya 50/	Talaş kaldırılarak şekillendirilen yüzeyler	
		ORTA	2 Üçgen	40	25	16	10	N11	25		N11/25 veya 25/
			İNCE					3 Üçgen	N10		12,5
	HASSAS							4 Üçgen	N9		6,3
		N8	3,2	N8/3,2 veya 3,2/							
		N7	1,6	N7/1,6 veya 1,6/							
		N6	0,8	N6/0,8 veya 0,8/							
		N5	0,4	N5/0,4 veya 0,4/							
		N4	0,2	N4/0,2 veya 0,2/							
			N3	0,1	N3/0,1 veya 0,1/						
			N2	0,05	N2/0,05 veya 0,05/						
			N1	0,025	N1/0,025 veya 0,025/						

Çizelge 4.3'de üretim metodları, yüzey kaliteleri, boyut, tolerans kaliteleri ve pürüzlülük ilişkileri verilmiştir [74].

Çizelge 4.3. Boyut, yüzey ve toleranslar arasında ilişki [74].



## BÖLÜM 5

### MALZEME VE METOT

#### 5.1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

##### 5.1.1. Deney Malzemesi

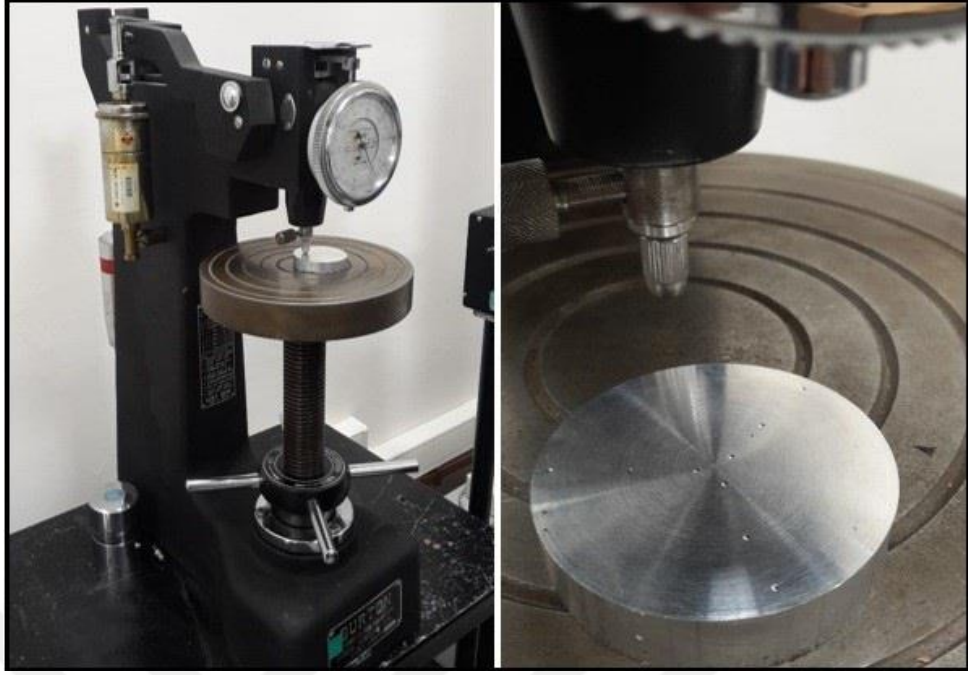
Bu çalışmada, ASTM B221M-12 Standartına uygun AA7075 T651 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Ø50x3000 mm boyunda uygunluk belgesi istenerek, Tübitak Sage alt yapısında bulunan malzeme analizi yapan tabanca ile kontrolü yapılarak satın alımı gerçekleştirilmiştir. Uygunluk belgesinde yazan kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. (AA7075 T651) Kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Bileşimi								
Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Al
0,19	1,4	0,19	2,5	0,22	0,17	0,08	5,4	89,85
Fiziksel Özellikleri								
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Sertlik (Hrb)	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)	Elastisite modulu (GPa)	Poisson oranı	Ergime sıcaklığı (°C)	Termal İletkenlik (W/mK)
2,81	99,5	572	503	11	71,7	0,33	635	130

Parçanın sertlik ölçümü TÜBİTAK SAGE boyutsal ve kalite kontrol laboratuvarında yer alan Burton GOKO SEIKI manuel sertlik ölçüm cihazında Hrb cinsinden 1/16’’ bilya uç ve 100 kg yük uygulayarak yapılmıştır (Şekil 5.1).





Şekil 5.1. Sertlik ölçümü.

### 5.1.2. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Deneyler TÜBİTAK SAGE mekanik üretim altyapısında yer alan SPINNER -TC65 CNC Torna tezgâhında yapılmıştır.



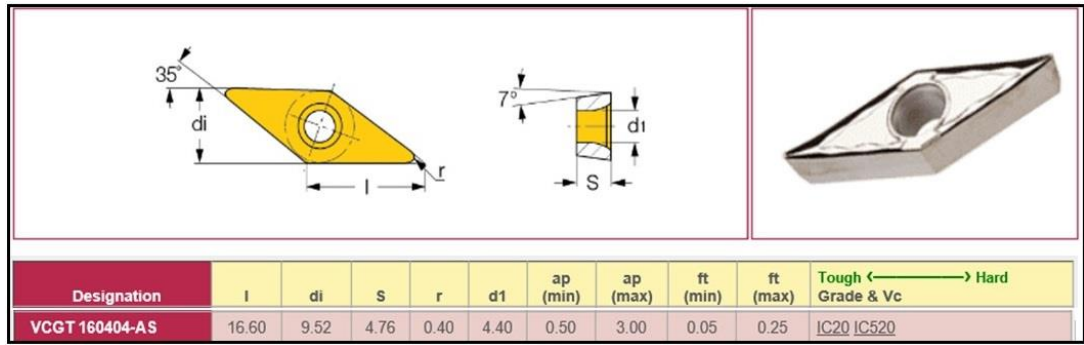
Şekil 5.2. CNC torna tezgâhı.

Çizelge 5.2. Deneyleerde kullanılan CNC torna tezgâhının teknik özellikleri.

CNC torna tezgâhı teknik özellikleri	
X eksenı	230 mm
Z eksenı	640 mm
Tezgâh gücü	10 kW
Devir sayısı	4000 rpm
Hassasiyet	0,001 mm
Hidrolik ayna çapı	250 mm
Taret takım bağlama kapasitesi	12

### 5.1.3. Deneyleerde Kullanılan Kesici Takım

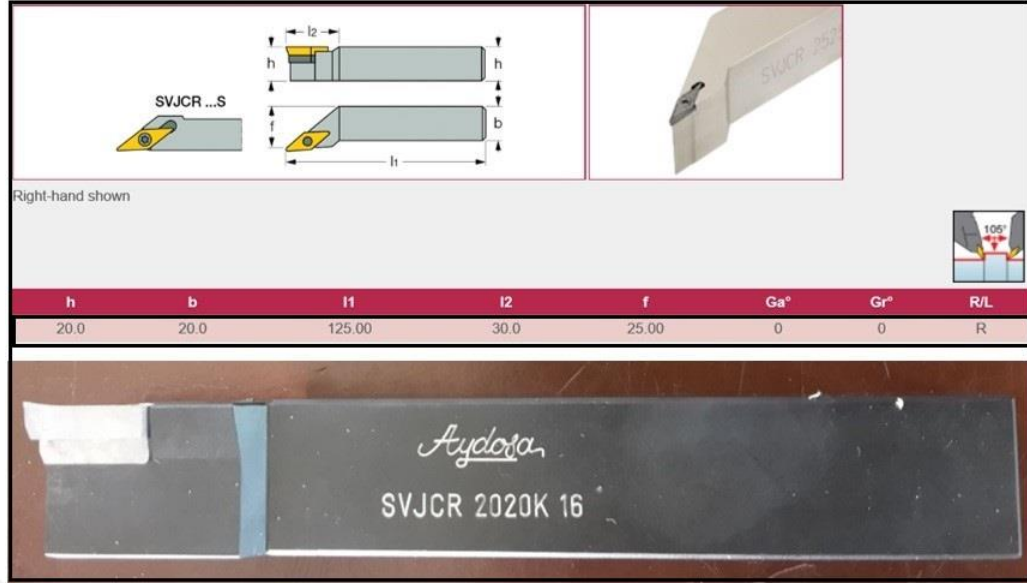
Deneylee numunelerinin işlenmesinde takım üreticisi ISKAR firmasının katoloğunda alüminyum malzemeler için önerilen kesici uç kullanılmıştır. Şekil 5.3’de boyutları ve geometrisi verilen bu kesici takım, ISO 3685’e göre VCGT 160404-AS kodu ile tanımlanmaktadır.



Şekil 5.3. ISKAR marka VCGT 160404-AS kesici takım.

### 5.1.4. Deneyleerde Kullanılan Takım Tutucu

Deneyleerde kesici uçları bağlamak için, ISO 3685’e göre SVJCR 2020K 16 kodu ile tanımlanan takım tutucu kullanılmıştır. Ölçüleri Şekil 5.4’te görülen takım tutucu Aydosya firması tarafından üretilmiştir.



Şekil 5.4. Takım tutucu.

### 5.1.5. Deneylerde Kullanılan Kesme Sıvısı

Deneylerde kesme sıvısı olarak CIMCOOL Cimperial 806 yarı sentetik emülsiyon (%5) kullanılmıştır. Kesme sıvısı seçimi malzemenin cinsi ve takım kataloglarında yazan bilgiler dikkate alınarak seçilmiştir. Kesme sıvısı sürekli ve yaklaşık aynı basınçta uygulanmıştır.

### 5.1.6. Deney Sonrası Kullanılan Ölçüm Cihazları

Tornalama işlemi sonunda silindiriklik, dairesellik, doğrusallık ölçümlerini TÜBİTAK SAGE boyutsal ve kalite kontrol laboratuvarında yer alan DEA PC-DMIS CMM tezgâhında yapılmıştır (Şekil 5.5). Ölçümlerde kullanılan CMM cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.



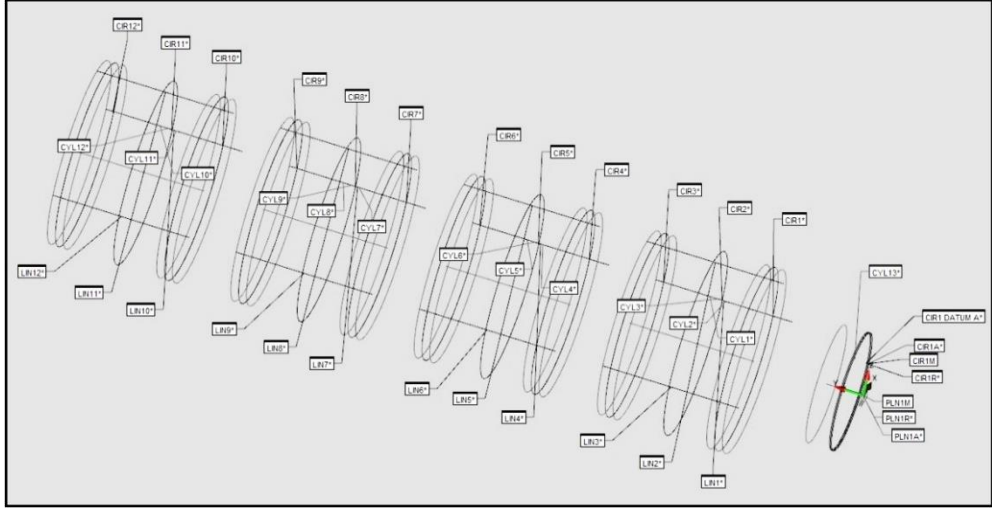


Şekil 5.5. CMM tezgâhı.

Çizelge 5.3. Ölçümlerde kullanılan CMM cihazının teknik özellikleri.

Tezgahın ölçüm kapasitesi	900, 900, 1600 mm
Ölçüm hassasiyeti	0,003 mm
Kontrol sistemi	PC-DMIS 2013.1

Deney numunesi üzerinden herbir ölçüm için en az 3 ölçüm yapılarak ortalaması tabloya yazılmıştır. Ölçümler 45 mm boyun her iki ucundan 2 mm pay bırakılarak ölçülmüştür. Silindiriklik çevrede 37 mm boyunda 3 yerden ölçülmüştür. Dairesellik ikisi uçlardan biri ortadan ölçülmüştür. Doğrusallık ise çevrede 120° açıda 3 yerden ölçülmüştür.



Şekil 5.6. Deneş parçalarının CMM ölçüm cihazında programlanması.

İşleme sonrası meydana gelen yüzey pürüzlülüğü ölçümlerini Mitutoyo SJ-310 yüzey pürüzlülük cihazında yapılmıştır (Şekil 5.7). Her deneş numunesi çevresinden en az 5 farklı yerden ölçüm alınmıştır ve tabloya ortalaması yazılmıştır.



Şekil 5.7. Mitutoyo yüzey pürüzlülük cihazı.

Çizelge 5.4. Kullanılan yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.

<b>Mitutoyo SJ-310 Teknik Özellikleri</b>	
Stylus	Diamond Tip
Stylus Ucu Radyusu	2 $\mu$ m
Stylus Ucu Açısı	60°
Ölçüm Metodu	Diferansiyel Endüktans
Sürücü Ünite Hızı	0,25 mm/s; 0,5 mm/s; 0,75 mm/s
Detektör Ölçüm Gücü	0,75 Mn

Kesici takım aşınması ve yığıntı talaş oluşumunu TÜBİTAK SAGE alt yapısındaki ZEISS KL 1500 LCD Mikroskop ile yapılmıştır (Şekil 5.8).



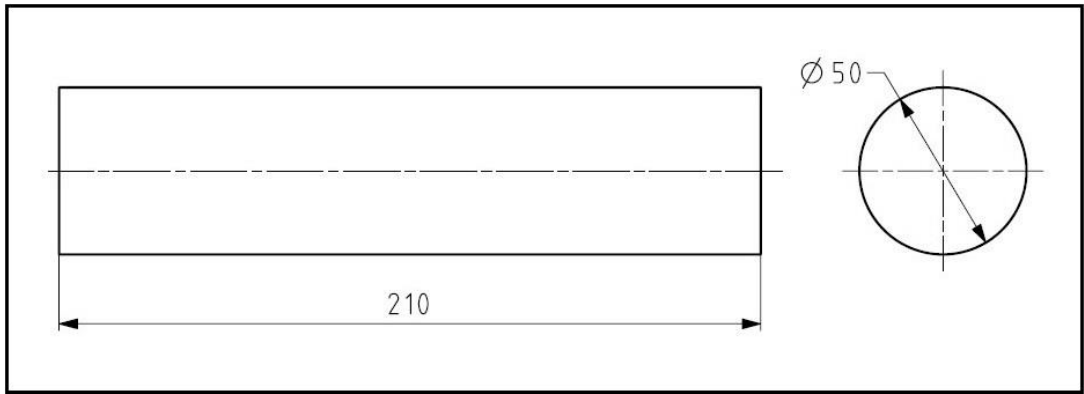
Şekil 5.8. ZEISS KL 1500 LCD mikroskop cihazı.

Çizelge 5.5. Ölçümlerde kullanılan mikroskop cihazının teknik özellikleri.

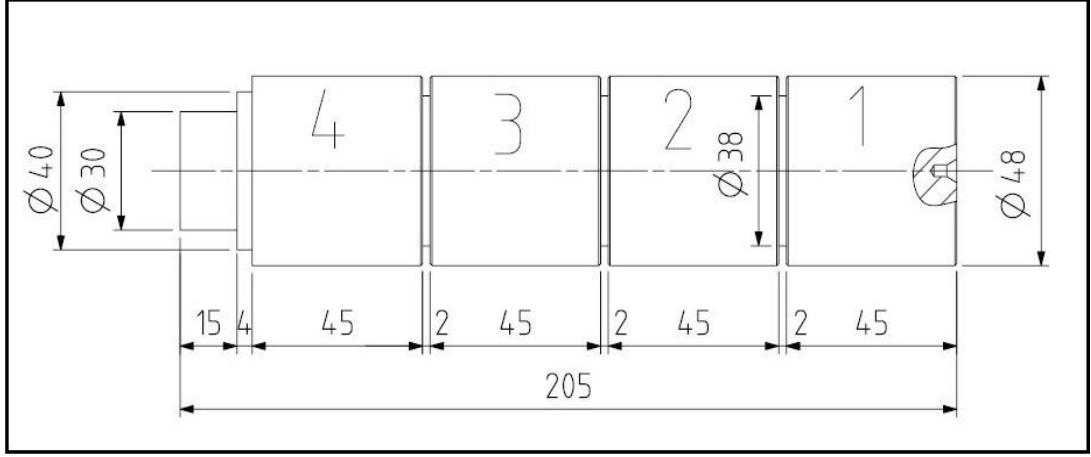
<b>ZEISS KL 1500 LCD Mikroskop Teknik Özellikleri</b>	
Büyütme aralığı	6.5X-50X
Dış ölçüler	200 x 265 x 170 mm
Çalışma mesafesi	92 mm
Ağırlık	4.8 kg

## 5.2. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

12 adet Şekil 5.9’da gösterilen  $\text{Ø}50 \times 210$  mm boyunda parçalara ayrılarak torna tezgâhına bağlamaya hazır hale getirilmiştir. Numunelerin alın yüzeyleri tormalanarak bir tarafına punta deliği açılmış diğer tarafında ayna ayaklarının kavrayabileceği kadar  $\text{Ø}30 \times 15$  mm arayüz tasarlanmıştır. Numunelere Şekil 5.10’da gösterildiği gibi işleme sırasında kesici takımın ayna ayaklarına çarpmaması için  $\text{Ø}40 \times 4$  mm güvenli bölge eklenmiştir. Ayna punta arasına alındıktan sonra 2 mm genişlikli kanal kalem ile 38 mm çapında 45 mm boyunda 4 ayrı bölüm oluşturulmuştur.  $\text{Ø}50$  mm üzerinden 1 mm derinliğinde talaş kaldırılarak  $\text{Ø}48$  mm’ye düşürülmüş ve bağlamadan yada parçanın dış geometrisindeki bozukluklardan kaynaklanan eksen kaçıklığı giderilmiştir. Bu aşamaya kadar olan işlemlerde deneylerde kullanılmayan kesici uç kullanılmıştır. Her bir numuneden 45 mm boyunda 4 farklı deney elde edilmiştir. Toplam 36 farklı parametre denenmiştir. Yapılan 36 deneyin içinden rasgele 12 deney verileri seçilerek, sonuçların güvenilirliği açısından deneyler tekrarlanmıştır. Her bir deney için ayrı kesici uç kullanılmış ve mikroskop ile takım aşınması incelenmiştir. Deneyler sonrası parçalar CMM tezgâhında ölçülmüştür.



Şekil 5.9. Ham malzeme ölçüleri.



Şekil 5.10. Deneye hazır malzeme ölçüleri.

### 5.2.1. Deneyleerde Kullanılan Kesme Parametreleri

Deneyleerde kullanılan kesici takım ve kesme parametreleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Deneyleerde kullanılacak kesici takım ve kesme parametreleri.

Kesici Formu	(r) Kesici Takım Burun Yarıçapı (mm)	(n) Devir Sayısı (dev/dak)	(V <sub>c</sub> ) Kesme Hızı (m/dak)	(f) İlerleme Miktarı (mm/dev)	(a <sub>p</sub> ) Talaş Derinliği (mm)
VCGT-AS	0,4	663	100	0,05	0,5
		1326	200		1,5
		1990	300		3
		2653	400		

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi, bu çalışmada toplamda;  $1 \times 1 \times 4 \times 3 \times 3 = 36$  adet deney yapılmıştır. Deneyleerde güvenilirliliği için 36 adet deneyin 12 adedi 2 (iki) kere tekrarlanmıştır. Deneyleerde kesici takım formu ve kesici takım burun yarıçapı sabit tutulmuş, 4 farklı kesme hızına göre devir sayıları kesme hızı formülüne göre hesaplanmıştır. 3 farklı ilerleme değeri ve kesme derinliği kesici takım katalog değerleri içerisinde seçilmiştir. Bu kesme parametrelerinin parçanın silindirikliğine, daireselliğine, doğrusallığına ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir.

### 5.2.2. Deneş Parçalarının CNC Torna Tezğahına Bağlanması

Deneş parçaları üç ayaklı ayna ve puntası olan CNC torna tezğahına bağlanarak işlenmiştir. Hazırlanan deneş parçaları Şekil 5.11’de görüldüğü gibi ayna-punta arasına bağlanmıştır. Bağlanan parçalar üzerinden deneş öncesi 1 mm talaş kaldırılmıştır. Böylelikle bağlamadan kaynaklanabilecek salğı ve iş parçasının imalatından kaynaklanan sert yüzey alınarak deneş sonuçlarının en sağlıklı bir şekilde elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.11. Deneş numunesinin CNC tornaya bağlanması.

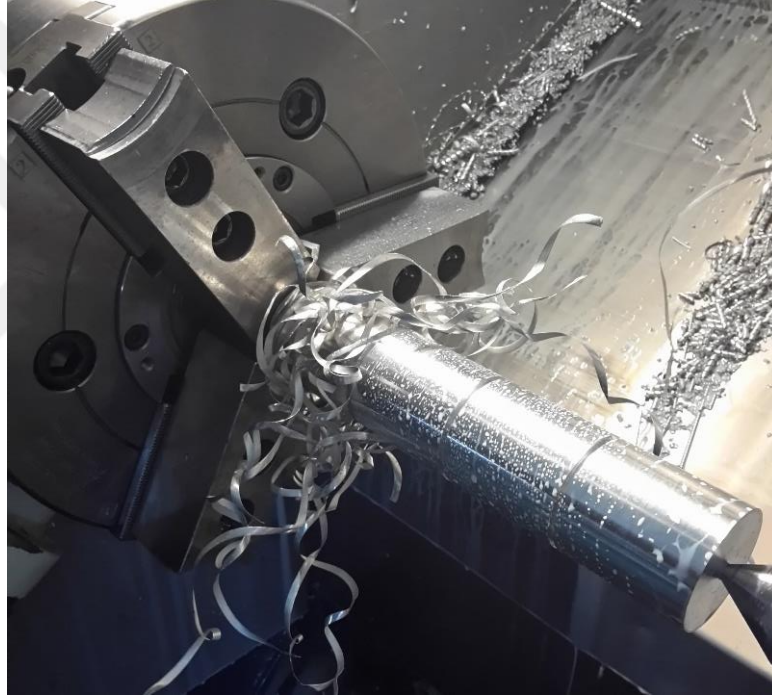


Şekil 5.12. Bir parçadan 4 deneş numunesi elde edilmesi.





Şekil 5.13. Deney numunesinin işlenmesi aşaması.



Şekil 5.14. Deney numunesinin işlenmesi sırasında talaşların sarması.

Pratikte, iş parçasının aynaya her sökölüp takılmasında, iş parçası yüzeyinde bir miktar salgı oluşur. Bu nedenle, ayna-punta arasına bağlanarak salgısı giderilen iş parçası aynadan sökölmeden bir parça üzerinde 4 farklı deney yapılmıştır.

Çizelge 5.7. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri ve ölçüm sonuçları.

Talaş derinliği $a_p$ (mm)	İlerleme miktarı (f) (mm/dev)	Kesme hızı ( $V_c$ ) (m/dak)	(Ra) Yüzey pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )	Silindiriklik (mm)	Dairesellik (mm)	Doğrusallık (mm)	Deneyle no
0,5	0,05	100	0,304	0,003	0,002	0,0010	1
		200	0,290	0,003	0,003	0,0015	2
		300	0,360	0,004	0,002	0,0013	3
		400	0,262	0,004	0,003	0,0020	4
	0,1	100	0,788	0,003	0,002	0,0013	5
		200	0,714	0,003	0,003	0,0010	6
		300	0,710	0,003	0,003	0,0010	7
		400	0,867	0,003	0,003	0,0016	8
	0,25	100	4,630	0,004	0,004	0,0020	9
		200	5,020	0,004	0,003	0,0020	10
		300	4,930	0,003	0,001	0,0013	11
		400	4,800	0,005	0,003	0,0016	12
1,5	0,05	100	0,420	0,005	0,003	0,0016	13
		200	0,356	0,003	0,002	0,0020	14
		300	0,315	0,005	0,004	0,0026	15
		400	0,370	0,006	0,006	0,0020	16
	0,1	100	0,690	0,003	0,003	0,0016	17
		200	0,686	0,002	0,004	0,0010	18
		300	0,803	0,003	0,004	0,0016	19
		400	0,795	0,005	0,002	0,0023	20
	0,25	100	4,780	0,004	0,004	0,0056	21
		200	4,815	0,006	0,003	0,0066	22
		300	4,730	0,003	0,003	0,0020	23
		400	4,870	0,001	0,001	0,0013	24
3	0,05	100	0,338	0,004	0,004	0,0016	25
		200	0,315	0,005	0,002	0,0020	26
		300	0,226	0,004	0,003	0,0020	27
		400	0,289	0,004	0,004	0,0026	28
	0,1	100	0,937	0,006	0,002	0,0070	29
		200	0,715	0,002	0,003	0,0020	30
		300	0,652	0,004	0,003	0,0016	31
		400	0,692	0,004	0,002	0,0016	32
	0,25	100	4,73	0,006	0,005	0,0060	33
		200	4,73	0,008	0,004	0,0033	34
		300	4,84	0,006	0,005	0,0070	35
		400	4,67	0,004	0,004	0,0043	36



## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, Alüminyum Alaşımlarından AA7075 T651 alaşımının torna tezgâhında işlenmesi sonucunda kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak geometrik toleranslardan silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık değerlerinde değişim araştırılmış ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

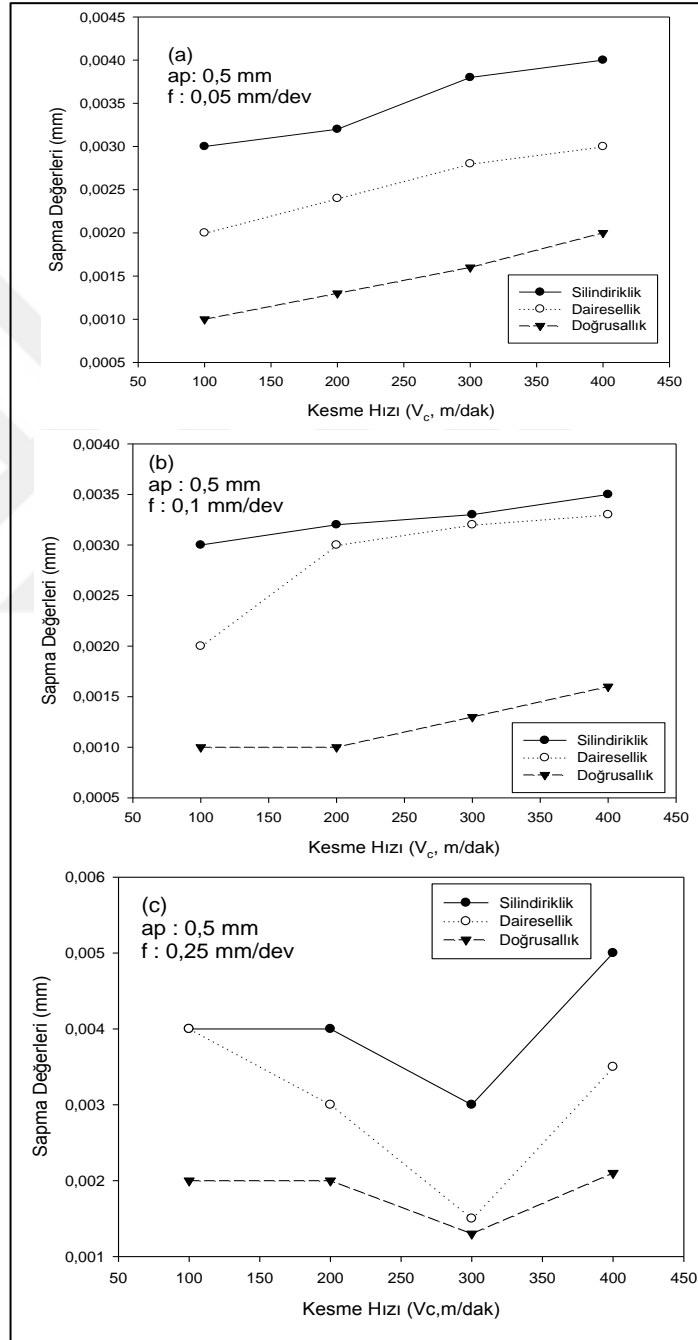
#### 6.1. KESME HIZI ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ile 0,5 mm kesme derinliği kombinasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen iş parçalarının CMM tezgâhında yapılan ölçüm verileri Şekil 6.1.a, b, c'deki grafiklere dönüştürülmüştür. Şekil 6.1.a, b, c'deki grafikler incelendiğinde, genelde kesme hızı artışı silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık sapma değerlerinin yükselmesinde etkili olmuştur. Bu durum; kesme hızının artması sonucu tezgâh-kesici takım titreşiminin artmasına yorumlanabilir. Normal şartlarda kesme hızı artışı kesme kuvvetlerinde azalmaya yol açmaktadır. Titreşimin, kesici takım veya iş parçasının yer değiştirmesinden kaynaklanabileceği gibi çalışma şartlarındaki değişmelere bağlı olarak kesme işlemindeki değişikliklerden ve malzeme şartlarından da kaynaklanabilmektedir. Bu yer değiştirmeler kesme kuvvetlerinde değişkenliklere ve titreşime yol açmaktadır. Bir başka titreşim nedeni de kesici takımın işlem esnasında uç kısmında oluşan BUE oluşumudur. Bu yığılma talaşın sürtünmeden ve yığılma miktarının değişiminden de kesme kuvvetlerinde değişim olması titreşime neden olmaktadır [17]. Dolayısıyla kesme hızı artışına bağlı titreşim artışı geometrik tolerans değerinin artışını sağlamıştır. Fakat, 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ile kesme hızı kombinasyonunda (bkz. Şekil 6.1.c) silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık sapma değerleri doğrusal bir

yükseliş göstermemiştir. Kesme hızı artışıyla birlikte yükselen sapma değerleri 300 m/dak kesme hızı kombinasyonunda azalma göstermiştir. Kesme hızının 400 m/dak



olduğu kombinasyonda tekrar yükselmeye başlamıştır. Bu durum; 0,25 mm/dev ilerleme miktarı, 0,5 mm kesme derinliği ve 300 m/dak kesme hızı kombinasyonunda uygun kesme şartlarının oluşmasına atfedilebilir. Bu parametrelerde talaş kaldırma işleminde BUE oluşumu ve kesme kuvvetlerinde dalgalanmanın az olması ve uygun talaş tahliyesi sapma değerlerinin azalmasına yol açmıştır.

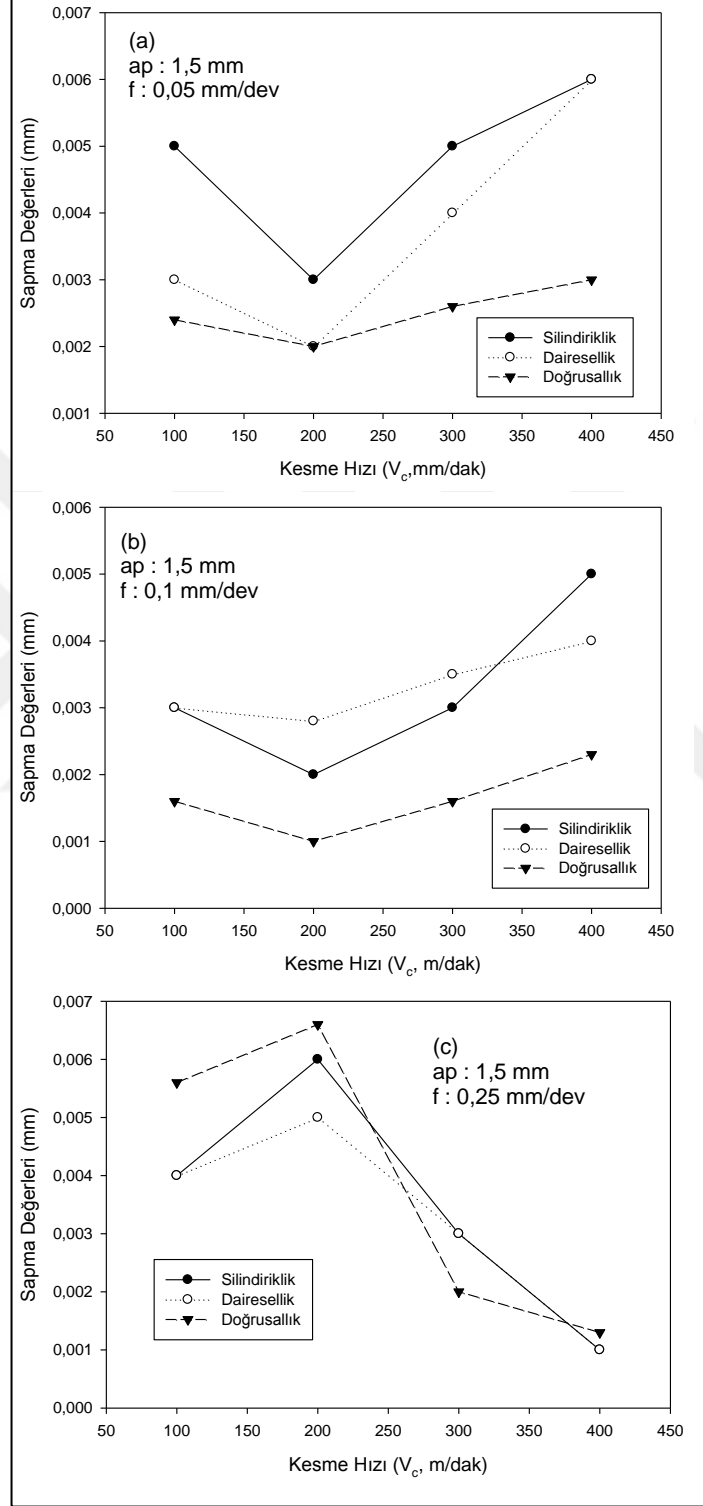


Şekil 6.1. Kesme derinliğinin 0,5 mm ilerleme miktarınının 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğu durumlarda kesme hızına bağlı geomterik sapma değerlerinin karşılaştırılması.

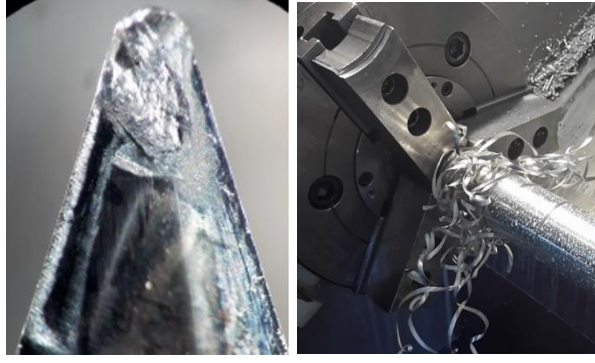
Dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ile 1,5 mm kesme derinliği kombinasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen veriler grafiklere dönüştürülerek Şekil 6.2.a, b, c'de verilmiştir. En düşük kesme hızı (100 m/dak) ile en düşük 0,05 mm/dev ilerleme miktarı kombinasyonunda geometrik toleransların sapma değerleri, kesme hızının 200 m/dak yükselmesine rağmen azalma göstermemiştir. Bu durum; düşük kesme hızı olan 100 m/dak kesme hızında kesici takımında BUE oluşumunun tezgâh-kesici takım titreşimini artırmasına, 200 m/dak kesme hızında ise uygun kesme şartlarının oluşmasına atfedilebilir. BUE oluşumu kesme kuvvetlerinde dalgalanmaya neden olması ve buna bağlı olarak titreşimin artması sapma değerlerinin yüksek olmasında etkili olmuştur. Kesme hızının 200 m/dak çıkmasıyla, artan kesme hızı BUE oluşumunu azaltarak, kararlı talaş işlemi ve uygun talaş kırılması sapma değerlerinin azalmasına yol açmıştır. Kesme hızının 300 m/dak olmasıyla sapma değerleri yükselmiş, kesme hızı 400 m/dak olduğunda sapma değerleri en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Bu durum; kesme hızı artışının tezgâh-kesici takım titreşimini artırmasıyla açıklanabilir [75]. Yukarıda bahsedilen durumlar dört farklı kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 1,5 mm kesme derinliği kombinasyonlarında yapılan deneysel ölçümler içinde geçerlidir ( Şekil 6.2.b). İlerleme miktarının 0,1 mm/dev ve kesme derinliğinin 1,5 mm olduğu kesme şartlarında da en düşük sapma değerleri 200 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Fakat, Şekil 6.2.c'deki grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarı 0,25 mm/dev ile kesme hızının 200 m/dak olduğu kesme kombinasyonunda sapma değerleri en yüksek değerlerde olmuştur. Bu durum; artan talaş hacmini kaldırmak için kesme kuvvetinin dalgalanması sonucu artan tezgâh-kesici takım titreşimiyle açıklanabilir. Talaş sarması ve BUE oluşumu (bkz. Şekil 6.3) artan kesme kuvvetinin dalgalanmasını hızlandırmış ve titreşim genliklerinin büyümesine neden olmuştur. Artan titreşim genlikleri sapma değerlerinin artmasına neden olmuştur [17,75,76].

Titreşimin artması sapma değerlerinin artmasına neden olmuştur. Sapma değerleri kesme hızını 300 m/dak olduğunda azalma göstererek, kesme hızının 400 m/dak olduğunda en düşük seviyeye ulaşmıştır. Bu durum; artan kesme hızı ile birlikte kesme kuvvetlerinde ve BUE oluşumunda azalmayla açıklanabilir [77]. Azalan kesme kuvvetleri ve BUE oluşumunun azalması tezgâh-kesici takım titreşimini

zorlayıcı kuvvetler olarak çok fazla etki etmemiştir. Dolayısıyla titreşim genliğinde büyüme olmamış ve sapma değerlerinin azalmasına neden olmuştur.

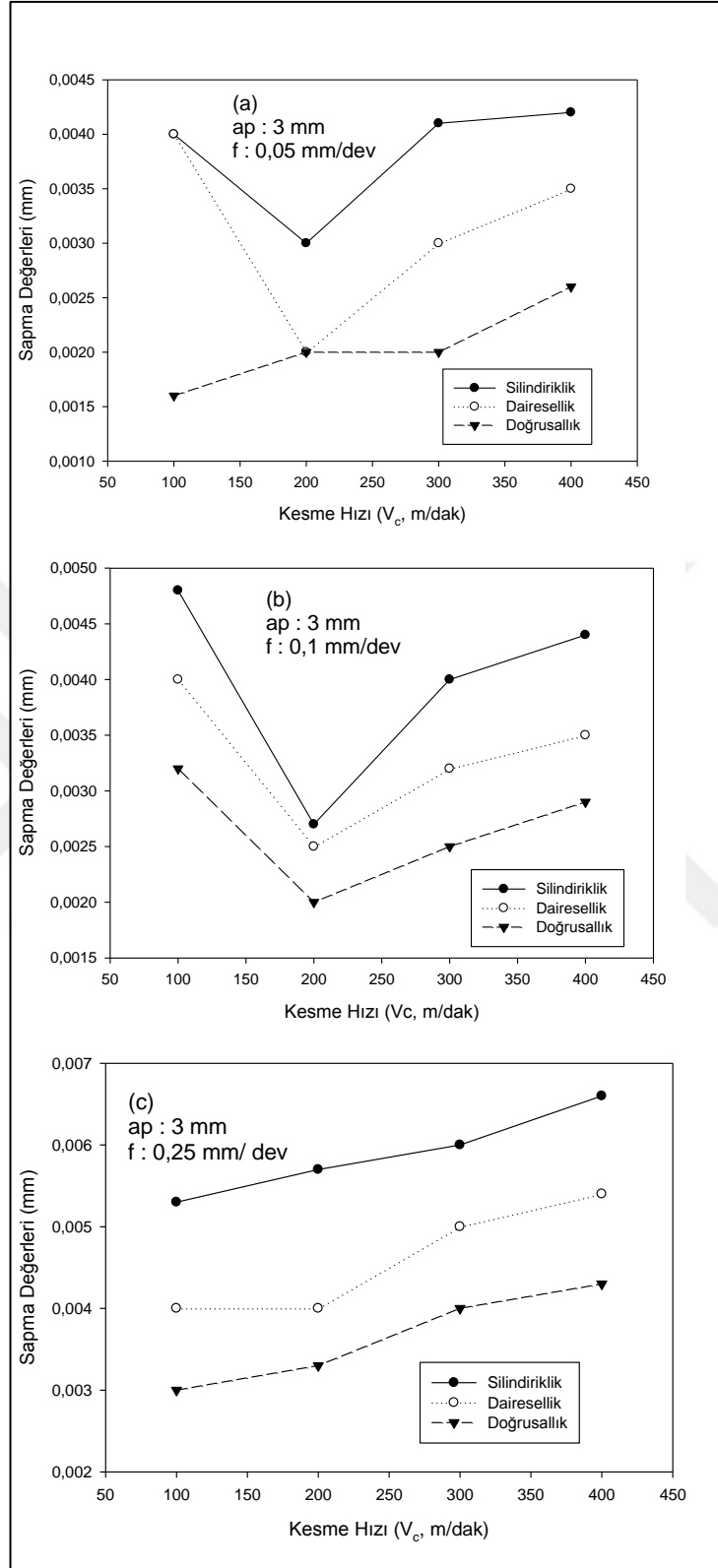


Şekil 6.2. Kesme derinliğinin 1,5 mm ilerleme miktarının 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğu durumlarda kesme hızına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması.



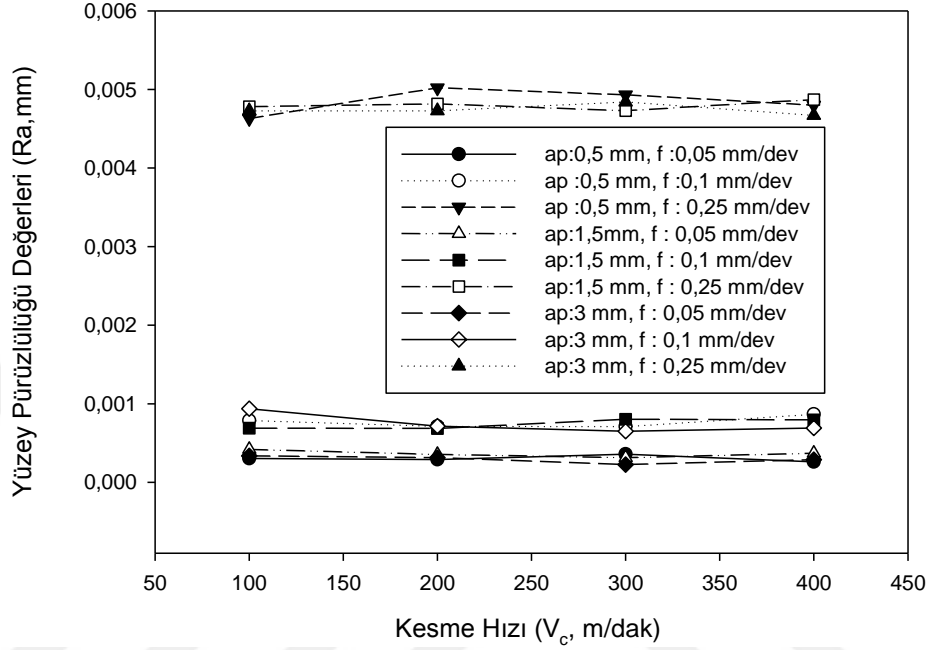
Şekil 6.3. Kesici takımında BUE oluşumu ve talaş sarması.

Şekil 6.4.a.b.c'deki grafikler incelendiğinde, genelde kesme hızı artışı silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık sapma değerlerinin artmasına neden olmuştur. Bu durum; artan kesme hızının etkisiyle oluşan titreşimin sapma değerlerini artırmasına atfedilebilir. Fakat, kesme hızı 200 m/dak, ilerleme miktarı 0,05 ile 0,1 mm /dev ve 3 mm kesme derinlikli kombinasyonlarında bu sapma değerleri en düşük seviyede ölçülmüştür (bkz. Şekil 6.4.a.b). Bu durum; bu kesme şartlarında kararlı talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesine atfedilebilir. Talaş kaldırma esnasında kesme derinliği, ilerleme miktarı kesme kuvvetleri büyüklüğünde en önemli faktörlerdendir. Kesme kuvvetlerinde dalgalanma ise titreşimin büyümesinde oldukça önemli faktördür. Özellikle radyal kesme kuvvetindeki dalgalanma titreşim genliğinde artışa ve buna bağlı olarak da birim zamanda kaldırılan talaş hacminde de değişime neden olmaktadır. Kesme kuvvetlerinde dalgalanmanın ve BUE oluşumunun az olması kararlı talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesine yol açmaktadır. Kararlı talaş kaldırma işlemi tezgâh-kesici takım titreşiminin düşük seviyede olmasına neden olmaktadır. Düşük seviyede titreşim genliği, yüzey pürüzlülüğü ve geometrik tolerans değerlerinin daha düşük seviyede kalmasını sağlamaktadır [17]. Bu bilgiler ışığında, 200 m/dak kesme hızı ile 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarı kesme şartlarında kararlı talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi sapma değerlerinin az olmasında etkili olmuştur.



Şekil 6.4. Kesme derinliğinin 3 mm ilerleme miktarının 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğu durumlarda kesme hızına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması.

Yüzey pürüzlüğüne kesme hızının etkisinin incelemesi için, dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ile üç farklı kesme derinliği kombinasyonlarında yapılan çalışmada ölçülen pürüzlülük değerleri grafiklere dönüştürülerek Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.5. Kesme derinliği 0,5-1,5-3 mm ilerleme miktarı 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğu durumlarda kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması.

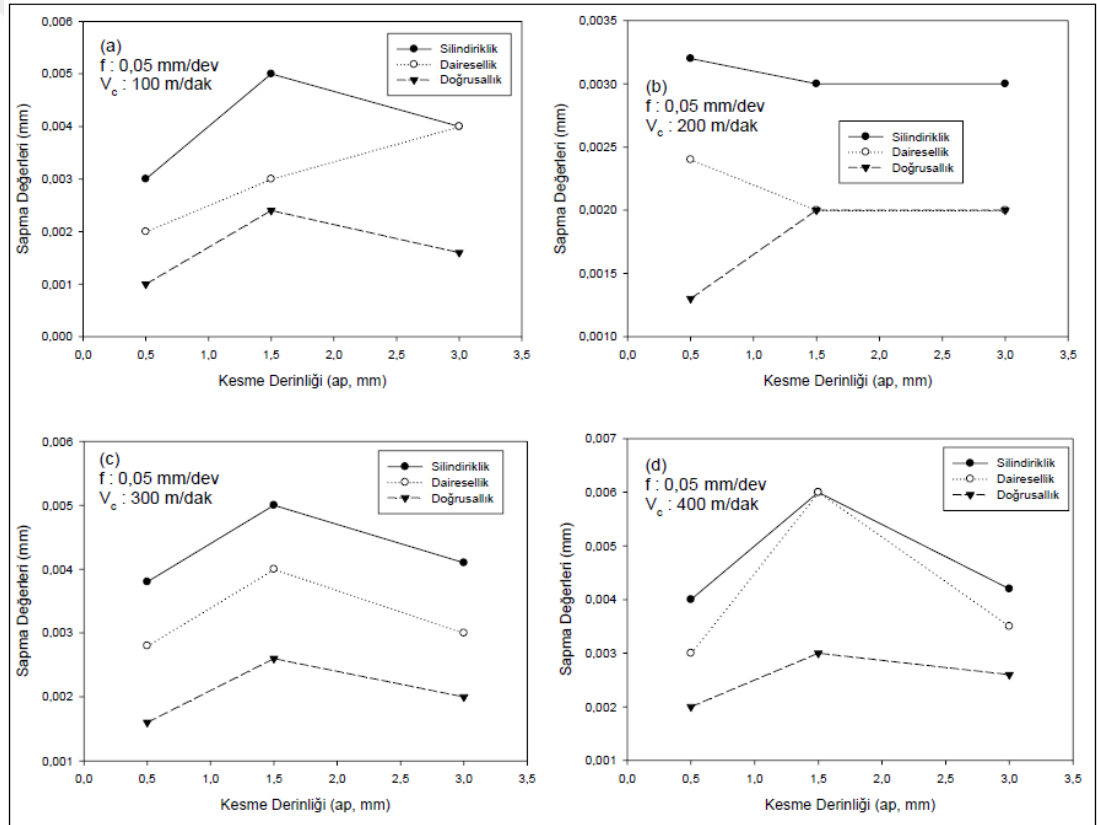
Grafikler incelendiğinde, kesme hızının artmasına rağmen, yüzey pürüzlülük genelde tüm kesme hızlarında birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. Normal şartlarda artan kesme hızıyla birlikte yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır. Artan kesme hızı takım talaş temas uzunluğunu kısaltarak kesme kuvvetlerinin azalmasına ve deformasyonların küçülmesine yol açmaktadır [78]. Dolayısıyla kesme hızı artışının yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki etmektedir. Fakat, kesici takımında BUE oluşumu, titreşim ve takımın hatalı bağlanması gibi etkenler yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapmaktadır [79]. Bu bilgiler ışığında, kesme hızı artışına rağmen yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma olmaması, kesici takımlarda BUE oluşması ve kesme hızı artışıyla artan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne olumsuz yansımasıdır. Düşük kesme hızlarında BUE oluşumu yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Kesme hızı artışı kesme kuvvetlerinde azalma ve BUE oluşumunu azaltırken, tezgâh-kesici takım titreşimini



artırarak yüzey pürüzlülüğünün tüm kesme hızlarında aynı seviyede yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur.

## 6.2. KESME DERİNLİĞİ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve üç farklı kesme derinliği parametreleri kombinasyonunda yapılan çalışmada elde edilen veriler grafiklere dönüştürülerek; 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için Şekil 6.6.a.b.c.d grafiği, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı için Şekil 6.8.a.b.c.d grafiği ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarı için Şekil 6.9.a.b.c.d'deki grafikler verilmiştir.



Şekil 6.6. İlerleme miktarı 0,05 mm/dev kesme hızları 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda kesme derinliğine bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.6'daki grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ile kesme hızları kombinasyonlarında; 200 m/dak kesme hızı hariç diğer kesme hızlarında silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık sapma değerleri 1,5 mm kesme derinliğinde en yüksek seviyede olmuştur. Bu durum: 1,5 mm kesme derinliğinde tezgâh-kesici

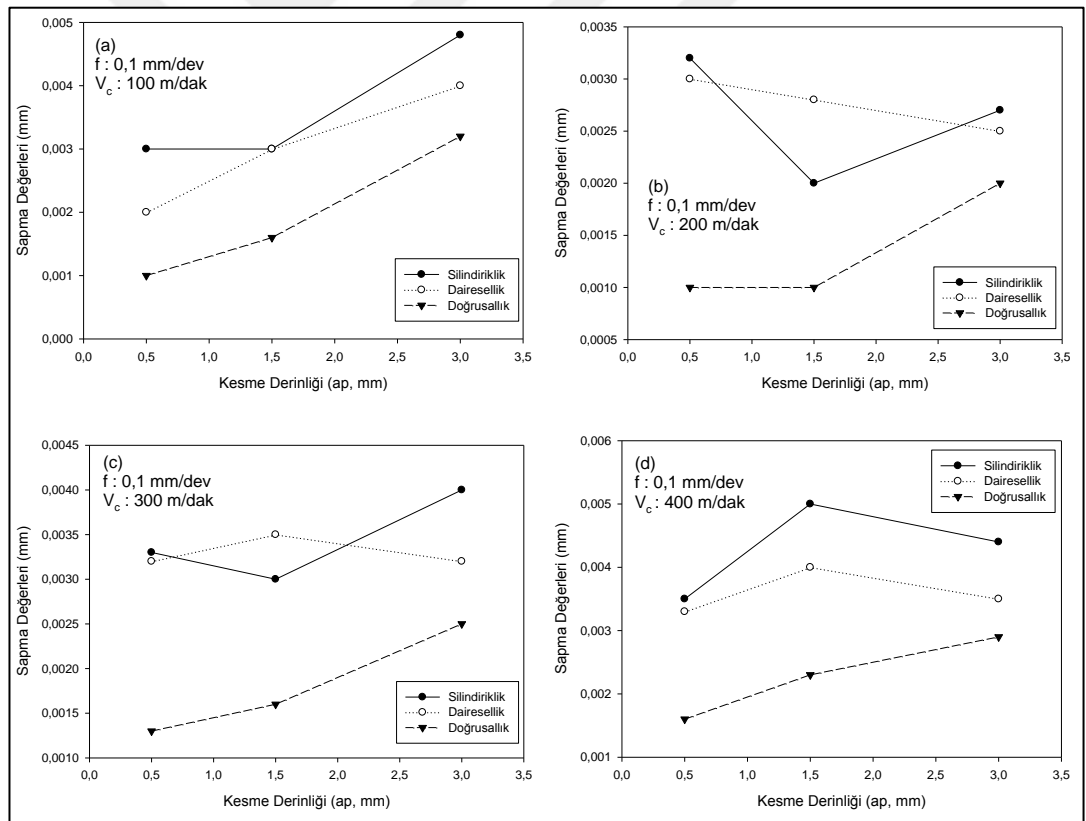
takım titreşiminin artmasına atfedilebilir. Normal şartlarda kesme derinliği artışıyla birlikte kesme kuvvetleri de artmaktadır. Kesme kuvvetleri kesme parametreleri, kesici takım geometrisi, BUE oluşumu, talaş oluşumu gibi faktörlerden dolayı işlem süresince değişim göstermektedir. Kesme kuvvetlerindeki bu değişim tezgâh-kesici takım titreşimini artırmaktadır [80]. Yukarıdaki bilgiler ışığında, titreşimin artması kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne değil, kesme kuvvetlerinde ki dalgalanmaya bağlı olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla 1,5 mm kesme derinliği ve 200 m/dak kesme hızı hariç diğer kesme hızlarında sapma değerlerinin yüksek çıkması, bu kesme kombinasyonlarında diğer kesme derinliğine göre daha fazla titreşim olduğu ve titreşimdeki bu artışa kesici takımda BUE oluşumu ile talaş sarmalarının (bkz. Şekil 6.7) neden olduğu düşünülmektedir. Silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık sapma değerlerinin 200 m/dak kesme hızı ve kesme derinliği kombinasyonlarında sapma değerlerinin düşük ve genelde paralel seyir göstermiştir. Bu durum: bu kesme hızında uygun kesme şartının oluştuğuna ve buna bağlı olarak da daha az tezgah-takım titreşiminin oluştuğuna atfedilebilir.



Şekil 6.7. Talaş sarması ve BUE oluşumu.

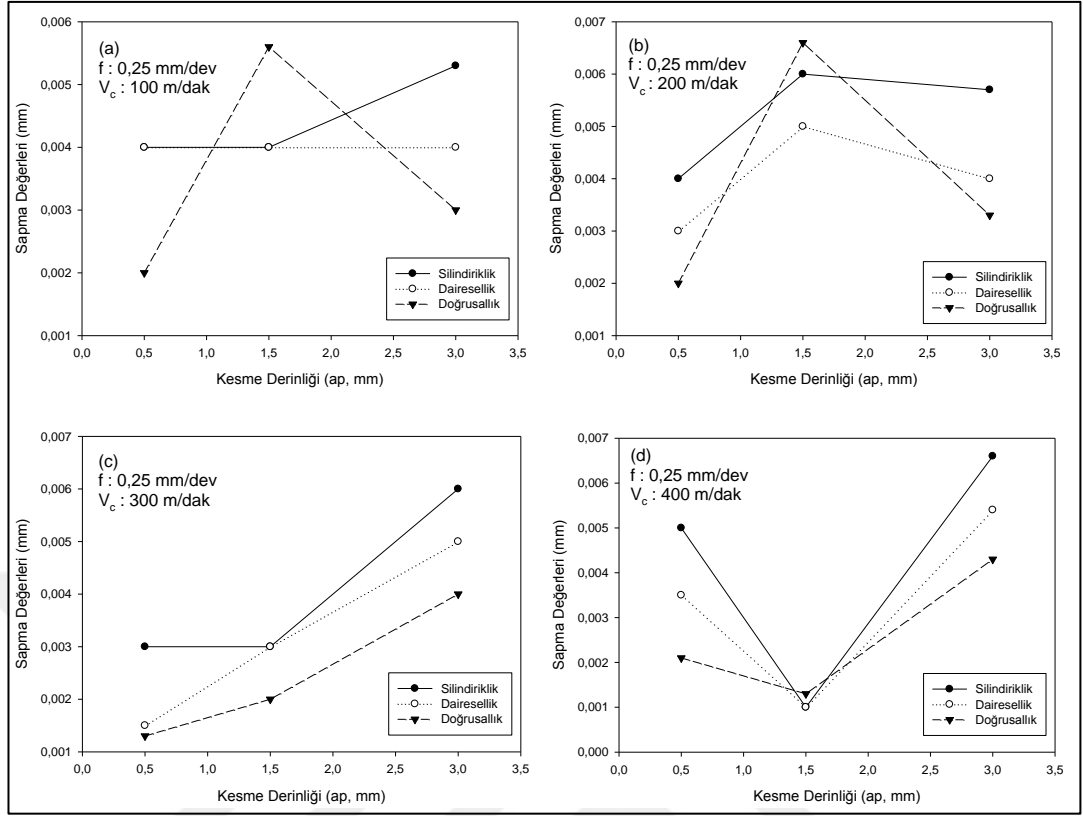
Şekil 6.8'deki grafikler incelendiğinde, genelde kesme derinliği artışıyla birlikte geometrik tolerans değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum artan kesme derinliğine bağlı kesme kuvvetlerinin artmasına atfedilebilir. Artan kesme derinliği birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına yol açmakta ve buna bağlı olarak da kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Artan kesme kuvvetlerinde meydana gelen dalgalanmaya bağlı tezgah-kesici takım titreşimi artmaktadır. Artan titreşim genliği geometrik tolerans değerlerinin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca

tezgah-kesici takım titreşim genliğinin artmasında BUE oluşumu, parçanın rijitliği, talaş tahliyesi vb. etkenlerde etkili olduğundan uygun kesme şartlarının oluşması geometrik tolerans değerlerinin yakalanmasında oldukça önemlidir. 200 m/dak kesme hızı ile 0,1 mm/dev ilerleme miktarı kombinasyonunda 0,5 mm kesme derinliğinde geometrik tolerans değerlerinin yüksek olması; kesici takımın kesme işlemini yapmakta güçlük çekmesine yorumlanabilir. Kesici takım burun radiusu kesme derinliğine yakın olması talaş kaldırma esnasında daha çok sürtünme olması nedeniyle kuvvet dalgalanmalarının daha çok olması titreşimin artmasına yol açmakta ve artan titreşimde geometrik tolerans değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Kesici takım-tezgah titreşiminden genelde en çok etkilenen geometrik toleranslardan silindiriklik olmuştur. Daha sonra dairesellik, en az etkilenen doğrusallık olmuştur.

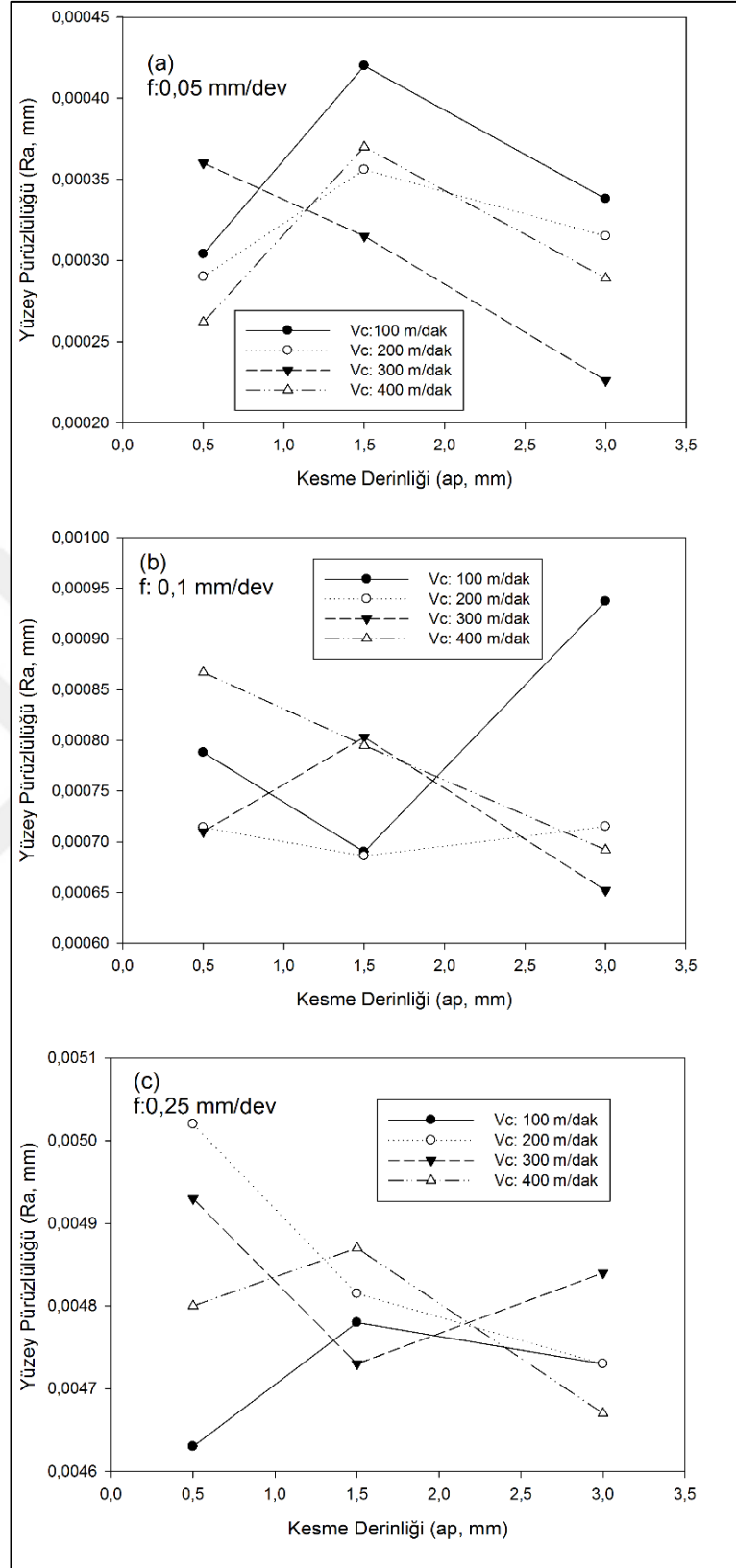


Şekil 6.8. İlerleme miktarı 0,1 mm/dev kesme hızları 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda kesme derinliğine bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.9'daki grafikler incelendiğinde, 0,25 mm/dev ilerleme miktarında 400 m/dak hariç diğer kesme hızlarında kesme derinliği artışıyla birlikte geometrik tolerans değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum artan kesme derinliğine bağlı kesme kuvvetlerinin artmasına atfedilebilir. Artan kesme derinliği birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına yol açmakta ve buna bağlı olarak da kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Artan kesme kuvvetlerinde meydana gelen dalgalanmaya bağlı olarak tezgah-kesici takım titreşimi artmaktadır. Artan titreşim genliği geometrik tolerans değerlerinin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca tezgah-kesici takım titreşim genliğinin artmasında BUE oluşumu, parçanın rijitliği, talaş tahliyesi vb. etkenler etkili olduğundan uygun kesme şartlarının oluşması geometrik tolerans değerlerinin yakalanmasında oldukça önemlidir. 300 m/dak kesme hızı ile 0,25 mm/dev ilerleme miktarı kombinasyonunda kesme derinliğinin artışı ile geometrik tolerans değerlerinin doğru orantılı şekilde arttığı ve uygun kesme koşullarının oluştuğunu göstermektedir. 400 m/dak kesme hızı ile 0,25 mm/dev ilerleme miktarı kombinasyonunda 0,5 mm kesme derinliğinde geometrik tolerans değerlerinin yüksek olması; kesici takımın kesme işlemini yapmakta güçlük çekmesine yorumlanabilir. Bunun sebebi kesici takım burun yarıçapı 0,4 mm olması kesme derinliğine yakın olması talaş kaldırma esnasında daha çok sürtünme oluşması nedeniyle kuvvet dalgalanmalarının daha çok meydana gelmesi titreşimin artmasına yol açmakta ve artan titreşimde geometrik tolerans değerlerinin artmasına neden olmaktadır. 400 m/dak kesme hızı ile 0,25 mm/dev ilerleme miktarı kombinasyonunda 1,5 mm kesme derinliğinde geometrik tolerans değerlerinin düşük çıkması bu kesme şartlarında kesici takım-tezgah titreşiminin, BUE oluşumunun az olması ve iyi talaş tahliyesi ile açıklanabilir.



Şekil 6.9. İlerleme miktarı 0,25 mm/dev kesme hızları 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda kesme derinliğine bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması.

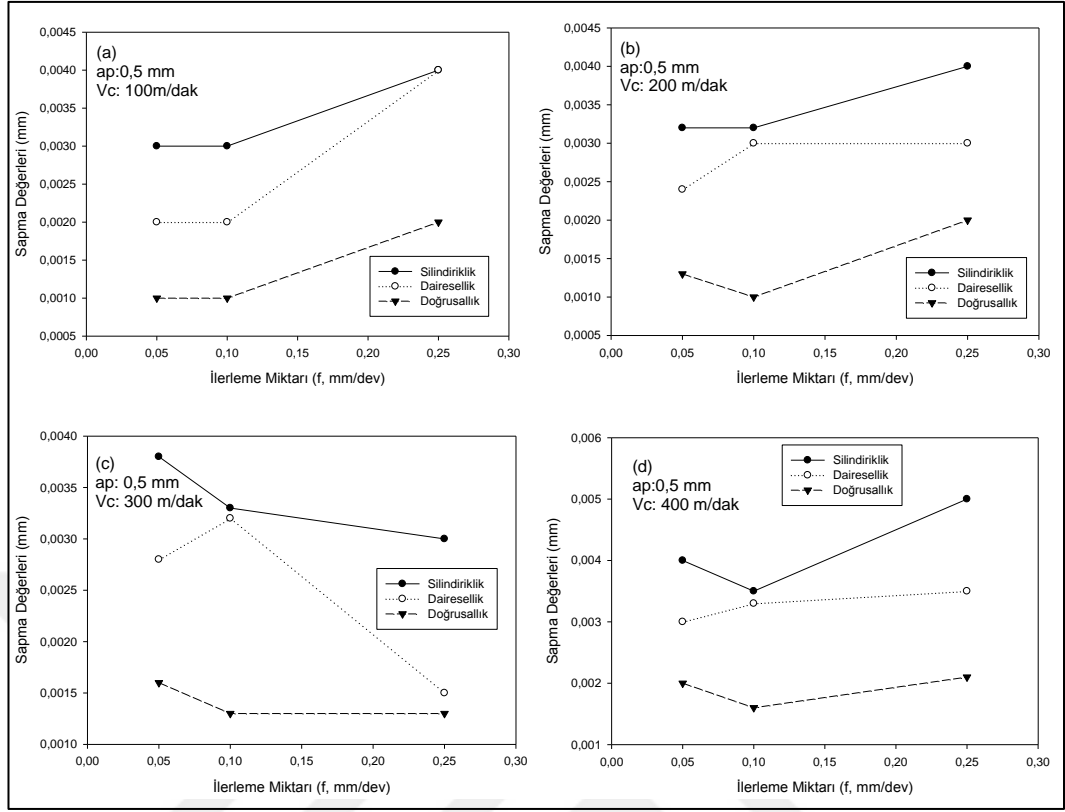


Şekil 6.10. İlerleme miktarı 0,05-0,1-0,25 mm/dev olduğunda kesme derinliğine bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.10'daki grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ile kesme hızı kombinasyonlarında en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,5 kesme derinliğinde ölçülmüştür. Kesme derinliğinin 1,5 mm olduğunda yüzey pürüzlülüğü değerleri artmış, kesme derinliğinin 3 mm olduğunda değerler azalma göstermiştir. Bu durum; 1,5 mm kesme derinliğinde uygun olmayan kesme şartlarının oluştuğuna yorumlanabilir. Talaş sarmalarının ve tezgah-kesici takım titreşiminin daha çok bu kesme koşullarında oluşması pürüzlülük değerlerini artırmıştır. Şekil 6.6'daki grafiklerde sapma değerlerinin 1,5 mm kesme derinliğinde yüksek seviyede seyretmesi bu kesme derinliğinde kesme şartlarının uygun olmadığını işaret etmektedir. Dolayısıyla 1,5 mm kesme derinliğinde geometrik sapma değerleri ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yüksek değerlerde olması bu kesme şartlarında tezgah-kesici takım titreşimini ispatlar niteliktedir. Titreşimdeki artışın da yüzey pürüzlülüğünü artırması beklenen bir durumdur. Kesme derinliğinin 1,5 ve 3 mm olduğu kesme koşullarında kesme derinliği artışı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artışına neden olmuştur. Bu durum; artan kesme derinliğine bağlı olarak kaldırılan talaş hacmiyle açıklanabilir. Artan talaş hacmini koparmak için kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmektedir. Artan kesme kuvvetlerindeki dalgalanmalarda yüzey pürüzlülüğünün artışına sebep olmaktadır. Dolayısıyla kesme kuvvetlerindeki artış yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artışına yol açması normal bir durumdur.

### **6.3. İLERLEME MİKTARININ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve üç farklı kesme derinliği parametreleri kombinasyonunda yapılan çalışmadan elde edilen veriler grafiklere dönüştürülerek; 0,5 mm kesme derinliği için Şekil 6.11'deki 1,5 mm kesme derinliği için Şekil 6.12'deki ve 3 mm kesme derinliği için Şekil 6.13'deki grafikler verilmiştir.

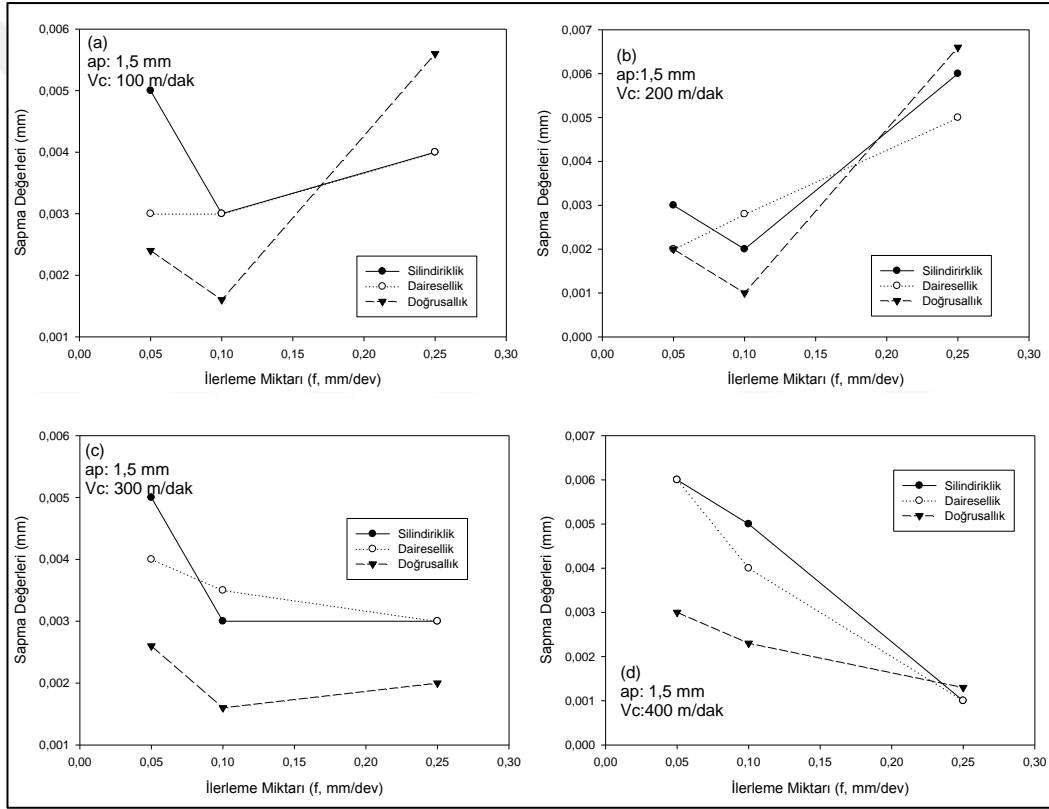


Şekil 6.11. Kesme derinliğinin 0,5 mm kesme hızlarının 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda ilerleme miktarına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.11'deki grafikler incelendiğinde, 300 m/dak kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliği kombinasyonu hariç, diğer tüm kombinasyonlarda, elde edilen ilerleme miktarındaki artış, geometrik tolerans değerlerindeki artışa neden olmuştur. Bu durum; ilerleme miktarı artışının kesme kuvvetlerindeki artışa neden olmasına atfedilebilir. Kesme derinliğine ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan “talaş kesit alanı” asıl kesme kuvvetini belirleyen en önemli unsurdur. Dolayısıyla ilerleme miktarındaki artışla beraber talaş kesiti artmakta ve bu artan talaş kesitini kaldırmak için harcanan ilerleme kuvvetide artmaktadır. Tornalama işleminde kesici takımın ve takım tutucunun titreşimine kesme kuvvetleri etki etmektedir. Bu kuvvetlerin büyüklüğü ve periyodik olarak uygulanması titreşimin en büyük nedenidir. Bir başka titreşim nedeni de kesici takımın işleme esnasında uç kısmında oluşan BUE oluşumudur. Bu yığılma talaşın sürtünmeden ve yığılma miktarının değişiminden de kesme kuvvetlerinde değişim olması titreşime neden olur [17]. Bu bilgiler ışığında, ilerleme miktarı artışıyla birlikte artan ilerleme kuvveti ve kesici takımda oluşan BUE takım titreşimini artırmakta ve titreşim genliğindeki artış da geometrik



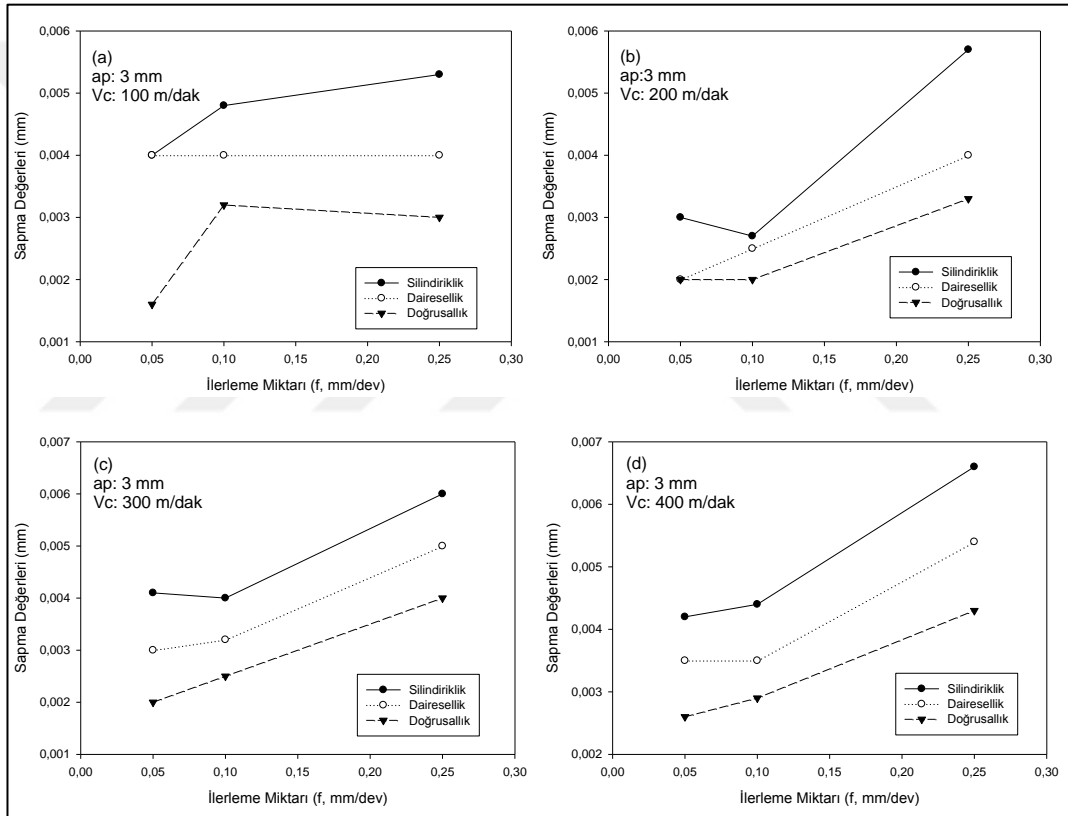
sapmaları artırmaktadır. Kesme hızının 300 m/dak ile 0,05 mm kesme derinliğinde ilerleme miktarı artışı geometrik sapma değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durum; bu kesme şartlarında talaş tahliyesinin iyi olması ve titreşim genliğinin az olmasıyla açıklanabilir. Çünkü ilerleme miktarı artmasıyla kesme kuvvetleri artmaktadır. Titreşimin oluşumuna kuvvetin büyüklüğünden ziyade kuvvetlerin değişken olması neden olmaktadır. Kuvvetlerdeki değişkenlik ise titreşim genliğini artırmaktadır. Dolayısıyla, bu kesme işlemi esnasında ilerleme miktarı artışının kesme kuvvetlerinde artışa rağmen, BUE oluşumunun ve kesme kuvvetlerinde değişkenliğin fazla olmadığı söylenebilir.



Şekil 6.12. Kesme derinliğinin 1,5 mm kesme hızlarının 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda ilerleme miktarına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.12'deki grafikler incelendiğinde, 1,5 mm kesme derinliği ve kesme hızları kombinasyonlarında; 0,05 mm/dev ilerleme miktarında geometrik sapma değerleri, ilerleme miktarının 0,1 mm/dev olmasıyla azalma göstermiştir. Bu durum; 0,1 mm/dev ilerleme miktarı kombinasyonlarında talaşın daha az sarması ve BUE oluşumunun daha az olmasıyla açıklanabilir. Normal şartlarda ilerleme miktarı

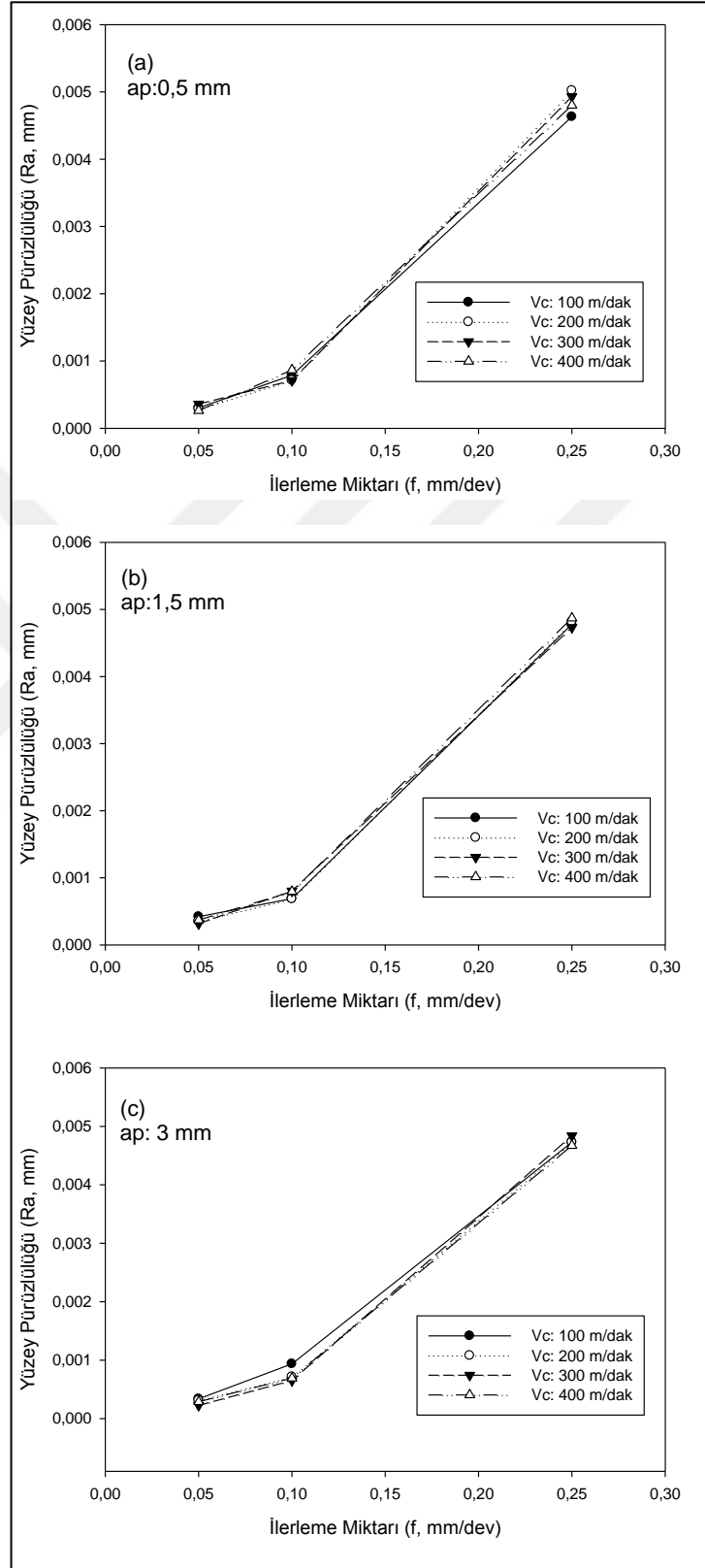
artışıyla birlikte artan kesme kuvvetleri ve buna bağlı olarak da kuvvetlerde meydana gelen değişkenlik titreşim genliğini artırmaktadır. Titreşim genliğinin artmasında BUE ve talaş tahliyesi de önemli faktördür. Dolayısıyla bu ilerleme miktarında geometrik tolerans sapma değerlerinin daha az çıkmasını uygun kesme koşullarının oluşmasına yorumlanabilir. İlerleme miktarının 0,25 mm/dev olmasıyla geometrik tolerans sapma değerleri artış göstermiştir. Bu beklenen bir durumdur. Fakat kesme hızının 400 m/dak olduğu kesme kombinasyonunda ilerleme miktarı artışına rağmen geometrik tolerans sapma değerlerinin azalması, bu kesme şartlarında kesici takım-tezgaah titreşiminin, BUE oluşumunun az olması ve iyi talaş tahliyesi ile açıklanabilir.



Şekil 6.13. Kesme derinliğinin 3 mm kesme hızlarının 100, 200, 300 ve 400 m/dak olduğu durumlarda ilerleme miktarına bağlı geometrik sapma değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.13'deki grafikler incelendiğinde, genelde tüm kesme koşullarında ilerleme miktarı artışı gometrik tolerans değerlerinin artışına neden olmuştur. Bu durum; artan ilerleme miktarıyla birlikte artan talaş hacmine bağlı kesme kuvvetlerinde meydana gelen artışa yorumlanabilir. Artan kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişkenlik

tezgah-kesici takım titreşim genliğinin artmasına neden olmuş ve buna bağlı olarak da geometrik tolerans değerlerinin artmasına yol açmıştır.



Şekil 6.14. Kesme derinliğinin 0,05-1,5-3 mm olduğu durumda ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.14'deki ortalama yüzey pürüzlülüğü grafikleri incelendiğinde, tüm kesme şartlarında ilerleme miktarı artışıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerleri yükselmiştir. Bu durum; artan ilerleme miktarıyla birlikte artan kesme kuvvetlerine atfedilir. İlerleme miktarı artışı birim zamanda parçadan koparılan talaş hacmini artırmak ta ve artan talaş hacmini parçadan koparmak için de kesici takım daha çok kesme kuvvetleri uygulamaktadır. Kesme kuvvetlerinin artması kesici takımda daha çok titreşim genliğinin artmasına neden olmaktadır. Artan titreşim genliğide yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla ilerleme miktarı artışıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artış göstermesi normal bir durumdur.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada AA7075 T651 Alüminyum alaşımının tornalama yöntemi kullanılarak, 4 farklı keme hızı (100, 200, 300 ve 400 m/dak), 3 farklı ilerleme miktarı (0,05-0,1-0,25 mm/dev) ve 3 farklı kesme derinliği (0,5-1,5-3 mm) seçilerek işlenmiştir. İşleme sonrası parça yüzeyinin geometrik toleransları olan silindirikliğine, daireselliğine ve doğrusallığına bakılmış aynı zamanda yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan kesici takımların aşınmalarında bakılmıştır. Deneyler ve gözlemler neticesinde silindiriklik, dairesellik, doğrusallık ve yüzey pürüzlülüğü için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kesme hızının artması ile geometrik toleranslarda (silindiriklik, dairesellik, doğrusallık) ve yüzey pürüzlülüğünde inişli çıkışlı bir eğilim sergilediği ve çok fazla etkilemediği görülmüştür.
- İlerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğü artmakta ve genel olarak geometrik toleranslarda da (silindiriklik, dairesellik, doğrusallık) artma görülmüştür.
- İlerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. İlerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde katlanarak artış göstermiştir.
- Kesme derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün düzenli bir şekilde artmadığı inişli çıkışlı bir grafik çizdiği görülmüştür.

- İlerlemenin, yüzey pürüzlülüğüne etkisinin, kesme hızından ve kesme derinliğinden daha etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan deneylerde ortaya çıkan grafikler ve kesici takım görüntüleri incelendiğinde, kesici takım ucunda oluşan yığıntı talaş (BUE) oluşumu parçanın geometrik toleranslarını ve yüzey pürüzlülüğünü etkilediği değerlendirilmiştir.
- Deneylerin ölçüm sonuçlarındaki bazı değerlerin, anlamsız bir şekilde farklı çıkması, kesici takımın talaş kırma özelliğinin iyi olmaması nedeniyle sürekli talaş oluşumu meydana gelmiş, işlenmiş yüzeylere dolaşarak yüzeyi bozduğu ve yüzey üzerinden alınan ölçümleri olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir.
- Özellikle ilerleme miktarının 0,25 (mm/dev) ve kesme derinliğinin 3 mm olduğu tüm deneylerde geometrik toleransların (silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık) çok yüksek çıktığı gözlenmiştir.
- En iyi yüzey kalitesi; kesme hızının 300 m/dak, ilerlemenin 0,05 (mm/dev) ve kesme derinliğinin 3 mm olduğu durumda görülmüştür.
- En kötü yüzey kalitesi ise; kesme hızının 200 m/dak, ilerlemenin, 0,25 (mm/dev) ve kesme derinliğinin 0,5 mm olduğu durumda ortaya çıkmıştır.
- En iyi geometrik toleranslar (silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık); kesme hızının 100 m/dak, ilerlemenin, 0,05 (mm/dev) ve kesme derinliğinin 0,5 mm olduğu durumda ortaya çıkmıştır.
- En kötü geometrik toleranslar (silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık); kesme hızının 300 m/dak, ilerlemenin, 0,25 (mm/dev) ve kesme derinliğinin 3 mm olduğu durumda ortaya çıkmıştır.

## 7.2. ÖNERİLER

- Talaş kırıcı özelliği olan kesici takımların kullanılması faydalı olacaktır. Kesme parametreleri ne kadar iyi seçilirse seçilsin kesici takım talaşı en kısa sürede koparıp atamadığı takdirde en iyi yüzey dahi talaş sarmasından dolayı bozulmaktadır.
- Son bitirme işleminde, yüzey pürüzlülüğünün iyi çıkması için ilerleme miktarının düşük seçilmesi gerekir.
- Kesici takım ucundaki yığıntı talaş (BUE) oluşumunu engelleyecek kaplamalı uç kullanılabilir.

Bu çalışmada ele alınamayan fakat üzerinde çalışılabilecek konular:

- Bu yapılan çalışma, aynı kesici takımın uç yarıçapının  $r=0,8$  mm seçilerek deneyler tekrarlanabilir.
- Bu yapılan çalışma, talaş kırıcı özelliği bulunan kesici takımlar kullanılarak tekrarlanabilir.
- Herhangi bir paslanmaz çeliklerde de uygulanarak sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Daha uzun parçalar üzerinde örneğin 100 mm uzunluğunda parçalar üzerinde aynı parametreler denenerek sonuçlar karşılaştırılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Erdođan, M., “Demir Dışı Alaşımlar Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri Cilt 1”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 339-372 (2001).
2. Karayel, D., “Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(7): 3125–3137 (2009).
3. Kim, D.E., Hwang, D.H., “Experimental Investigation of the Influence of Machining Condition on the Contact Sliding Behavior of Metals”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Korea, 120(2): 395-400 (1998).
4. Jeelani, S., Musial, M., “Dependence of Fatigue Life on the Surface Integrity in the machining of 2024-T351 Aluminum Alloy-Unlubricated Conditions”, *Journal of Materials Science*, USA, 21(1): 155-160 (1986).
5. Günay, M., “Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2003).
6. Kendall, L.A., “Friction and Wear of Cutting Tools and Cutting Tool Material”, ASM Metal Handbook, Friction, Lubrication and Wear, vol. 18, *ASM International*, Ohio, USA (1995).
7. Gökkaya H., Nalbant M., “Kesme Hızının Yığıntı Katmanı ve Yığıntı Talaş Oluşumu Üzerindeki Etkilerinin SEM ile İncelenmesi” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 22, No 3, 481-488 (2007).
8. Carrilero, M.S., Bienvenido, R., Sanchez, J.M., Alvarez, M., Gonzalez, A., Marcos, M., “A SEM and EDS Insight into the BUL and BUE Difference in the Turning Processes of AA 2024 Al-Cu Alloy”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 42, pp. 215-220 (2002).
9. Sanchez, J.M., Rubio, E., Alvarez, M., Sebastian, M.A., Marcos, M., “Microstructural Characterization of Material Adhered Over Cutting Tool in the Dry Machining of Aerospace Aluminum Alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 164-165, pp. 911-918 (2005).
10. List, G., Nouari, M., Gehin, D., Gomez, S., Manaud, J.P., Le Petitcorps, Y., Giroto, F., “Wear Behavior of Cemented Carbide Tools in Dry Machining of Aluminum Alloy”, *Wear*, vol. 259, pp. 1177-1189 (2005).



11. Gomez P. A., Alvarez, A., M., Salguero, J., Batista, M., Marcos, M., "Analysis of the evolution of the Built-Up Edge and Built-Up Layer", *Wear*, 302, 1209-1218 (2013).
12. Gökkaya, H., Nalbant, M., "The effects of cutting tool geometry and processing parameters on the surface roughness of AISI 1030 steel" *Materials and Design* 28, 717-721 (2007).
13. Yeyen, H.E., Korkut, İ., Turgut, Y. ve Çiftçi, İ., "AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri." 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük (2009).
14. Aydın, M., Uçar, M., Cengiz, A., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kuru Tornalanabilmesine Kesme Parametrelerinin Etkisi", 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 85-94 (2010).
15. Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., "Cnc Torna Tezgâhında Aısı 304 Çeliklerin İşlenmesinde Optimum Yüzey Pürüzlülüğünü Sağlayacak Kesme Parametrelerinin Tespiti", *D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü* 16: 97-104, Eylül (2008).
16. Çiftçi, İ., "AISI 304 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Kaplanmış Sementit Karbür Kesici Takımla İşlenmesi Esnasında Oluşan Takım Aşınması", *Teknoloji*, 7 (3): 489-495 (2004).
17. Tekaüt, İ., "Takım Tezgâhlarındaki Kesici Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 65-75 (2008).
18. Karagöl, T., "Al 7075 Alaşım Malzemesinin DLC Kaplamalı Kesici Takımlarla CNC Torna Tezgâhında İşlenebilirliği" Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-73 (2008).
19. Lalwani, D.I., Mehta N.K., Jain P.K., "Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel", *J. Mater. Pro. Techno.*, 206 (1-3): 167-179 (2008).
20. Ng, Chee Keong, et al. "Experimental study of micro-and nano-scale cutting of aluminum 7075-T6." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46 (9): 929-936 (2006).
21. Fang, X. D., and I. S. Jawahir. "The effects of progressive tool wear and tool restricted contact on chip breakability in machining.", *Wear*, 160 (2): 243-252 (1993).
22. Shi, T., and S. Ramalingam. "Slip-line solution for orthogonal cutting with a chip breaker and flank wear.", *International Journal of Mechanical Sciences*, 33 (9): 689-704 (1991).

23. Young, Hong T., and Tsu L. Chou. "Modelling of tool/chip interface temperature distribution in metal cutting.", *International journal of mechanical sciences*, 36 (10): 931-943 (1994).
24. Maity, K. P., and N. S. Das. "A slip-line solution to metal machining using a cutting tool with a step-type chip-breaker.", *Journal of Materials Processing Technology*, 79(1): 217-223 (1998).
25. Ghani, A. K., and I. A. Choudhury. "Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool.", *Journal of Materials Processing Technology*, 127 (1): 17-22 (2002).
26. Yousefi, R., and Yoshio I. "A study on ultra-high-speed cutting of aluminium alloy: Formation of welded metal on the secondary cutting edge of the tool and its effects on the quality of finished surface.", *Precision Engineering*, 24 (4): 371-376 (2000).
27. Abouelatta, O. B., and J. Madl. "Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations.", *Journal of materials processing technology* 118(1): 269-277 (2001).
28. Xavior, M. Anthony, and M. Adithan. "Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel.", *Journal of materials processing technology*, 209 (2): 900-909 (2009).
29. Turhan, A. "Tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun geometrik toleranslara etkilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-72 (2008).
30. Polmear, I. J., "Recent developments in light alloys", *Materials transactions, JIM*, 37 (1): 12-31 (1996).
31. Aydın, B., & Özçatalbaş, Y., "AA2014 (T6) Alaşımının İşlenebilirlik Özelliklerine Kesici Takım Geometrisinin Etkisi", *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 5(2), 89-95.
32. Anonim, Etibank Alüminyum İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü, Ürün Kataloğu, (1995).
33. Sun, Y., "Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-10 (1998).
34. Askeland D. R., Fulay, P. P. and Wright, W. J., "The science and engineering of materials, sixth edition", *Cengage Learning*, Stamford, USA, 539-569 (2010).

35. İnternet: “Alcoa alloy 7075 technical data”, [http://www.alcoa.com/gcfp/catalog/pdf/alcoa\\_alloy\\_7075.pdf](http://www.alcoa.com/gcfp/catalog/pdf/alcoa_alloy_7075.pdf) (2009).
36. Florea, R. S., Solanki, K.N., Bammann, D.J. Baird, J.C. M.P., “Castanier: Resistance spot welding of 6061-T6 aluminum: Failure loads and deformation”, *Materials and Design*, vol. 34, pp. 624–630 (2012).
37. Chen, Y. C., Bakavos, D., Gholinia, A., Prangnell, P.B., “HAZ development and accelerated post-weld natural ageing in ultrasonic spot welding aluminium 6111-T4 automotive sheet”, *Acta Materialia*, vol. 60, pp. 2816–2828 (2012).
38. Bakavos, D., Prangnell, P.B., “Mechanisms of joint and microstructure formation in high power ultrasonic spot welding 6111 aluminium automotive sheet”, *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, pp. 6320–6334 (2010).
39. Rafiq A. Siddiqu, Hussein A. Abdullah, Khamis R. Al-Belushi, “Influence of aging parameters on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol.102, 234-240 (2000).
40. Hayat, F., “Effect of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of the similar and dissimilar 6061-T6/7075-T651 RSW joints”, *Materials Science & Engineering A*, vol.556, pp. 834–843 (2012).
41. **ASM Handbook**, “Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials”, Edited by: ASM International Handbook Commitee, Volume 2, pg. 137-138 (1990).
42. Mrowka-Nowotnik, G., Sieniawski, J., “Influence of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163, pp. 367–372 (2005).
43. Meyveci, A., Karacan, I., Çalığülü, U., Durmuş, H, “Pin-on-disc characterization of 2xxx and 6xxx aluminium alloys aged by precipitation age hardening”, *Journal of Alloys and Compounds*, vol.491, pp.278–283 (2010).
44. Barbosa, C., Dille, J., Delplancke, J. L., Rebello, J.M.A., Acselrad, O., “A microstructural study of flash welded and aged 6061 and 6013 aluminum alloys”, *Materials Characterization*, vol. 57, pp.187–192 (2006).
45. Braun, R., “Investigations on the long-term stability of 6013-T6 sheet”, *Materials Characterization*, vol. 56, pp. 85–95 (2006).
46. Petroyiannis, P.V., Kermanidis, Al.Th., Papanikos, P., Pantelakis, Sp. G., “Corrosion-induced hydrogen embrittlement of 2024 and 6013 aluminum alloys”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 41, pp.173–183 (2004).
47. Tesch, A., Pippan, R., Trautmann, K.H., Döker, H., “Short cracks initiated in Al 6013-T6 with the focused ion beam (FIB)-technology”, *International Journal of Fatigue*, vol. 29, pp. 1803–1811 (2007).

48. Zander, J., Sandström, R., “One parameter model for strength properties of hardenable aluminium alloys”, *Materials and Design*, vol. 29, pp.1540–1548 (2008).
49. Khalid Rafi, H., Janaki Ram, G.D., Phanikumar, G., Prasad Rao, K., “Microstructure and tensile properties of friction welded aluminum alloy AA7075-T6”, *Materials and Design*, vol.31, pp. 2375–238 (2010).
50. Demir, H., Gündüz, S., “The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy”, *Materials and Design*, vol. 30, pp. 1480–1483 (2009).
51. Zhao T, Jiang Y., “Fatigue of 7075-T651 Aluminum Alloy”. *International journal of fatigue* 30 834-849 (2008).
52. Clark Jr, R., et al. “On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy”, *Engineering Failure Analysis* 12.4: 520-526 (2005).
53. Kalpakjian, S., Schmid, S. R., *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice Hall (2010).
54. Grover, M. P., *Principles of Modern Manufacturing*, 4th Ed., John Wiley & Sons, Inc. (2010).
55. Black, J.T., Kohser, R. A., *Materials & Processes in Manufacturing*, 10th Ed., John Wiley&Sons, Inc. (2008).
56. Grzesik, W., *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*, Elsevier, UK. (2008).
57. Savaşkan T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi” *Akademi LTD. ŞTİ. Yayınları* 148-154 (1999).
58. Talsad Yayınları, “Türkiye’de ve Dünya’da Alüminyum” (Alüminyumun önemli kullanım yerleri ve alternatif olduğu malzemeler).
59. Baydoğan, M., “Retregasyon ve Yeniden yaşlandırma uygulanmış 2014 ve 7075 Kalite Alüminyum alaşımlarının Mekanik ve Korozyon özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü* (2003).
60. Rendigs, K. H., “Aluminum structures used in aerospace Status and prospects” [J]. *Mater Sci Forum* (1997).
61. Williams, J. C., Jr Starke, E A., “Progress in structural materials for aerospace systems1”, *Acta Mater* 51 (19): 5775–5799 (2003).
62. Demirci, H., “Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi Seçilmiş Temel Kavramlar ve Endüstriyel Uygulamalar”, *Alfa Basım Yayın* (2004).

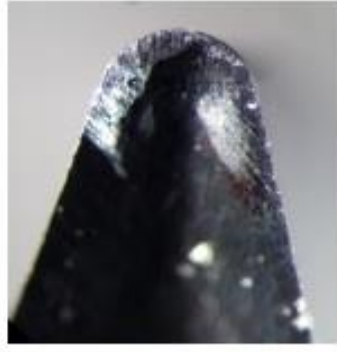
63. Geçkinli, E., “Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi”, II. Isıl İşlem Sempozyumu, *İTÜ*, İstanbul (2002).
64. M, V. Lancker, Metallurgy of Aluminum Alloys, Chapman and Hall
65. G. Waterloo, V. Hansen, J. Gjones, S.R. Skjerworld, Mater. Sci. Eng. A303, (2001).
66. Şeker, U., “Takım Tasarımı Ders Notları”, *Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 1-133 (1997).
67. Trent, E.M., “Metal cutting”, *Butterworths Press*, London, 1-171 (1989).
68. Groover, M.P., “Fundamentals of modern manufacturing–Materials, processes and systems”, *Prentice-Hall Inc.*, 220-639 (1996).
69. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri” Cilt-2, *Nobel Basın Yayın Dağıtım*, Ankara, (2001).
70. Çınar A. “Teknik resim geometrik boyutlandırma & toleranslandırma [www.etik.com.tr](http://www.etik.com.tr) 1-51 (2017).
71. Töre, C. “Geometrik Toleranslar”, *Bileşim Yayınları 212*, İstanbul, 11-116 (2005).
72. Genç G. “Teknik Resim” *M.Ü. Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu* (2010).
73. “Geometrik toleranslandırma prensipleri.” *Hema Bilgi Yaprığı* 1-6 (2017).
74. Şen İ. Z., Özçilingir N., “Temel Teknik Resim “Ders Kitaplar Anonim Şirketi İstanbul (1992).
75. Risbood et. K. A., “Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning operation”, *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 203-214 (2003).
76. Lin, S.C., Hu, M.R., “Low vibration control system in turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 32: 627-629 (1992).
77. Habalı, K., & Gökkaya, H. (2005). Kaplamasız Sementit Karbür Kesici Takımlarda Takım-Talaş Ara Yüzey Sıcaklığının Deneysel Olarak Araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 115-121.
78. Chen, C.C.A., Liu, W.C., Duffie, N.A., “A surface topography model for automated surface finishing.”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, (38), 543-550 ,(1998).

79. Bayrak, M. “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi Ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2002).
80. Taşkesen, A., “Dik Kesme Esnasında Takım Tezgâhı Titreşiminin Teorik Olarak Analizi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 57-73 (2003).
81. Korucu, S., “Hidrolik Kopya Aparatı Yardımı İle Elde Edilen Parçalarda Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1996).

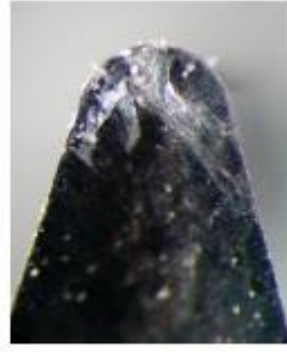


**EK AÇIKLAMALAR A.**

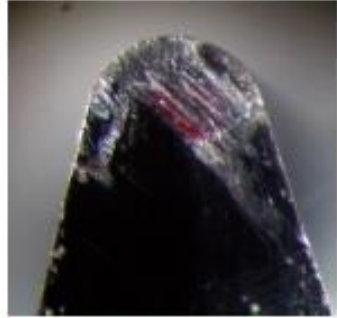
**DENEY SONRASI KESİCİ TAKIM UÇ BÖLGESİNDEKİ DEĞİŞİMLER**



1. Deney ( $a=0.5$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=100$ )



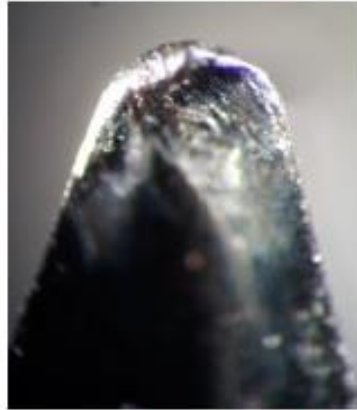
2. Deney ( $a=0.5$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=200$ )



3. Deney ( $a=0.5$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=300$ )



4. Deney ( $a=0.5$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=400$ )



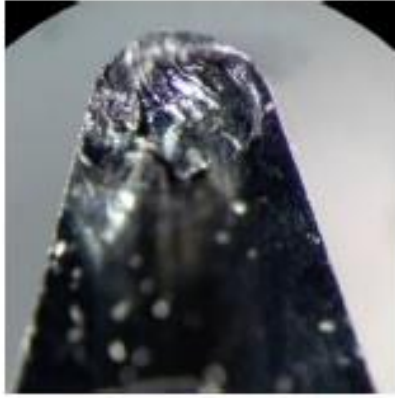
5. Deney ( $a=0.5$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=100$ )



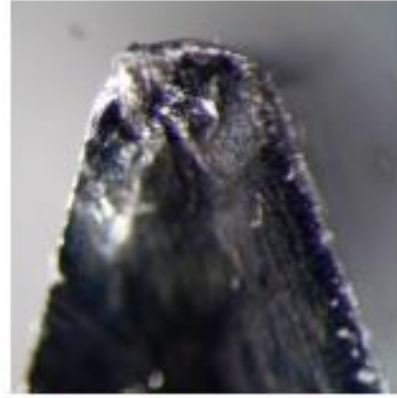
6. Deney ( $a=0.5$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=200$ )

Şekil Ek A.1. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları.

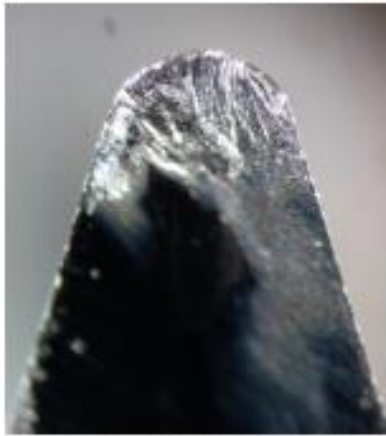




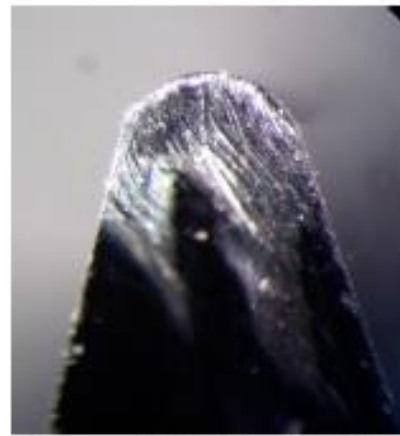
7. Deneý ( $a=0.5$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=300$ )



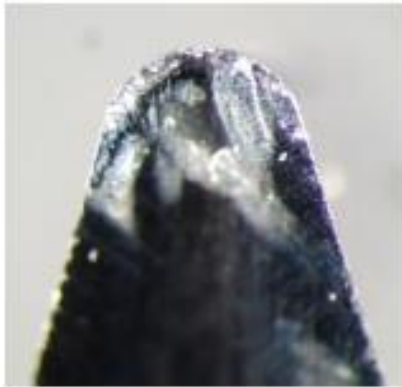
8. Deneý ( $a=0.5$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=400$ )



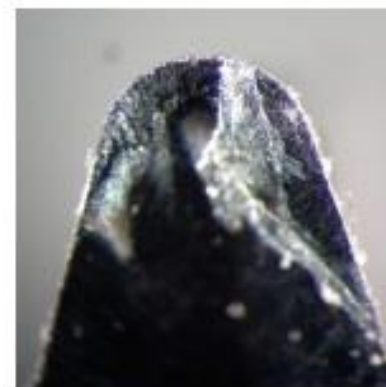
9. Deneý ( $a=0.5$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=100$ )



10. Deneý ( $a=0.5$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=200$ )

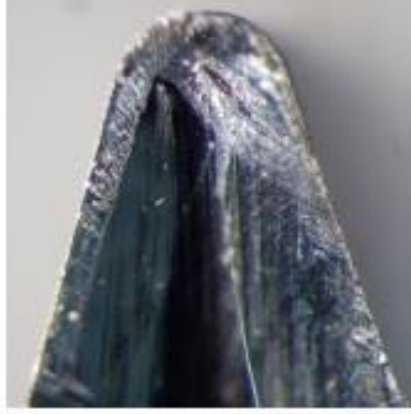


11. Deneý ( $a=0.5$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=300$ )

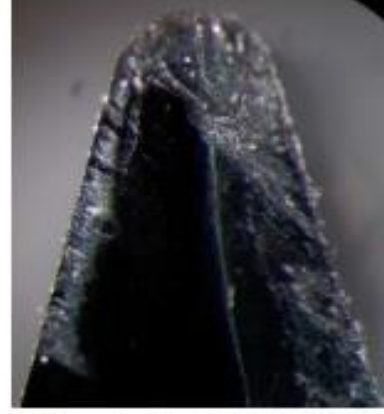


12. Deneý ( $a=0.5$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=400$ )

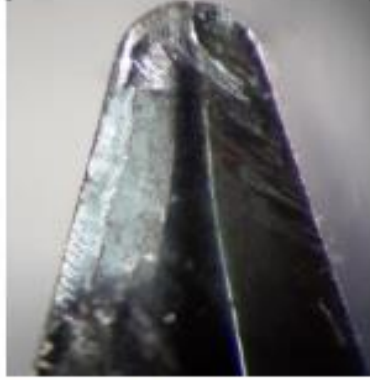
Şekil Ek A.2. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları.



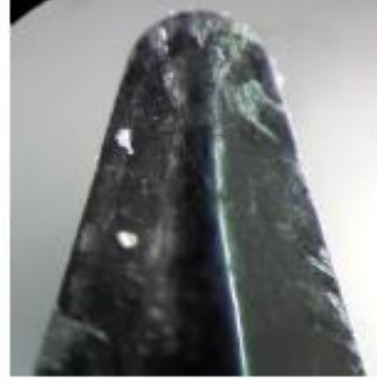
13. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=100$ )



14. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=200$ )



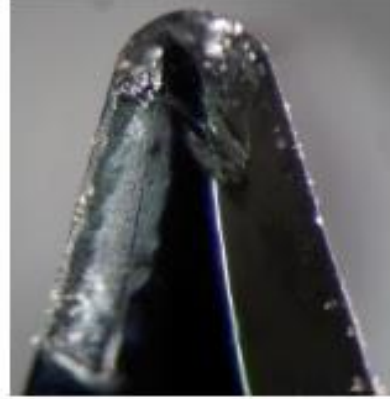
15. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=300$ )



16. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=400$ )

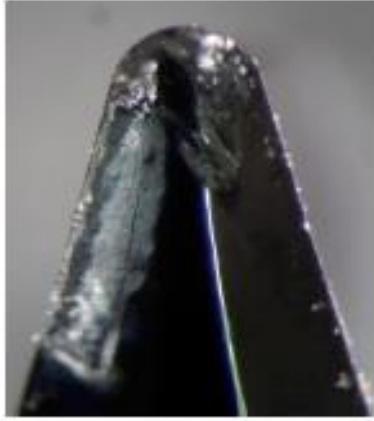


17. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=100$ )

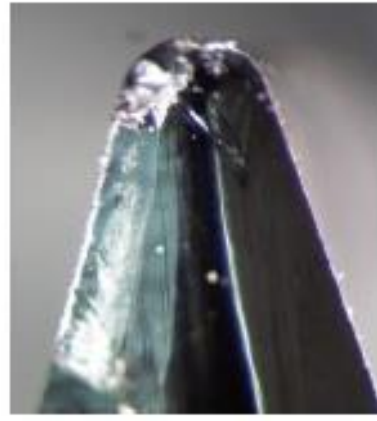


18. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=200$ )

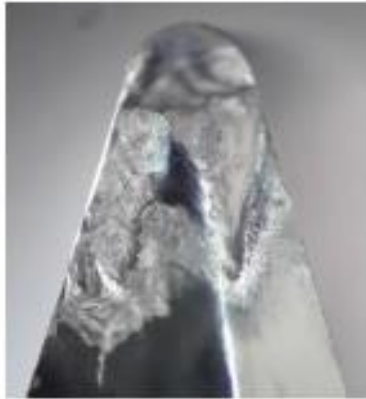
Şekil Ek A.3. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları.



19. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=300$ )



20. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=400$ )



21. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=100$ )



22. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=200$ )



23. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=300$ )

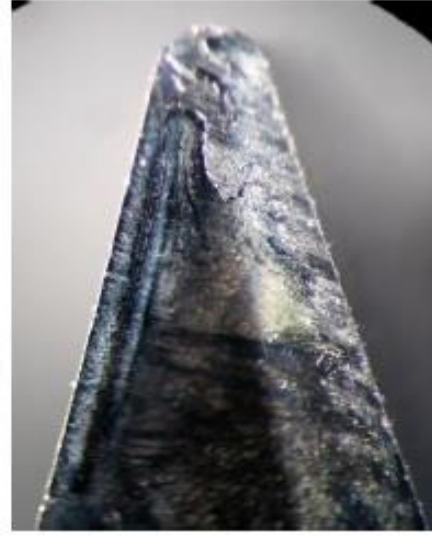


24. Deney ( $a=1.5$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=400$ )

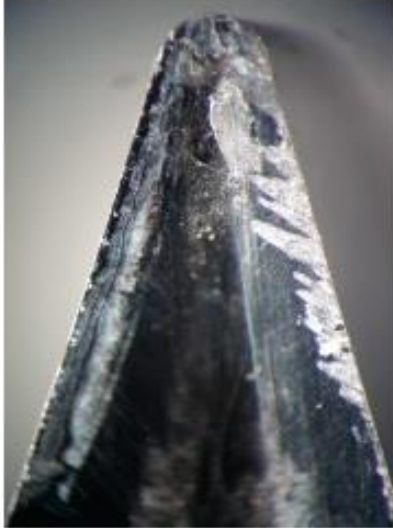
Şekil Ek A.4. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları.



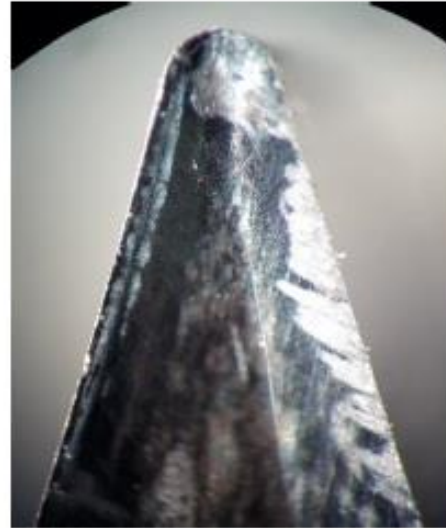
25. Deney ( $a=3$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=100$ )



26. Deney ( $a=3$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=200$ )



27. Deney ( $a=3$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=300$ )



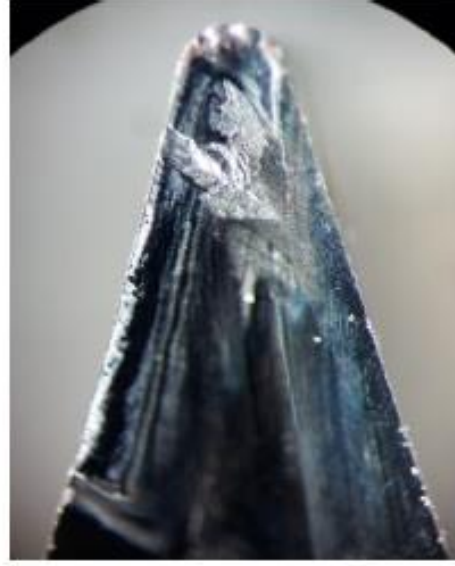
28. Deney ( $a=3$ ) ( $f=0.05$ ) ( $V=400$ )

Şekil Ek A.5. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları.





29. Deneý ( $a=3$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=100$ )



30. Deneý ( $a=3$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=200$ )

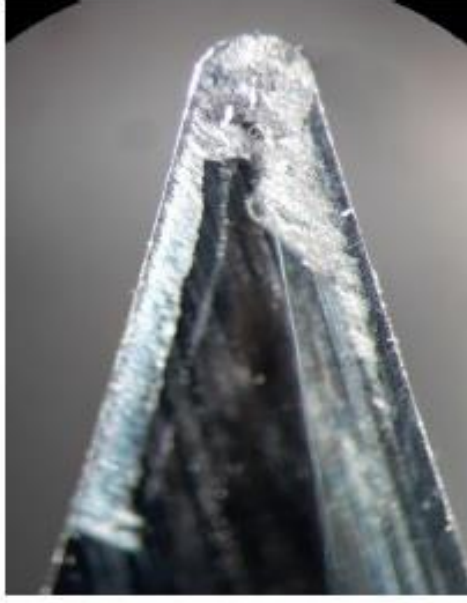


31. Deneý ( $a=3$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=300$ )

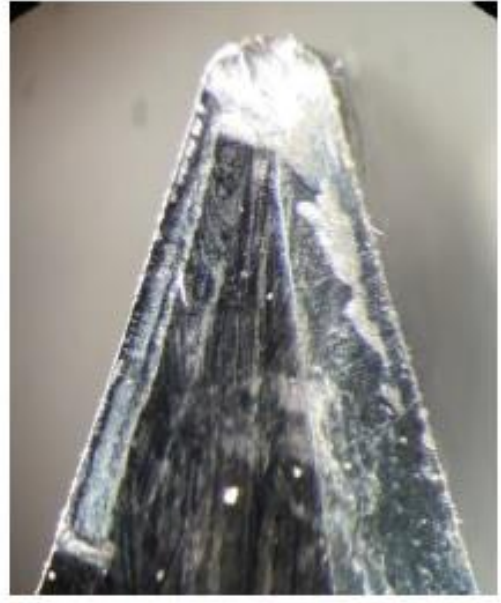


32. Deneý ( $a=3$ ) ( $f=0.1$ ) ( $V=400$ )

Şekil Ek A.6. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları.



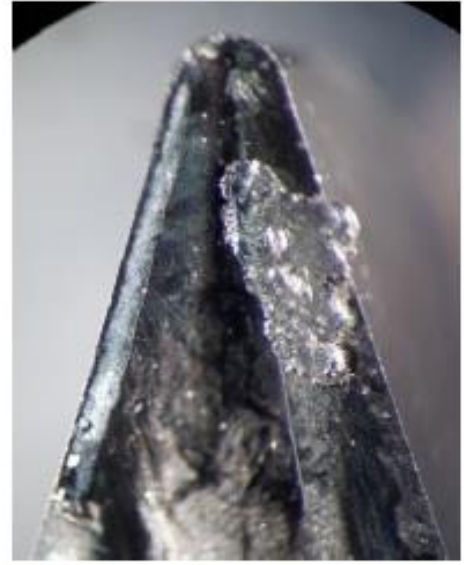
33. Deney ( $a=3$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=100$ )



34. Deney ( $a=3$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=200$ )



35. Deney ( $a=3$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=300$ )



36. Deney ( $a=3$ ) ( $f=0.25$ ) ( $V=400$ )

Şekil Ek A.7. Kesici takım uç bölgesindeki yığıntı talaş oluşumları.

## ÖZGEÇMİŞ

Seven BOZKURT 1983 yılında Sındırgı/BALIKESİR’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini Sındırgı Osmanlar Köyünde tamamladı. Liseyi Bandırma Endüstri Meslek ve Teknik Lisesinde birincilikle bitirdi. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Öğretmenliği Anabilim Dalı’nda öğrenime başlayıp 2005 yılında mezun oldu. 2005 yılı ortasında Mesa İmalat Sanayii ve Ticaret A.Ş.’de 1.5 sene teknik tasarımcı olarak çalıştı. 2007 yılında Askerliğini tamamlayıp, tekrar aynı firmada 1.5 sene daha çalıştı. 2009 yılı ortasında mekanik tasarımcı olarak başladığı Tübitak Sage’de halen görevine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Tunahan Mah. Gazi Cad. Tunahan Sit. 6G Blok No:22  
Etimesgut / ANKARA  
Tel : (505) 566 69 51  
E-posta : [sevenbozkurt@gmail.com](mailto:sevenbozkurt@gmail.com)