

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ti6Al4V ELİ ALAŞIMININ TORNALANMASINDA YÜKSEK  
BASINÇLI JET SOĞUTMANIN KESME KUVVETLERİNE VE YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ**

**Nazım ORAL**

**Danışman  
Doç. Dr. Fatih TAYLAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2018**



©2018 [Nazım ORAL]

## TEZ ONAYI

**Nazım ORAL** tarafından hazırlanan "**Ti6Al4V ELI Alaşımının Tornalanmasında Yüksek Basınçlı Jet Soğutmanın Kesme Kuvvetlerine ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi**"adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Doç. Dr. Fatih TAYLAN**

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Nihat YILMAZ**

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Gültekin BASMACI**

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

**Enstitü Müdürü**

**Prof.Dr.Yasin TUNCER**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Nazım ORAL**

## İÇİNDEKİLER

## Sayfa

İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1.Talaşlı İmalat.....	2
1.1.1 Talaş Kaldırma Mekanîği.....	2
1.1.1.1. Ortogonal (Dik) Kesme Mekanîği.....	4
1.1.1.2. Eğik (Oblique) Kesme Mekanîği .....	7
1.2. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler.....	9
1.2.1. Takım Geometrisi.....	9
1.2.2. Talaş Oluşumu ve Talaş Geometrisi .....	13
1.2.3. Talaş Tipleri .....	16
1.2.4. Kesme Kuvvetleri.....	17
1.2.5. Kesme Gücü ve Tezgâh Gücü .....	20
1.2.6. Yüzey Pürüzlülüğü .....	21
1.2.7. Takım Aşınması .....	26
1.2.7.1. Aşınma Mekanizmaları .....	27
1.2.7.1.1. Abrasiv Aşınma .....	28
1.2.7.1.2.Difüzyon Aşınma.....	28
1.2.7.1.3.Oksidasyon Aşınma .....	29
1.2.7.1.4. Yorulma ile Aşınma.....	29
1.2.7.1.5. Adhesiv Aşınma.....	29
1.2.7.2. Takım Aşınma Tipleri .....	30
1.2.7.3. Takım Aşınmasının Önlenmesi .....	33
1.3. Kesme Sıvıları.....	34
1.3.1.Kesme Sıvılarının Özellikleri.....	35
1.3.2. Kesme Sıvılarını Uygulama Yöntemleri .....	37

1.3.2.1. Akıtma (Flooding).....	37
1.3.2.2. Basıncılı Jet Soğutma .....	38
1.3.2.3. Misting.....	40
1.3.2.4. Manüel Metotlar .....	41
1.4. Titanyum ve Alaşımları.....	41
1.4.1 Ticari Saflıkta Titanyum .....	43
1.4.2 Alfa Titanyum Alaşımları .....	43
1.4.3 Beta Titanyum Alaşımları .....	44
1.4.4 Alfa - Beta Titanyum Alaşımları .....	44
1.4.5 Ti-6Al-4V ELI Alaşımı .....	44
1.5 Titanyum ve Alaşımı Malzemelerinin İşlenebilirliği.....	45
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ .....	47
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	52
3.1. Materyal .....	52
3.1.1. İş parçası malzemesi.....	52
3.1.2 Kesici Uç ve Takım Tutucu.....	53
3.1.3.CNC Torna Tezgâhı ve Özellikleri .....	55
3.1.4. Yüzey Pürüzlülük Cihazı.....	56
3.1.5. Dinamometre .....	56
3.1.6. Amplifikatör .....	57
3.1.7. Soğutma sıvısı .....	58
3.1.8. Yüksek Basıncı Jet Soğutma (YBJS) Sisteminin Yapısı.....	58
3.2. Yöntem.....	60
3.2.1. Deney tasarımı ve kesme parametrelerinin belirlenmesi.....	60
3.2.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi .....	62
3.2.3. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi .....	62
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	63
4.1. Kesme Parametrelerin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkileri.....	63
4.2. Kesme Parametrelerin Kesme Kuvvetlerine Etkileri .....	68
4.3. Kesme Parametrelerin Takım Aşınmasına Etkileri .....	71
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	77
5.1.Sonuçlar.....	77
5.2. Öneriler.....	82

KAYNAKLAR .....	84
ÖZGEÇMİŞ .....	88



## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## **Ti6Al4V ELİ ALAŞIMININ TORNALANMASINDA YÜKSEK BASINÇLI JET SOĞUTMANIN KESME KUVVETLERİNE VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ**

**Nazım ORAL**

**Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Fatih TAYLAN**

Titanyum ve alaşımları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci gibi özellikleri, bir arada bulundurduğu için birçok değişik uygulama için uygun malzemelerdir. Titanyum alaşımlarının mühendislik alanında en önemli özellikleri; yüksek korozyon, yüksek ısıl verime ve yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahip olmasıdır. Biyomedik alanda, otomotiv endüstrisinde ve spordan elektroniğe kadar birçok tüketim alanında titanyum kullanımı, sunduğu önemli özellikleri nedeniyle vazgeçilmez olmuştur.

Bu tez çalışmasında, uzay endüstrisi, havacılık ve biyomedikal alanında geniş kullanıma sahip olan Ti6Al4V Eli malzemesinin yüksek basınçlı jet soğutma (YBJS) koşulları altında işlenebilirliği incelenmiştir. Yapılan deneylerde bilgisayar kontrollü torna tezgâhı kullanılmış olup, CNMG120408 takım uç yarıçapı 0,8 mm CP250 PVD Kaplamalı ((Ti, Al) N+TiN) insertler tercih edilmiştir. Yüksek basınçlı jet soğutma sistemi ile farklı soğutma su basınçları (6 ve 200 bar ) kesme işleminde kullanılmıştır. Ayrıca tornalama işleminde 2 mm sabit kesme derinliği, farklı kesme hızları (80- 100-120 m/dak) ve farklı ilerleme hızları (0.2- 0.25- 0.3 ve 0.4 mm/dev) tercih edilmiştir. 2 mm sabit kesme derinliğinde, üç farklı kesme hızlarında ve dört farklı ilerleme hızlarında her bir kesici uç için 12 adet deney olmak üzere toplam 24 adet deney yapılmıştır. Bu çalışmada, kesme parametrelerinin (Kesme hızının ve ilerleme hızının) 6 bar basınç ve 200 bar basınç gibi farklı kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri deneysel

olarak araştırılmıştır. 6 bar ve 200 bar basınçlarda, kesme hızı ve ilerleme hızları ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Esas kesme kuvvetleri ( $F_c$ ), radyal kesme kuvvetleri ( $F_r$ ) ve ilerleme kesme kuvvetleri ( $F_f$ ) dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Her bir deney sonrasında iş parçası malzemesi yüzeyinde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri profilometre yardımı ile ölçülmüştür. Elde edilen Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), radyal kesme kuvveti ( $F_r$ ) ve ilerleme kesme kuvveti ( $F_f$ ) ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafiksel olarak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme hızı) kesme kuvveti bileşenleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalar sonucunda ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü artarken, soğutma suyu basıncının artmasıyla kesme kuvvetleri belirli bir miktar azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tornalama, Ti6Al4V Eli, Yüksek basınçlı jet soğutma, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti

**2018, 88 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF HIGH PRESSURE JET COOLING ON SURFACE ROUGHNESS AND CUTTING FORCES IN TURNING OF Ti6AL4V ELI ALLOY.**

**Nazım ORAL**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Machine and Manufacturing Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih TAYLAN**

Titanium and titanium alloys are suitable for a variety of applications, with their low density, high strength and high corrosion resistance. The properties and characteristics of titanium, which are important for engineers are; high corrosion resistance, superior erosion resistance, heat transfer efficiency, superior strength-to-weight ratios. Titanium is essentially used in manufacture of biomedical devices, automotive industry and consumable goods ranging from sports to electronics, with respect to its properties.

In this study, the aerospace industry has a large area of super alloy Ti6Al4V Eli pressure jets of material workability under cooling conditions are investigated. A computer-controlled lathes used in the experiments, and CP250 PVD (Ti, Al) N + TiN) cutting tools are preferred. High-pressure jet coolant cooling system with different pressures (6 and 200 bar) is used in the cutting process. In addition, the process of turning 2mm constant depth of cut and different progression rates (0.1, 0.125, 0.15, 0.175, and 0.2 mm / rev) and cutting speeds (80-100-120 m/min) were chosen. 24 experiments were totally carried out with 3 different cutting speeds and 4 different feed rates for each workpiece at constant dept of cut. In this study, the effects of cutting parameters and process applied to cutting tool on the cutting force, surface roughness and tool wear were investigated. With different water pressure and feed rate, cutting forces and surface roughness

were obtained. Tangential and feed forces were measured by a dynamometer. In this study on cementite carbide cutting tools, the components of cutting force ( $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_r$ ) on cutting tool were measured by dynamometer and surface roughness measured by profilometer. Experimental results showed that all cutting parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) have significant effect on cutting force and surface roughness. Studies in progress with increasing shear forces and increased surface roughness, cutting forces increase the pressure of cooling water, a certain amount has decreased.

**Keywords:** Turning, Cutting Force, Surface roughness, Ti6Al4V ELI, High Pressure Cooling.

**2018, 88 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Fatih TAYLAN'a teőekkürlerimi sunarım. Deneysel alışmalar esnasında bana yardımcı olan tüm CAD\CAM Araş. ve Uyg. Merkezi personeline teőekkürlerimi sunarım.

4144-YL1-14 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Nazım ORAL  
ISPARTA, 2018

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Ortogonal ve eğik kesme metotları .....	3
Şekil 1.2. Ortogonal kesme geometrisi [(a) Düzlemsel parçalarda ortogonal kesme,(b) Silindirik parçalarda ortogonal kesme](Taylan,2009).....	4
Şekil 1.3. Ortogonal kesmede oluşan kuvvetler ve deformasyon bölgeleri .....	5
Şekil 1.4. Eğik kesme işlemi [(a) Düzlemsel parçalarda eğik kesme, (b) Silindirik parçalarda eğik kesme] (Taylan,2009) .....	8
Şekil 1.5. Eğik kesme geometrisi (Taylan,2009) .....	8
Şekil 1.6. Tornalama işlemlerinde kullanılan kesici üzerindeki açılar .....	9
Şekil 1.7. Tek ağızlı torna kalemı üzerindeki açılar (Sağlam 2004).....	11
Şekil 1.8. İlerleme ve takım uç yarıçapının pürüzlülüğe etkisi.....	13
Şekil 1.9. Gerçek talaş oluşumu .....	14
Şekil 1.10. İlerleme-talaş derinliği ilişkisinin talaş biçimine etkisi (Gökkaya, ve Nalbant, 2007) .....	15
Şekil 1.11. a)Kesintili/parçalı talaş oluşumu, b)Sürekli talaş oluşumu, c)Yığıntı talaş oluşumu (İşbilir, 2006) .....	16
Şekil 1.12. Talaş biçimleri ve uygunluk durumları (Altıntaş, 2000) .....	16
Şekil 1.13. Kesme kuvvetlerinin bileşenleri (Çakır, 2006).....	17
Şekil 1.14. Farklı malzemeler için kesme hızının, kesme kuvvetine etkisi [ilerleme 0,25 mm/dev, talaş derinliği 1,25 mm için] (Özdemir, 2006).....	19
Şekil 1.15. Kesme kuvvetinin talaş açısına göre değişimi( Özdemir, 2006) .....	19
Şekil 1.16. Kesme kuvvetinin, kesme kenar açısına ve talaş kesitine göre değişimi (Özdemir, 2006) .....	20
Şekil 1.17 İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri .....	23
Şekil 1. 18. Yüzey pürüzlülüğün değerlendirilmesi (Kıran, 2011) .....	24
Şekil 1.19. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler (Cheung ve Lee 2000) ....	26
Şekil 1.20. Eşit Ağırlıkta Yağ ve Su (Oğul,2005).....	37
Şekil 1.21. Farklı işleme operasyonlarında doğru kesme sıvısı uygulama metotları (a) tornalama (b) frezeleme (c) diş taşlama (d) delik delme .....	38
Şekil 3.1. İş parçası teknik resmi .....	52
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan Jet Stream takım tutucu .....	54
Şekil 3.3. Tez çalışmasında kullanılan CNC Torna tezgâhı .....	55
Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük cihazı .....	56
Şekil 3.5. Kistler 9722-A 3 eksen dinamometre ve boyutları .....	57
Şekil 3.6. KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör .....	57
Şekil 3.7. Yüksek Basınç Jet Soğutma sisteminin yapısı.....	59
Şekil 3.8. YBJS sisteminin CNC Torna Tezgâhına montajı .....	60
Şekil 4.1. 80 m/dak sabit kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişim .....	64

Şekil 4.2. 100 m/dak sabit kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişim.....	65
Şekil 4.3. 120 m/dak sabit kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişim.....	66
Şekil 4.4. 6 bar ve 200 bar basınçlara ait yüzey pürüzlülüğü değerlerin kesme ve ilerleme hızlarına göre değişimi .....	67
Şekil 4.5. 6 bar basınçta kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme hızına göre değişimi .....	69
Şekil 4.6. 200 bar basınçta kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme hızına göre değişimi .....	70
Şekil 4.7. 6 bar ve 200 bar soğutma şartlarında kesici uçlar üzerindeki aşınmalar.....	74
Şekil 4.8. 6 bar basınçta takım aşınmasının kesme ve ilerleme hızına göre değişimi .....	75
Şekil 4.9. 200 bar basınçta takım aşınmasının kesme ve ilerleme hızına göre değişimi .....	75

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. Ti-6Al-4V Eli Kimyasal Bileşim Özellikleri.....	53
Çizelge 3.2. Ti-6Al-4V Eli Fiziksel Özellikleri.....	53
Çizelge 3.3. Ti-6Al-4V Eli Mekanik Özellikleri .....	53
Çizelge 3.4. Deneyleerde Kullanılan Kesici Uç'a Ait Geometrik Boyutlar .....	54
Çizelge 3.5. CNC torna tezgâhı özellikleri .....	55
Çizelge 3.6. Yüksek Basınç Lülesinin Özellikleri .....	60
Çizelge 3.7. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri.....	61
Çizelge 4.1. 6 bar basınçta kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme hızına göre değerleri .....	68
Çizelge 4.2. 200 bar basınçta kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme hızına göre değişimi.....	69



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>A<sub>s</sub></b>	Kayma düzlemi alanı
<b>a</b>	Eksenel kesme derinliği (Kesilmemiş talaş kalınlığı)
<b>a<sub>c</sub></b>	Kesilmiş talaş kalınlığı
<b>b</b>	Kesme genişliği
<b>D</b>	Takım tutucu çapı veya takım çapı
<b>f</b>	İlerleme
<b>F</b>	Sürtünme kuvveti
<b>F<sub>c</sub></b>	Kesme kuvveti
<b>F<sub>n</sub></b>	Sürtünme vektörüne dik kuvvet
<b>F<sub>ns</sub></b>	Kayma kuvvetine dik kuvvet
<b>F<sub>f</sub></b>	İlerleme kuvveti
<b>F<sub>R</sub></b>	Bileşke kuvvet
<b>F<sub>r</sub></b>	Radyal kuvvet
<b>F<sub>s</sub></b>	Kayma (kesilme) düzlemi boyunca etkiyen kuvvet
<b>F<sub>z</sub></b>	Diş başına ilerleme
<b>h<sub>a</sub></b>	Ortalama talaş kalınlığı
<b>N</b>	Fener mili devri
<b>n</b>	Takım tutucudaki diş sayısı
<b>P</b>	Talaş yüzeyinde sarfedilen güç
<b>P<sub>m</sub></b>	Motor gücü
<b>P<sub>s</sub></b>	Kesme düzleminde harcanan kesme gücü
<b>r</b>	Takım ucu yarıçapı
<b>R<sub>a</sub></b>	Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeri
<b>R<sub>z</sub></b>	On nokta yüksekliği yüzey pürüzlülük değeri
<b>T</b>	Takım ömrü
<b>V</b>	Kesme Hızı
<b>YT</b>	Yığıntı talaş
<b>α</b>	Talaş açısı
<b>β</b>	Sürtünme açısı
<b>φ</b>	Kayma açısı
<b>φ<sub>i</sub></b>	Eğim açısı

$\gamma$	Serbest kenar boşluk açısı
$\eta$	Talaş akış açısı
$\mu_a$	Sürtünme katsayısı
s	Saniye
dk	Dakika
mm	Milimetre
m	Metre
dev	Devir
$\mu\text{m}$	Mikron



## 1. GİRİŞ

Titanyum nadiren bulunabilen bir metal olmasına rağmen günümüzde endüstrinin kullandığı en önemli metaller arasında yer almaktadır. Sanayide kullanılan metaller arasında titanyum ve titanyum esaslı malzemeler yüksek maliyetleri ile dikkat çekerler. Titanyum ve alaşımları; düşük yoğunluk, mukavemet, kırılma dayanımı ve korozyon direnci gibi önemli özellikleri bir arada bulundurabilmeleri sayesinde birçok uygulamada kullanılmaktadırlar. Ayrıca üstün biyoyumluluklarından dolayı sert doku, kalp ve damar, ortopedi gibi medikal uygulamalarda da yaygın olarak tercih edilmektedirler. Son yıllarda yapılan çalışmalarda biyoyumlu olmalarına rağmen vücut içerisinde bir miktar iyon salınımı yaptıkları belirlenmiştir (Niinomi,1998).

Günümüzde kesme sıvıları talaşlı imalat endüstrisindeki performans gereksinimlerini karşılamak için özel olarak oluşturulmuş yağ, su ve kimyasal katkıların karışımları haline gelmiştir. Kesme sıvıları genel olarak kesme yağları ve su bazlı kesme sıvıları olarak iki gruba ayrılabilir. Uygulamaların yüzde 80 ile 90'ında kullanılan su bazlı kesme sıvılarını ise suda çözünen yağ esaslı kesme sıvısı, sentetik ve yarı sentetik kesme sıvıları oluşturur (Sales et al. 2001).

Talaşlı imalat alanında üretilecek parçaların istenilen kalitede üretilmesi gerekmektedir. Bunun içinde kullanılacak olan tezgâh, kesici takım, iş parçası ve kesme sıvısı önemli rol oynamaktadır. Kaliteli bir parça üretebilmek için, işlenecek parçanın cinsine göre kesme sıvısının ve tezgâh parametrelerinin uygun olarak seçilmesine dikkat edilmelidir. Bu durumda ‘‘tezgâh-takım-iş parçası-kesme sıvısı’’ arasındaki ilişki çok iyi seçilmeli ve kesme parametre değişkenleri çok iyi değerlendirilmelidir.

Günümüzde çok farklı alanlarda kullanılmak üzere değişik malzeme türlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Malzeme türlerinin oldukça farklılaşmasından dolayı işlenebilirlik problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu farklılıklara göre uygun kesici takım ve soğutma sıvısı seçimi oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında elde edilmesi amaçlanan sonuç; yüksek basınçlı soğutma sıvısı, kesme hızı, ilerleme gibi farklı parametreler

kullanılarak bunların yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin araştırılması hedeflenmektedir.

## **1.1. Talaşlı İmalat**

Günümüzde birden fazla parçanın imal edilmesinde talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Takım tezgâhları kullanarak kesiciler yardımıyla talaş kaldırılarak, parçaların daha önceden belirlenen boyut, geometri ve yüzey kalitesinde imal edilmesi işlemine talaşlı imalat denir.

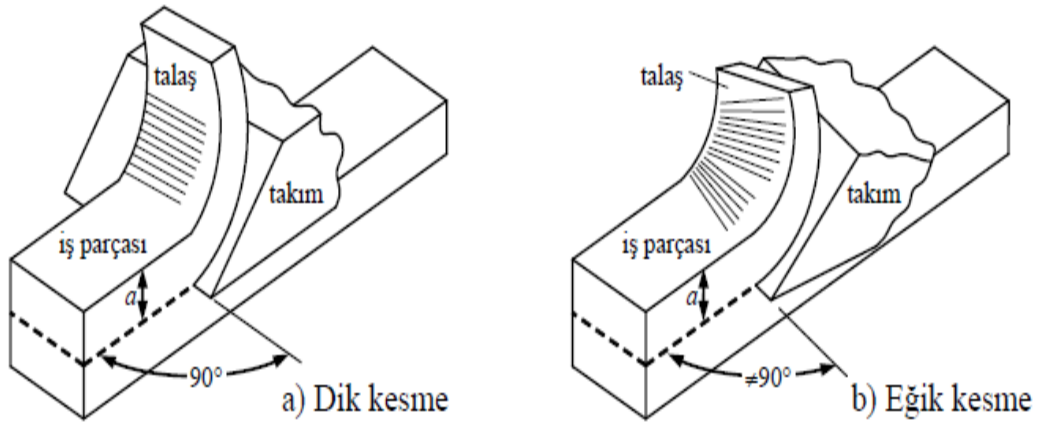
Başka bir ifadeyle takım tezgâhına bağlanan, belli bir geometriye sahip kesici takım yardımıyla istenilen ölçü ve biçimde parça üretilmesi veya iş parçasından fazla malzemelerin talaş şeklinde kaldırılma işlemi, özellikle iş parçası metal ise “Talaş kaldırma” işlemi olarak adlandırılır. Gerek kaba işleme gerekse hassas yüzey işleme aşamasında, gerekli toleransta, yüksek oranda üretim gerçekleştirilir. Bu nedenle talaş kaldırma işlemi, imalat sanayinde kullanılan temel üretim işlemlerinin en önemlisidir (Akkurt, 2004).

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. İş parçası metal olduğu zaman işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir (Çiftçi 2007).

### **1.1.1 Talaş Kaldırma Mekanîği**

Talaş kaldırma işleminin temelini dik (ortogonal) kesme mekanîği ve eğik (oblik) kesme mekanîği oluşturmaktadır. Ortogonal kesme iki boyutlu kuvvet sistemini gerektirirken oblik kesme üç boyutlu kuvvet sistemi ile tanımlanabilir.

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, kesme performansına ve birim parça maliyetine doğrudan etki etmektedir. Doğal olarak bu konu, yıllardan beri araştırmacıların ilgisini çekmiş, hakkında yüzlerce araştırma yapılmış ve halende yapılmaktadır. Bilimsel gelişmelerle birlikte, talaş kaldırma olayı operatörün kişisel tecrübelerine dayanan deneysel seviyeden bilimsel seviyeye çıkarılmıştır. İmalatın uzun ömürlü, kaliteli, emniyetli ve ekonomik olabilmesi için, etkiyen tüm kuvvetlerin hassas biçimde belirlenmesi gerekir. Bu sebeple kuvvet ölçümlerinin sağlıklı yapılması çok önemlidir. Kesici takım üzerine etki eden kuvvetler, talaş kaldırmanın önemli bir safhasını oluşturmaktadır. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, takım tasarımını optimize etmede de faydalı olup, kesmenin bilimsel analizi için de gereklidir. Kesme olayının analizi için yaygın olarak kullanılan iki kesme metodu vardır: Ortogonal/dik (*orthogonal*) (Şekil 1.1a) ve eğik (*oblique*) kesme (Şekil 1.1b). Dik kesme, üç boyutlu problemden ziyade iki boyutlu bir problem davranışı gösterdiğinden kesme mekaniğini oluşturan eşitliklerin çıkarılmasındaki deneysel ve teorik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir metottur. Kesici etkisiyle kaldırılan talaşın kesme derinliği, genellikle düzgün talaş kalınlığı olarak bilinir ve pratik kesme operasyonlarında ve yapılan çalışmalarda kolaylık olması açısından genellikle sabit olarak alınır.



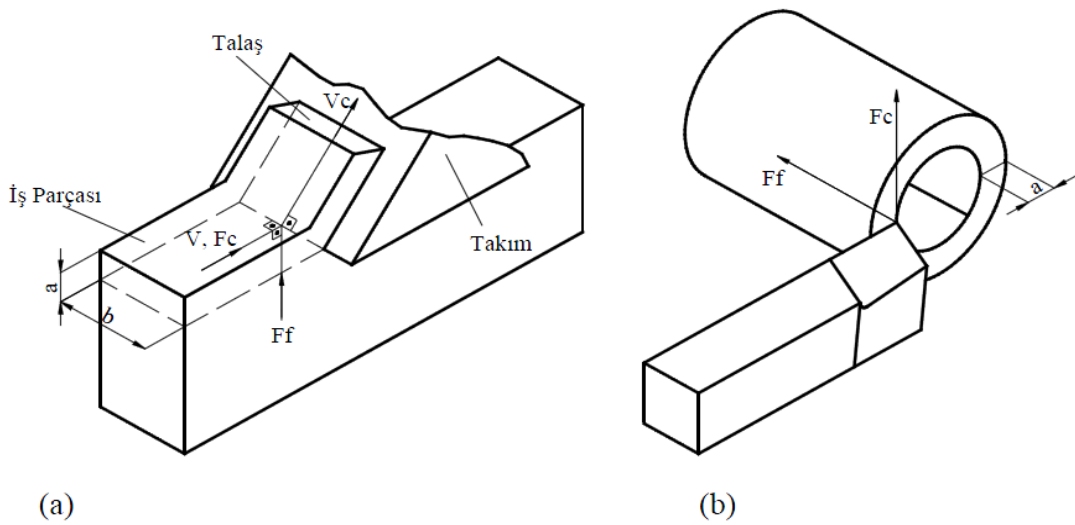
Şekil 1.1. Ortogonal ve eğik kesme metotları

Endüstride uygulanan neredeyse tüm kesme işlemleri üç boyutlu (eğik kesme) olmasına rağmen, eğik kesme mekaniğini analiz etme açısından, yeterli bilgi sunması bakımından iki boyutlu ortogonal (dik) kesme önemli bir işlemdir. Tornalama

operasyonlarında, işlemin ortogonal veya eğik olmasını belirleyen parametre ise kesici takımın kesme kenarı ile iş parçasının yüzeyi arasındaki eğim açısıdır. Bu eğim açısı ortogonal kesmede  $0^\circ$  iken eğik kesmede  $0^\circ$  değildir (Şekil 1.1).

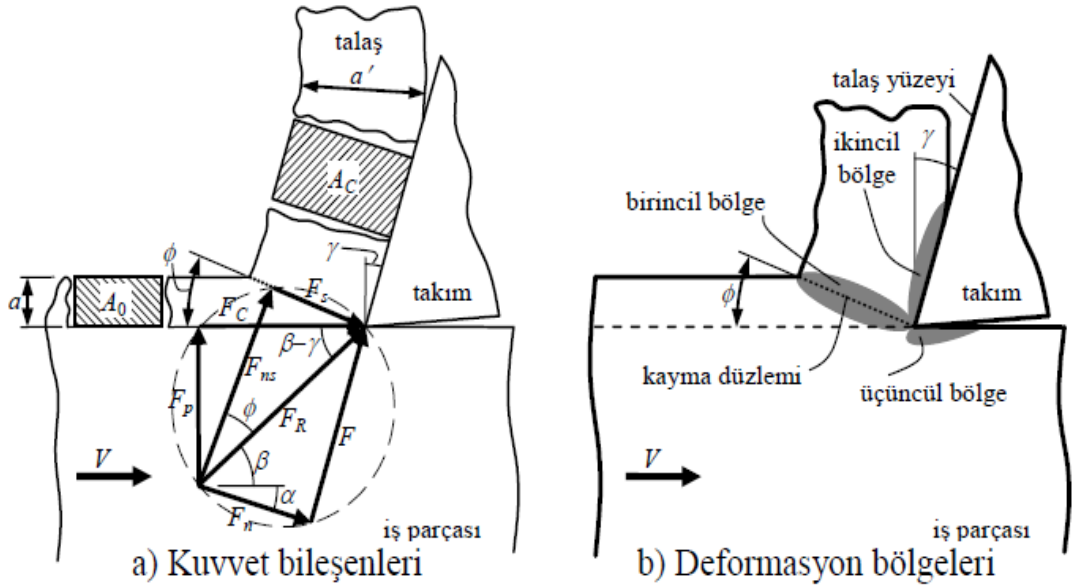
### 1.1.1.1. Ortogonal (Dik) Kesme Mekanikği

Birçok yaygın kesme işlemleri, üç boyutlu ve karmaşık geometrilere sahip olmasına rağmen, iki boyutlu ortogonal kesme metal talaş kaldırma işleminin genel mekanikğini açıklamak için kullanılır. Ortogonal kesmede malzeme ile takım kesme kenarı arasındaki açı diktir ve bu şekilde talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Daha karmaşık, üç boyutlu eğik kesme işlemlerinin mekanikği, genellikle ortogonal kesme işlemine uygulanmış geometrik ve kinematik dönüşüm modelleriyle değerlendirilir. Şekil 1.2'de şematik olarak ortogonal işlemlerinin temsili gösterimi yapılmıştır. Ortogonal kesme, kesme kenarı, kesme hızına ( $V$ ) dik olan düz takımla şekillendirme işlemine benzer. Kesme genişliği ( $b$ ) ve kesme derinliği (paso) ( $a$ ) ile metal talaş, iş parçasından kesilerek ayrılır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylelikle malzemenin kenarına yayılma olmaksızın iki boyutlu düz birim şekil değiştirme işlemi gerçekleşmiş olur. Dolayısıyla, kesme kuvvetleri sadece esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) olarak isimlendirilen hız ve kesilmemiş talaş kalınlığı doğrultusunda güç sarf eder.



Şekil 1.2. Ortogonal kesme geometrisi [(a) Düzlemsel parçalarda ortogonal kesme,(b) Silindirik parçalarda ortogonal kesme](Taylan,2009)

Ortogonal kesmede kesici takımın kesme kenarı boyunca kesmenin üniform olduğu kabul edilir, başka bir deyişle malzemede düzlem gerinme deformasyonu geçerlidir. Bu yüzden  $V$  kesme hızı ve kesilmemiş talaş derinliği doğrultusundaki kesme kuvvetleri,  $F_C$  esas kesme kuvveti (veya teğetsel) ve  $F_P$  pasif (radyal) kuvvet olarak isimlendirilir (Şekil 1.3a). Et kalınlığı en fazla 3 mm olan silindirik boru profillerin alın yüzeylerinin işlenmesi, silindirik kanal yüzeylerinin işlenmesi veya kanal açma işlemleri ortogonal kesme olarak düşünülebilir (deformasyon işleminin iki boyutlu olduğu kabul edilebilir). Şekil 1.3a'da  $F_R$  bileşke kuvvetinin üç farklı kuvvet bileşenine ayrılmaktadır: i)  $F_C$  esas kesme kuvveti ve  $F_P$  pasif kuvvet bileşenleri, ii)  $F_s$  kayma kuvveti ve buna dik  $F_{ns}$  bileşenleri ile iii)  $F$  sürtünme kuvveti ve buna dik  $F_n$  bileşenleridir. Analizlerde daha ziyade ortogonal kesme deneyleriyle dinamometrelerce doğrudan ölçülebilen  $F_C$  ve  $F_P$  kuvvet bileşenleri kullanılmaktadır.



Şekil 1.3. Ortogonal kesmede oluşan kuvvetler ve deformasyon bölgeleri

Esas itibariyle ortogonal kesme işleminde üç deformasyon bölgesi vardır (Şekil 1.3b). Birincil deformasyon bölgesinde iş parçası malzemesi, bu bölge yapılan plastik bir işle talaş biçimini almak üzere kayar (ayrılır). İkincil deformasyon bölgesinde, birincil bölgede kısmen kayan malzeme takım-talaş ara yüzeyi boyunca hareket ederek kayma sürtünmesiyle deforme olur. Üçüncül deformasyon bölgesinde ise

takımın yan yüzeyi ile iş parçasının işlenen yeni yüzeyi arasında bir sürtünme oluşur. Ortogonal kesme mekaniği hakkında bazı önemli parametreleri formüle etmek için bir takım kabuller yapılır: *i*) Birincil bölgedeki deformasyon, sonsuz kalınlıktaki kayma düzleminde oluşur. *ii*) Takım-talaş ara yüzeyi boyunca ortalama sürtünmenin sabit olduğu kabul edilir. *iii*) Kayma düzlemi üzerinde üniform gerilme dağılımı olduğu kabul edilir. Ortogonal kesmeyle ilgili en kritik parametrelerden biri de takımın talaş açısı olup Şekil 1.3'te pozitif talaş açısı ( $\gamma$ ) gösterilmiştir. Talaşın iş parçasından uzaklaştırılmasına yardımcı olması sebebiyle pozitif talaş açısı daha iyi bir yüzey kalitesi vermekle birlikte; kesme kenarının zayıflaması, talaş yüzeyindeki temasla talaş tarafından sağlanan basınç ve sürtünme yüküne dayanımı güçleştirir. Negatif talaş açılı takımlar ise çok sert malzemelerin işlenmesinde kullanılır (negatif talaş açısı için bazen pah açısı tabiri de kullanılır). Ortogonal kesmeyle ilgili bir diğer önemli parametre de  $V$  kesme hızı ile kayma düzlemi arasındaki kayma açısıdır( $\phi$ ). Kesme işlemindeki kuvvetler ve güç kayma açısındaki artışla birlikte azalır. Kayma açısının belirlenmesine yönelik literatürde değişik çalışmalar yapılmış olup bu çalışmalar halen de devam etmektedir.

Burada deformasyon, kesme kenarının köşe olduğu, pah veya yarıçap bulundurmadığı ve kayma düzleminin son derece ince olduğu bölgede oluşmaktadır. Kayma açısı ( $\phi$ ) kesme hızı ( $V$ ) ve kayma düzlemi doğrultuları arasındaki açı olarak belirlenmiştir. Kayma düzlemindeki kayma gerilmesi ( $\tau_s$ ) ve normal gerilme ( $\sigma_s$ ) sürekli olarak mevcuttur. Talaş üzerinde oluşan bileşke kuvvet ( $F_R$ ) kayma bölgesine uygulanmış olup talaş-talaş yüzeyi arasındaki bölgede ortalama daimi sürtünme olduğu varsayılarak hesaplanır. Bileşke kuvvet ( $F_R$ ), esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ile ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) nin bileşkesidir.

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2} \quad (1.1)$$

Takım kuvveti veya pasif kuvvet kesilmemiş talaş kalınlığı doğrultusunda, esas kesme kuvveti veya işleme kuvveti kesme hızı doğrultusundadır.

### 1.1.1.2. Eğik (Oblique) Kesme Mekaniği

Şekil 1.4'te eğik kesme işlemlerinin şematik olarak temsili görünümü mevcuttur. Ortogonal ve eğik kesme mekaniği arasındaki fark şekil 1.1 ve şekil 1.4'teki kesme geometrisine tekrar bakılarak biraz daha iyi anlaşılabilir.

Eğik kesme geometrisi şekil 1.5'da görülmektedir. Kesme hızı ( $V$ ) ortogonal kesmede kesme kenarına diktir. Oysaki eğik kesmede, kesme kenarı ile normal düzlemi arasında bir ( $i$ ) eğim açısı bulunmaktadır. Kesme kenarının normali ve kesme hızına paralel olan düzlem, normal düzlem veya  $P_n$  olarak belirlenebilir. Kesilme olayı ve talaş oluşumu, kesme hızıyla paralel tüm normal düzlemlerde benzerdir ve kesme kenarına diktir. Dolayısıyla kesme hızı, kayma hızı ve talaş hızı kesme kenarına diktir. Bileşke kuvvet ve kayma talaş yüzeyi bölgesindeki diğer kuvvetlerin tümü ortogonal kesmede aynı normal düzlemedir. Normal düzleme dik üçüncü doğrultuda bir kesme kuvveti yoktur. Eğik kesme işlemlerinde kesme hızı eğimlidir ve böylece kayma, sürtünme, talaş akışı ve bileşke kuvvet doğrultuları 3 kartezyen koordinatın bileşkeleridir. Şekil 1.5'de x eksenine kesme kenarına diktir, fakat kesme yüzeyi üzerindedir. Y eksenine kesme kenarıyla hizalıdır ve z eksenine xy düzlemine diktir. Eğik kesmede kuvvetler 3 doğrultunun tümünde de oluşmaktadır. Eğik kesmede önemli olan düzlemler kayma düzlemi, talaş yüzeyi, kesme yüzeyi xy, normal düzlem xz, veya  $P_n$  ve hız düzlemi  $P_v$  dir. Normal düzlemdeki eğik kesmenin mekaniği ortogonal kesme ile aynıdır, dolayısıyla tüm hız ve kuvvet vektörleri normal düzlemde hesaplanır( Taylan,2009).

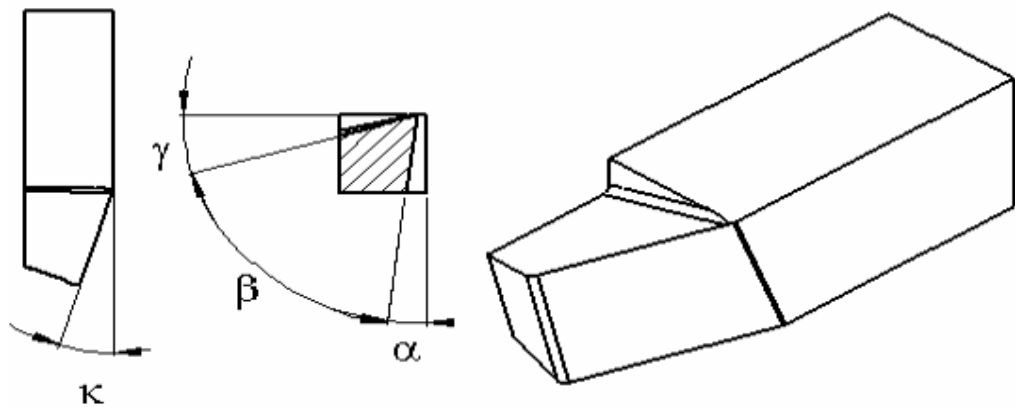


## 1.2. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

### 1.2.1. Takım Geometrisi

Talaşlı imalatta, etkin bir şekilde kesme işleminin gerçekleştirilebilmesi için kesici takımların uygun geometriye sahip olmalıdır. Kesici takımlar tek ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşumu temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genel olarak çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Talaşlı imalat işlemlerinden biri olan tornalama işlemlerinde ise tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır.

Kesici takımlar, takım-iş parçası arasında sürtünen temas alanını en aza indirmek için keskin uçlu olarak tasarlanırlar. Bir takım üzerinde oluşturulan farklı açılar, takım geometrisi olarak adlandırılır. Şekil 1.6'da tornalamada kullanılan kesici takımlar üzerinde açılar gösterilmiştir. Çeşitli türde ve şekilde imal edilmiş farklı geometride takım uçları ve bağlama konumlarına göre değişik takım tutucuları mevcuttur. Takım geometrisini oluşturacak olan bu açıların değeri, kesici ucun dayanımı ve kesme yeteneği arasındaki ilişkiye göre belirlenir. Aynı durum takım yüzeyinde meydana getirilen talaş açısı içinde geçerlidir (Güden 2005).

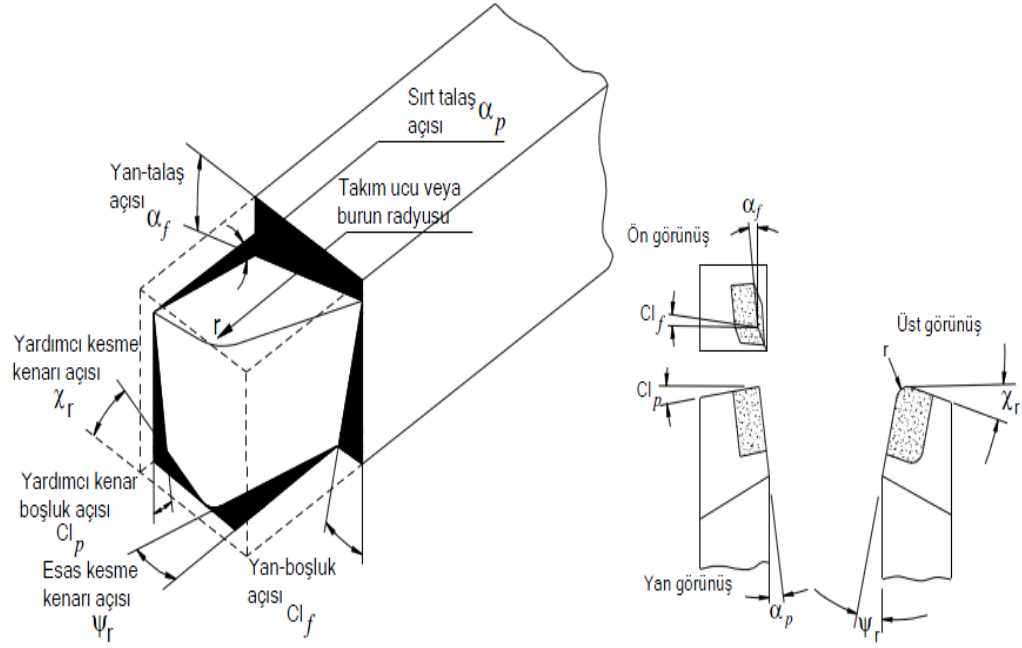


Şekil 1.6. Tornalama işlemlerinde kullanılan kesici üzerindeki açılar

Pratikte kesiciye verilmesi gereken  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  açıları ile normal kesme yapılabilmesi için takım ucunun punta ekseninde bağlanmış olması gerekir. Aksi halde kesme üzerinde etkili olan bu açılar değişir. Bu değişim kesicinin punta ekseninde ve altında olmasına bağlıdır. Kesici takım parça ekseninde ise, dış çaplı yüzeylerin işlenmesi durumunda, ön boşluk açısı artarken talaş açısı azalır ve  $\alpha + \beta$  büyür. Kesici takımlar köreldiği zaman parçayı kaldırmaya veya parça altında kesici takımını çekmeye zorlayacağından iş parçası esnemesi ve kesici takım titreşimi meydana gelebilir. Bunun aksi durumu oluşursa, kesici takım punta ekseninde üstünde bağlanmışsa boşluk açısı küçülür. Talaş açısı büyüdüğünde  $\alpha + \beta$  küçülür. Ancak iç çaplar işlenirken ön boşluk açısı büyürken talaş açısı küçülür. Bu durumda ise talaş iyi kırılmaz ve kaba işlemlerde uygulanabilir. İş parçasında sert kısımlara rastlanırsa fazla zorlanmadan dolayı kalem esner ve parçaya dalabilir.

Dik kesme işleminde, kayma açısı ( $\phi$ ), kama açısı ( $\beta$ ), boşluk açısı ( $\alpha$ ) ve talaş açısı ( $\gamma$ ) gibi açılar kesici takım geometrisini oluşturan açılardır. En önemlisi kayma açısı olup, kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasındaki açıdır. Kayma açısının değişimi, talaş kalınlığını da değiştirdiğinden, önemlidir. Bu açıların değişmesi, kesme kuvvetleri ve takım ömrü üzerine etkilidir ve tırlama titreşimine yol açar. Bu sebeple kesme işlemi esnasında etkili talaş kaldırma işlemi elde etmek için kesici takımın uç noktası iş parçası veya fener mili merkezinde olmalıdır.

Standart tornalama takımı geometrisi şekil 1.7'de görülmektedir. Takım üzerindeki önemli geometrik parametreler takım uç radyüsü ( $r$ ), yan-kenar talaş açısı ( $\alpha_f$ ), arka/sırt talaş açısı  $\alpha_p$ , ve yan kesme kenarı açılarıdır ( $\psi_r, Cl_f$ ). Ortogonal kesmede sırt talaş açısı sıfır alınır ve sadece yan-kenar talaş açısı dikkate alınır. Talaş açısının konumları pozitif ( $+\alpha_p$ ), nötr ( $\alpha_p = 0$ ) ve negatif ( $-\alpha_p$ ) olarak adlandırılır. Pozitif talaş açısı yüksek kayma açıları sağlar ve bu kesme kuvvetlerinin azalmasına yardımcı eder. Ayrıca talaşın iş parçasından akarak uzaklaşmasına yardımcı olduğu için daha iyi bir yüzey kalitesi bırakır. Negatif talaş açılı takımlar kayma açısını azalttığı için, aynı kesme şartlarında pozitif takımlardan daha yüksek kuvvetler meydana getirir. Kesintili kesmede negatif takımlar pozitif takımlardan daha büyük darbe direnci sağlarlar ( Sağlam, 2004).



Şekil 1.7. Tek ağızlı torna kalemı üzerindeki açılar (Sağlam 2004)

Talaş açıları; iş parçası üzerinde kesme işlemi esnasında oluşan kaymayı ve talaş oluşumunu etkiler. Talaş açıları negatif veya pozitif olabilir. Pozitif talaş açıları kesme kuvvetlerini düşürerek iş parçasında, kesici takımda ve takım tezgâhında daha az saptmalara neden olur. Seramik, sementit karbür ve elmas kesici takımlarda negatif talaş açıları olmalıdır. Genel olarak yüksek sertlikteki iş parçaların işlenmesinde kullanılan kesici takımlarda talaş açıları küçük olmalıdır. Yüksek hız çeliği (HSS) kesici takımların talaş açıları kesici takım tipi (tornalama ve frezeleme gibi) ve iş parçası malzemesine bağlı olarak normalde pozitif talaş açısında seçilir.

Genel olarak, talaş açısının artmasıyla kesme kuvvetleri azalır ve daha iyi yüzey elde edilir. Talaşların kontrolü, talaşların akmasına sebep olan doğru talaş açısının verilmesiyle sağlanır. Büyük pozitif talaş açısı takım kesici ucunu zayıflatır. Kullanılan talaş açısı, iş parçası malzemesinin özelliğine ve yapılan kesme işlemine bağlı olarak değişir. Talaş açıları kesici takım üzerinde taşlanabilir veya plaket uçlar halindeyse bunlar istenilen talaş açısını sağlayan uygun takım tutucu içine yerleştirilerek oluşturulur.

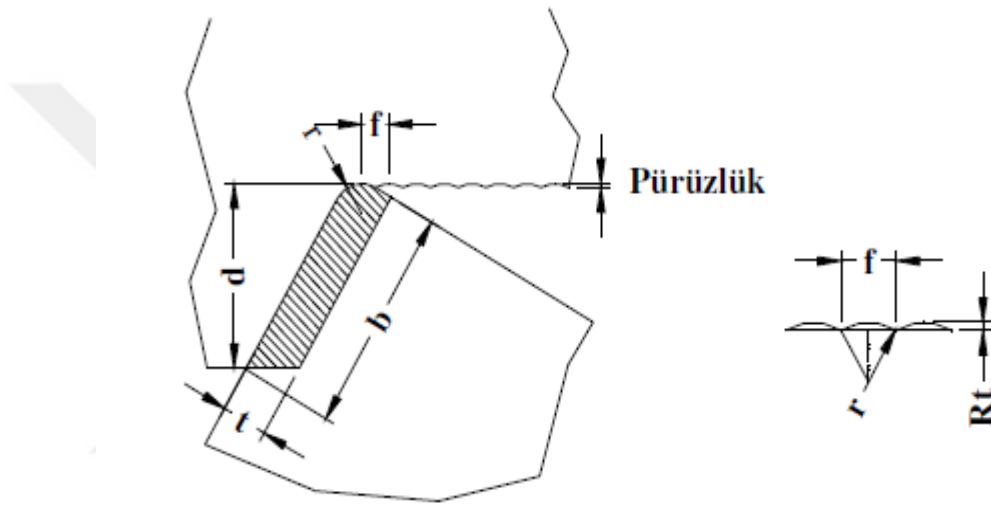
Etkili bir talaş kaldırma işlemi için en iyi olan tasarım; pozitif talaş açılı takımın kullanılmasıdır. Bu açı kayma bölgesinde daha büyük kayma açısı yaratır. Bu da talaşın talaş-takım ara yüzeyi boyunca serbestçe akmasına imkân sağlar. Şartlar doğru seçilmezse, takım yüzeyi üzerinden talaşların kayması kraterleşmeye yol açabilir. Düşük çekme dayanımlı ve demir içerikli olmayan ve içerisinde aşındırıcı (abrasif) parçacıkları bulunmayan sünek malzemeler, küçük çaplı uzun miller veya işlenirken sertleşen malzemeler kesilirken pozitif talaş açılı takımlar kullanılır.

Yüksek çekme dayanımlı malzemeler ve abrasif içerikli malzemeler, fazla ilerleme miktarlarına ve kesintili kesme işlemi yapıldığında negatif açılar tercih edilir. Bir takım üzerinde negatif talaş açısı kayma bölgesi boyunca daha küçük bir kayma açısı oluşturduğundan, daha fazla sürtünme ve ısı meydana gelir. Isıdaki artış dezavantaj olarak görülmesine rağmen, tok malzemelerin karburlu takımlarla işlenmesi istenir. Negatif açılı takımlar; esmer dökme demir, dökme çelikler, takım çelikleri, temper dökme, demir sıcak iş takım çelikleri veya sadece sade karbonlu çelikler gibi malzemeler karburlu takımlarla işlendiğinde tercih edilirler.

Serbest (boşluk) açısı, kesici takım ucunun ve taban yüzeyinin işlenecek iş parçasına sürtünmesini önlemek amacıyla verilir. Bu açının değeri genelde 5-8° arasında olmakla beraber kesici takım-iş parçasına göre de değişmektedir. Kama açısı; kesici takım ucunun kesme özelliğinin sağlanması, yani batmanın kolaylaştırılması için verilmekte olan bu açının değeri hem takım malzemesi hem de iş malzemesi çifti için deneyle tespit edilen tecrübeyle sağlanır. Ancak, bu açının değişmesi talaş açısını da değiştirir ve dolayısıyla bu açı talaş açısındaki değişmeye bağlıdır. Talaş açısı, talaşın kesici takım yüzeyinden akarak uzaklaşmasını sağlayan açı olup, genellikle pozitif olarak verilir. Bazı durumlarda, özellikle seramik takımla kesme yapıldığında, talaş açısının değeri negatif olabilmektedir. Dik kesme işleminde, boşluk açısı, kama açısı ve talaş açıları toplamı her zaman 90° olmalıdır (Şahin, 2000).

Takım ucu, istenilen kalitede (yüzey pürüzlülük değerinde) yüzey işleyemediği noktada değiştirilmelidir. Pürüzlülük değeri, işlenen yüzeyde örnek uzunluk boyunca ölçülen, küçük alanlı mikro düzensizliklerdir. Yüzey kalite standartlarının tespit edilmesinde, yüzey pürüzlülük kalitesi referans alınmalıdır. Bu, özellikle son

pasodabüyük önem taşır. Metal işlemede yüzey yapısını, işleme operasyonu esnasında malzemenin plastik akışından doğan düzensizlikler tayin edilmelidir. Yüzey yapısı, esas itibariyle işleme yöntemine, titreşimlere, tezgâh kızıklarındaki hatalara, takımın tip ve durumuna, kesme parametrelerine, iş malzemesine ve toplam kararlılığa bağlı olarak değişir. Takım ucunun yuvarlatılması, talaş kesitinin bombeli teşekkülüne sebep olur. Bu durumda gerçek talaş kesiti, teorik talaş kesitinden ( $A_r = f \cdot d$ ) daha küçük olur ve aradaki fark, parça üzerinde artık talaş olarak kalır. Şekil 1.8'de verilen kaldırılmamış talaş kesiti, yüzey pürüzlülüğünü meydana getirir (Akkurt, 2000).



Şekil 1.8. İlerleme ve takım uç yarıçapının pürüzlülüğe etkisi

İşlenmiş yüzeydeki keskin ilerleme izlerini minimize etmek için takımlar uçlarında küçük bir radyuse sahip olurlar (Şekil 1.8). Büyük takım uç radyusu takımı işleme sırasında kendiliğinden oluşan titreşimlere veya tırlamaya daha duyarlı olduğundan önerilmez.

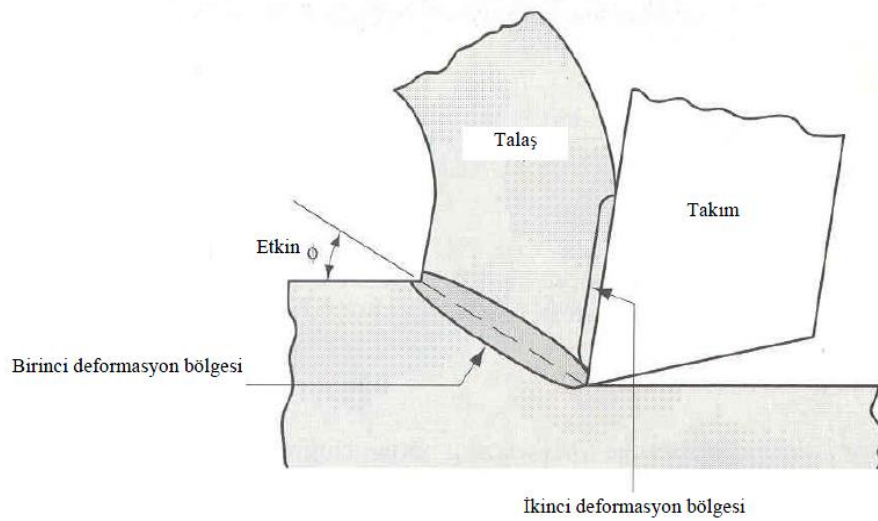
### 1.2.2. Talaş Oluşumu ve Talaş Geometrisi

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için, ucu keskin bir takımla güç kullanarak, iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir (Akkurt, 2004).

Talaş kaldırma işlemlerinin çoğu, gerekli boyut ve şekildeki parçaların imalatı için iş parçasından talaş veya küçük parçaların ayrılmasını gerektirir. Talaşın oluşması için üç temel gereksinim mevcuttur ve bunlar şöyle özetlenebilir:

- Kesici olarak kullanılan bir takımın iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olması,
- Talaş derinliği ve ilerlemeyle birlikte iş parçası ve takım arasında dalmayı sağlayan kesici uç geometrisine sahip olması,
- İş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvetle yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı veya nispi hareketin oluşmasıdır.

Gerçekte ise talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir (Şekil 1.9). Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir. İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme, iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek atılır. Birinci kayma (deformasyon) düzleminde oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır.

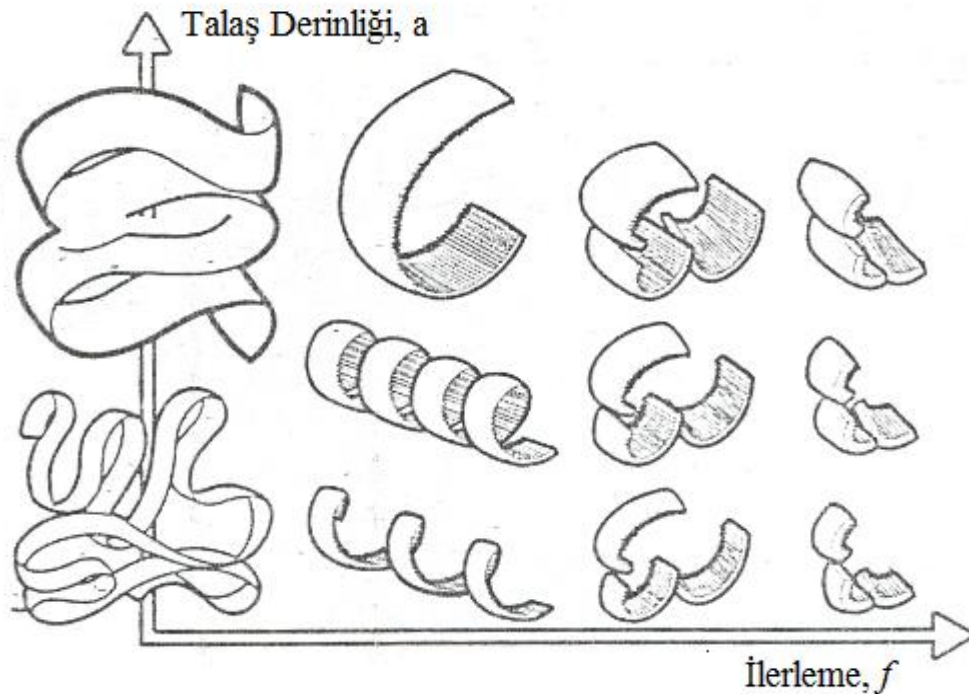


Şekil 1.9. Gerçek talaş oluşumu

Talaşın parça üzerinden ayrıldığı düzleme kesme düzlemi, bu düzlemin kesme yönüyle yaptığı açıya ( $\phi$ ) kesme açısı denir. Kesme düzlemi boyunca parçadan ayrılacak deforme edilmemiş talaşın genişliği ( $b$ ) kalınlığı ( $t_0$ ) ile ifade edilirken oluşan talaşın kalınlığı ( $t_c, t_0$ ),dan daha fazladır.

Talaş kaldırma sırasında takım, kesme yönünde ( $V$ ) kesme hızıyla ilerler ve talaş, parçadan ( $V_c$ ) hızıyla uzaklaşır. Takım yüzeyi boyunca yapışma ve sürtünme etkisiyle oluşan bölge ikincil deformasyon bölgesini oluşturur (Özçatalbaş, 1996).

Talaş oluşumu (biçimlenmesi) çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. En büyük rolü iş parçası malzemesi oynar. İş parçasının tipi, dayanımı, sertliği, yapısı, biçimi ve boyutların hepsi talaş oluşumunu etkiler. Kesme parametreleri de talaş biçimi ve boyutlarını doğrudan etkiler. Özellikle talaş derinliği, ilerleme ve bazı kesme hızı değerleri önemli faktörlerdir. Kesme (soğutma) sıvılarının kullanılması da talaş biçimini etkileyen temel faktörlerdendir (Şeker, 1997). Şekil 1.10'da, talaş biçimi ile talaş derinliği ve ilerleme arasındaki ilişkinin nasıl değiştiği gösterilmiştir.



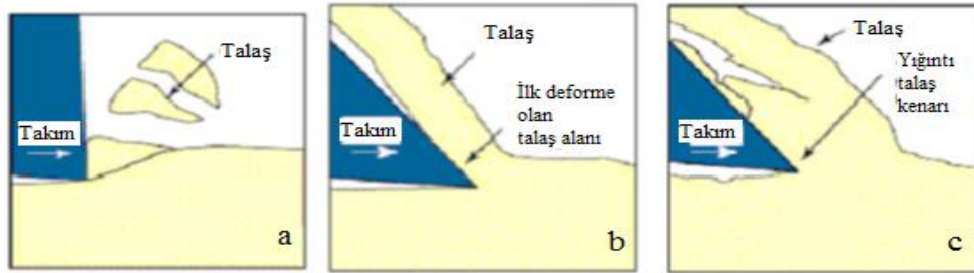
Şekil 1.10. İlerleme-talaş derinliği ilişkisinin talaş biçimine etkisi (Gökkaya, 2007)

Yukarıdaki şekil incelendiğinde talaş derinliği ve kullanılan ilerleme değerinin talaş oluşumuna etkileri görülmektedir. Talaş derinliği ve ilerleme miktarı arttırıldıkça akma talaş tipi kopuk talaş tipine doğru değişmektedir.

### 1.2.3. Talaş Tipleri

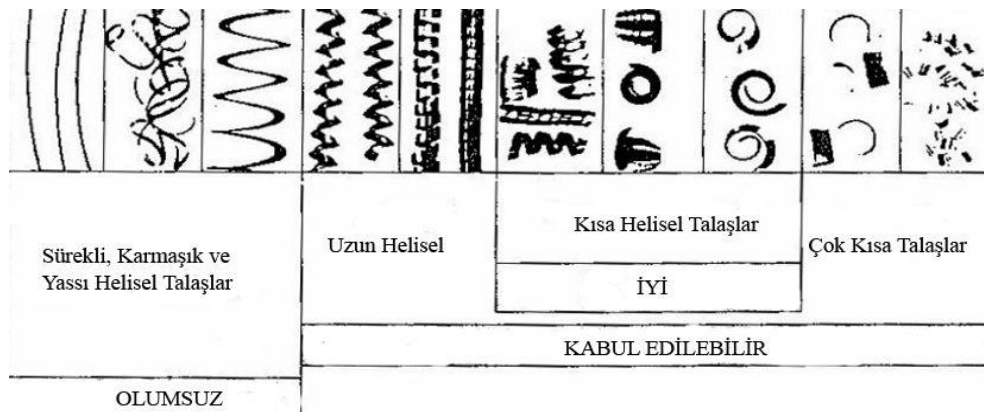
Talaşlı işlemden kesicinin iş parçası malzemesinin içine girmesi ile iş parçası malzemesi elastik ve plastik (kalıcı) şekil değişimine uğrar. Malzemenin çok kısa bir süre içerisinde kayma gerilmesi ile talaş iş parçasından ayrılır.

Oluşum mekanizmasına göre genel olarak kesintili, sürekli ve yığıntı talaş olmak üzere üç farklı talaş tipi mevcuttur. Talaş oluşum şekilleri şekil 1.11’de verilmiştir.



Şekil 1.11. a)Kesintili/parçalı talaş oluşumu, b)Sürekli talaş oluşumu, c)Yığıntı talaş oluşumu (İşbilir, 2006)

Her tip talaş oluşumunda; kesme parametreleri, iş parçası malzemesi, işleme tekniği ve kesici takım geometrisi gibi etkenlere bağlı olarak değişik biçimlere sahiptirler (Şekil 1.12.).

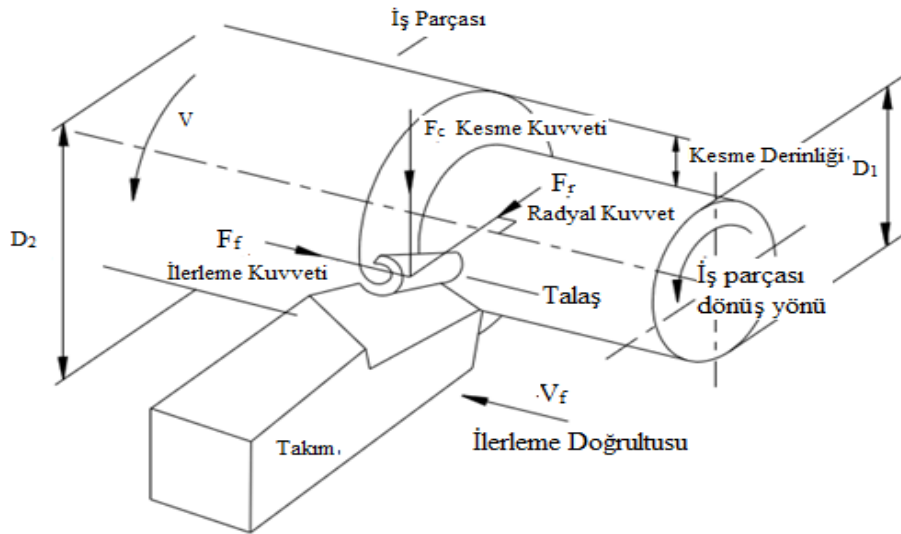


Şekil 1.12. Talaş biçimleri ve uygunluk durumları (Altıntaş, 2000)

#### 1.2.4. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerini etkileyen faktörlerden birisi takım-talaş temas uzunluğudur. İki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemeleri işlemede, kesici takım-talaş temas uzunluğunun daha az olmasından dolayı çok küçük kuvvetler meydana gelmektedir. Kesme hızının artırılması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de oldukça azalmaktadır. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlar kullanılarak, takım-talaş arasındaki temas uzunluğunun sınırlandırılmasıyla kesme kuvvetlerinde belirli azalmalar sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisinden de etkilenmektedir. Talaş açısının uygun değerinden fazlası kesici ucun dayanımını azaltacağından aşınmayı artırır. Artan aşınma ile birlikte boşluk yüzeyi temas alanını artıracığından takımdaki kesme kuvvetleri artacaktır. Talaş kaldırmada gerekli olan kuvvetlerin, haddeleme, dövme gibi diğer metal işleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında oldukça küçük olduğu görülür. Bunun sebebi kaldırılan metal kesitinin küçük olmasıdır (Yalçın, 2008).

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 1.13’de şematik olarak gösterilmiştir (Çetinçalı, 2010).



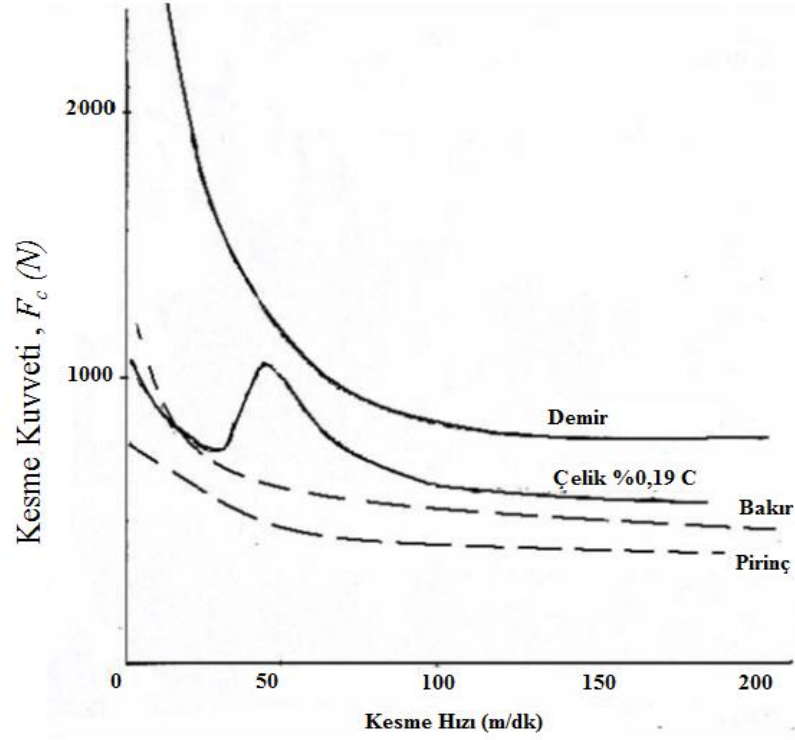
Şekil 1.13. Kesme kuvvetlerinin bileşenleri (Çakır, 2006)

Teğetsel kuvvet, sadece iş parçası ve takım arasındaki temas ve sürtünmeye değil, aynı zamanda talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas koşullarına da bağlıdır. Talaş oluşumunun ve talaş kırmanın niteliği teğetsel kuvveti önemli ölçüde etkiler. Bunun yanı sıra, talaş kalınlığı (  $h$  ) ile bu kuvvetin büyüklüğü arasında bir bağıntı vardır.

Esas kesme kuvvetinin (  $F_c$  ) büyüklüğü torku, dolayısıyla talaş kaldırmak için gerekli gücü etkiler. Prensip olarak teğetsel kuvvet ile kesme hızının çarpımı talaş kaldırmak için gerekli gücü verir. Özgül kesme kuvveti (  $k_c$  ) iş parçası malzemesinin kayma akma mukavemetine ve kayma düzleminin alanına bağlıdır. Kayma düzleminin alanı değiştiğinde bu alana bağlı olarak kuvvet de değişir. Kayma düzlemi alanının özgül kesme kuvveti üzerinde talaş kaldırma işlemi esnasında değişiklik göstermeyen malzeme akma mukavemetine göre çok daha büyük etkisi olduğu düşünülmektedir.

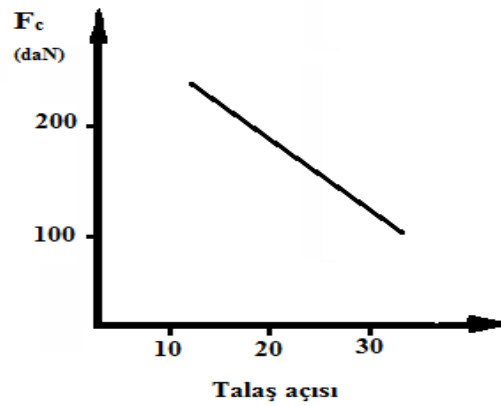
Teğetsel kuvvet için bir birim kuvvet gibi de tanımlanan özgül kesme kuvveti deforme olmamış talaş kalınlığı/ilerleme oranına bağlıdır. Talaş kalınlığının (  $h$  ) artması özgül kesme kuvveti değerinin düşmesine neden olur. Bu ise kaldırılan talaşın kesiti küçüldükçe özgül kesme kuvvetinin, dolayısıyla gerekli gücün artması demektir. Bu kuvvet aynı zamanda talaş kaldırma işleminde maksimum ilerleme değerinin tavsiye edilmesinin bir nedenidir. Radyal kesme kuvveti bileşeni (  $F_r$  ) teğetsel kuvvete dik açı yapan kuvvet (Şekil 1.13), ilerleme kuvveti (eksenel kuvvet) (  $F_f$  ) ise takımın ilerleme yönü boyunca, iş parçasının işlenme yönü doğrultusunda olan kuvvettir.

Kesme kuvvetleri talaş oluşumundan, talaş şekil değiştirmesinden ve talaş ile takım arasında oluşan sürtünmelerden dolayı oluşur. Kesme kuvveti üzerinde kesme hızının ve kesme sıvısı kullanılıp kullanılmamasının etkisi azdır. Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi, hız çeliğinden yapılan takımlarda  $v = (30\sim35)$  m/dak ve sert metalden yapılan takımlarda  $v > 80$  m/dak olduğu durumlarda görülür ( Akkurt, 2004). Şekil 1.14' de farklı malzemeler için, kesme hızının, kesme kuvveti üzerine etkisi görülmektedir.



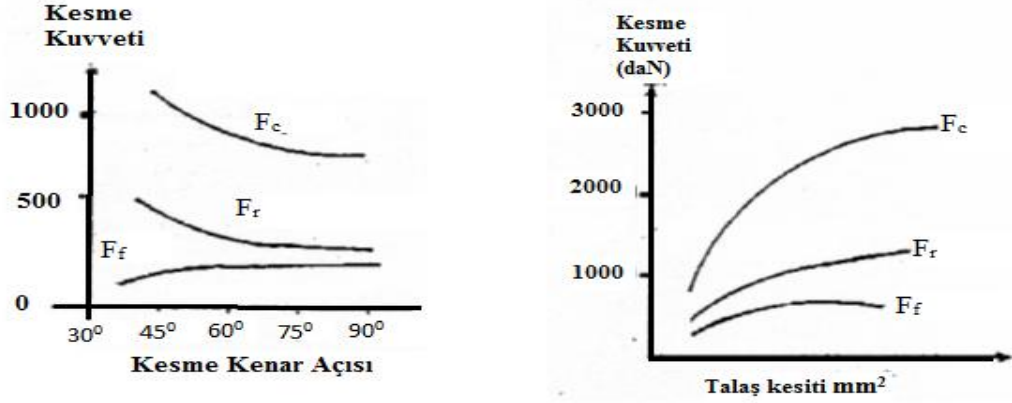
Şekil 1.14. Farklı malzemeler için kesme hızının, kesme kuvvetine etkisi [ilerleme 0,25 mm/dev, talaş derinliği 1,25 mm için] (Özdemir, 2006)

Talaş açısı ve kesme kenarı açısı büyüdükçe kesme kuvveti azalmaktadır. Belirli kesme koşullarında kesme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi sabittir. Şekil 1.15.' te kesme kuvvetinin talaş açısına göre değişimi görülmektedir ( Özdemir, 2006).



Şekil 1.15. Kesme kuvvetinin talaş açısına göre değişimi( Özdemir, 2006)

Talaş kesitinin, kesme kuvveti üzerindeki etkisi büyüktür. Şekil 1.16.' da kesme kuvvetinin kesme kenar açısına ve talaş kesitine göre değişimi görülmektedir.



Şekil 1.16. Kesme kuvvetinin, kesme kenar açısına ve talaş kesitine göre değişimi

Talaş kaldırma sırasında, kesme kuvvetleri gerek parça gerekse takım üzerinde bir takım şekil değiştirmelere neden olarak takım-parça konumunu değiştirir ve işleme kalitesini etkiler. Talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenmek için gerekli talaş kaldırma kuvveti  $F_R$ ;

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (1.2)$$

formülünden bulunabilir.

### 1.2.5. Kesme Gücü ve Tezgâh Gücü

Talaş kaldırma işlemlerinde sadece kesme kuvveti için gereken güç önemlidir. Bu güç, kesme kuvveti,  $F_c$  (Newton) olarak ve kesme hızı,  $v$  (m/dak) alınırsa;

$$P_s = F_c \cdot v \quad (1.3)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Kesme ve ilerleme gücü motordan parçaya tezgâhın kinematik sistemi ile iletilir. Kinematik sistemin verimi  $\eta$  ile gösterilirse, tezgâhın motor gücü;

$$P_m = P_c / \eta \quad (1.4)$$

olarak hesaplanır. Burada ilerleme için gereken güç, kesme gücüne göre çok küçük(%5 civarında) olduğundan ihmal edilir.

### 1.2.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırmada, tezgâha girişlerin ve tezgâha dâhil diğer önemli işlemlerle birlikte çıkışların da dikkate alınması gerekir. Bunlar arasında kesici takım malzemeleri, işlenecek iş parçası, tezgâhın kinematiği, sabit olması ve ekonomikliği sayılabilir. Bunlara ilaveten, gerekli hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü son amacı belirlediğinden en önemli çıkış parametresidir. İmalatta işlenmiş yüzey hassasiyetinin elde edilmesi her zaman önemli çıkış parametrelerinden biri olmaktadır. Yüzey hassasiyeti pek çok parametreyi içine alan bir terim olup, bunlar özetle yüzey bitimi ve çatlaklardan arınma, kimyasal değişme, yanma, dönüşme ve aşırı temperleme şeklinde termal hasar ve kalıcı çekme gerilmesi olarak sayılabilir. Son yüzeylerin çok önemli olduğu yerlerde özellikle makine imalatında bitirme işlemi tamlığının her zaman dikkatle tasarlanması gerekir (Şahin, 2001).

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler olarak;

- Takım tezgâhının rijitlik durumu,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
- Takım tutucu rijitlik durumu,
- Takım aşınmasının etkileri,
- Takım geometrisi,
- Kesme parametreleri,
- Malzemenin mekanik özellikleri,
- Soğutma sıvısının etkileri sayılabilir (Balcı, 2008).

Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen yonteme, kesici cinsine ve işleme şartlarında bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve kesici-iş parçası

arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir.

İşlenmiş yüzeylerde, kullanılan iş malzemesi ve işleme metodu ne olursa olsun (tornalama, frezeleme, taşlama vb.) yüzey pürüzlülüğünün meydana gelmesi kaçınılmazdır.

Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) gereksinimi yaklaşık olarak 1,6 µm'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayımla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir (Kıran, 2011).

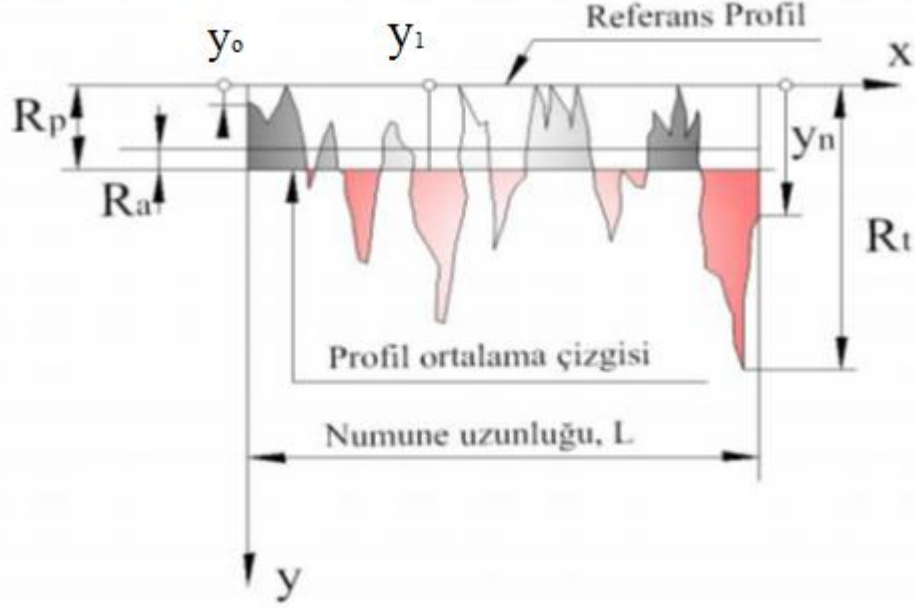
ANSI ve ISO standardına göre yüzey kalitesi, kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere 4 elemandan oluşmaktadır. Yüzey yapısı ile ilgili olan bu dört bileşenin tanımları şöyle özetlenebilir:

**Pürüzlülük:** İmalat işlemlerinden kaynaklanan genellikle daha ince düzensizliklerden oluşur, ilerleme izleri dâhil diğer belirsizlikler örnekleme uzunluğunu sınırlar.

**Dalgalılık:** Pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük olan geniş aralıklı düzensizlikleri kapsar ve dalgalık, tezgâh, iş parçası defleksiyonu, otlama, titreşim, ısıl davranış veya kesici takım aşınmasından ileri gelebilir.

**Hatalar:** Bir yerde olan veya yüzey üzerinde geniş aralıklı olarak oluşan amaçsız düzensizliklerdir. Yüzey üzerinde bulunan bu kusurlar; çatlaklar, delikler, artıklar, menteşeler ve çizgiler şeklinde olup bütün bunları kapsar.





Şekil 1. 18. Yüzey pürüzlülüğün değerlendirilmesi (Kıran, 2011)

Seçilmiş uzunluk sınırları içerisinde, ortalama çizgisi ve profilin en yüksek noktası arasındaki mesafe maksimum profil tepe yüksekliği ( $R_p$ ), profil çukurları çizgisi ve profil tepeleri arasındaki mesafe profilin maksimum tepe yüksekliği ( $R_t$ ), beş en yüksek profil tepe yükseklikleri ve beş en derin profil derinliklerinin mutlak değerinin ortalamasına düzensizliklerin 10 nokta yüksekliği ( $R_z$ ) ve seçilmiş örnek uzunluktaki profil sapsmalarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması ( $R_a$ ) olarak tanımlanır (Kıran, 2011).

Kesici takım uç yarıçapı, kesici takımın uç mukavemeti ile birlikte üretilen ürünün yüzey kalitesini etkilemektedir. Kesici takım uç yarıçapı, ilerleme değerinin birkaç misli seçilmesi üretilen ürün kalitesine olumlu tesir etmektedir. Kesici takım uç yarıçapı büyüdükçe yüzey kalitesi ve kenar mukavemeti de buna bağlı olarak artmaktadır. Ancak unutulmaması gereken nokta, yarıçapı fazla büyük seçmek kesme direncini yükseltmekte ve tırlamaya sebep olabilmektedir. Uç yarıçapının büyümesiyle, serbest yüzeydeki ve talaş yüzeyindeki aşınma değerlerinde azalma görülmektedir. Bu durum prosesi olumlu etkimekle beraber, kesici takım uç yarıçapının büyütülmesi oluşan talaşın istenilen boyutsal ve geometrik özelliklerden uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Bu durum dikkate alınarak kesici takım uç yarıçapı belirlenmektedir. Kesici takım uç yarıçapı, ilerleme ve yüzey kalitesi arasındaki ilişki matematiksel olarak sunulmuştur.

$$R_a = \frac{0,0321f^2}{r_\varepsilon} \quad (1.5)$$

Burada,

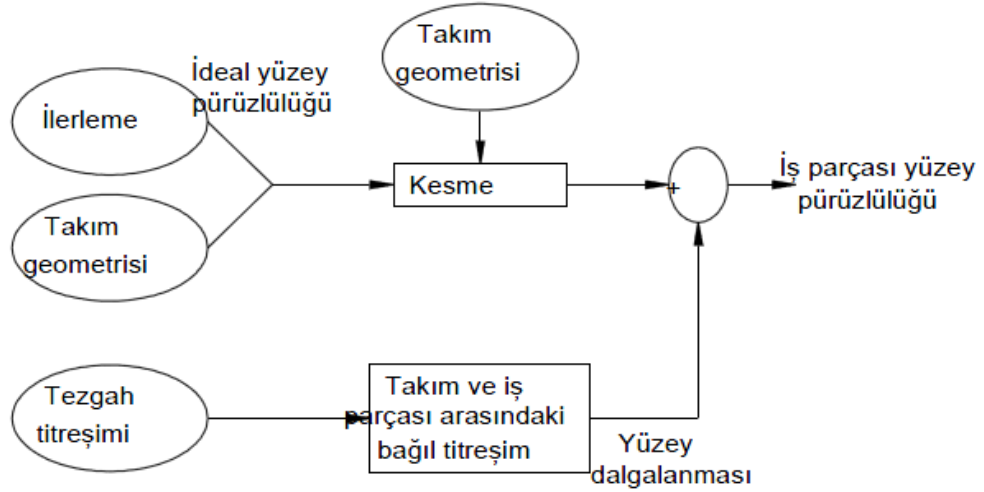
$R_a$  = yüzey pürüzlülüğünü,

$f$  = ilerleme oranını ve

$r_\varepsilon$  = uç yarıçapını, ifade etmektedir (Kıran, 2011).

Talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme aşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır (Kwon, 2000).

Şekil 1.19'de yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır. İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi ve takım-is parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.



Şekil 1.19. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler (Cheung ve Lee 2000)

### 1.2.7. Takım Aşınması

Aşınma, katı cisimlerin sürtünen kuru yüzeyleri arasında malzeme kayıplarının meydana gelmesidir. ASTM G40-93 standartlarına göre aşınma; “kullanılan malzemelerin, başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır. Başka bir tabirle, izafi hareket yapan elemanlar arasındaki sürtünme sonucu meydana gelen malzeme erozyonu veya kayıplarıdır. Aşınma; kuvvet, kayma hızı, sıcaklık, yağlama durumu, malzeme cinsi ve sertliğinden etkilenen karmaşık bir olaydır. Bu etkilerin bazılarının baskın olması farklı aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarmaktadır. Bazı durumlarda, birkaç aşınma mekanizması birlikte etkili olmaktadır. Dolayısıyla bu durum, aşınma olayını ve simülasyonunu karmaşık bir hale getirmektedir (Taylan, 2009).

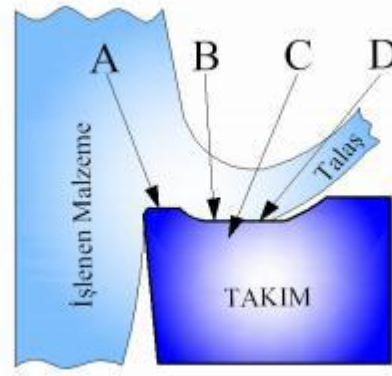
Bütün talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici takımlar belirli bir süre sonra etkin olarak kesme kabiliyetlerini kaybederler. Kesici takım geometrisindeki tedrici şekil değişikliği (aşınma), anlık yüksek kuvvetlerden dolayı kesici ucun kırılması ve yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takım malzemesinin dayanımının azalarak plastik deformasyona uğraması kesici takımın kesme kabiliyetini kaybetmesinin nedenlerindedir (Günay, 2009).

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

- Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- Sıcaklık artışı,
- Aşırı titreşim,
- Yüksek gürültü,
- İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- İşlenen yüzeyin bozulması (Günay, 2009).

### 1.2.7.1. Aşınma Mekanizmaları

Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır. Temel yük faktörleri ve bu faktörlerin etki ettiği bölgeler şekil 1.20’de gösterilmiştir (Kıran, 2011).

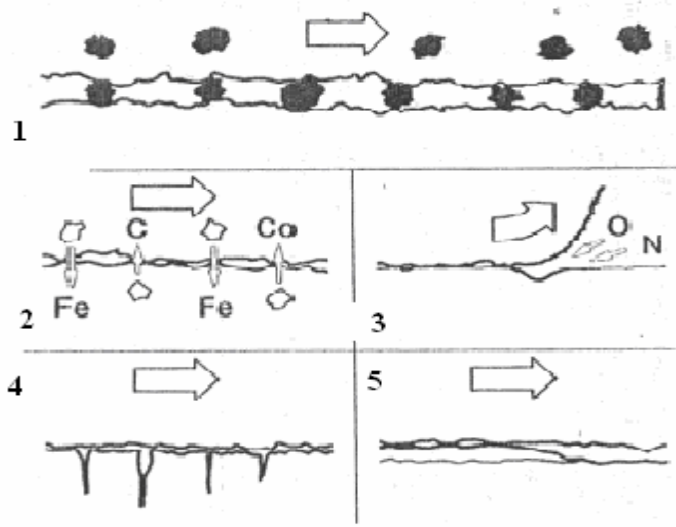


Şekil 1.20. Tipik aşınma bölgeleri (A- Mekanik, B- Isıl, C- Kimyasal, D- Abrasif yükleri temsil etmektedir.)

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder. Bunlar;

1. Abrasiv (aşındırıcılarla) aşınma
2. Difüzyon (atomik yer değiştirme ile) aşınma

3. Oksidasyon aşınma
4. Yorulma ile aşınma
5. Adheziv (yapışma ile) aşınma şeklinde özetlenebilir (Şekil 1.21).



Şekil 1.21. Takım aşınma türleri [1-abraziv aşınma, 2- difüzyon aşınma, 3- oksidasyon aşınma, 4- yorulma ile aşınma, 5- adhesiv aşınma]

#### 1.2.7.1.1. Abraziv Aşınma

Abraziv aşınma çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert taneciklerinin sebep olduğu aşınma şeklidir. Sert tanecikler yumuşak malzemenin yüzeyinden parçaları koparması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Kopan parçacıklar malzemenin ara yüzünden uzaklaştırıldığı, yapışmanın olmadığı ve böylelikle yüzeyde malzeme kaybının fazla olduğu bir mekanizmadır (Taylan, 2009).

#### 1.2.7.1.2. Difüzyon Aşınma

Difüzyon aşınmasında talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasının oluşumunu belirleyecektir. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalurjik ilişki aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin eder. Bazı takım malzemeleri, bazı iş parçası malzemelerine karşı yüksek birleşme

eğilimine sahipken bazıları iş parçası malzemelerinin çoğuna karşı asaldır (birleşme eğilimi yoktur)( Taylan, 2009).

#### **1.2.7.1.3.Oksidasyon Aşınma**

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir. Tungsten ve kobaltta talaş tarafından daha kolay kazanıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oluşur. Bununla beraber “alüminyum oksit” gibi bazı oksitler daha güçlü ve daha serttir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha meyillidir. Özellikle kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde (talaş derinliğinde) hava talaş kaldırma sürecine katılma imkânı elde eder. Oksidasyon bu bölgede, kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olur. Ancak bu tür aşınma günümüzün işleme şartlarında yaygın olmayan bir durumdur (Taylan, 2009).

#### **1.2.7.1.4. Yorulma ile Aşınma**

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin yüklenmesi ve kaldırılması kesici kenarda çatlaklara ve kırılmalara sebep olur. Kesintili kesme etkisi sürekli ısı oluşumu soğumaya ve aynı zamanda kesici kenara çarpmalarla darbelere sebep olur. Bazı takım malzemeleri yorulma mekanizmasına diğerlerinden daha duyarlıdır. Aynı zamanda, kesme kuvvetleri, kesici kenarın mekanik dayanımı çok yüksek olduğunda sırf mekanik yorulma ortaya çıkabilir. Bu durum sert ve işlenmesi zor (dayanım sınırı yüksek) malzemelerin oldukça yüksek ilerleme değerleriyle işlenmesinden veya takım malzemesinin yeterince sert olmamasından kaynaklanabilir. Bununla beraber bazı durumlarda plastik deformasyonun hâkimiyeti de söz konusudur (Taylan, 2009).

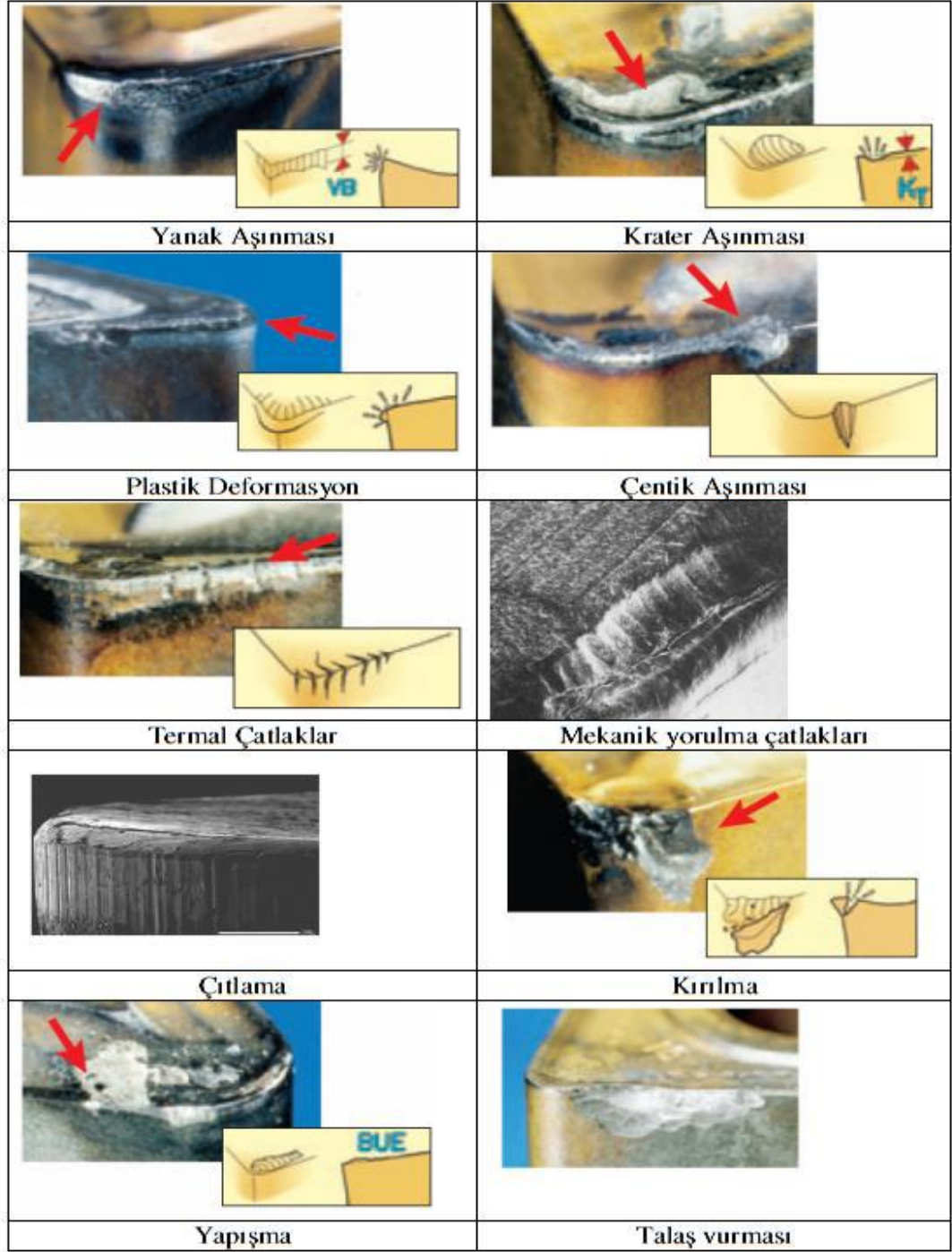
#### **1.2.7.1.5. Adhesiv Aşınma**

Bu aşınma aynı zamanda “yıpranma aşınması” diye de bilinir. Takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun talaş (akma talaş) ve kısa (kopuk) talaş veren iş parçası malzemelerinin hepsinde (çelik – alüminyum ve

dökme demir gibi) söz konusu olabilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında kenarda yığılmış talaş oluşmasına sebep olur. Dinamik bir yapısı vardır. Talaştan birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası haline alır. Kenarda yığılmış talaş tabakası yırtılıp uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir. Bazı kesici malzemeleri ve bazı iş parçası malzemeleri örneğin sünek (özlü-çekilebilir) çelikler gibi bu basınçla kaynamaya diğerlerinden daha fazla eğilim gösterirler. Daha yüksek işleme sıcaklıklarına ulaşıldığında bu durum için şartlar önemli ölçüde ortadan kalkar.

#### **1.2.7.2. Takım Aşınma Tipleri**

Belirtilen aşınma mekanizmaları nedeniyle meydana gelen aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme tipi, malzeme için doğru işleme şartları ile takım sınıfının belirlenmesinde ve dolayısıyla kesme işleminin optimizasyonu için önemlidir. Şekil 1.22'de kesici takımlarda görülebilen aşınma tipleri verilmiştir (Günay, 2009).



Şekil 1. 22. Kesici takımdaki aşınma tipleri (Kıran, 2011)

**Yan Yüzey (Yanak) Aşınması:** Yanal yüzey aşınması, boşluk yüzeyinde daha çok abrasif aşınma mekanizması neticesinde meydana gelir. Muhtemel sebebi yüksek kesme hızı ya da uygun olmayan aşınma dayanımıdır.

**Krater Aşınması:** Krater aşınması, talaş yüzeyinde daha çok abrasif ve difüzyon aşınma mekanizması neticesinde meydana gelir. Sertlik ve kızıl sertlik krater aşınmasına eğilimi azaltır. Muhtemel sebebi talaş yüzeyindeki yüksek sıcaklığın sebep olduğu difüzyondur.

**Plastik Deformasyon:** Plastik deformasyon kesici takım kenarına etkiyen yüksek sıcaklık, basınç ve yorulma aşınma mekanizması neticesinde oluşur. Yüksek hız, ilerleme ve sert malzemelerin işlenmesinde yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Muhtemel sebebi yüksek basınçla birleşik yüksek kesme sıcaklığıdır.

**Çentik Aşınması:** Çentik aşınması, kesme kenarında daha çok yapışma aşınması ve oksidasyon aşınma mekanizması neticesinde meydana gelir. Muhtemel sebebi oksidasyon ve birbirine ilgili malzemelerin reaksiyonudur.

**Termal (ısı) Çatlaklar:** Termal çatlaklar, yüksek sıcaklık değişimleri neticesinde ve kesici takım kenarına dik şekilde ve ısıl yorulma aşınma mekanizmasıyla meydana gelir. Muhtemel sebepleri kesintili işleme veya kesintili soğutma sıvısıdır.

**Mekanik Yorulma Çatlakları:** Mekanik çatlaklar, mekanik yorulma aşınma mekanizmasıyla ve kesme kuvveti şokları büyük olduğunda kesme kenarına paralel olarak meydana gelir. Muhtemel sebepleri yüksek yük değişimleri veya ağır başlangıç şokları ya da titreşimdir. Kesici takımın dayanım ve tokluğunun artırılması gerekir.

**Çıtlama (Çentiklenme):** Çentikler süreksiz yükleme sonucu ve yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur. Muhtemel sebepleri kırılma kaliteli kesici takım kullanılması, zayıf kesici takım geometrisi ya da kösede oluşan sıvanmalardır.

**Kırılma:** Kırılma, plastik deformasyondan sonra meydana gelir. Sert ve kırılma malzemelerde aşırı yükleme neticesinde ani kırılma görülebilir.

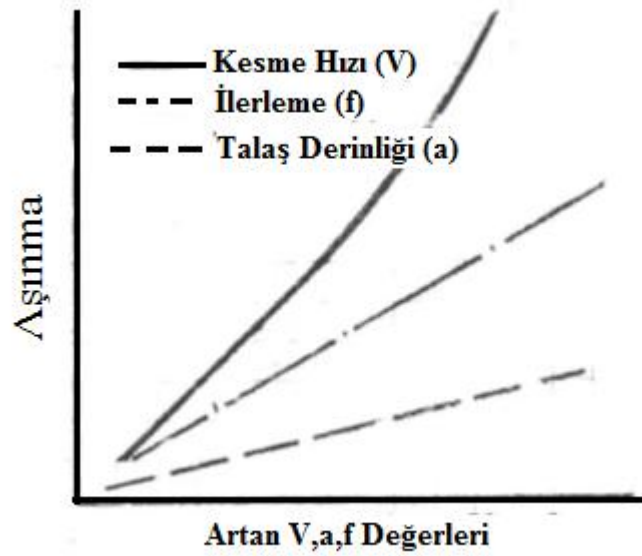
**Yığılma:** Yığılma, Adhesiv aşınma mekanizması neticesinde meydana gelir. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin etkileşimi yüksek olduğunda açığa çıkar.

### 1.2.7.3. Takım Aşınmasının Önlenmesi

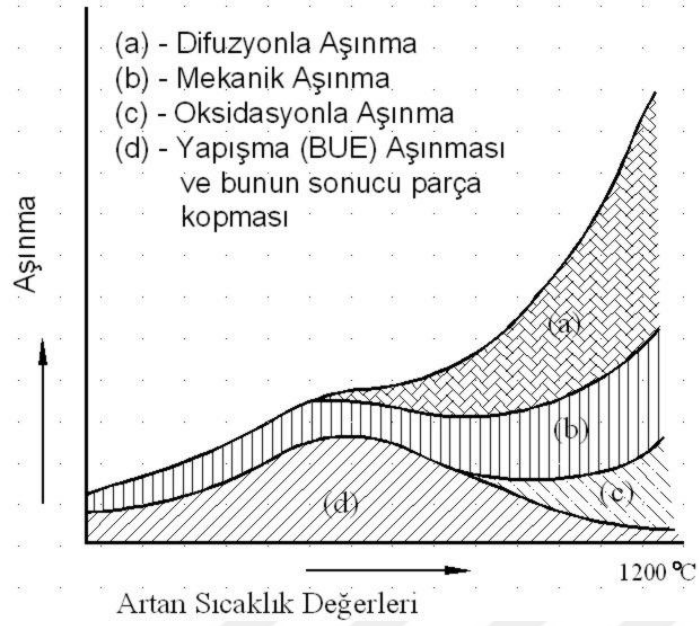
Takım ömrünü olumsuz etkileyecek aşırı aşınmanın önlenmesi amacıyla bazı önlemlerin alınması gerekmektedir. Aşırı uç aşınmasını azaltmak için;

- Kesici takımın veya ucun doğru seçimi (özellikle sementit karbür takma uçlarda kesici takım malzemesinin ve kalitesinin doğru seçilmesi),
- Takım geometrisinin doğru seçimi (talaş açısı, boşluk açısı, kesme kenarı ayar açısı, uç yarıçapı, kesme kenarı vb.),
- Kesme parametrelerinin doğru seçimi (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, soğutma sıvısı kullanımı vb.)

önemlidir. Aşınmanın, kesme parametrelerine göre artan değerleri şekil 1.23'teki eğrilerden görülebilir. Aşınmanın diğer bir önemli faktörü olan ısıya bağlı olarak farklı aşınma mekanizmalarının oluşma eğilimi ise şekil 1.24'de gösterilmiştir.



Şekil 1.23. Kesme parametrelerine (V, a, f) bağlı olarak aşınmadaki artma eğilimi.



Şekil 1.24. Isıya bağlı artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişik aşınma mekanizmalarının oluşma eğilimleri.

### 1.3. Kesme Sıvıları

Metal kesme sıvıları üzerine ilk çalışma 1882 yılında Michigan Üniversitesinin makine mühendisliği bölümü laboratuvarlarında Taylor tarafında gerçekleştirilmiştir. Metal takım üzerine su püskürterek yapılan çalışmalar sonucunda suyun iyi bir soğutucu olduğu fakat aşırı korozyona sebep olması sebebiyle, direkt kesme sıvısı olarak kullanımının uygun olmayacağı anlaşılmıştır. İlk kesme sıvısı olarak suyun kullanıldığı deneysel çalışmalarda, kesme hızlarında %30-40'lık artış sağlandığı görülmüştür. Suyun termal kapasitesinin çok iyi olması fakat olumsuz korozif etkisi nedeniyle yağlama fonksiyonu çok iyi olan mineral yağlara yönelim olmuş, mineral yağların yağlama özelliği ile suyun soğutma özelliği birleştirilerek daha verimli sonuçlar elde edilmiştir. Mineral yağları sentetik yağlar izlemiş, sentetik yağlarla çok daha verimli sonuçlara ulaşılmıştır. Son on yıllık periyotta da doğaya faydalı, geri dönüşümü yapılabilen, işçi sağlığı açısından duyarlı olan bitkisel esaslı kesme sıvıları araştırılmaktadır. Kesme sıvılarının seçimi daha uzun takım ömrü, daha yüksek yüzey kalitesi ve daha iyi ölçüsel doğruluk gibi çeşitli faydalar sağlamaktadır.

Genel olarak kesme sıvılarının temel görevleri soğutma, yağlama ve kesme esnasında oluşan talaşı çalışma ortamından uzaklaştırmaktır. Kesme sıvısının yağlayıcılık özelliği iyi bir yüzey kalitesini sağlarken, soğutma özelliği ise iş parçasının ısıl genişmesini önleyeceği için boyutsal hassasiyeti sağlar (Sales, 2001). Talaşlı imalatta, soğutucular ve yağlayıcılar işlenebilirliği geliştirir, takım aşınmasını azaltarak ve takım ömrünü arttırarak verimliliği artırır (Nouari, 2003). Kesme sıvıları; yüzey kalitesini arttırarak, kesme kuvveti ve titreşimleri azaltarak da talaşlı imalatın verimliliğini arttırmaktadır (Kuram, 2009).

Bir kesme sıvısının, kaliteli bir kesme işleminin yerine getirilebilmesi için ortaya koyması gereken şartlar şunlardır;

- Tatminkâr bir kesme hızını sağlaması
- Yüzeyi düzgün bir mamul üretimine imkân vermesi
- Ekonomik kesici takım ömrünün temini

Bu şartları yerine getirebilmesi büyük ölçüde kesme operasyonunun doğasına bağlıdır.

Hız, besleme, uygulanan kesme derinliği, kullanılan kesici takımın türü ve en tabisi işlenen metalin metalürjik özelliklerine bağlıdır. Bu konunun bütün bir tartışması, sürtünme etkisi, basınç, sıcaklık değişimi, ısı akışı, iç gerilmeler v.s. gibi talaş kaldırma fiziğinin esaslarıyla ilgilidir. Ayrıca kesme sıvısı iş parçası ve tezgâh üzerinde meydana gelebilecek pası önlemelidir. Duman yapmamalı ve kötü bir kokusu olmamalı, çabuk bozulmamalı, zararlı herhangi bir madde içermemelidir.

### **1.3.1.Kesme Sıvılarının Özellikleri**

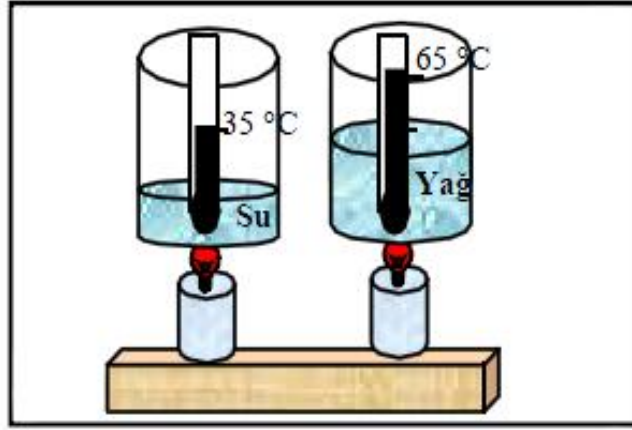
Talaş kaldırma sırasında kullanılan sıvıların başlıca amacı, soğutma ve yağlamadır. Soğutma ile kesme esnasında oluşan ısıyı çevreye iletterek ısı miktarını azaltmak; yağlama ile de takımla talaş ve takımla işlenen yüzey arasında nüfuz ederek sürtünmeyi azaltmak ve takım aşınmasını önlemektir. Talaşlı imalatta, soğutucular ve yağlayıcılar işlenebilirliği geliştirir, takım aşınmasını azaltarak ve takım ömrünü arttırarak verimliliği artırır. Kesme sıvıları; yüzey kalitesini arttırarak, kesme kuvveti

ve titreşimleri azaltarak da talaşlı imalatın verimliliğini artırmaktadır. Kesme sıvılarından istenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Soğutma özelliğine sahip olmaları
- Yağlama özelliğine sahip olmaları
- Özelliklerini uzun süre koruyabilmeleri
- Paslanmaya yol açmamaları
- İnsan sağlığına zararsız olmaları
- Makineye zarar vermemesi
- İyi ısı transfer yeteneğine sahip olması
- Uçucu olmaması
- Köpürmemesi
- Ateşleme tehlikesi taşımamaları

Tüm bu özellikleri taşıyan bir kesme sıvısı olmamakla birlikte, kesme sıvıları, soğutucu ve yağlayıcı olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Soğutucular iyi bir özgül ısıya (ısı iletme kabiliyetine), yağlayıcılar da iyi bir ısılatma kabiliyetine sahiptir. Soğutucuların arasında en iyisi su, yağlayıcıların arasında da en iyileri yağlardır. Suyun özgül ısısı 1,0 olarak alınırsa, normal yağların özgül ısısı yaklaşık olarak 0,45'tir: buna karşın suyun ısılatma kabiliyeti çok zayıftır(Akkurt,1985).

Aynı hacimde su ve yağ aynı miktarda ısıtıldığında suyun yağa göre daha az ısındığı görülmektedir (Şekil 1.20). Isıtılan yağ ve su soğumaya bırakıldığında, suyun yağa göre daha kısa zamanda soğuduğu bilinmektedir. Bu nedenlerle su karışımı kesme sıvıları saf yağlara göre daha iyi soğutucu özelliktedirler.



Şekil 1.25. Eşit Ağırlıkta Yağ ve Su (Oğul,2005)

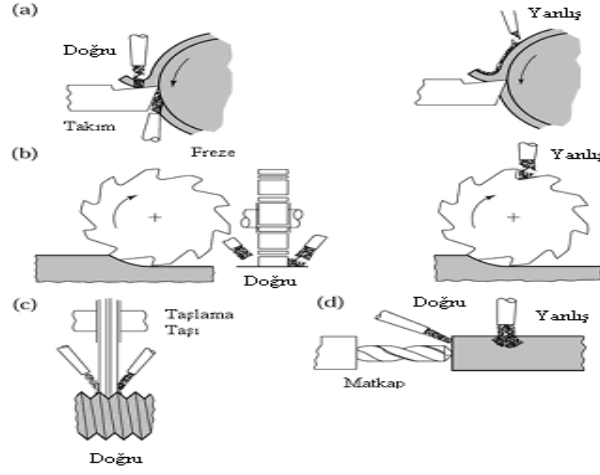
### 1.3.2. Kesme Sıvılarının Uygulama Yöntemleri

Kesme sıvılarının takım/iş parçası ara yüzeyine doğru bir biçimde uygulanması, sıvının etkin olarak kullanılmasının temelidir. Uygulama yöntemi yağlama, soğutma ve talaş kaldırma işleminde çıkan talaşın uzaklaştırılmasının verimliliğini etkiler.

Kesme sıvısının debisi yüksek (kesme gücünün kW başına yaklaşık 5-6 lt/dak) ve basıncı, talaşı uzaklaştırmak ve kesici takım ile iş parçası arasına nüfuz edebilmek için yeterli olmalıdır. İyi sonuçlar elde edebilmek için sıvı jeti, talaşı değil, kesici takımı ve iş parçasını soğutmaya çalışmalıdır (Akkurt, 2000).

#### 1.3.2.1. Akıtma (Flooding)

En yaygın kullanılan yöntemdir. Frezeleme, delik delme, tornalama ve taşlama operasyonlarında kullanılmaktadır. Bu yöntem işlenen alanın kapalı bir sistemin parçası olmasını gerektirmektedir. Metal kesme operasyonlarında akıtma sistemi aynı zamanda soğutma ve kesici takım ile iş parçası arasındaki kritik alanlara kesme sıvısının iyi ulaşmasını sağlar. Bu sistem yüksek hacimde kesme sıvısı kullanmayı gerektirmektedir. Akış hızı, tornalama için 10 litre/dakikadan yüzey frezeleme için 200 litre/dakikaya değişebilmektedir (Nordic Council of Ministers, 2002). Akıtma yönteminde kesme sıvısı kesici takım/iş parçası ara yüzeyine boru, hortum veya nozzle sistemi aracılığıyla gönderilmektedir.



Şekil 1.26. Farklı işleme operasyonlarında doğru kesme sıvısı uygulama metotları (a) tornalama (b) frezeleme (c) diş taşlama (d) delik delme

### 1.3.2.2. Basınçlı Jet Soğutma

Yüksek basınçlı jet soğutma/yağlama sistemi ile işleme, geleneksel işleme yöntemine göre kesme bölgesinde daha iyi bir termal ve mekanik kesme ortamı sağlaması sebebi ile yenilikçi bir yöntemdir. Bu yenilikçi alternatif metot; talaşın kırılmasında ve kesme bölgesinin soğutulmasında büyük ölçüde iyileşmeye yol açar. Yüksek basınçlı soğutma ile işleme yöntemi metal kesme sektöründe malzeme kaldırma kabiliyeti ve verimliliği yönünde önemli bir artış göstermektedir. YBJS desteği ile tornalama işlemi; sıvı basıncına ve debisine bağlı olarak kesme bölgesindeki sıcaklığın düşürülmesi ve talaş kontrolü için etkili bir yöntemdir. Kesme sıvıları çevre ve üretim ekonomisi üzerine doğrudan bir etkiye sahiptir. Geleneksel soğutma yönteminden vazgeçerek kuru veya YBJS teknolojisi kullanılarak kesme sıvıları sarfiyatı ile tüketim maliyet düşürülebilir. Bu yöntem işleme sürecinin verimliliğinin yanı sıra çevre ile ilgili endişeleri ortadan kaldırır.

Yakın bir zamana kadar, birçok atölye soğutucu sıvıyı geleneksel yoldan kullanıyordu; bir boru aracılığı ile işlem alanına yönlendiren sıvı ile soğutulmaya çalışılıyordu. Ancak, Yüksek basınçlı soğutma sıvısı (HPC)'nin tatbik edilme yöntemindeki değişiklik yeni işleme yaklaşımlarının meydana getirdiği avantajları ortaya çıkarmaktadır. Soğutucu Sıvı Jetleri İşleme alanına soğutucuyu akıtmak ya da bu bölgeyi soğutucuya boğmak artık rekabetçi olmak ve sipariş almak için yeterli

olmamaktadır. Şayet soğutucu etkin bir biçimde tatbik edilecekse ve modern makine ile işlemede fark yaratacaksa doğru bir şekilde basınçlı jetler halinde yeterli hacimde ve doğru yönde aktarılmalıdır. HPC uygulaması ısının daha iyi dağıtılması, iyileştirilmiş talaş oluşumu ve boşaltımı, bıçak ağzında işlenen parçanın daha az sıvanması ve daha iyi yüzey bütünlüğü gibi birçok alanda belirgin farklılık yarmaktadır. Sonuç olarak atölyenin rekabet etme gücünü artırıcı unsurlardan üretkenlik, takım ömrü, talaş kontrolü ve parça kalitesi tümüyle yükseltilmektedir. Paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik gibi sıradan malzemelerin işlenmesinde HPC performansı artırılabilir ancak titanyum alaşımları ve ısı dirençli süper alaşımlar (HRSA) gibi daha zahmetli malzemelerin işlenmesi sırasında HPC uygulaması fark edilebilir etkisini göstermektedir. HPC sisteminin ilk örneği Sandvik Coromant tarafından 1980'ler ve 1990'larda geliştirildi. Araştırmalar neticesinde, isabetli bir biçimde yönlendirilen 100 ila 1000 bar seviyesinde basınçlı soğutucu sıvı jetleri daha iyi işleme ve talaş kontrolü için işleme tezgâhlarındaki kesici takımların bir parçası olmuştur. Soğutucu jeti talaş ve takım arasında bir sıvı geçişi oluyordu. Temas uzunluğu işleme bölgesindeki sıcaklık azaltılarak kısaltılabiliyordu. Bir başka ilginç sonuç ise talaş oluşumunun etkilenmesi, talaş kontrolünün iyileştirilip bazı durumlarda talaş kırılmasına bile neden olabilmektedir. HPC ideal çözüm oldu. Soğutucu basıncının dağılımı ve soğutucu nozül boyutu hakkında çok şey öğrenildi. Örneğin, jet verisini değiştirerek değişken talaş oluşturucu yaratılmış ve talaş teller arzu edilen yöne yönlendirilmiş ve hatta talaş uzunluklarını belirlemek mümkün olmuştur. Bugün birçok CNC tezgâhi standart olarak 70 ila 100 bar arasında basınçla soğutucu sunabilir. Bu, sıradan işlemler için kullanılan işleme tezgâhlarında, tornalama merkezlerinde, dikey tornalarda ve çok işlevli makinelerde performansı artırmak için yeterlidir. HPC işlemeyi daha da iyileştirmek için modüler takımlar proses optimizasyonu için gerekli altyapıyı oluşturur. Böylelikle makine duruşlarını minimize eden hızlı takım değişimi garantilenir ve makineden kesim noktasına soğutucu sıvı bağlantıları ile kaynak güvence altına alınır. Kesme noktasına yakın bir konumda monte edilmiş nozullar, hassas olarak planlanmış yüksek hızlı sıvı jeti talaşı insert yüzünden uzaklaştırır, talaşı soğutarak kolay boşaltım için daha küçük parçalara kırılmalarını sağlar. Tornalama Standart nozul boyutu 1 mm olup, özel optimizasyon için 0,6 ila 1,6 mm boyut aralığında nozuller de mevcuttur. Aralarında çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, titanyum ve HRSA'nın da bulunduğu malzemelerin yüzey taşlamasında 10 bar gibi düşük basınç seviyesinde bile fayda

sağlandığına şahit olunmuştur. Daha iyi talaş kontrolünün sağladığı daha yüksek güvelikten ayrı olarak HPC daha hızlı kesici potansiyelini beraberinde getirebilir. Takım ömrü de %50 düzeyinde artabilir. Kesme bölgesindeki ısı ve ilgili takım aşınması birçok durumda kesme hızından etkilenir. Ancak, titanyumun işlendiği durumlarda kesme hızının işlenebilirlik çerçevesinin dışında bir seviyeye artırılması takım ömrünü dramatik olarak azaltır. Eğer besleme aynı oranda artırılırsa takım ömründe daha az bir kısalma olur. Bu durum beslemeyi iyileştirilmiş metal kesme hızı için takım ömründe düşük etkiye sahip cazip bir yöntem yapar. Ancak, yüksek besleme özellikle zahmet isteyen malzemelerin işlenmesi sırasında karşılaşılan yüksek kesim kuvvetinin talaş kontrolünü olumsuz etkilediği için her zaman için bir seçenek değildir. Bu, HPC'nin soğutma etkisinin normal şartlarda görülen sıcaklık artışları ve takım ömründe kayıplara neden olmadan daha yüksek hızda kesme aracılığıyla performansı artırdığı noktadır. Ayrıca, HPC sayesinde daha yüksek beslemeye rağmen kesme kuvvetleri de artmaz. ISO S sınıfı malzemeler için aynı kesme uzunluğu korunurken kesme hızında %20 düzeyinde artış sağlanır. Soğutma sıvısı ısının kontrol altına alınmasında kendisine düşen görevi yapar ve dolayısıyla HPC'nin daha güvenilir yüzey çözümü sunduğu kanıtlanmıştır. Takım nozulları insertin işlenen yüzeye temas ettiği noktaya doğrudan hedeflenmiştir. Soğutucu sıvıyı 70 bar civarında bir basınçta sağlamak üzere kanallar takım tezgâhı veya harici pompaya bağlıdır.

Taşlama ve delik delmede, oldukça yüksek basınç (0.35-10 MPa) altında yağlama maddesi kullanma avantajlar sağlamaktadır. Matkaptaki iç delikler basınçlı soğutucular ile birlikte kullanılmaktadır. Soğutucu kesme bölgesine bu deliklerden gönderilmektedir. Bu metot matkap ömrü üzerine ve delik delmenin hassasiyeti üzerine olumlu etki yapmaktadır. Taşlamada; jet, taşlama taşının dönmesinden faydalanmak için taşın hareketine paralel yönde olmalıdır (Nordic Council of Ministers, 2002).

### **1.3.2.3. Misting**

Kesme sıvısını ulaşılmaz bölgelere sağlama sistemidir. Özellikle taşlama operasyonlarında 70 kPa-600 kPa (10 psi-80 psi) hava basıncında etkilidir. Yüksek

hızlı frezeleme gibi özel işlemlerde kullanılmaktadır. Kesme sıvısı kullanımı minimize edilmiştir, fakat soğutucu dolaşımı yoktur. Genellikle su temeline dayanan sıvılar kullanılmaktadır.

#### **1.3.2.4. Manüel Metotlar**

Manüel yöntemler talaş kaldırılması zor malzemeleri ve düşük hızlı işlemeyi içeren veya soğutucu sistemi olmayan tezgâhlarda kullanılmaktadır. En kolay ve en az maliyetli yöntemdir. Ancak kullanım alanı sınırlıdır.

#### **1.4. Titanyum ve Alaşımları**

Titanyum ve alaşımları, başta uçak ve uzay endüstrisinde olmak üzere, tıpta, kimyasal ünitelerde, denizcilikte ve yiyecek endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. Titanyum esaslı ürünler, çıkarılma ve ayrıştırılma için karmaşık işlemlere ihtiyaç duyma, maden olarak yoğun bulunmama ve buna bağlı olarak da çıkarma ve ayrıştırma için gerekli olan tesislerin yatırımlarının yeterli ölçüde karşılayamama ve son olarak da üretim maliyetinin fazlalığı gibi sebeplerden kaynaklanan yüksek maliyetleri ile dikkat çekerler. Ancak yukarıda sayılan sebeplerden dolayı üretim maliyetleri yüksek olan titanyum, üstün özellikleri sayesinde cazibesini korur. Titanyumun üstün özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Ensarioğlu ve Çakır 2005).

- Mükemmel düşük sıcaklık dayanımı
- Yüksek spesifik dayanımı
- Düşük özgül ağırlık
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Düşük ısıl iletkenlik
- Düşük sıcaklık yükselişi
- Isıl büzölmelere yüksek direnç
- Mükemmel korozyon direnci

- Son derece düşük mıknatıslık
- Aşırı iletkenlik (Ti-Nb esaslı alaşımlarda görülür.),
- Hidrojen emme,
- Yüksek kimyasal reaktivite
- İyi görüntü.

Titanyum alaşımları, kimyasal reaktifliklerinin yüksek olması nedeniyle kesici takıma kaynak olma eğilimlerinin fazla olması, ısı iletkenliklerinin düşük olması nedeniyle takım-talaş ara yüzeyindeki temas alanında sıcaklığın yükselmesine sebep olmaları ve mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda korumaları nedeniyle işlenebilirlikleri zor olan malzemeler grubuna girmektedir.

Titanyum; mükemmel korozyon direnci, iyi yüksek sıcaklık özellikleri ve yüksek dayanım-ağırlık oranı ile nispeten hafif bir metaldir. Titanyumun yoğunluğu 4,43 g/cm<sup>3</sup>'dir. Titanyumun yoğunluk değeri yaklaşık olarak demirin yoğunluğunun yarısıdır. Isıl iletkenliği 7.1 W/m °K'dır ve bu değer demirinkinin yaklaşık beste birine eşittir. Ergime sıcaklığı ise demirinkinden yaklaşık 130 °C'e yüksek olup 1670 °C' dir. Titanyumun 4,505 Mg m<sup>-3</sup> yoğunlukta 1380 MPa kadar olan dayanımı, tasarımlarda ağırlığın önemli olduğu medikal, dental, uzay ve uçak sanayi alanlarındaki uygulamalarda mükemmel mekanik özellikler sağlar. Titanyum malzemelerinin, yapışkan koruyucu TiO<sub>2</sub> filmi 535 °C'nin altında ki sıcaklıklarda korozyona karşı mükemmel direnç ve birikinti sağlar. Ancak, yapışkan koruyucu TiO<sub>2</sub> filmi 535 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kırılır ve karbon, oksijen, azot ve hidrojen gibi küçük atomlar titanyumu kırılğanlaştırır (Askeland 2000). Ayrıca ısının yükseldiği ve oksijence zengin bir ortamda titanyum talaşlarının kolayca tutuşabileceği ve iş parçasının neredeyse tüm takım malzemeleri ile reaksiyona girerek kimyasal tabanlı aşınmalara yol açabileceği söylenebilir (Çakır ve Ensarioğlu 2005).

Titanyum düşük sıcaklıklarda Hegzagonal sıkı paket (HSP) yapılı  $\alpha$  ve 822 °C üzerinde Hacim merkezli kübik (HMK) yapılı  $\beta$  allotropik bir metaldir (Ezugwu et al. 2003). Alaşım elementleri katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar ve allotropik

dönüşüm sıcaklığı değişir. Alaşım elementleri titanyum - kalay, titanyum - alüminyum, titanyum mangan ve titanyum-molibden olarak dört gruba ayrılabilir.

Kalay gibi ilaveler, dönüşüm sıcaklığını etkilemeksizin katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar. Alüminyum, oksijen, hidrojen ve diğer alfa dengeleyici (kararlaştırıcı) elementler  $\alpha$ 'dan  $\beta$ 'ya dönüştüğü sıcaklığı yükseltir. Vanadyum, tantalum, molibden ve niobyum gibi  $\beta$  dengeleyici elementler, dönüşüm sıcaklığını düşürür ve hatta  $\beta$ 'nın oda sıcaklığında dengeli kalmasına neden olur. Son olarak mangan, krom ve demir ötektoid reaksiyon sağlar,  $\alpha$  -  $\beta$  dönüşüm sıcaklığını düşürür ve oda sıcaklığında iki faz oluşturur. Saf titanyum, büyük oranda kullanıldığı çevrelerin gözüyle bakılırsa, çok değerli bir malzeme değildir. Tercih edilmesini sağlayan asıl özelliklerini düşük oranlarda eklenen alaşım elemanları ile kazanır (Askeland 2000). Titanyum alaşımları için alaşım durumuna göre bir sınıflandırma, aşağıdaki gibi yapılabilir.

#### **1.4.1 Ticari Saflıkta Titanyum**

Alaşımlandırılmamış titanyumun kullanım nedeni üstün korozyon direncine sahip olmasıdır. Ticari saflıktaki titanyum nispeten zayıftır ve yüksek sıcaklıklarda dayanımını kaybeder. Fakat çok iyi korozyon direncine sahiptir. Bu sınıftaki alaşımlar çok düşük sıcaklık uygulamaları içinde gereklidir. Uygulamaları; ısı esanjörleri, boru donanımları, reaktörler, pompalar ile kimya ve petrol endüstrileri için valfleri içerir (Ezugwu vd. 2003).

#### **1.4.2 Alfa Titanyum Alaşımları**

Çok bilinen  $\alpha$  alaşımlarının hepsi % 5 Al ve % 2,5 Sn içerir. Bunların her ikisi de  $\alpha$ 'ya katı eriyik mukavemetleşmesi sağlar. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını iyi korurken, korozyon ve oksidasyon dirençlerine ek olarak kaynaklanabilirlikleri iyidir. Bu alaşımlar çoğunlukla 400 ve 500 °C arasındaki işletme sıcaklıklarında kullanılırlar (Ezugwu vd. 2003). Normal olarak iyi süneklik ve şekillendirilebilirliğe sahiptirlerdir. Alfa alaşımları,  $\beta$  bölgesindeki yüksek sıcaklıklarda tavlınırlar ve sonra soğutulurlar. Hızlı soğutma, çok ince iğnesel şekilli

$\alpha$  tane yapısı sağlar. Fırında soğutma ise daha çok levha şeklinde yapı oluşturur (Bargel and Schulze 1980).

### 1.4.3 Beta Titanyum Alaşımları

Vanadyum ve molibdenin büyük miktarda ilavesi oda sıcaklığında tamamen bir yapısı  $\beta$  üretmekle beraber  $\beta$  olarak adlandırılan alaşımların hiçbiri gerçekten bu miktarlarda alaşımlanmazlar. Bunu yerine bu alaşımlar  $\beta$  dengeleyicilerle zengindirler. Bu nedenle de hızlı soğutma, hepsi  $\beta$ 'dan oluşan dengesiz faz oluşturur. Dayanım katı eriyik mukavemetleşmesinden kaynaklanır. Alaşımları yüksek dayanım sağlamak için yaslandırılabilir. Yüksek sertlikleri, mukavemetleri, soğuk şekil verilebilirlikleri ve yüksek korozyon dirençleri genel özellikleridir (Ezugwu et al, 2002). Uygulamaları yüksek dayanımlı bağlama elemanlarını, kırımları ve uzay uygulamalarında bağlantıları içerir (Bargel and Schulze 1980).

### 1.4.4 Alfa - Beta Titanyum Alaşımları

$\alpha$  ve  $\beta$  dengeleyicilerin uygun dengesi ile oda sıcaklığında  $\alpha$  ve  $\beta$ 'nın bir karışımı üretilir. Tavlama, yüksek süneklik, üniform özellikler ve iyi dayanım kombinasyonu oluşturur. Daha fazla alaşımlanmış  $\alpha$ -  $\beta$  alaşımları yüksek dayanımlar elde etmek için ısıtma işlemi görebilir. Alaşıma,  $\beta$ 'ya dönüşüm sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta çözündürme uygulanabilir. Daha sonra alaşım dengesiz aşırı doymuş bir katı eriyik  $\beta$ ' veya titanyum martensit  $\alpha'$  oluşturmak için hızla soğutulur. Sonra alaşım 500 °C'ye yakın sıcaklıklarda yaslandırılır veya temperlenir. Düşük yoğunluklu bu malzemeler, mukavemet ve korozyona dayanıklılık özelliklerini yüksek sıcaklıklara kadar korurlar. Uçak iskeleti, roketler, jet motorları ve iniş takım dişlileri için parçalar, ısıtma işlemi görmüş alfa-beta alaşımları için tipik uygulamalardır (Bargel and Schulze 1980).

### 1.4.5 Ti-6Al-4V ELI Alaşımı

Ti-6Al-4V ELI (Extra Low Interstitial), Ti6Al4V'un bir varyantıdır ve iyi biyouyumluluk, mükemmel kırılma tokluğu ve çatlama yayılım özellikleri nedeniyle medikal uygulamalarda kullanılır. -253 ° C'ye kadar düşük sıcaklıklarda bile

tokluğunu korur. Bu özelliklerin yanı sıra düşük elastik modülü ve iyi yorulma mukavemeti, oksijen ve demir gibi alaşımların nispeten düşük içeriği nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

Sıklıkla medikal ve dental sektörde kullanılan titanyum hammaddenin yüksek saflık oranına sahiptir. Hafiflik, yüksek korozyon direnci ve dayanıklılık gereksinimlerinin bir arada olduğu materyallerde titanyum Eli tercih edilmektedir. En önemli özelliği yüksek hasar toleransını dayanıklılık ile birleştirmesidir. Hali hazırda hafif ve korozyona karşı dirençli bir metal olan titanyumun 6Al-4V Eli alaşımı bu özellikleri sayesinde en üst seviye bir hammadde haline gelmiştir. % 6 alüminyum ve % 4 vanadyum içeriğinden oluşan bu alaşım sahip olduğu üstün yapısı sayesinde dünya çapında tanınmış üreticilerin hammadde portföyünde yer almaktadır. Büyük bir bölümünü uzay havacılığı, gemicilik ve medikal üretim merkezlerinin oluşturduğu bu firmalar için titanyum Eli ideal bir hammadDEDİR. Sektördeki saygın dental implant firmalarının belirttiği üzere bu alaşım standart hammaddeden % 25 oranında daha sağlam haldedir. İçerisindeki oksijen, azot ve demir oranının düşürülmesi ile dayanıklılık – korozyon açısından titanyum hammadde arge çalışmasının ulaştığı en üst noktadır. Üretim yöntemleri ve kullandığı teknolojiler ile sektörünün en yenilikçi firması olan İmplant, ürettiği abutment ve vidalarında titanyum eli hammaddesini kullanmaktadır. Yapısı itibari ile mikro kırılmaların sifira indiği titanyum “Eli” alaşım hammaddesi ile ürettiğimiz kusursuz ürünleri bir adım ileriye taşımış oluyoruz. Kullanılan hammadde ve nihai ürünün en üst kalitede minimum kayıp ile üretimini yapıyor olmamız güvenilirlik açısından hem mikro hem de makro ölçekte büyük bir fark yaratmaktadır. Ürettiğimiz her bir ürünü dental sektör açısından eşsiz kılan da bu kalitedir. Bu kaliteyi sağlamak, devam ettirmek ve bir adım yukarı çıkarmak için hammaddeden üretimin tüm adımlarına kadar her bir adım analiz edilip yeni teknolojiler takip edilmektedir.

### **1.5 Titanyum ve Alaşımı Malzemelerinin İşlenebilirliği**

Günümüzde çok farklı malzeme türleri endüstrinin her alanında kullanılmaktadır. Bu malzemeleri endüstride kullanıma hazır hale getirmek için talaşlı imalat en çok kullanılan bir şekillendirme yöntemidir. Talaşlı imalatta birim zamandaki üretim miktarı ve üretim maliyeti çok önemlidir. Ayrıca malzeme yüzey kalitesinin yüksek

ve hassas olması istenir. İşlenen malzemenin yüzey kalitesini etkileyen çok değişik faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler imalatta kullanılan kesme parametreleri olduğu gibi, kesici takım ve malzeme türüne de bağlı olmaktadır.

Talaşlı imalat endüstrisinde çözülmeye çalışılan başlıca problemlerden biriside “işlenebilirlik” tir. Her iyi imalatçı üretmek istediği ürünü nasıl daha hızlı, daha ucuz ve daha kaliteli üretebilirim sorularına cevap aramaya çalışır.

“İşlenebilirlik bir malzemenin talaş kaldırma işlemini etkileyen özelliklerin tamamı veya talaş kaldırma yöntemleri ile üretimin kolaylığı veya zorluğudur” (Özçatalbaş 1996).

“İşlenebilirlik çoğunlukla malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır. İşlenebilirlik, bir malzemenin istenen yüzey formu ve toleransına getirilmesi için takım ve işleme parametreleriyle bağlantılı olarak, nasıl kolayca kesilebileceğidir. En geniş anlamda işlenebilirlik aşağıdaki kriterlere göre tanımlanır (Ezugwu, 2005).

1. Talaş oluşumu
2. Kesme kuvvetleri
3. Takım ömrü (veya takım aşınması)
4. Yüzey kalitesi
5. Kaldırılan talaş miktarı
6. Yığıntı talaş eğilimi

## 2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

A.K. Nandy vd. (2009), Ti-6Al-4V malzemesini yüksek basınçlı soğutma (HPC) yardımıyla kaplamasız tungsten karbür uç kullanarak deneyler yapmış ve talaş morfolojisini incelemişlerdir. Deneylerde soğutma metodu olarak 5 lt/dk normal (konvansiyonel) soğutma, 71 bar, 100 bar ve 140 barlık 3 farklı HPC parametresi ve 3 farklı kesme hızı(90, 100 ve 111 m/dk) kullanılmıştır. Ayrıca HPC metodunda akışkan olarak katkısız ve su bazlı kesme sıvıları ayrı ayrı denenmiştir. Kesici uç olarak, kenar radüsü 0,3 mm ve boşluk açısı 6° olan kaplamasız mikro kristal yapılı K20 sınıfı uçlar seçilmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda normal soğutmada elde edilen talaşların uzun sarmal şekilde, HPC uygulamalarında ise basınç arttıkça talaşların daha kısa ve hilal şeklinde olduğu görülmüştür. Bunlara bağlı olarak HPC uygulamalarında takım aşınmalarında iyileşmeler ve takım ömründe artışlar elde edilmiştir. Normal soğutmada kesici uç ortalama 4.35 dk kullanılabiliriyken katkısız HPC de ortalama 5.3 dk, su bazlı HPC de ise 14.30 dk takım ömrü elde edilmiştir. Buna göre normal soğutmaya göre su bazlı HPC uygulamasında takım ömrü en az %250, üretilebilirlik neredeyse %50 arttırılmıştır. Ayrıca kesme kuvvetleri de düşürülerek enerji tasarrufu yapılmıştır.

Suresh Palanisamy vd. (2009), farklı basınçlı kesme sıvılarıyla Ti-6Al-4V süper alaşımını işlemiş ve talaş formuna etkisini incelemişlerdir. Deneylerde 6 bar lık normal basınç ve 90 bar lık yüksek basınç kullanılmıştır. Deneylerde 0,8 mm uç radüsü ve +15° boşluk açısına sahip S tipi kaplamasız tungsten karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Kesme hızı olarak 75 m/dk, talaş derinliği 2 mm, ilerleme hızı 0.25 mm/dev seçilmiştir. Basınç parametreleri değiştirilip diğer tüm parametreler sabitlenerek deneyler yapılmıştır. Normal basınçlı (6 bar) soğutucu ile kesici takım yeniyken talaşlar kısa, parlak ve ortalama uzunluğu 30 mm olan boru şeklinde talaşlar elde edilmiştir. Takım ömrünün sonuna doğru uzun (210mm) tüp şeklinde mat ve mavimsi renkli talaşlar elde edilmiştir. Yüksek basınçlı soğutma sistemi(HPC) 90 bar metodu kullanıldığında takım yeniyken ortalama uzunluğu 5 mm olan düz yay şeklinde talaşlar elde edilmiştir. 10dk lik işlemeden sonra (ortalama uzunluğu 40 mm olan) rondela şeklinde helisel talaşlar elde edilmiştir. Normal basınçla yapılan kesme işleminde takım ömrü sadece 3.5 dk iken HPC metoduyla yapılan kesme işleminde takım ömrü 10dk dan daha fazla sürmüştür. Bu çalışmada

ayrıca farklı kesme şartları altında oluşan talaşların morfolojileri de incelenmiştir. Buna göre normal basınçlı kesme de oluşan talaş genişliğinin HPC metoduyla elde edilenlerden daha düşük olduğu açıkça görülmüştür. Ayrıca testere şeklindeki talaş dişleri arasındaki mesafeler yeni takım ile ilk kesmeye başlandığı andan sonlara doğru mesafenin azaldığı görülmüştür. Buna göre HPC metoduyla elde edilen ortalama talaş kalınlığı ideal değer olan adıma çok yakın olduğu görülmüştür.

Courbon ve Kramar (2009), İncel 718 süper alaşımını HPC metodu kullanarak kaba tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Deneylede uç radüsü 50nm ve ön boşluk açısı +7° olan PVD TiAlN kaplamalı karbür uç kullanmış ve talaş derinliği 2mm olarak sabitlenmiştir. Ayrıca 3 farklı nozzle çapı (0,25-0,3-0,4 mm), 3 farklı soğutucu akışkan basıncı( 50, 90, 130 Mpa), 3 farklı kesme hızı (46, 57, 74 m/dk) ve 3 farklı ilerleme hızı (0,2-0,25-0,224 mm/dev) kullanılmıştır. Bu çalışmada işlenebilirlik, kesme kuvvetleri, takım-talaş ara yüzü temas uzunluğu, talaş biçimi, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takımın maruz kaldığı ısı akışı incelenmiştir. Çok yönlü olan bu çalışma genel olarak yorumlandığında, uygun parametreler seçildiğinde kesme sıvısının basıncı arttırıldığında çoğunlukla malzemenin işlenebilirliğinde iyileşmeler görülmektedir.

L. N. Lo'pez de Lacalle vd. (2000), HPC metodunun talaşlı üretim işlemlerinde ne gibi avantajları olduğunu görmek için, İncel 718 ve Ti-6Al-4V malzemelerini delik delme ve tornalama işlemlerine tabi tutmuşlardır. Yapılan deneysel çalışmalarda seramik kesici uçlar kullanmışlardır. Soğutma işlemlerinde 11 l/dk akış debili ve 11 mPa (110 bar) basınçlı soğutucu akışkan kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda normal soğutmaya göre HPC uygulamalarında işleme zamanının %50 ye varan oranda düştüğü ve normal soğutma metoduna göre HPC metodunda 2 kat daha fazla talaş kaldırıldığı görülmüştür.

Yünlü vd. (2013), çalışmalarında süper alaşım havacılık malzemelerinin Yüksek Basınçlı Jet Soğutma (YBJS) şartları altında tornalanması sonucu meydana gelen kalıntı (artık) gerilmeler araştırmışlardır. Malzeme olarak, yorulmaya karşı mekanik dayanıklılığının ve korozyon direncinin yüksek olması ve bunun yanında yüksek sıcaklıklarda çalışma kabiliyetine sahip olmasından dolayı havacılık sektöründe sıklıkla tercih edilen Ti-6Al-4V süper alaşım malzemeyi seçmişlerdir. Titanyum

malzemenin tornalanması işleminde takım-talaş ara yüzeyine 6 ile 300 bar basınç aralığında soğutma sıvısı uygulanarak farklı soğutma sıvısı basınçlarının etkilerini gözlemlemişlerdir. Daha sonra, iş parçasının yüzeyinden 150 µm derinliğe kadar olan mesafedeki kalıntı gerilmeler karşılaştırmışlar ve numunelerin kalıntı gerilme eğrileri X-ışını kırınımı metoduyla tespit etmişlerdir.

Çini A. (2010), tez çalışmasında havacılık ve uzay endüstrisinde geniş kullanım alanına sahip nikel esaslı süper alaşım olan Inconel 718 malzemesinin yüksek basınçlı jet soğutma koşulları altında işlenebilirliği incelemiştir. Deneysinde bilgisayar kontrollü bir torna tezgâhı kullanılmış olup, PVD kaplamalı karbür kesici takımlar tercih etmiştir. Yüksek basınçlı jet soğutma sistemi ile farklı soğutma su basınçları ( 6, 100, 200 ve 300 bar ) kesme işlemleri kullanmıştır. Ayrıca tornalama işleminde 2 mm sabit kesme derinliği ve farklı ilerleme oranları ( 0.1, 0.125, 0.15, 0.175 ve 0.2 mm/dev ) tercih etmiştir. Farklı su basınçları ve ilerleme oranları ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri elde etmiştir. Çalışması sonucunda ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü artarken, soğutma suyu basıncının artmasıyla kesme kuvvetleri belirli bir miktar azalmıştır. İlerleme hızlarının farklı soğutma suyu basıncına göre kesme kuvvetleri üzerine etkileri incelendiğinde, tüm basınçlarda ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetleri artış göstermiştir. Birim zamanda iş parçası üzerinden alınmak istenen talaş miktarı ilerleme ile doğru orantılı olduğundan kesme kuvvetlerinin artması normal karşılanabilir.

Kumar vd. (2002), Yüksek basınç etkisi üzerine deneysel bir araştırma ile iş parçası sertliğinde soğutma sıvısı, kuru kesme ve geleneksel soğutma sıvısı ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmalarında yüksek basınçlı soğutmanın yüzey pürüzlülüğüne, takım aşınmasına ve kesme kuvvetlerinde etkisini inceleyerek kesme kuvvetinin azaldığını ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirildiği görülmüştür. Çalışmalarında iş parçası olarak ASSAB 718 yüksek ön sertleştirilmiş ve temperlenmiş plastik kalıp çelik kullanmışlardır. Kesme parametreleri kesme hızı 150 m/dak, ilerleme hızı 0,05 mm/dev. Ve kesme derinliği olarak 0,35 mm olarak belirlemişlerdir. Kesici olarak kaplanmamış tungsten karbür ve TiCN kaplamalı kesici uçlar kullanmışlardır. Kesme esnasında kuru kesme (DC), Konvansiyonel Soğutma sıvısı (CC) ve yüksek basınçlı soğutma sıvısı (HP) kullanarak

gerçekleştirmişlerdir. Karbür araçların kırılabilirliği nedeniyle, Kaplanmamış ekler, 40 HRC'ye kadar bir sertliğe kadar gerçekleştirilir. Yüksek basınçlı soğutma sıvısı takım talaş arayüz sıcaklığını düşürür ve böylece 35-40 HRC arasındaki kesme kuvvetlerini düşürür kuru kesme ve klasik soğutma sıvısı ile karşılaştırıldığında üç kuvvet bileşeninde artış gözlemlenmiştir.

Kramar ve Kopac (2009), sert krom kaplanmış ve yüzeyi sertleştirilmiş C45E malzemesi ile Inconel 718 malzemesinin, kaplanmış karbür takımlarla kaba tornalanmasında YBJS'nin talaş kırılabilirliği, soğutma etkisi, kesme bölgesi sıcaklığı, takım aşınması ve kesme kuvvetlerine etkisini araştırmak için deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geleneksel soğutma sistemi ile YBJS sisteminin karşılaştırılması yapmışlardır. Genel olarak talaş kırılabilirliğinde önemli artış, soğutma sıvısı sarfiyatında 4 kat kadar düşüş, C45E malzemesi için takım ömründe 5 kata kadar artış ve Inconel 718 malzemesi için takım ömründe 2 kat kadar artış elde etmişlerdir. İleriki çalışmalar için, işlenmiş parçaların yorulma davranışlarındaki avantajları ile ilgili olarak yüzey pürüzlülüğünün ayrıntılı olarak incelenebileceğini tavsiye etmişlerdir.

Kamruzzaman ve Dhar (2009), yüksek basınçlı soğutmanın sıcaklığa, takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarını 17CrNiMo6 ve 42CrMo4 malzemeleriyle, kaplanmamış karbür uçlarla kuru ve yüksek basınçlı şartlarda gerçekleştirmişlerdir. Yüksek basınçlı soğutmayla talaş yüzeyi üzerinde yardımcı kesme kenarı boyunca bir yağ filmi elde etmişlerdir. Bu yağ filmi ile takım talaş ara yüzeyindeki teması önlemiş ve önemli ölçüde sıcaklığın azaldığını gözlemlenmiştir. Parametrelere bağlı olarak %25 oranında kesme sıcaklığını düşürmüşlerdir. Takım-talaş ve iş parçası-takım arasındaki sürtünmeyi azaltarak yığıntı talaş oluşumunu, yan yüzey aşınmasını azaltarak takım ömrünün artmasını sağlamışlardır.

Mia ve Dhar (2018), Ti-6Al-4V süper alaşımının tornalanmasında YBJS sisteminin etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında takım-talaş ara yüzeyine (takım talaş yüzeyine) ve takım-iş parçası ara yüzeyine (takım yan yüzeyine) olmak üzere çift yönlü yüksek basınçlı soğutma sistemi tasarlayıp uygulamışlardır. Farklı kesme hızları ve ilerleme hızları kombinasyonları ile yüzey

pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım aşınması talaş formasyonunu incelemişlerdir. Çalışmalarında TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış sementit karbür kesici uçlar kullanmışlardır. Düşük ilerleme oranları ve yüksek kesme hızlarında YBJS sistemi ile esas kesme kuvvetinde azalmalar elde etmişlerdir. Daha düşük devirler ve ilerleme oranlarında YBJS sistemi ile kesme sıcaklığında düşüşler gözlemlemişlerdir. Çift yönlü YBJS sistemi ile takım ömrünün, kuru kesmeye göre %55-60 oranında iyileşme olduğunu belirtmişlerdir.

Ayed vd (2015), Ti17 alaşımlarının tornalanmasında kesme hızlarının ve YBJS sisteminin, takım aşınmasına ve kesme kuvvetlerine etkisini incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında kesme hızı değerlerini 50m/dak ve 100 m/dak, soğutma sıvısı basıncını 50 bar ile 250 bar aralığında seçmişlerdir. Optimum basınç değerini belirleyerek takım ömründe yaklaşık olarak 9 kat daha artış elde etmişlerdir. Geleneksel soğutma ile jet soğutmayı karşılaştırdıklarında ise yaklaşık %30 verimlilik bulmuşlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

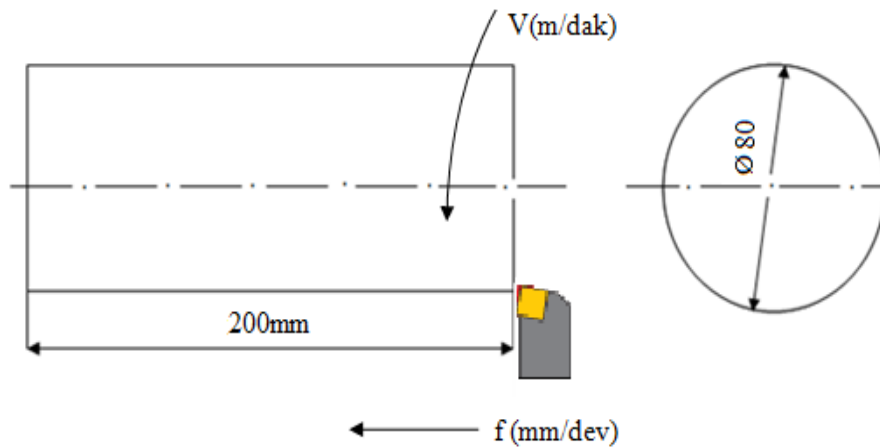
Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar, sistemler ve metotlar hakkında bilgiler verilmiştir.

#### 3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılan takım ve malzemeler, cihaz ve sistemler ve tezgâhlar bu bölümde anlatılmıştır. İş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri, deneylerin yapılması için kullanılan tezgâh, dinamometre, yüzey pürüzlülük cihazı ve diğer ara bağlantı elemanları, talaş kaldırma işleminde kullanılan kesi uç ve takım tutucunun tipi ve boyutları ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

##### 3.1.1. İş parçası malzemesi

Bu çalışmada, Ti-6Al-4V ELI alaşımlı malzemeler deney numunesi olarak kullanılmıştır. Tornalama deneylerinde kullanılan  $\varnothing 80$  mm ve 200 mm boyutlarındaki Ti-6Al-4V ELI numunenin ölçüleri şekil 3.1’ de gösterilmiştir. Her pasoda 2 mm sabit kesme uzunluğunda talaş kaldırılmıştır.



Şekil 3.1. İş parçası teknik resmi

Ti-6Al-4V Eli, Ti-6Al-4V' in daha yüksek saflık oranına sahip şeklidir. Yüksek mukavemet, hafiflik, yüksek korozyon direnci ve yüksek dayanım özelliklerinin bir arada gerektiği her yerde kullanılır. Diğer alaşımlara göre çok yüksek bir hasar toleransına sahiptir. Bütün bu özellikleri Ti-6Al-4V Elimedikal ve dental sektöründe en çok aranan alaşım yapmıştır. Ti-6Al-4V Eli, Ti-6Al-4V'in bir varyantıdır ve iyi biyouyumluluk, mükemmel kırılma tokluğu ve çatlama yayılım özellikleri nedeniyle medikal uygulamalarda kullanılır. -253 ° C'ye kadar düşük sıcaklıklarda bile tokluğunu korur. Bu özelliklerin yanı sıra düşük elastik modülü ve iyi yorulma mukavemeti, oksijen ve demir gibi alaşımların nispeten düşük içeriği nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Biyouyumluluğundan dolayı vücut içi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Malzemeye ait kimyasal bileşim, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3' te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ti-6Al-4V Eli Kimyasal Bileşim Özellikleri

Alüminyum (Al)	Vanadyum (V)	Karbon (C)	Demir (Fe)	Azot (N)	Oksijen (O)	Hidrojen (H)	Titanyum (Ti)
5.5-6.5	3.5-4.5	0.08	0.25	0.05	0.13	0.0125	Diğer

Çizelge 3.2. Ti-6Al-4V Eli Fiziksel Özellikleri

Özkütle (g/cm <sup>3</sup> )	Erime noktası (C)	Elektrik öz direnci (10 <sup>-6</sup> ohm•cm)	Isıl iletkenlik (W/m•°C)	Özgül ısı (J/Kg•°C)	Kaynak kabiliyeti
4.43	1650	165	7.3	565	Çok iyi

Çizelge 3.3. Ti-6Al-4V Eli Mekanik Özellikleri

Çekme direnci (ksi)	Akma direnci (ksi)	Uzama (%)	Sertlik (HRC)
130	120	10	32

### 3.1. 2 Kesici Uç ve Takım Tutucu

Deneylerde kullanılmak üzere yüksek basınçlı jet soğutma sistemleri için geliştirilen özel tasarım “SECO Jet Stream” takım tercih edilmiştir. Jet Stream 26 sistemindeki

takımlarının tercih edilme sebebi ise 350 bardaki maksimum çalışma basıncına cevap verebilecek özellikte olmasıdır. Jet Stream takım tutucu sisteminin yapısı şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan Jet Stream takım tutucu

Kesici takım tutucusuna yüksek basınç pompasından gelen kauçuk bağlantı hortumunun takılması ile tutucu üzerinde bulunan lüle çaplarına göre farklı debilerde yüksek basınç oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan Kesici takım tutucusu tipi SECO PCLNL2525M12JET kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda ISO Kodu CNMG120408, takım uç yarıçapı 0,8 mm CP250 PVD Kaplamalı (Ti, Al) N + TiN ) uçlar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici ucun geometrik boyutları çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deneylerde Kullanılan Kesici Uç’a Ait Geometrik Boyutlar

Gösterim(ISO)	SINIF	D	L	S	r
CNMG1204208– MR4	CP250	12,7	12,9	4,776	0,8

### 3.1.3.CNC Torna Tezgâhı ve Özellikleri

Tornalama işlemleri CAD/CAM araştırma ve uygulama merkezi bünyesinde bulunan ALEX ANL-75 marka CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir(Şekil 3.3.). Tezgâhın özellikleri çizelge 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.3.Tez çalışmasında kullanılan CNC Torna tezgâhı

Çizelge 3.5. CNC torna tezgâhı özellikleri

X eksen	350 mm
Z eksen	520 mm
Tezgâh gücü	15 kW
Maksimum devir sayısı	4000 dev/dak
Hassasiyet	0.001 mm
Maksimum takım sayısı	12

### 3.1.4. Yüzey Pürüzlülük Cihazı

Deneyleerde farklı kesme parametrelerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde 0,01 µm hassasiyette ölçüm yapabilen, elmas uçlu HommelWerke firmasının T 500 yüzey pürüzlülük test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.4).

Ölçüm ayarları Şu Şekilde seçilmiştir.

Örnekleme uzunluğu (L) = 0,8 mm

Ölçme uzunluğu (Lm) = 5 x Lc = 5 x 0,8 = 4 mm

Toplam uzunluk (Lt) = 4,8 mm

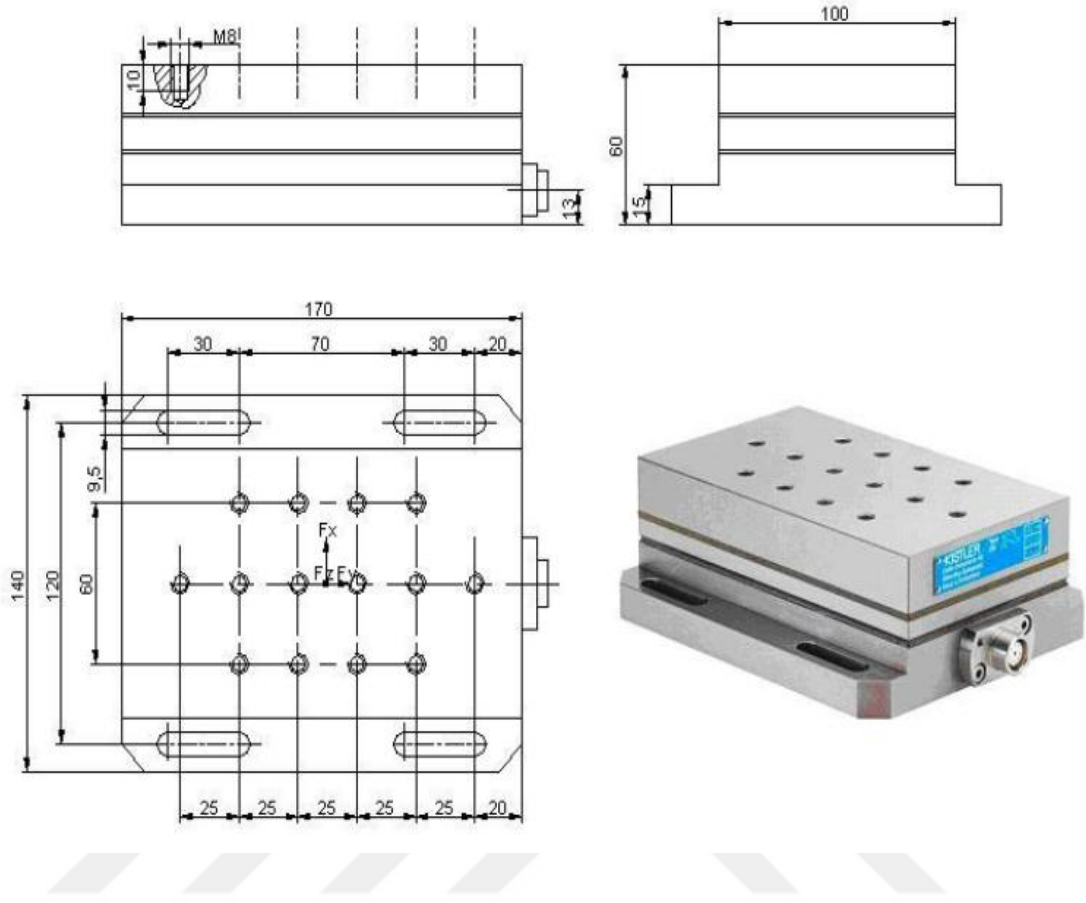


Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülük cihazı

### 3.1.5. Dinamometre

Kesme kuvveti sinyallerinin analizi, talaşlı imalatta, kesme şartlarının izlenmesinde en çok tercih edilen bir yöntemdir. Çok farklı tipteki dinamometreler farklı pozisyonlarda takım tezgâhlarına monte edilerek kesme anında oluşan kesme kuvvetlerini ve momentlerini ölçmektedirler. Dinamometreler, takım tezgâhlarında kesici takım tutucu mekanizmasına iş parçasının bağlandığı tablaya veya iş mili yataklarına monte edilmektedirler.

Bu çalışmada, kesme kuvveti sinyallerinin ölçülmesinde Kistler firmasına ait 9722 A modeli dinamometre (Şekil 3.5), veri toplama kartı ve sinyal yükseltici kullanılmıştır. Yazılım olarak ise Cut-Pro programından faydalanılmıştır.



Şekil 3.5. Kistler 9722-A 3 eksen dinamometre ve boyutları

### 3.1.6. Amplifikatör

Deneylerde KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör kullanılmıştır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör

### **3.1.7. Soğutma sıvısı**

Tez çalışmasında tercih edilen kesme sıvısı Blaser Swisssube firmasına ait B-Cool 655tipi kesme sıvısıdır. Bu kesme sıvısının özelliği yüksek basınç pompasına giren soğutma sıvısı pistonlardaki sürtünmeden dolayı oluşan 50 derecelik sıcaklığa rağmen kararlılığını koruması ve emisyonunda ve vizkozitesinde kalitesini kaybetmemesidir. YBJS nin deneyleri için 300 Lt lik soğutma suyu tankı %5 soğutma sıvısı konsantrasyonu ile karışımı sağlanmıştır.

### **3.1.8. Yüksek Basınç Jet Soğutma (YBJS) Sisteminin Yapısı**

Şekil 3.7 detez çalışmasında kullanılan modüler yapıda tasarlanmış yüksek basınç soğutma sistemisoğutma suyu tankı, 300 litere kapasiteli ve 150 cm yükseklikte 75 cm çapında plastik tanka sahiptir. Filtreler, 2 adet alçak basınç pompası çelik filtre, 20 micron giriş filtresi, 1 adet alçak basınç pompası çelik filtre 20 micron çıkış filtresi, 1 adet yüksek basınç pompası çelik filtre ve 10 micron giriş pompası özelliklerindedir. Alçak basınç pompası, max 5 bar basınçlı, çelik paslanmaz gövdeli, 220 V elektrik bağlantılı soğutma suyu geri dönüş pompası ve alçak basınç pompası, Max 350 Bar basınçlı, Max 21 Lt/dak debili Pistonlu çelik gövdeli 15 HP 380 V 3 faz elektrik bağlantı kumandalı özelliğine sahiptir. Yüksek basınç hortumu, Max 500 bara dayanabilen 16mm çaplı kauçuk esnek yüksek basınç hortumu teknik özelliklerindedir.

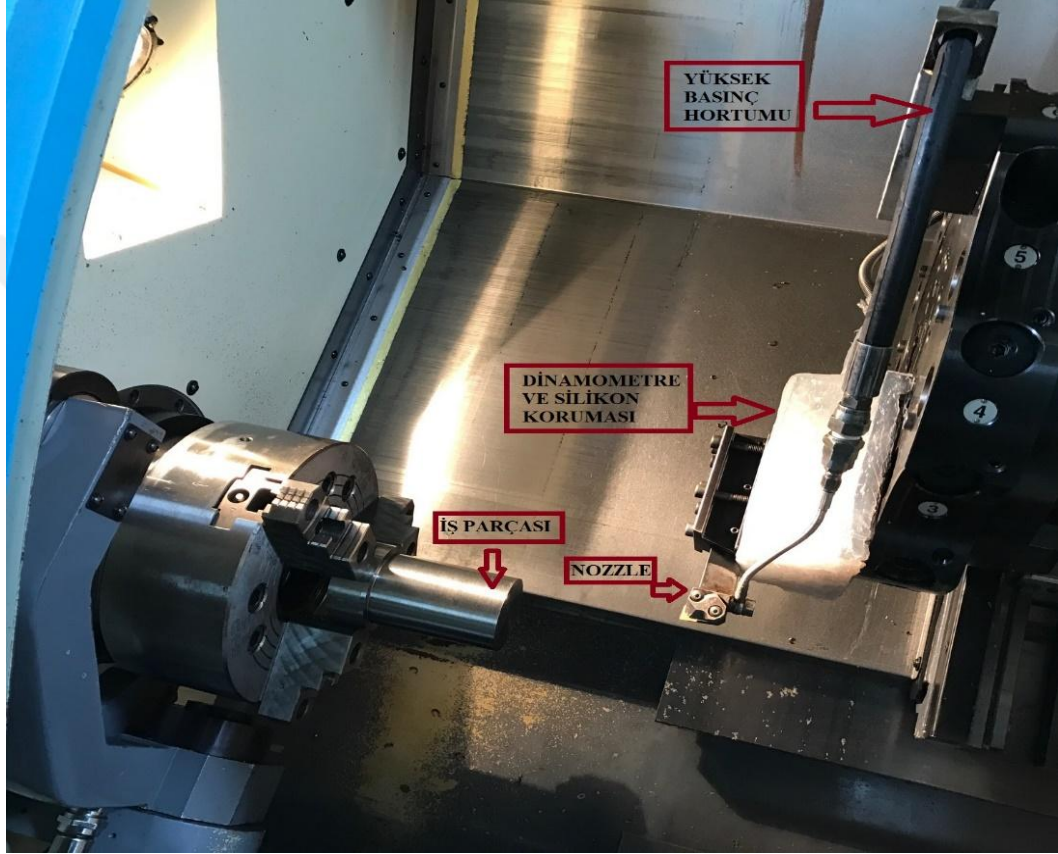


Şekil 3.7.Yüksek Basınç Jet Soğutma sisteminin yapısı

Bütün deneyler 50 – 4000 iş mili devir aralığı ve 15 kW motor gücüne sahip CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Yüksek basınçlı jet soğutma sistemi torna tezgahına yüksek basınca dayanıklı bağlantı ekipmanları ile entegre edilmiştir. Soğutma sisteminde bir adet maksimum 300 bar sıkıştırma basıncında ve 21 lt/dak akış debisinde yüksek basınç pompası bulunmaktadır (Çizelge 3.6). CNC torna tezgâhına entegrasyonu yapılan yüksek basınçlı jet soğutma sistemine dairekipman ve düzenekler şekil 3.8’de verilmiştir. Şekilde yüksek basınç pompasından gelen soğutma sıvısının hidrolik basınca dayanıklı hortum vasıtasıyla takım tutucuya yapılan bağlantısı görülmektedir.

Çizelge 3.6. Yüksek Basınç Lülesinin Özellikleri

Nozzle Sayısı	Nozzle Çapı	Max. Ulaşılabilen Basınç	Max. ulaşılabilen Soğutma Suyu Debisi
1	1.6 mm	300 bar	21 lt/dak



Şekil 3.8.YBJS sisteminin CNC Torna Tezgâhına montajı

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Deney tasarımı ve kesme parametrelerinin belirlenmesi

Bu çalışmada yüksek basınçlı soğutmanın yüzey pürüzlülüğüne, kesme kuvvetlerine ve takım aşınmasına etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Bununla birlikte kesme parametreleri olarak da literatürden farklı olması için yüksek hızlar seçilmiştir. Çalışmada kullanılan kesici uç için katalogta önerilen kesme hızı aralığı 25-35 m/dak, ilerleme hızı 0,18-0,4 mm/dev ve kesme derinliği 0,5-4 mm aralıklarındadır.

Yüksek hızda kesme yapmak amaçlandığı için tezgâhında rijitliğine bakılarak ve ön deneyler gerçekleştirilerek kesme hızları 80,100 ve 120 m/dak olarak belirlenmiştir. İlerleme hızlarının seçimi ise tornalama deneyi takım ömrü standartı (TS 10329/Haziran 1992) göz önünde bulundurularak 0,2-0,25-0,3-0,4 mm/dev olarak seçilmiştir. Kesme derinliği ise 2 mm olarak sabit alınmıştır. Deneylerin yapılış sırasına göre belirlenmiş kesme parametreleri çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

No	Vc(m/dak)	f (mm/dev)	P (bar)
1	120	0.2	6
2	120	0.25	6
3	120	0.3	6
4	120	0.4	6
5	100	0.2	6
6	100	0.25	6
7	100	0.3	6
8	100	0.4	6
9	80	0.2	6
10	80	0.25	6
11	80	0.3	6
12	80	0.4	6
13	120	0.2	200
14	120	0.25	200
15	120	0.3	200
16	120	0.4	200
17	100	0.2	200
18	100	0.25	200
19	100	0.3	200
20	100	0.4	200
21	80	0.2	200
22	80	0.25	200
23	80	0.3	200
24	80	0.4	200

### **3.2.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi**

Kesme kuvveti sinyallerinin ölçümünde materyal bölümünde de belirtildiği gibi dinamometre, sinyal yükseltici, amplifikatör, veri toplama kartı ve ara bağlantı elemanları kullanılmıştır. Yazılım olarak da Cut-Pro programından faydalanılmıştır. 3 ekseninde de ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) kesme kuvveti sinyalleri alınmıştır. Cut-Pro yazılımından ham olarak alınan sinyaller Matlab içerisinde yer alan Wavelet toolbox'ı ile işlenerek sinyallerin aritmetik ortalamaları alınarak nihai kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir.

### **3.2.3. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi**

Kesme işlemi tamamlandıktan sonra işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri Hommel Werke firmasına ait yüzey pürüzlülük cihazı ile belirlenmiştir. Silindirik iş parçası üzerinden üç ayrı bölgeden yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması alınarak, nihai yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

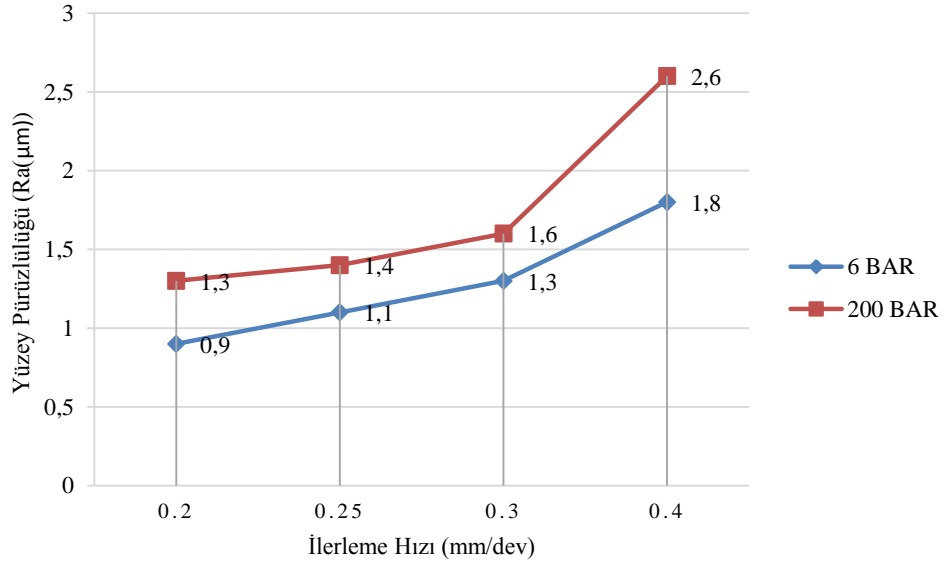
### 4.1. Kesme Parametrelerin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkileri

Talaşlı imalat uygulamalarında işlenebilirliğin diğer önemli bir ölçütü yüzey kalitesidir. Yüzey pürüzlülüğü birbirinden bağımsız şartlar altında değerlendirilmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün; öncelikli olarak kesme hızına, ilerlemeye ve talaş derinliğine bağlı olarak değişebileceği bilinmektedir. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü iyileşmesinin, yüksek hızlarda artan sıcaklıktan kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak, yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme, beklenen bir özellik olup yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için kesme hızının artırılması, literatürde önerilen en yaygın yöntemdir (Tekaslan vd. 2008).

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, her bir kesici takımla talaş kaldırma işlemi sonucunda elde edilen işlenmiş yüzey üzerinde üç farklı bölgede ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elmas uçlu profilometre ile ölçülmüş ve aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Yüksek Basıncılı Jet Soğutma şartlarında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin, kesme hızı ve ilerleme miktarı bağlı olarak değişimleri şekillerde grafik halinde verilmiştir.

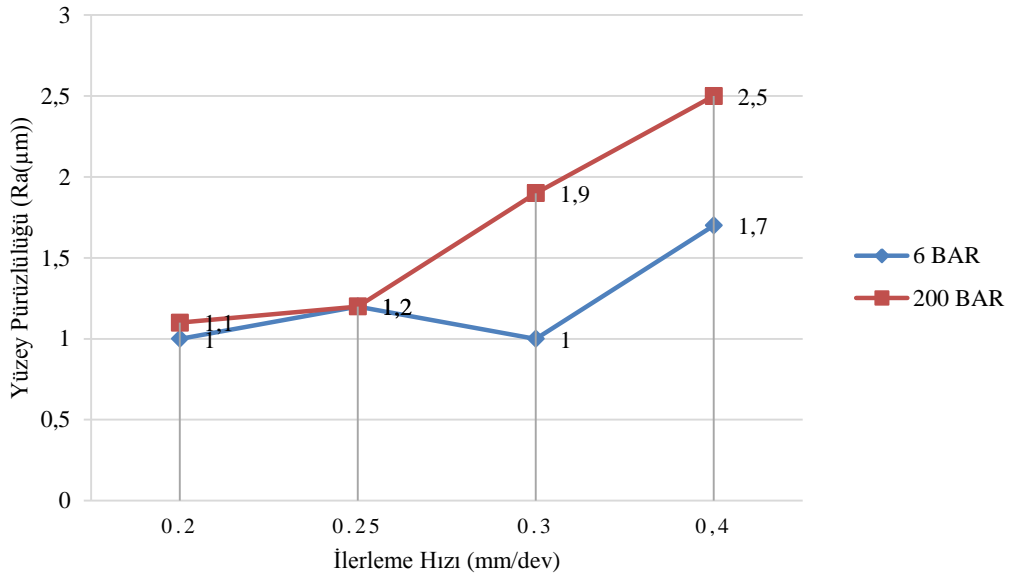
Şekil 4.1’de 6 bar ve 200 bar soğutma sıvıları kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile oluşturulmuş grafik görülmektedir. Bu grafiğin oluşturulmasında aynı kesme hızı kullanılarak farklı ilerleme hızlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kullanılmıştır. Kesme derinliği 2.0 mm, 80 m/dak(sbt) kesme hızı için ilerlemeye bağlı ortalama yüzey pürüzlülük değişimi görülmektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi artan ilerlemeye bağlı olarak, 6 bar ve 200 bar soğutma sıvısı etkisinde iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. İlerleme miktarının değişimi, ortalama yüzey pürüzlülük değerinin değişimi ile doğru orantılı olduğundan böyle bir durumun olması beklenen bir neticedir. İlerlemeye bağlı olarak en ideal ortalama yüzey pürüzlülüğü, ilerlemenin 0.2 mm/dev ve 6 bar basıncın olduğu durumda; en kötü ortalama yüzey pürüzlülüğü ise ilerlemenin en yüksek olduğu 0.4 mm/dev değerinde 200 bar basınçta elde edilmiştir. Ayrıca artan ilerlemeye bağlı olarak 6 bar basınç ile işlenen iş parçasının ortalama yüzey

pürüzlülüğü, 200 bar basınç ile işlenen iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğüne göre daha iyi bir sonuç meydana getirdiği tespit edilmiştir.



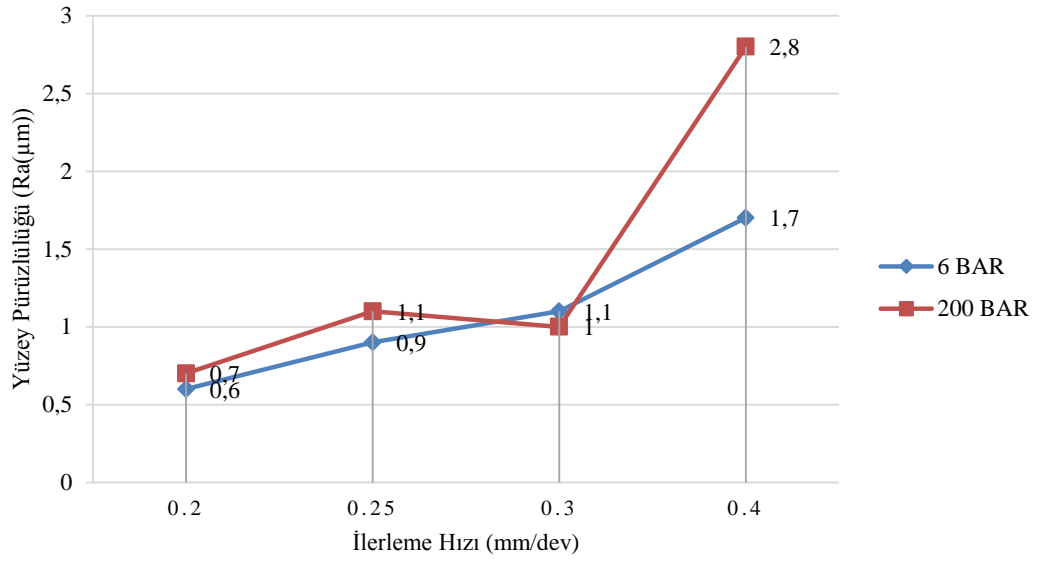
Şekil 4.1. 80 m/dak sabit kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişim

Şekil 4.2' de 100 mm/dak (sbt) kesme hızı ile yapılan deneylerden elde edilen grafik incelendiğinde, 6 bar basınç ve 80 mm/dak (sbt) kesme hızı için yapılan yorumun benzerini yapmak mümkün değildir. Şekilde görüldü gibi 6 bar basınçta ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış görülürken bazılarında ise belli bir ilerleme hızı değerine kadar artış ve bu değerden sonra düşüş bu değerden sonra tekrardan artış gösteren grafik elde edilmiştir. Ayrıca 80 mm/dak kesme hızında yapılan deneylerde elde edilen pürüzlülük değerleri 0.9-2.6  $\mu\text{m}$  aralığında iken 100 mm/dak kesme hızında yapılan deneylerde ise elde edilen pürüzlülük değerleri 1-2.5  $\mu\text{m}$  aralığında olmuştur. Grafiğe göre en iyi yüzey pürüzlülüğünün 6 bar basınçta, 0.2 ilerleme hızında 1  $\mu\text{m}$  olduğu görülmektedir. En kötü yüzey pürüzlülük değerinin de 200 bar basınçta 0,4 ilerleme hızında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. 100 m/dak sabit kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişim

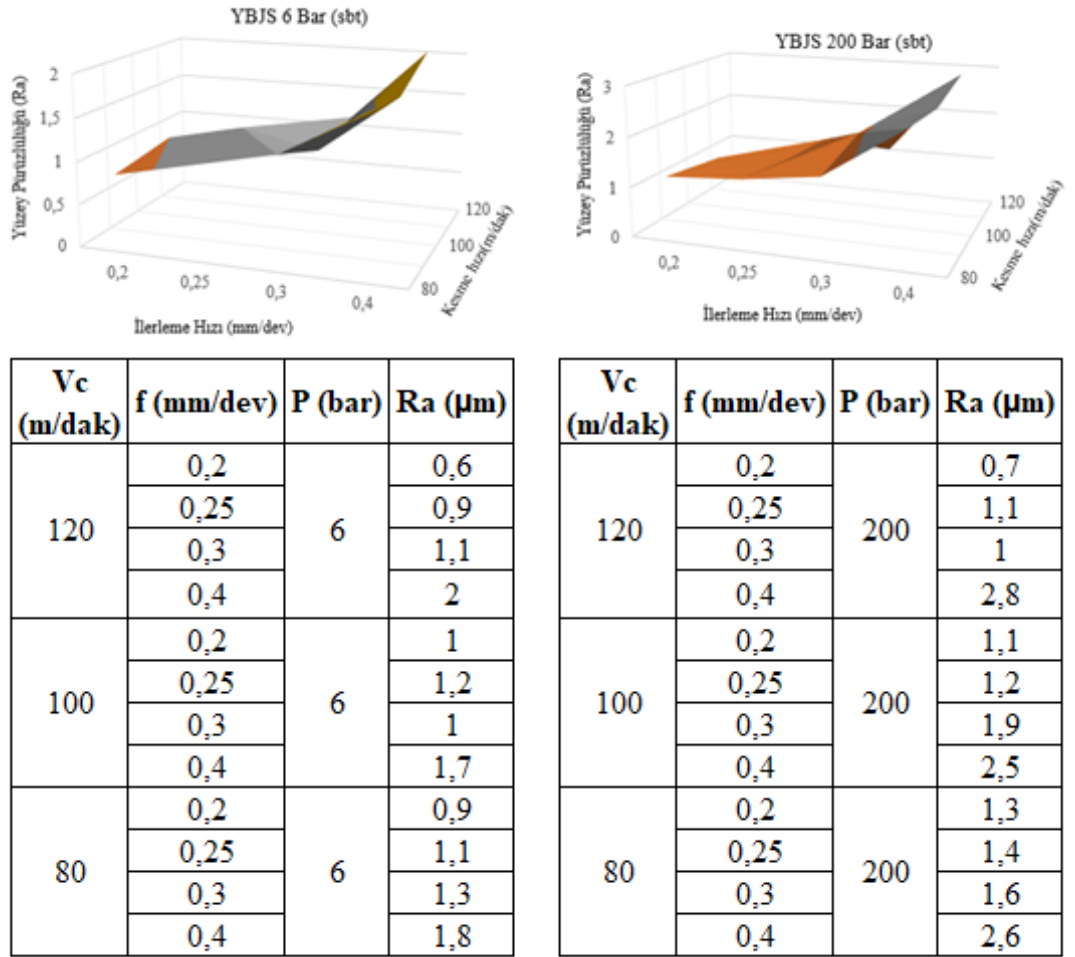
Şekil 4.3’de kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülükleri önce düşmüş ancak özellikle 0.4 mm/dev ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilemiş ve ani bir artış göstermiştir. Şekil 4.3’de 6 bar ve 200 bar basıncı birbiri ile kıyaslanacak olursak, 6 bar basınç kullanıldığında 0.2 mm/dev ilerleme değerinde 0.6 µm civarında bir yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 6 bar basınçta 120 m/dak kesme hızında artan ilerleme hızıyla Ra değerinin küçükte olsa lineer olarak arttığı görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla birlikte 200 bar basınç altındaki kesmede yüzey pürüzlülüğü artmış ve 2.8 µm’ye kadar ulaşmıştır. Bunun nedeni ise artan kesme hızıyla takım-talaş ara yüzeyinde sıcaklığın artmasıdır. Takım her ne kadar kısa bir kesme yapmış olsa da kesici takımda meydana gelen küçük bir aşınma yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmuş olabilir. 0.2 mm/dev ilerleme de ise ilerlemenin düşük olması yüzey kalitesinin bir miktar daha iyi olduğu söylenebilir.



Şekil 4.3. 120 m/dak sabit kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişim

Yüzey pürüzlülük değerlerinin en küçüğü, kesme hızının artmasıyla ve ilerleme hızının en az olduğu 6 bar basıncın olduğu değerlerde görülmüştür. En büyük Ra değeri de ilerlemenin en fazla olduğu ve 200 bar basıncın olduğu değerlerde elde edilmiştir. Artan ilerleme miktarları ile bütün kesme hızlarında ortalama yüzey pürüzlülüğünün genel olarak arttığı görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğündeki oluşan bu artış literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Grafiklerde de görüldüğü gibi 200 bar basınç şartlarında tüm kesme hızların da ve ilerlemenin 0.4 mm/dev olduğu durumda yüzey kalitesi ciddi oranda bir bozulma göstermektedir. 6 bar basınç şartlarında 0.25 mm/dev ilerleme değeri için tüm kesme hızlarında genel olarak benzer bir seyir izlemiştir. Şekil 4.4'te dikkati çeken bir unsur ise tüm kesme hızlarından 120 m/dak kesme hızında, 200 bar basınç altında 0.3 mm/dev ilerleme değerinde elde edilen Ra değerinin daha düşük olmasıdır. Her iki basınçta yapılan deneylerde 0.3 mm/dev hıza kadar elde edilen yüzey pürüzlülük değerler, kendi aralarında birbirlerine yakın değerler iken, 0.3mmdev ilerleme hızından sonra özellikle 0.4 mm/dev ilerleme hızında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinde bariz bir kötüleşme görülmüştür. Bu olay yüksek basınçla yapılan çalışmada daha bariz olarak ortaya çıkmıştır. Ancak 0.4 mm/dev sabit ilerleme hızı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde her iki basınçta

da kesme hızlarının değişmesiyle yüzey pürüzlülük değerlerinde bariz bir değişme gözlenmemiş 6 bar basınçta 0.4 mm/dev ile 80,100 ve 120 m/dak kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri ortalama 1.7  $\mu\text{m}$ , 200 bar basınçta aynı ilerleme ve kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değeri ortalama 2.6  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Kesme hızının değişimi 0.4 mm/dev sabit ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğüne hiçbir etki etmemiştir. Sonuç olarak yüksek kesme hızları kullanılarak yapılan bu çalışmada, yüksek basınçlı soğutmanın yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etkisi görülmemiştir. Çalışmadaki ilerleme hızları değiştirilmeden düşük kesme hızlarında deney tekrarı yapılarak sonuçlar yeniden değerlendirilebilir. Bir diğer yandan farklı takım malzemeleri ve farklı takım geometrileri kullanılarak deneyler yapılabilir.



Şekil 4.4. 6 bar ve 200 bar basınçlara ait yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme ve ilerleme hızlarına göre değişimi

## 4.2. Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetlerine Etkileri

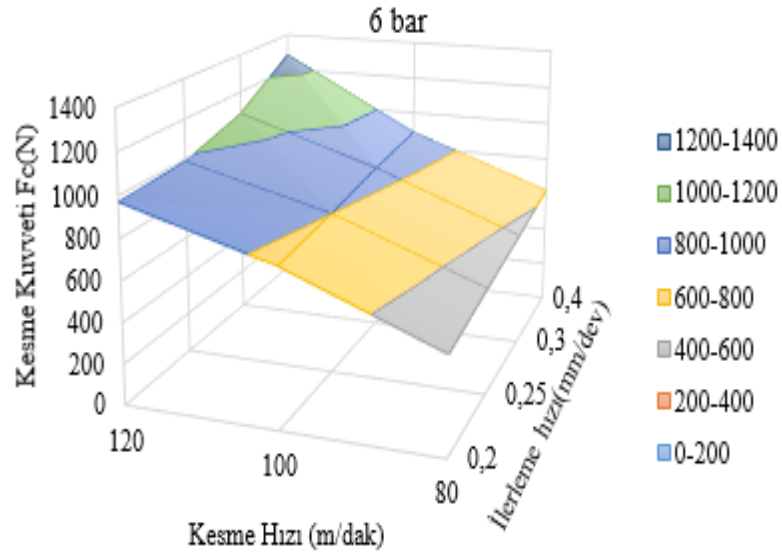
6 bar ve 200 bar basınçta farklı kesme ve ilerleme hızlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi için deneysel çalışmalarda 4 farklı ilerleme hızı (0,2mm/dev. 0,25 mm/dev. 0,3 mm/dev. 0,4 mm/dev.) ve 3 farklı kesme hızı ( 80 m/dak. 100 m/dak. 120 m/dak) kullanılarak kesme kuvveti sinyalleri alınmıştır. Deneysel olarak ilerleme kesme kuvveti ( $F_f$ ), radyal kesme kuvveti ( $F_r$ ) ve esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) olmak üzere üç kuvvet ölçümü gerçekleştirilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme hızı değişkenlerine göre elde edilen kesme kuvveti verileri Çizelge 4.1’de 6 bar basınç ve Çizelge 4.2’de 200 bar basınç için verilmiştir. Esas kesme kuvveti değerlerinin kesme ve ilerleme hızına bağlı olarak 6 bar ve 200 bar basınçtaki değişimleri şekil 4.5 ve şekil 4.6 de gösterilmiştir. İlerleme hızının artması ile birlikte radyal ve ilerleme kuvvetleri belirli bir miktar artış meydana gelmiştir. Minimum kesme kuvvetleri en düşük ilerleme hızında elde edilirken, maksimum kesme kuvvetleri ise ilerleme hızının en büyük olduğu durumda elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. 6 bar basınçta kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme hızına göre değerleri

<b>V<sub>c</sub></b> <b>(m/dak)</b>	<b>f</b> <b>(mm/dev)</b>	<b>F<sub>c</sub></b> <b>(N)</b>	<b>F<sub>f</sub></b> <b>(N)</b>	<b>F<sub>r</sub></b> <b>(N)</b>
120	0.2	971	250	259
	0.25	987	253	263
	0.3	1082	261	266
	0.4	1281	263	257
100	0.2	763	223	267
	0.25	807	227	280
	0.3	851	212	301
	0.4	887	234	293
80	0.2	470	210	302
	0.25	521	217	297
	0.3	568	224	310
	0.4	621	230	320

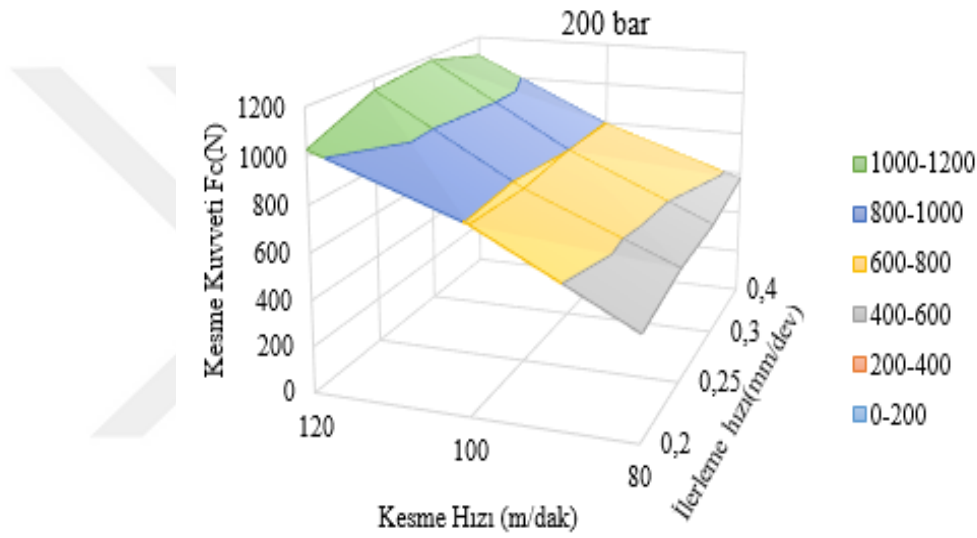
Çizelge 4.2. 200 bar basınçta kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme hızına göre değişimi

Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Fc (N)	Ff (N)	Fr (N)
120	0,2	1027	249	259
	0,25	1150	247	251
	0,3	1180	240	258
	0,4	1103	260	274
100	0,2	791	218	263
	0,25	774	211	271
	0,3	801	202	283
	0,4	796	238	274
80	0,2	441	201	297
	0,25	501	197	270
	0,3	512	209	290
	0,4	573	205	311



Şekil 4.5. 6 bar basınçta kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme hızına göre değişimi

Şekil 4.5 ve Çizelge 4.1 incelendiğinde esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ilerleme kesme kuvveti ( $F_f$ ) değerleri, kesme hızının artmasıyla artış göstermiştir. Radyal kesme kuvveti ( $F_r$ ) değeri ise az miktarda da olsa kesme hızının artmasıyla azalmıştır. Sabit kesme hızında ilerleme hızının artmasıyla ilerleme kesme kuvveti ( $F_f$ ), radyal kesme kuvveti ( $F_r$ ) değerlerinde az miktarda bir artış elde edilirken bu artış esas kesme kuvvetinde ( $F_c$ ) ise çok daha belirgindir. En büyük kesme kuvveti değeri 6 bar basınçta 120 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyde 1281 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6. 200 bar basınçta kesme kuvvetlerinin, kesme hızı ve ilerleme hızına göre değişimi

Şekil 4.6 ve Çizelge 4.2 incelendiğinde ilerleme kesme kuvveti ve esas kesme kuvveti değerleri kesme hızının artmasıyla artış göstermiştir. Bu artış 120 m/dak kesme hızında diğer hızlara oranla daha düşük değerlerde olmuştur. En büyük kesme kuvveti değeri 200 bar basınçta 120 m/dak kesme hızında ve 0.3 mm/dev ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyde 1180N olarak görülmüştür. Kesme ve ilerleme hızının artmasından dolayı esas kesme kuvvetinde genel olarak bir artış söz konusudur. Yüksek kesme hızlarında artış miktarı daha fazladır. Genel olarak bakıldığında tüm deneyler sonucu elde edilen ilerleme kuvvetlerindeki değişimler çok az miktarda olduğundan, bu kuvvet değeri ortalama 230 N olarak kabul edilebilir. Radyal kuvvetlerde ise düşük kesme hızların ilerleme arttığı zaman radyal

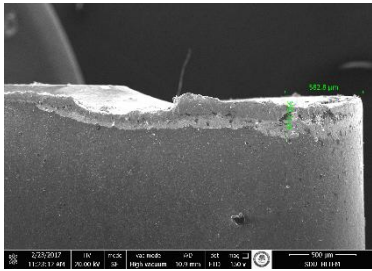
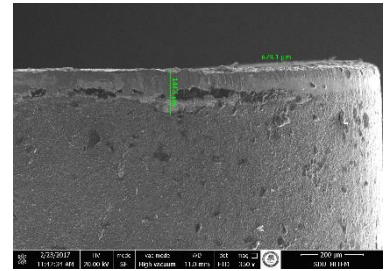
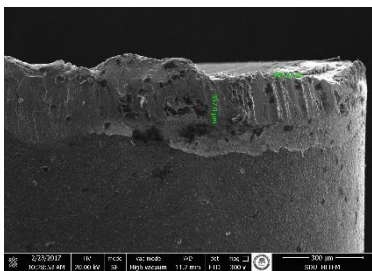
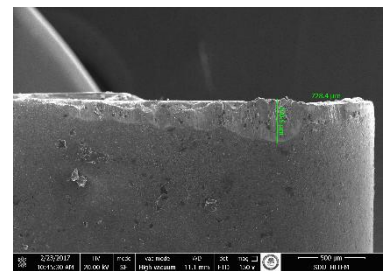
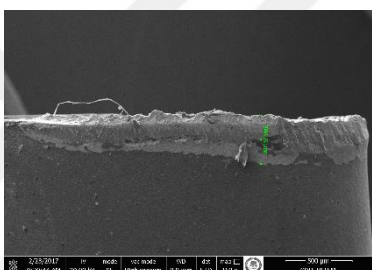
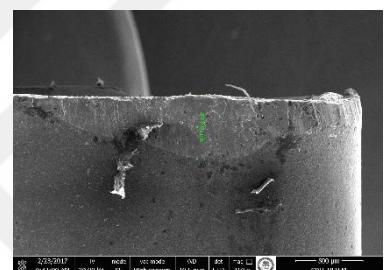
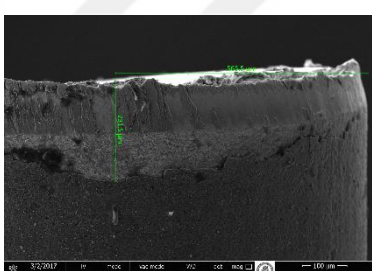
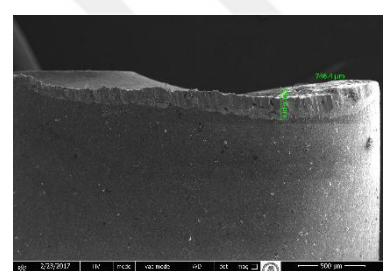
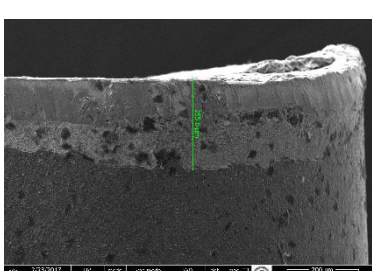
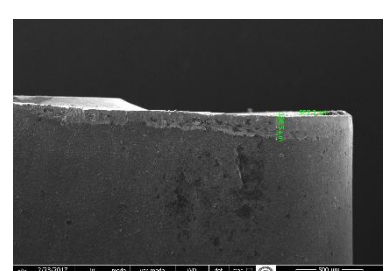
kuvvetin artması beklenen bir durumdur. Yüksek kesme hızlarında ise ilerleme hızının artmasıyla radyal kuvvet belirli bir değer kadar artış gösterip sonra kesme hızının etkisi daha belirgin bir şekilde ortaya çıkarak bir miktar azalış gözlenmiştir. Genel olarak kesme hızının artmasıyla da radyal kuvvette daha önce belirtilen sebeplerden dolayı bir azalma söz konusudur.

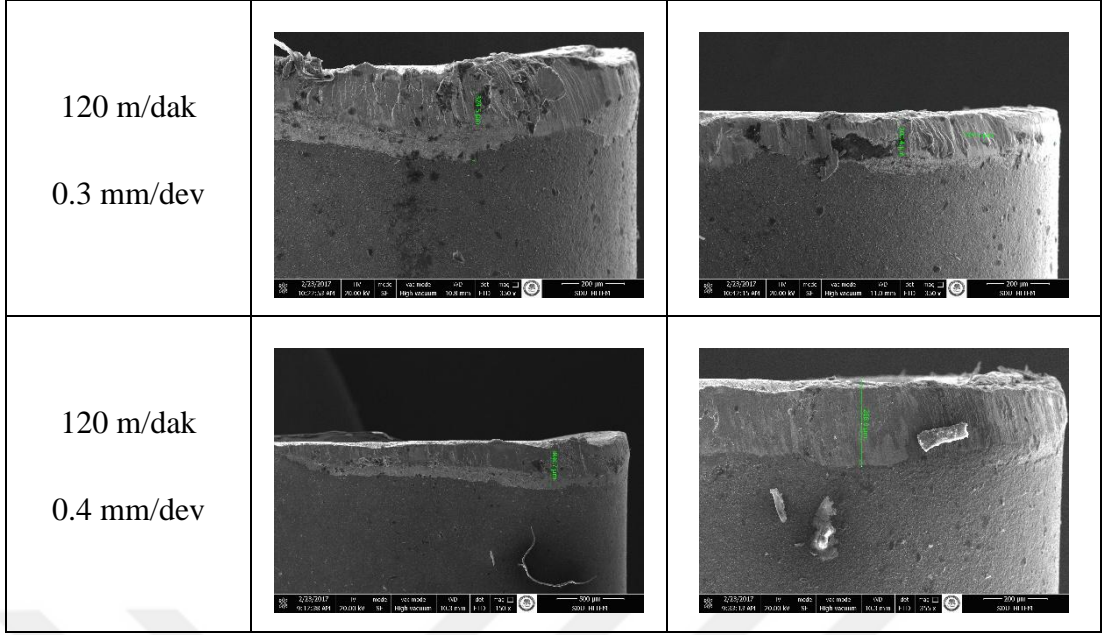
İlerlemedeki artışla beraber kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir eğilimdir. Bu çalışmada da benzer durum ile karşılaşılmış, ilerleme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetlerinde de bir artış gözlenmiştir (Şekil 4.5 ve 4.6). 200 bar basınçtaki kesici takımlarda esas kesme kuvvetleri, 6 bar basınçtaki kesici takımlara göre daha düşük çıkmıştır. Bu durum, yüksek basınçlı jet soğutmanın kesici takım ucunda oluşan ısının düşük olması ve kesici kenarın daha az aşınmaya maruz kalmasıyla açıklanabilir. Esas kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuç 200 bar basınçta 80 m/dak kesme hızında ve ilerlemenin 0.2 mm/dev de ölçülmüştür.

#### **4.3. Kesme Parametrelerin Takım Aşınmasına Etkileri**

Yapılan her bir deney için farklı kesici takım kullanılmış, her bir kesme parametresine numara verilerek deneyler kodlanmıştır. Kesme deneyleri sonrasında takımların aşınmasını incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Kesme deneyleri esnasında kesici takım üzerinde oluşan takım aşınma fotoğrafları Şekil 4.7’de görülmektedir. Kesme deneyleri esnasında kesici takım üzerinde oluşan hasar tipleri Şekil 4.7’de görüldüğü üzere yan yüzey yanak aşınması ağırlıklı olduğu görülmektedir.

	6 Bar	200 bar
80 m/dak 0.2 mm/dev		
80 m/dak 0.25 mm/dev		
80 m/dak 0.3 mm/dev		
80 m/dak 0.4 mm/dev		
100 m/dak 0.2 mm/dev		

<p>100 m/dak 0.25 mm/dev</p>		
<p>100 m/dak 0.3 mm/dev</p>		
<p>100 m/dak 0.4 mm/dev</p>		
<p>120 m/dak 0.2 mm/dev</p>		
<p>100 m/dak 0.25 mm/dev</p>		

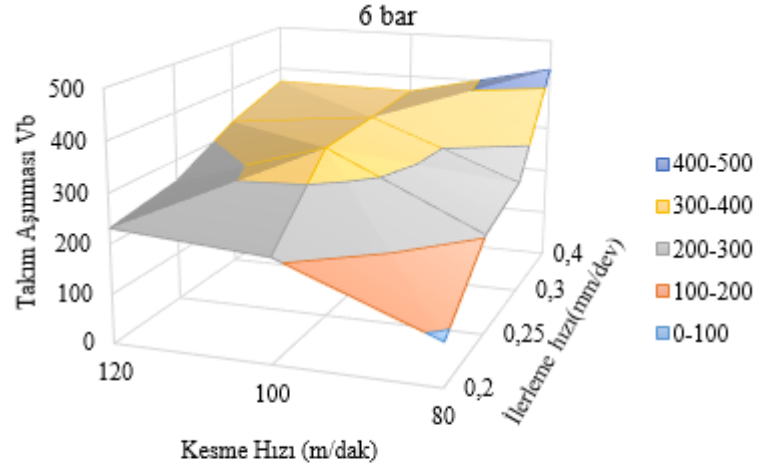


Şekil 4.7. 6 bar ve 200 bar soğutma şartlarında kesici uçlar üzerindeki aşınmalar

Kesici takımlardan alınan SEM görüntüleri incelendiğinde kesme hızının yüksek olduğu takımlarda daha fazla aşınma meydana gelmiştir. Yüksek hızlarda takım-talaş ara yüzeyinde sıcaklığın artmasından dolayı takımın abrasiv aşınma mekanizmasıyla aşınmasından kaynaklanmaktadır. Düşük hızlarda da takım aşınması yüksek kesme hızlarına nazaran daha az görülmektedir. Çünkü oluşan ısı yüksek kesme hızlarına nazaran daha azdır. Genel olarak takımlarda meydana gelen aşınmalar, yanak bölgelerinde meydana gelmiştir. En fazla aşınmalar ise 6 bar basınç ile kesme şartlarında görülmektedir. Yüksek kesme hızlarında takım-talaş ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın etkisinden dolayı kesici takımında ciddi oranda aşınmalar görülmektedir.

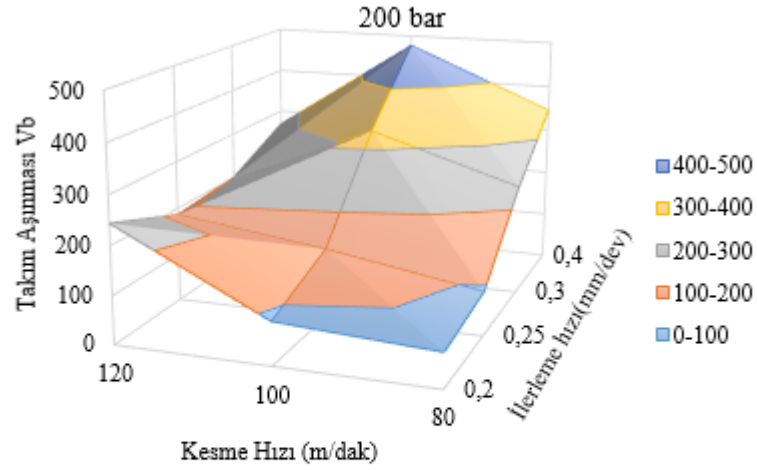
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da 6 ve 200 bar soğutma şartları kullanılarak yapılan kesme işlemleri neticesinde kesici takımında meydana gelen aşınma değerleri ve grafiği verilmiştir. Dikkati çeken bir unsur; 6 bar basınçta özellikle yüksek ilerleme hızlarında aşınmanın daha fazla meydana geldiği görülmektedir. İlerleme hızının düşmesiyle birlikte meydana gelen aşınmada ciddi oranda azalmaktadır. En iyi aşınma değeri 200 bar basınçta en düşük kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme hızında 70,69  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. En yüksek aşınma miktarı ise 200 bar basınçta 100 m/dk kesme hızı ve  $f=0,4$  mm/dev ilerleme hızında 477,9  $\mu\text{m}$  olarak elde

edilmiştir. Dolayısıyla bu durum aslında bir anlamda elde ettiğimiz yüzey pürüzlülük değerlerini doğrulamaktadır.



	120	100	80
0,2	231,5	208,6	87,41
0,25	255,6	350,7	203,8
0,3	324,5	357	239
0,4	368,7	364,8	435,3

Şekil 4.8. 6 bar basınçta takım aşınmasının kesme ve ilerleme hızına göre değişimi



	120	100	80
0,2	244,6	88,13	70,69
0,25	186,5	144,9	91,73
0,3	200,4	330,9	233,4
0,4	268,8	477,9	345,3

Şekil 4.9.200 bar basınçta takım aşınmasının kesme ve ilerleme hızına göre değişimi

6 bar ve 200 bar basınçlardaki takım aşınmaları karşılaştırıldığında, 200 bar basınçla yapılan deneylerden elde edilen aşınma miktarları 6 bar basınçla yapılan deneylere göre daha az miktardadır. 6 bar basınçta en fazla aşınmanın 80 m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerleme hızında 453.3  $\mu\text{m}$  olduğu görülmüştür. 6 bar basınç altında en iyi takım aşınması 80 m/dak kesme hızının ve 0,2 mm/dev ilerleme hızında 87,41  $\mu\text{m}$  değerinde elde edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında takım-talaş ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın etkisinden dolayı kesici takımda ciddi oranda aşınmalar gözlenmiştir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1.Sonuçlar

Bu çalışmada Ti6Al4V ELI malzemeye 2 mm sabit talaş derinliği, 3 farklı kesme hızı (80, 100, 120 m/dak), 2 farklı basınç (6, 200 bar) ve 4 farklı ilerleme (0.2, 0.25, 0.3, 0.4 mm/dev.) hızına bağlı olarak deneyler yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gibi kriterler esas alınarak yapılan işlenebilirlik testlerinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır. Çalışmalar sırasında tek tip kesici uç kullanılmıştır.

6 bar ve 200 bar basınç kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde, bazı ilerleme değerleri hariç Ti6Al4V ELI alaşımının işlenmesinde, ilerlemenin artmasıyla esas kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir. Yapılan deney sonuçları incelendiğinde esas kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuç 200 bar basınçta 80 m/dak kesme hızında ve ilerlemenin 0,2 mm/dev de ölçülmüştür.

Yapılan çalışmadan elde edilen kesme kuvveti verileri, literatürdeki yüksek basınçlı soğutmayla ölçülen kesme kuvvetleri ile mukayese edilmiştir. Çini (2010), yapmış olduğu çalışmada, 50 m/dak kesme hızı, 2 mm kesme derinliği ve 0.10-0.125-0.15-0.175-0.2 mm/dev ilerleme hızlarını kullanarak kesme parametrelerini belirlemiştir. Soğutucu akışkan basıncı olarak 6, 100, 200, 300 bar basınçlarda çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında 1,6 mm nozul çapı kullanılmıştır. Bu değişken şartlara göre elde edilen kesme kuvvetleri değerlendirilmiştir. Çalışmasında basıncın artması ile kesme kuvvetleri değerlerinde belirli bir miktar azalma elde etmiştir. En büyük ilerleme ve teğetsel kuvvet basıncın düşük olduğu (6 bar) durumunda elde edilmiştir. En düşük kesme kuvvetleri ise su basıncının 300 bar olduğu durumda ölçülmüştür. Su basıncının 6 bar'dan 100 bar'a çıkartıldığında teğetsel kuvvetlerde ve ilerleme kuvvetlerinde yaklaşık olarak %10 azalma kaydedilmiştir.

Kamruzzaman ve Dhar (2009), yüksek basınçlı jet soğutma sistemi ile yaptıkları çalışmada, 5 ayrı kesme hızı (93 – 133 – 186 – 193 – 266 m/dak), 4 farklı ilerleme hızı (0.1 – 0.14 – 0.18 – 0.22 mm/dev) ve 2 ayrı kesme derinliği (1-1,5 mm) parametrelerini kullanmışlardır. Deneylerinde 80 bar soğutma basıncında ve 0,5 mm

nozul çapında çalışmışlardır. alışmalarında iki farklı kesici takım kullanmışlardır. Kesme kuvvetleri grafikleri incelendiğinde geleneksel soğutma yöntemine göre yüksek basınçlı jet soğutma sisteminde kesme kuvveti değerleri daha düşük olduğu görülmektedir. Deneylerde ilerleme hızı arttıka kesme kuvvetleri hem geleneksel soğutma sisteminde hem de yüksek basınçlı jet soğutma sisteminde artışlar gözlenmiştir. Kesme hızı 93 m/dak, ilerleme hızı 0.22 mm/dev parametreleri seçilerek ve SNMG 120408 – TTS kesici takım kullanarak yapmış oldukları deneylerde, geleneksel soğutmada kesme kuvveti değerleri olarak yaklaşık 800 N, 80 bar basınç soğutmada ise kesme kuvveti yaklaşık olarak 650 N değerlerini elde etmişlerdir. Geleneksel soğutmaya göre 80 bar basınçta kesme kuvvetinde yaklaşık olarak %18 azalma olduğu görülmektedir. SNMM 120408 – TTS kesici takım kullanılarak aynı kesme hızı ve ilerleme hızlarında yapmış oldukları deneylerde ise geleneksel soğutma sisteminde kesme kuvveti yaklaşık olarak 700 N olarak llmştr. 80 bar basınç altında kesme kuvveti yaklaşık olarak 550 N civarındadır. Kesici ucun değişmesiyle geleneksel soğutma sistemine göre 80 bar basınçta kesme kuvvetinde yaklaşık olarak % 21 azalma olduğu görülmüştür. SNMG 120408 – TTS ve SNMM 120408 – TTS kesici takımlar kullanılarak kesme hızı 266 m/dak, ilerleme hızı 0,22 mm/dev olan deneyde geleneksel soğutma sistemine göre 80 bar yüksek basınçlı soğutma sisteminde kesme kuvvetleri yaklaşık olarak % 8 değerinde olmuştur.

Kramar ve Kopa (2009), çalışmalarında 50 m/dak kesme hızında, 0,25 mm/dev ilerleme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde, kuru kesme, 70 bar ve 200 bar basınçlarda gerçekleştirdikleri deneylerden elde ettikleri kesme kuvvetleri değerleri kuru kesmede 1125 N, 70 bar basınçta 1050 N ve 200 bar basınçta 1030 N dir. Kuru kesme ile yapılan deneye göre 70 bar basınçta kesme kuvvetinde % 6 azalma olduğu görülmüştür. 70 bar basına göre 200 bar basınçta kesme kuvvetinde % 8 azalma olmuştur.

Yapılan çalışmada, 6 bar ve 200 bar basınçta 120 m/dak kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerleme hızındaki kesme kuvvetlerini karşılaştıracak olduğumuzda 6 bar basınçta 1281 N, 200 bar basınçta ise 1103 N olduğu görülmektedir. 80 m/dak kesme hızında ve 0,4 mm/dev ilerleme hızındaki kesme kuvvetlerini incelediğimizde de 6 bar basınçta 622 N, 200 bar basınçta 573 N olduğu gözlenmektedir. 120 m/dak kesme

hızında 200 bar basınçta 6 bar basınca göre kesme kuvvetleri % 14 oranında azalma olduğu gözlenmiştir. 6 bar ve 200 bar basınç kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen kesme kuvvetleri 80 m/dak kesme hızında, 6 bar basınca göre 200 bar basınçta % 8 oranında azalma meydana gelmiştir. Basıncın artması ile kesme kuvvetleri belirli bir miktar azalmıştır.

Basıncın artması ile birlikte kesme bölgesine birim zamanda daha fazla basınçlı su etki etmektedir. Basıncın etkisi ile takım-iş parçası arasında sürtünmeden meydana gelen kesme sıcaklıkları azalmaktadır. Kesme sıcaklığının azalması ile takımda meydana gelecek bir deformasyon en aza indirgenmiş olmakta ve bu sayede takımın kesme özelliği korunmaktadır. Ayrıca basıncın etkisi ile takım ile iş parçası arasında meydana gelen sürtünme azalmaktadır. Azalma miktarları % olarak incelendiğinde literatürdeki değerlerle yaklaşık olarak benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Literatür ve yapılan tez çalışması sonuçları değerlendirildiğinde kesme kuvvetleri, ilerleme hızının artması ile birlikte teğetsel ve ilerleme kuvvetleri belirli bir miktar artış göstermiştir. Minimum kesme kuvvetleri en düşük ilerleme hızında elde edilirken, maksimum kesme kuvvetleri ise ilerleme hızının en büyük olduğu durumda elde edilmiştir. İlerleme hızlarının farklı soğutma suyu basıncına göre kesme kuvvetleri üzerine etkileri incelendiğinde, tüm basınçlarda ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetleri artmaktadır.

DeneySEL çalışmalardan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri, genel olarak incelendiğinde, hem 6 bar hem de 200 bar basınçla yapılan deneylerde sabit kesme hızlarında ilerleme hızı arttıkça artış göstermiştir. Yüksek basınçlı soğutmayla yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri 6 bar basınçla yapılan deneylere göre daha fazla çıkmıştır.

Yapılan çalışmada en iyi yüzey pürüzlülük değeri 6 bar basınçta, 120 m/dak kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyde elde edilmiştir. Her iki basınçta yapılan deneylerde 0.3 mm/dev ilerleme hızına kadar elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, kendi aralarında birbirlerine yakın değerler iken, 0.3 mm/dev ilerleme hızından sonra özellikle 0.4 mm/dev ilerleme hızında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinde bariz bir kötüleşme görülmüştür. Bu olay yüksek

basınçla yapılan çalışmada daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Ancak 0.4 mm/dev. sabit ilerleme hızı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde her iki basınçta da kesme hızlarının değişmesiyle yüzey pürüzlülüklerinde bir değişme gözlenmemiş, 6 bar basınçta 0.4 mm/dev ile 80,100 ve 120 m dak kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri ortalama 1.7  $\mu$ m, 200 bar basınçta aynı ilerleme ve kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değeri ortalama 2.6  $\mu$ m olarak elde edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden kesme parametrelerinin başında ilerleme hızı gelmektedir. Literatürde çalışılan malzemeye bakılmaksızın YBJS sistemi ile yapılan ve yüzey pürüzlülüğünün incelendiği çalışmalarda seçilen ilerleme hızları 0.10-0.14-0.18-0.22 mm/dev. (Kamruzzaman ve Dhar, 2009), 0.12-0.14-0.16 mm/dev. (Mia ve Dhar, 2018), aralığındadır. Kuru ortamda ve yüksek basınçla yapılan deneylerin yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılmasında 0.18 mm/dev ilerleme hızı ve 193 m/dak kesme hızı değerleri ile elde edilen veriler seçilmiştir (Kamruzzaman ve Dhar, 2009). Bu değerlere göre yüksek basınçlı soğutma ile yapılan deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.5  $\mu$ m, kuru ortamda yapılan deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 2.2  $\mu$ m dir. Yapılan çalışmada kuru kesme ile basınçlı kesmeden elde edilen pürüzlülük değerleri arasındaki fark yaklaşık olarak % 45 oranındadır (Kamruzzaman ve Dhar, 2009). Çift yönlü yüksek basınçla yapılan çalışmada, yüzey pürüzlülük değerlerinin mukayesesinde, 0.12-0.14-0.16 mm/dev ilerleme hızları ve 78-112-156 m/dak kesme hızları ile yapılan deney verileri kullanılmıştır. 0.12 mm/dev ilerleme hızı, 156 m/dak kesme hızı kullanılarak gerçekleştirilen yüksek basınçlı soğutma ile yapılan deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.12  $\mu$ m dir. Aynı kesme parametreleri ile kuru ortamda yapılan deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 1.23  $\mu$ m olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada ise yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark yaklaşık % 10 oranındadır (Mia ve Dhar, 2018). Her iki çalışmada da nozul çapı 0.5 mm ve soğutucu basınç değeri 80 bar olarak kullanılmıştır. Genel olarak yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında kesme hızının yüksek ve ilerleme hızının düşük olarak seçildiği çalışmalarda en iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada takım ömrü standardı göz önünde bulundurularak ilerleme hızları 0.2-0.25-0.3-0.4 mm/dev olarak seçilmiştir. Bu değerlerin en küçüğü literatürde

kullanılan en büyük ilerleme değerine karşılık gelmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan yüksek basınç ünitesinde kullanılan nozul çapı 1.6 mm ve çalışma basıncı 200 bar dır. Sabit kesme hızlarında (100-120 m/dak), 0.20 ve 0.25 mm/dev. ilerleme hızları ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri 6 bar ve 200 bar basınçla karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakın değerler elde edilmiştir. 100 m/dak kesme hızında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 bar için 1 µm, 200 bar için 1.1 µm dir. 120 m/dak kesme hızında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 bar için 0.6 µm, 200 bar için 0.7 µm dir. Düşük ve yüksek basınç kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değeri arasındaki fark 100 m/dak kesme hızı için % 10 oranında, 120 m/dak kesme hızı için % 16 oranındadır. Literatürdeki oranlar yüksek basınçlı soğutma için pozitif iken yapılan çalışmada negatif yöndedir. Ancak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, literatürdeki değerlere göre, kullanılan kesme hızları ve ilerleme hızları da göz önünde bulundurularak çok daha iyi değerlerdir.

Yüzey pürüzlülük değerlerinde 6 bar basınçta 0,4 mm/dev ile 80,100 ve 120 m/dak kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri ortalama 1,7 µm, 200 bar basınçta aynı ilerleme ve kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değeri ortalama 2,6 µm olarak elde edilmiştir. Kesme hızının değişimi 0,4 mm/dev sabit ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğüne etki etmemiştir. Sonuç olarak yüksek kesme hızları kullanılarak yapılan bu çalışmada, yüksek basınçlı soğutmanın yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etkisi görülmemiştir.

Yapılan çalışmada, en iyi aşınma değeri 200 bar basınçta 80 mm/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme hızında 70,69 µm olarak görülmüştür. 200 bar basınçta 100 m/dk kesme hızı ve 0,4 mm/dev ilerlemede takım aşınmasının 477,9 µm değerinde en yüksek olduğuna rastlanmıştır. Dolayısıyla bu durum aslında bir anlamda elde ettiğimiz yüzey pürüzlülük değerlerini doğrulamaktadır.

Yüksek basınçlı jet soğutma için ticari YBJS işleme ekipmanları bulunmasına rağmen bu teknik şu an için sanayiciler arasında popüler bir uygulama değildir. Bunun nedeni çoğu çalışmanın tornalama operasyonu üzerine olması ve kısıtlı malzemelerde gerçekleştirilmesi şeklinde açıklanabilir. Ayrıca yüksek basınçlı jet

soğutmada, geleneksel kesme sıvılarının kullanımında olduğu gibi kesme sıvısının tekrar kullanımı mümkün değildir. Yüksek basınçlı jet soğutma sistemlerine geçiş için başlangıç maliyetlerinin yüksek olması da bu tekniğin yaygınlaşmasını etkilemektedir. Ancak yapılan çalışmalar bu soğutma yönteminin birçok mühendislik malzemesinin farklı imalat süreçlerinde talaş kaldırma hacmini ve verimliliği arttırdığını ve nihai ürün kalitesini iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca bu yöntem, geleneksel kesme sıvılarının çevreyi kirleten ve sağlığa zarar veren etkilerini ortadan kaldırmaktadır. Bu sebeplerle, yüksek basınçlı jet soğutmanın ekonomik ve etkili kullanımının ilgili işleme operasyonu ve iş parçası-kesici takım malzemeleri için net olarak belirlenmesi bu tekniğin yaygınlaşmasında etkili olacaktır. Tornalama operasyonlarının yanında, frezeleme ve delme gibi sıklıkla kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinde ve geleneksel olmayan imalat yöntemlerinde farklı mühendislik malzemelerinin yüksek basınçlı jet soğutma ortamındaki işleme performanslarının araştırılması, bu çevre dostu, işlenebilirliği artırıcı ve sürdürülebilir imalat yönteminin yaygınlaşmasında ve sanayiciler tarafından tercih edilmesinde önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca yüksek basınçlı jet soğutmanın yağlayıcı etkisinin artırılması amacıyla kullanılan karma soğutma/yağlama yöntemlerinin işlenebilirliğin artırılmasındaki etkilerinin farklı imalat yöntemlerinde araştırılmasına da ihtiyaç bulunmaktadır.

## **5.2. Öneriler**

Yüksek basınçlı jet soğutma yardımıyla farklı kesici tipleri kullanılarak Ti6Al4V ELI için başka ideal şartları taşıyabilecek kesici takımlar incelenebilir.

Yüksek basınçlı jet soğutma sisteminde ki bazı araçlar daha da iyileştirilerek daha yüksek basınçlı soğutma yapıp, daha yüksek kesme hızlarına çıkarılarak çalışmalar yapılabilir.

Yüksek basınçlı jet soğutmanın kesme şartlarında basıncın takım-talaş ara yüzeyine daha iyi iletilmesini sağlamak amacıyla basınç değerini artıracak bir çalışma geliştirilebilir.

Yüksek basınçlı jet soğutma sistemindeki farklı yüksek basınçların etkisi de ayrıca incelenmelidir. Bu bağlamda etkin Ti6Al4V ELI iş parçası kullanılarak sıcaklık ve kuvvet ölçümleri gerçekleştirilebilir. Bu sonuçlar irdelenerek elde edilecek sonuçlar kuskusuz ki çok faydalı olacaktır.

Bundan sonraki aynı kapsamlı çalışmalarda; kesme hızı, ilerleme, paso miktarı gibi kesme parametrelerinin değiştirilmesi ve bu koşullarda kesme işlemlerinin izlenmesi uygun olacaktır. Bir diğer yandan kesici uç malzeme ve geometrilerinin de etkisinin irdelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla farklı takım malzemeleri ve farklı takım geometrileri kullanılarak deneyler yapılabilir.

Kuru soğutmayla birlikte 80 ile 200 bar basınç aralığında basınçlar seçilerek, 0.10-0.25 mm/dev ilerleme hızları aralığında hızlar belirlenerek, nozul çapının da etkisini görmek amacıyla hem 1.6 mm hem de 0.5 mm nozullar kullanılarak sabit kesme derinliği ve ilerleme hızında deney tekrarı yapıp sonuçlar yeniden değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 2000. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgaahları, İstanbul.
- Akkurt, M., 1985. Takım Tezgâhları, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi, Birsen Yayınevi.
- Akkurt, Mustafa., 2004. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları. Birsen Yayınevi.
- Altıntaş, Y., 2000. Manufacturing Automation. Cambridge University Pres, 275 s. Vancouver.
- Askeland, D. R., 2000. The science and engineering of materials. (çev. Erdoğan, M.) Ankara: Nobel Yayın Dağıtım,193-203.
- Ayed, Y., Germain, G., Ammar, A., Furet, B., 2015. Tool Wear Analysis and Improvement of Cutting Conditions using The High-Pressure Water-Jet Assistance when Machining The Ti17 Titanium Alloy, Percision Engineering 42, 294-301.
- Balcı, B., 2008. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin işlenmesinde Yüzeypürüzlülüğünün İncelenmesi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilim uzmanlığı tezi,67s. Karabük.
- Bargel, H. J., Schulze, G., 1980. Malzeme Bilgisi Cilt-2. MBEAE Matbaası, Gebze.
- Courbon C., Kramar D., 2009. Investigation of machining performance in high-pressure jet assisted turning of Inconel 718: An experimental study, International Journal of Machine Tools & Manufacture 49 ( 1114–1125).
- Cheung, C.F., Lee, W.B., 2000. A Theoretical and Experimental Investigation of Surface Roughness Formation in Ultra-Precision Diamond Turning, International Jurnal of Machine Tools & Manufacture, C: 40, s: 979-1002
- Çakır, M.C., 2000. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, VIPAS A.S., Bursa.
- Çakır, M.C., 2006. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri. Nobel Yayın No: 993, Nobel yayın dağıtım, 267 s. Ankara.
- Çakır M.C., Ensarioglu C., Demirayak I. 2009. Mathematical Modeling of Surface Roughness for Evaluating the Effects of Cutting Parameters and Coating Material. Journal of Materials Processing Technology 209, 102–109.
- Çetinçalı, R., 2010. AISI 316L Paslanmaz Çeliğin Kaplamalı ve Kaplamasız Kesici Takımlarla İşlenilebilirliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s. Ankara.
- Çiftçi, Ş., 2007. Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları, ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları, Karabük, 3-15.

- Çolak, O., 2006. Cnc Freze Tezgahı için Kesme Parametrelerinin Akıllı Yöntemlerle Elektronik Ortamda Optimizasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 311s. Isparta.
- Ensarioğlu C., Çakır M.C., 2005. "Titanium ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü 2. Bölüm.", Mühendis ve Makina Cilt: 46 Sayı: 547.
- Ezugwu, E.O., Bonney, J., Yamane, Y., 2003. An overview of machinability of aeroengine alloys. Journal of Materials Processing Technology 134 233–253.
- Ezugwu, E.O., 2005. Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys. International Journal of Machine Tools & Manufacture 45 1353–1367.
- Gökkaya, H. and Nalbant, M., 2007. The effects of cutting tool geometry and processing parameters on the surface roughness of AISI1030 steel, Materials ve Design, vol: 28, n:2, p: 717-721.
- Günay, M., 2009. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Al-Si/SiCp Kompozitlerin Mekanik Ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 209s. Ankara
- Güden, K., 2005. Meyil Açısı ve Yaklaşma Açısının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- İşbilir, F., 2006. Takım Ömrünün Sebep-Sonuç Diyagramları ile Açıklanması, Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Ömrüne Etkili Faktörlerin Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74s. Ankara.
- Kamruzzaman, M., Dhar, N. R., 2009. The Influence of High Pressure Coolant on Temperature Tool Wear and Surface Finish in Turning 17CrNiMo6 and 42CrMo4 Steels, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 4,6, 93-103.
- Kumar, A.S., M. Rahman, M., 2002. Effect of High-pressure Coolant on Machining Performance, S.L., 2002. Ng Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore.
- Kuram, E. 2009. Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Delmedeki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tez, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Kıran, K., 2011. Sesiçi Lazer Ergitme ile Üretilmi 316L Paslanmaz Çelik Parçaların İnce Tornalama İşlemleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 130s, Isparta

- Kramar, D., Kopac, J., 2009. High Pressure Cooling in the Machining of Hard-to-Machine Materials, *Journal of Mechanical Engineering* 5511, 685-694.
- Kwon, Y., 2000. "Robust Control of Surface Roughness in a Turning Operation", Bell and Howell Information and Learning Company, The University of Iowa.
- Lo'pez de Lacalle L. N., J. Pe'rez-Bilbatua, J. A. Sa'nchez, J. I. Llorente, A. Gutie'rrez and J. Albo'niga, 2000. "Using High Pressure Coolant in the Drilling and Turning of Low Machinability Alloys" *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology* Springer-Verlag London Limited.
- Mia, M., Dhar, N. R., 2018, Effects of Duplex Jets High-Pressure Coolant on Machining Temperature and Machinability of Ti-6Al-4V Superalloy, *Journal of Materials Processing Technology* 252, 688-696.
- Nandy A.K., M.C. Gowrishankar, S. Paul, 2009 "Some studies on high-pressure cooling in turning of Ti-6Al-4V", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* p 182-198
- Nordic Council of Ministers, 2002. IVL Swedish Environmental Research Institute; VTT. Environmentally Acceptable Metalworking Processes.
- Nouari M., List G., Girot F. and Coupard D. 2003. Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys, *Wear*; 255:1359-1368.
- Niinomi, M., 1998. "Mechanical Properties of Biomedical Titanium Alloys", *Materials Science and Engineering A*, 243: 231-236.
- Oğul, D., 2005 . Kesme Sıvıları, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Lisans Tezi, Zonguldak.
- Özçatalbaş, Y., 1996. 1050, 4140 ve 8620 Çeliklerin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 237s. Ankara.
- Özdemir, H., 2006. Tornalama İşleminde Kesme Kuvveti Ölçümünde Kullanılacak Dinamometre Tasarımı ve Üretimi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s. Sakarya.
- Saglam, H., 2004. Metal Kesmede Veri Toplama ve Değerlendirme, Lisans üstü ders notu, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sales, W.F., Diniz, A.E., Machado, A.R., 2001. Application of Cutting Fluids in Machining Processes. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 23, 227-240.

- Suresh Palanisamy, Stuart D.McDonald. Matthew, S. Dargusch, 2009 “Effects of coolant pressure on chip formation while turning Ti6Al4V alloy”, International Journal of Machine Tools & Manufacture.
- Şahin, Y., 2000. Talaş Kaldırma Prensipleri 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Şahin, Y., 2001. Talaş kaldırma prensipleri 2, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Şeker, U., 1997. TAL 408 Takım Tasarımı Ders Notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Taylan, F., 2009. Sert Malzemelerin Frezelenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 223s. Isparta.
- Tekaslan, Ö., Gerger, N. ve Şeker, U., 2008. CNC torna tezgahında AISI 304 çeliklerin işlenmesinde optimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak kesme parametrelerinin tespiti. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16, 97-104.
- Yalçın, Ü., 2008. Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Sıcaklık ve Termal Yorulma Faktörlerinin Takım Aşınma Davranışlarına Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 138s. Ankara.
- Yazman, Ş., 2006. Östemperlenmiş Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kesme Parametrelerinin İşlemeye Etkilerinin Araştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s. Konya.
- Yünlü, L., Çolak, O., Kurbanoglu, C., 2013, “Chip Formation Analysis of High Pressure Jet Assisted Machining of Ti-6Al-4V”, Proceeding of the 4th International Conference on Sustainable Life in Manufacturing, SLIM2013, Fiesa, SI.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nazım ORAL

Doğum Yeri ve Yılı : Ayvalık, 1990

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nzmoral@hotmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Ayvalık Anadolu Meslek Lisesi, 2008

Lisans :SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Tasarım ve Konst. Öğretmenliği, 2012

### Mesleki Deneyim

Topkapı Okulları İkitelli Osb Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 2015-..... (halen)