

**TALAŞ KALDIRMA İŞLEMLERİNDE MİNİMUM MİKTARDA  
YAĞLAMA (MQL) UYGULAMASININ KESME HIZI VE YAĞLAMA  
DEBİSİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME KUVVETLERİ  
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mümin İLHAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2014**

Mümin İLHAN tarafından hazırlanan “TALAŞ KALDIRMA İŞLEMLERİNDE MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MQL) UYGULAMASININ KESME HIZI VE YAĞLAMA DEBİSİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME KUVVETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

**Başkan:** Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

**Üye:** Doç. Dr. Ahmet GÜRAL

Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 30/12/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mümin İLHAN

14.01.2015

**TALAŞ KALDIRMA İŞLEMLERİNDE MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA (MQL)  
UYGULAMASININ KESME HIZI VE YAĞLAMA DEBİSİNİN YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME KUVVETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mümin İLHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Aralık 2014

**ÖZET**

Talaşlı imalatla, iyi bir kesme performansı için kesme bölgesinde oluşan ısının kontrolü ve çıkan talaşın sorunsuz bir şekilde uzaklaştırılması önemlidir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, “Minimum Miktarla Yağlama (MMY-MQL)” yönteminin takım ömrü ve yüzey kalitesi açısından geleneksel soğutma yöntemine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Kullanılan MMY sistemiyle (SKF UFB20 Basic), kesme sıvısı ile hava karışımı iş parçası ve kesici takım arasında film oluşturacak şekilde uygulanmıştır. Deneylerde ester yağ çeşidi olan LubriOil kesme yağı ve SCMT120404-C25 geometrisine sahip kaplamalı (Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN) Korloy NC320 kalitesinde (P20-P30) ve SCMT120408-C25 geometrisine sahip kaplamalı (Ti(C,N)+ TiC + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN) Korloy NC330 (P30-P40) kesici takımlar kullanılmıştır. Deneylerde ilerleme miktarı ve kesme derinliği sabit tutularak (f 0,125 mm/dev, a 2,5 mm), dört farklı kesme hızı (100, 125, 160, 200 m/dk) ve beş farklı kesme sıvısı debisi (0,225; 0,45; 0,9; 3,25; 16,25 ml/dk) uygulanmıştır. Deneyler sonucunda kesme hızındaki artışa paralel olarak, beklenen tarzda yüzey kalitesinin iyileştiği gözlenmiştir. MMY uygulamasına bağlı olarak debideki artış özellikle düşük hızlarda ve düşük debilerde yüzey kalitesini olumlu etkilemekle beraber yüksek kesme hızlarında (160 ve 200 m/dk) artan debi talaşın erken kırılmasına sebep olarak yüzey kalitesini olumsuz etkilemiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028  
Anahtar Kelimeler : Minimum Miktarla Yağlama (MMY-MQL), Debi, Kesme Hızı, Yüzey Pürüzlülüğü  
Sayfa Adedi : 75  
Danışman : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

MACHINING ON MINIMAL QUANTITY LUBRICATION (MQL) APPLICATIONS,  
LUBRICATION FLOW RATE AND CUTTING FORCES ON THE EFFECTS OF  
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SURFACE QUALITY AND CUTTING  
FORCES

(M. Sc. Thesis)

Mümin İLHAN

GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

December 2014

ABSTRACT

Machining, cutting the area for a good cutting performance of heat control and it is important that the removal of the chip to run smoothly. In recent years, researches, "Minimum quantity of lubrication (MQL)" method of tool life and surface quality compared to traditional in terms of cooling method reveals that the better results. MQL system used (SKF UFB20 Basic), cutting fluid and air mixture between the workpiece and the cutting tool has been applied to produce the film. Cutting oil and ester lubricants in the experiments of LubriOil, SCMT120404-C25 geometry with coated (TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN) Korloy NC320 quality (P20-P30) and SCMT120408-C25 geometry with coated (TiCN + TiC + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN) Korloy NC330 (P30-P40) cutting tools are used. The amount of the progress of the experiments and the cutting depth fixed by (f 0.125 mm/Rev, a 2,5 mm), four different cutting speed (100, 125, 160, 200 m/min) and five different coolant flow rate (0,45; 0,9; 3.25; 16,25 ml/min) were applied. As a result of an increase in cutting speed and in parallel experiments, it was observed that the quality of the expected style surface is cured. MQL flow rate increase at slower speeds depending on the implementation of the surface quality of low flow rates and especially positive effects on high cutting speeds (160 and 200 m/min) increased flow of metal influenced early breakage causes of surface quality.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Minimum Quantity of Lubrication (MQL), Flow Rate, Cutting Speed,  
Surface Roughness

Page Number : 75

Adviser : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e. Deneylerin yapımında Sayın Arş Gör. Gültekin UZUN'a ve laboratuarda kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesindeki katkılarından dolayı sayın Emre AY ve Uzm. Selçuk YAĞMUR'a, tez çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen arkadaşlarıma, bu günlere gelmemde maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli ve kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                          | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                               | iv    |
| ABSTRACT.....                                                            | v     |
| İÇİNDEKİLER .....                                                        | vii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                                | ix    |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                                                 | xi    |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                                 | xiii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                     | xiv   |
| 1. GİRİŞ.....                                                            | iv    |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                           | 3     |
| 3. TORNALAMA .....                                                       | 9     |
| 3.1. Geometrik Ve Kinematik Tanımlama .....                              | 11    |
| 3.2. Kesme Bölgesinde Oluşan Kuvvetler .....                             | 12    |
| 3.3. Tornalama İşlemlerinde Kullanılan Sementit Karbür Takımlar .....    | 17    |
| 3.4.1. Kaplamalı sementit karbürler .....                                | 18    |
| 4. KESME, SOĞUTMA SIVILARI VE MMY SİSTEMİ .....                          | 27    |
| 4.1. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması .....                           | 27    |
| 4.1.1. İşlevlerine göre kesme sıvıları.....                              | 28    |
| 4.1.2 Kimyasal bileşenlerine göre kesme sıvıları .....                   | 31    |
| 4.2. Kesme Sıvılarının Etkileri .....                                    | 32    |
| 4.3. Kesme ve Yağlama Sıvılarının İnsan ve Çevre Sağlığına Etkileri..... | 33    |
| 4.4. Minimum Miktarda Yağlama (MMY) Sistemi .....                        | 34    |
| 4.4.1. Dahili minimum miktarda yağlama sistemi (Internal MMY-MQL) ....   | 36    |
| 4.4.2. Harici minimum miktarda yağlama sistemi (External MMY-MQL)...     | 37    |
| 4.5. Yüzey Pürüzlülüğü.....                                              | 39    |

|                                                                                                              | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.5.1. İdeal yüzey .....                                                                                     | .40          |
| 4.5.2. Gerçek yüzey pürüzlülüğü .....                                                                        | .41          |
| 4.5.3. Yüzey pürüzlülüğü parametreleri.....                                                                  | .41          |
| 4.5.4. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler .....                                                         | .43          |
| 4.5.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm metotları .....                                                               | .44          |
| 4.5.6. Mekanik ölçüm yöntemleri .....                                                                        | .44          |
| 4.5.7. Optik ölçme yöntemi.....                                                                              | .46          |
| <b>5. MALZEME, METOT VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>                                                        | <b>47</b>    |
| 5.1. Tezgah .....                                                                                            | 47           |
| 5.2. Deney Numuneleri .....                                                                                  | 48           |
| 5.3. Kesici Takım .....                                                                                      | 48           |
| 5.4. Kesme Parametreleri .....                                                                               | 49           |
| 5.5. Minimum Miktarda Yağlama.....                                                                           | 50           |
| 5.6. MMY Sistem Debisinin Belirlenmesi .....                                                                 | 51           |
| 5.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi .....                                                                    | 51           |
| 5.8. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi .....                                                                     | 52           |
| 5.9. Deney Şeması .....                                                                                      | 53           |
| <b>6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>                                                                   | <b>55</b>    |
| 6.1. MMY Sistem Debisi ve Kesme Hızına Bağlı Olarak Yüzey<br>Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi .....          | 55           |
| 6.2. MMY Sistem Debisi ve Kesme Hızı Kombinasyonuna Göre Asıl Kesme<br>Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi ..... | 61           |
| <b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                                                            | <b>65</b>    |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                       | <b>67</b>    |
| <b>İNDEKS.....</b>                                                                                           | <b>75</b>    |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                                                                                 | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 4.1. MMY işleminde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri .....                                                                                               | 36    |
| Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan makine -teçhizat listesi ve kullanım amaçları .....                                                                                  | 47    |
| Çizelge 5.2. “JohnFord TC35 ” CNC Torna Tezgahı’nın özellikleri .....                                                                                                   | 48    |
| Çizelge 5.3. AISI 1040 çeliğin kimyasal yapısı.....                                                                                                                     | 48    |
| Çizelge 5.4. Kesici takım ölçüleri.....                                                                                                                                 | 49    |
| Çizelge 5.5. Kesme parametreleri.....                                                                                                                                   | 49    |
| Çizelge 5.6. “Lubrioil” MMY sistem yağı özellikleri .....                                                                                                               | 50    |
| Çizelge 5.7. “Mahr Perthometer-M1” YP ölçme cihazının özellikleri.....                                                                                                  | 52    |
| Çizelge 5.8. Kesme kuvveti (Kistler 9257 B ) ölçme cihazının özellikleri .....                                                                                          | 53    |
| Çizelge 5.9. 5070A Amplifier (Yükseltici) teknik özellikleri .....                                                                                                      | 53    |
| Çizelge 6.1. $R=0,8$ mm ve $f=0,125$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerleri ..... | 55    |
| Çizelge 6.2. $R=0,8$ mm ve $f=0,25$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerleri .....  | 56    |
| Çizelge 6.3. $R=0,4$ mm ve $f=0,125$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerleri ..... | 56    |
| Çizelge 6.4. $R=0,4$ mm ve $f=0,25$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerleri .....  | 56    |
| Çizelge 6.5. $R=0,8$ mm ve $f=0,125$ mm/dev için MMY sistem debisi (q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri .....        | 61    |
| Çizelge 6.6. $R=0,8$ mm ve $f=0,25$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri .....         | 61    |
| Çizelge 6.7. $R=0,4$ mm ve $f=0,125$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri .....        | 62    |

**Çizelge****Sayfa**

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 6.8. $R=0,4$ mm ve $f=0,25$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri ..... | 62 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                 | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1. Tornalama işlemi .....                                                     | 9     |
| Şekil 3.2. Tornalamada işleme parametreleri .....                                     | 11    |
| Şekil 3.3. Düz kesme kenarı olan kesicilerin, (a) Dik ve (b) Eğik kesme geometrileri. | 11    |
| Şekil 3.4. Dik (a) Ve Eğik (b) kesme için hız çözümleri .....                         | 12    |
| Şekil 3.5. Dik kesme işleminde geometrik ve fiziksel kuvvetlerin gösterilmesi .....   | 13    |
| Şekil 3.6. İş parçası ile kesici yan yüzey temas noktası kuvvet dağılımları .....     | 14    |
| Şekil 3.7. Kesme parametrelerinin kesme işleminde oluşan bileşke kuvvete etkisi ..... | 16    |
| Şekil 3.8. Kesici takım açılarının bileşke kesme kuvvetlerine etkisi .....            | 16    |
| Şekil 3.9. Kaplamalı takımların, kesme sürecine pozitif etkileri .....                | 19    |
| Şekil 3.10. PVD-CVD üretim değerlerinin karşılaştırılması .....                       | 20    |
| Şekil 3.11. Kimyasal buhar çökeltme (CVD), şematik gösterimi .....                    | 21    |
| Şekil 3.12. Titanyum karbür (TiC) kaplamanın CVD yöntemiyle üretim şeması .....       | 22    |
| Şekil 3.13. Fiziksel Buhar Çökeltme (PVD), şematik gösterimi .....                    | 23    |
| Şekil 3.14. Fiziksel Buhar Çökeltme (PVD) temel üretim şeması .....                   | 25    |
| Şekil 4.1. Kesme sıvılarının üretimdeki etkileri .....                                | 27    |
| Şekil 4.2. Yağlama rejimleri .....                                                    | 29    |
| Şekil 4.3. Talaş kaldırma işlemlerinde maliyet şeması .....                           | 35    |
| Şekil 4.4. “SKF Digital Super System” örnek dahili sistem pnömatik devre şeması ....  | 37    |
| Şekil 4.5. “SKF Temel Sistem”, harici MMY sistemi pnömatik şeması .....               | 38    |
| Şekil 4.6. Harici MMY sistem nozülü .....                                             | 39    |
| Şekil 4.7. Yüzey profiline etki eden unsurlar .....                                   | 40    |
| Şekil 4.8. Profil kesit yüzey temel terimler .....                                    | 42    |
| Şekil 4.9. Tarama yöntemi ile mekanik ölçüm .....                                     | 44    |

| <b>Şekil</b>                                                                                                                                                       | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 4.10. Algılama yöntemi ile mekanik ölçüm.....                                                                                                                | 45           |
| Şekil 4.11. Beyaz-Işık interferometre prensibi (iki-ışın interferometre) .....                                                                                     | 46           |
| Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan kesici takım geometrisi.....                                                                                                      | 49           |
| Şekil 5.2. Deney şeması.....                                                                                                                                       | 54           |
| Şekil 6.1. $R=0,8$ mm ve $f=0,125$ ve $f=0,25$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki ( $R_a$ ) değişim .....   | 57           |
| Şekil 6.2. $R=0,4$ mm ve $f=0,125$ ve $f=0,25$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerindeki değişim . | 57           |
| Şekil 6.3. $f=0,125$ mm/dev için kesici takımların MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerine etkisi.....          | 60           |
| Şekil 6.4. $f=0,25$ mm/dev için kesici takımların MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerine etkisi.....           | 60           |
| Şekil 6.5. $R=0,8$ mm ve $f=0,125$ ve $f=0,25$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki ( $F_c$ ) değişim .....    | 63           |
| Şekil 6.6. $R=0,4$ mm ve $f=0,125$ ve $f=0,25$ mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki ( $F_c$ ) değişim .....    | 63           |

**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>                                                                                                                                    | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 5.1. “UFB20-Basic” MMY sistemi .....                                                                                                      | 50           |
| Resim 5.2. MMY sistemi debisinin ölçme yöntemi (a) sistem yağının beher ile ölçülmesi, (b) MMY sistem yağının hassas terazi ile ölçülmesi ..... | 51           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

|                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| <b>a</b>              | Kesme Derinliği, mm             |
| <b>C°</b>             | Santigrad Derece                |
| <b>cm</b>             | Santimetre                      |
| <b>d</b>              | Çap, mm                         |
| <b>dev</b>            | Devir                           |
| <b>dk</b>             | Dakika                          |
| <b>f</b>              | İlerleme Hızı, mm/dev           |
| <b>F<sub>c</sub></b>  | Asıl Kesme Kuvveti, N           |
| <b>g</b>              | Gram                            |
| <b>ml</b>             | Mililitre                       |
| <b>mm</b>             | Milimetre                       |
| <b>N</b>              | Dönme Hızı, rad/sn              |
| <b>Q</b>              | Debi, ml/dk                     |
| <b>p<sub>av</sub></b> | Ortalama Yataklama Basıncı, bar |
| <b>R<sub>a</sub></b>  | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, µm  |
| <b>R<sub>i</sub></b>  | İdeal Yüzey Pürüzlülüğü, µm     |
| <b>V</b>              | Kesme Hızı, m/dk                |
| <b>η</b>              | Dinamik Viskozite, kg/msn       |

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

|             |                                                                           |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>AISI</b> | Amerikan Demir ve Çelik Endüstrisi (American Institute of Steel and Iron) |
| <b>CNC</b>  | Bilgisayarlı Sayısal Denetim (Computer Numerical Control)                 |
| <b>CVD</b>  | Kimyasal Buhar Çökeltme (Chemical Vapour Deposition)                      |
| <b>CFD</b>  | Bilgisayarlı Akış Dinamiği (Computer Flow Dynamic)                        |
| <b>HSS</b>  | Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel)                                      |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklamalar</b>                                                                   |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ISO</b>         | Uluslar Arası Standartlar Teşkilatı (International Organization for Standardization) |
| <b>MMY</b>         | Minimum Miktarla Yağlama                                                             |
| <b>MQC</b>         | Minimum Miktarla Soğutma (Minimum Quantity of Coolant)                               |
| <b>MQCL</b>        | Minimum Miktarla Soğutma Ve Yağlama (Minimum Quantity Of Coolant And Lubrication)    |
| <b>ML</b>          | Minimum Quantity of Lubrication                                                      |
| <b>NDM</b>         | Kuruya Yakın İşleme (Near-Dry Machining)                                             |
| <b>PVD</b>         | Fiziksel Buhar Çökeltme (Physical Vapour Deposition)                                 |

## 1. GİRİŞ

Talaşlı üretim sırasında kesme sıvılarının kullanılması büyük önem taşımaktadır. Kesme sıvısı kullanımıyla amaçlanan, kesme sırasında meydana gelen yüksek sıcaklıkların takım ömrü ve parça kalitesi üzerine olumsuz etkilerini azaltmaktır [1]. Son yıllarda kesme sıvılarının kullanımını en aza indirmek veya kullanımını tamamen önlemek için birçok yol denenmiştir. Bunun en büyük sebebi ise bazı üretim alanlarında %17'ye kadar ulaşan kesme sıvısı maliyetleridir [2].

İmalat sürecinin başarılı olabilmesi için sadece üretim zamanı, üretim miktarı ve üretim ekonomisi yeterli olmayıp çevre kirliliğine ve insan sağlığına karşı olan etkisi de değerlendirilmelidir. Takım-talaş ve iş parçası-talaş arasındaki uygun değişiklik ve kesme bölgesinde oluşan ısıdaki azalmaya bağlı olarak takım aşınmasındaki azalma ve yüzey kalitesi iyileşmesi gibi olumlu sonuçları sağlayan Minimum Miktarda Yağlama (MMY) tekniğinin bu etkileri önemli sonuçlardır [3]. Ayrıca bir araştırma da kesme bölgesi sıcaklığı, talaş akış şekli açısından MMY tekniğinin diğer soğutma yöntemlerine göre çok daha üstün performans gösterdiği, takım aşınmasındaki azalmaya bağlı olarak takım ömründe ve yüzey kalitesinde iyileşmeler gözlenmiştir [4].

Metal şekillendirme ve talaş kaldırma işlemlerinde yağlama veya soğutma için kullanılan kesme sıvıları, talaş kaldırma esnasında çıkan talaşı ve ısıyı uzaklaştırmaya yardımcı olurken, birçok zararlı etkileri de vardır.. Kullanılan bu sıvılar, çevreye zararlı olabilecek kimyasal bileşenler içerir. Bu sıvıları imha etmesi zor, geri dönüşümü pahalı olmalarının yanı sıra deri ve akciğer hastalıklarına neden olabilecek hava kirliliği oluşturabilirler [5].

Bu çalışmada, Minimum Miktarda Yağlama (MMY) sisteminin farklı debi değerlerinin, kaplamalı kesici takımlar ve farklı kesme parametreler kullanılmasıyla elde edilen sonuçların deneysel olarak araştırılması hedeflenmiştir.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İmalat sürecinde kullanılan kesme sıvılarının, takım ömrüne ve yüzey pürüzlülüğüne karşı olumlu etki etmesi, ayrıca çevreye ve insan sağlığına karşı korumacı bir yaklaşımla üretim için yıllardır çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Dolayısıyla kullanılan kesme sıvısı miktarlarının en aza indirilmesi ve insan sağlığına karşı olumsuz etkilerinin bulunmaması ihtiyacımız olan gereksinimleri sağlayabilmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen Minimum Miktarda Yağlama (MMY- Minimum Quantity Of Lubrication, MQL) sistemleri kesme sıvısı kullanımını önemli miktarda azalmasıyla ihtiyaç duyulan gereksinimlerin karşılanması amaçlanmıştır.

Vishal S. Sharma ve arkadaşları yaptıkları çalışmada modern malzemelerin tornalanmasında ısı oluşum mekanizmasını incelemişlerdir. Bu malzemelerin düşük ısı iletkenliği, yüksek sıcaklıklarda ciddi dayanım, aşınmaya karşı direnç ve kimyasal değişiklikler gibi kendine özgü karakteristiklerinden dolayı talaş kaldırma işlem sırasında oldukça negatif rol oynamaktadır. Bu çalışmada MMY bir diğer adıyla kuruya yakın işleme (NDM), yüksek basınçlı soğutucular (HPC), kriyojenik soğutucular, basınçlı hava ile soğutma ile katı yağ/soğutucu kullanılarak uygulanan soğutma teknikleri temel avantajları bakımından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda görülmüştür ki; bu tekniklerin kullanılmasıyla kesme bölgesindeki sürtünmenin ve ısının azalması sağlanmış, buna bağlı olarak süreçteki verimliliğin arttığı görülmüştür [6].

L. N. L'opez de Lacalle ve arkadaşları yaptıkları deneysel ve teorik çalışmada alüminyum alaşımlarının yüksek hızda frezelenmesinde takımda mevcut ve sürekli büyüyen BUE üzerinde durmuşlardır. Bu oluşumda takım kesici kenarındaki yağlama/soğutmanın çok önemli bir faktör olduğunu vurgulamışlardır. Bu problemlerin olumsuz etkilerinin engellenebilmesi için suda yağ emülsiyonları ile soğutma ve mikro-damlatma yöntemi ile hava ile yağ karışımının uygulanması olmak üzere iki teknik kullanmışlardır. Çalışma bu teknikleri iki açıdan ele almıştır. İlk olarak, emülsiyon tekniğinin yavaş soğutma yapmasına karşılık; MMS tekniğinin hızlı ve etkili bir soğutma yaptığı gözlenmiştir. Bu durum Bilgisayarlı Akış Dinamiği (CFD) ile simülasyonu yapılarak ayrıca deneysel olarak da incelenmiştir. İkincisi ise, ilerleme yönüne bağlı olarak nozül enjeksiyon konumunun etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kesme yağı tüketiminin, en aza indirilmesi analiz

edilmiştir. Yapılan karşılaştırmada, geleneksel soğutma yönteminin verimsizliğinin sebebi takım kesici kenarlarının iç kesme bölgelerine soğutma sıvısının ulaşamamasından kaynaklandığı görülmüştür. MMY uygulamasında ilerleme yönünün uygun olarak nozül konumuna göre belirlenmesi verimlilik için önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca MMY’de geleneksel soğutma sistemine oranla yaklaşık %95 civarında soğutma sıvısı tüketim miktarının azalması, işleme maliyetini de olumlu yönde etkilemektedir. Deneysel sonuçlarda yağ tüketiminin  $0,06 \text{ cm}^3$ ’den daha az olduğu gözlenmiştir. Bu her işleme saatinde  $3,6 \text{ cm}^3$  kesme sıvısına tekabül etmektedir [7].

U. Akben ve M. Erten çelik parçalarda deliğin TiAlN kaplamalı takımlarla ince talaş işlemlerinde, sulu kesme ile MMY yöntemlerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırması yapılmışlardır. Çalışmalar sonunda kesici uç için, kesici takım firmasının önerdiği kesme hızı değer aralığı içinde MMY’ nin, sulu kesmeye göre daha iyi yüzey kalitesi ve daha uzun takım ömrü sağladığı gözlenmiştir [2].

A.E. Diniz ve arkadaşları AISI 52100 takım çeliğini CBN takımla işlerken MMY tekniğini  $10 \text{ ml/h}$  debi ile, soğutma sıvısını  $4,5 \text{ bar}$  standart hava basıncı uygulayarak kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada takım aşınmasının MMS tekniği ve kuru kesmede benzer değerlere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir ve aşınmanın geleneksel soğutma yöntemi ile işlemedeki sonuçlardan daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. MMS tekniği kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerinin ise diğer iki teknikle elde edilen sonuçlara yakın olduğunu gözlemlemişlerdir [8].

L. R. da Silva ve arkadaşları makine parçalarının talaş kaldırma işlemi sırasında sadece kesiciden kaynaklı yüzey pürüzlülüğünü değil aynı zamanda yüzeysel dokuyu etkileyen diğer faktörlerden kaynaklanan yüzey düzensizliklerinin yapısını da incelemişlerdir. Bu çalışmada MMY tekniğinin, geleneksel soğutma yöntemiyle karşılaştırılması ve analizi yapılmıştır [9].

M. Sarıkaya ve A. Güllü tarafından yapılan çalışmada AISI 1050 çeliğinin tornalama işleminde, ıslak kesme ve MMY soğutma koşullarının, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği gibi ana kesme parametrelerinin, ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ve ortalama maksimum profil yüksekliğine ( $R_z$ ) etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin ilerleme oranı olduğunu gösterirken, soğutma

koşullarının da yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli ölçüde etkili olduğuna işaret etmektedir. MMY sisteminin yüzey pürüzlülüğünü azaltmada önemli bir araç olduğu da kanıtlamışlardır [10].

A. Meena ve M. El Mansori tarafından yapılan çalışmanın hedefi delik delme işlemlerinde, takım aşınmasını azaltmak, işlenebilirliği arttırmak, takım ömrünü uzatmak, çevresel ve ekonomik faktörler doğrultusunda, soğutucu akışkan tüketimini en aza indirmektir. Hafif sınıf otomotiv parçaları ve bağlantı çubuklarının yapımında kullanılan, yeni sınıf sertleştirilmiş sünek döküm (ADI) malzemenin, TiAlN tungsten kaplamalı karbür takım ile kuru ve MMY yöntemi kullanılarak işlenmesi incelenmiştir. MMY ile delme işlemi, kuru ve alışlagelmiş delme işleme ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar, MMY ile işlemede takım aşınmasında, kesme kuvvetlerinde ve yüzey pürüzlülüğünde önemli azalma olduğunu, kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklarda düşüş olduğu göstermektedir [11].

L. De Chiffre ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, raybalama işleminde, MMY sistemi uygulamasının, sayısal yaklaşım kullanılarak işlem yeteneği incelenmiştir. Bu işlem, farklı kesme verileri ve yağlama koşulları kullanılarak östenit paslanmaz çelik malzemeye, yüksek hız çeliği (HSS) malzeme rayba ile uygulamıştır. Raybalama işlemleri bir dizi değerlendirme parametreleri, delik kalitesi (çap, yuvarlaklık, silindiriklik ve yüzey pürüzlülüğü) ve kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. İtme ve döndürme raybalama için kullanılan MMY sistemi, incelenen süreç koşullarında, delik kalitesi, itme ve döndürme kuvveti, geometrik karakteristiği ve yüzey kalitesi açısından kendisini kanıtlamıştır [12].

M. Hadad ve B. Sadeghi tarafından yapılan çalışmada AISI 4140 çelik alaşımlı malzemenin torna tezgahında işleme ve sonuçların incelenmesini kapsamaktadır. Araştırmada, MMY sistemi nozül pozisyonunun ve kesme parametrelerinin (kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme) sonuca etki ettiği gözlenmiştir. Kuru işleme ile MMY tekniği arasında kıyaslama yapıldığında, kesme performansı, takım ömrü ve yüzey kalitesini artmıştır [13].

J. P. Davim ve arkadaşları, pirinç malzemenin torna tezgahında, MMY sistemi kullanılarak işlenmesini incelenmişlerdir. İlerleme, kesme kuvveti, özgül kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü incelenmiş ve yapılan araştırmalar sonucunda ıslak soğutma yöntemlerin yerini MMY sisteme bırakması gerektiği vurgulanmış ve sisteme adapte olmak, üretim

malijetlerini ve çevresel hasarları azalttığı belirtilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve talaş formu bakımından 200 ml/h ile ıslak işleme 2000 ml/h debiler arasında kıyaslama yapıldığında benzer sonuçlar elde edilmiştir [14].

R. Autret ve S. Y. Liang, kaba talaş tornalama işleminde MMY sisteminin etkileri araştırmışlardır. Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesme sıvıları, yağlayıcı, soğutucu ve talaş uzaklaştırma özelliklerinden dolayı performansı etkilediği sonucuna varılmıştır. MMY sistemi kaba talaş kaldırma işleminde, takım aşınması, ısı oluşumu ve yüzey kalitesi açısından kendisini kanıtlamış ve yapılan alışma MMY kullanımı, yüzey pürüzlülüğünü azalttığı, yan yüzey aşınmasını geciktirdiği, düşük kesme sıcaklığı ile birlikte kesme kuvvetlerinde az da olsa etki gösterdiği bildirmişlerdir [15].

Patil Deepakkumar, H. ve M. Sadaiah, AISI 4340 eliğin, torna tezgahında, MMY sistemi ve kuru işleme koşullarının, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım aşınmaları durumlarına göre karşılaştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü, kübik bor nitrit (CBN) uç üzerindeki etkileri, varyans analizi (ANOVA) optimum koşullara ulaşana kadar uygulamışlardır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) kuru ve ıslak tornalama işleminde sırasıyla 1,2 m ve 1,1 m olurken, MMY sistemi uygulaması ile tornalama işleminde Ra değeri ise 0,9 m olduğunu grlmştir [16].

T. Leppert tarafından yapılan çalışmada C45 eliğin tornalanmasında, kesme bölgesinin soğutulması ve yağlanması ile parçada oluşan yüzey pürüzlülüğü, dalgalanmalar, profil yataklama oranı ve yüzey bilgisinin etkilerini araştırmıştır. Kuru işleme, MMY ve geleneksel emülsiyon soğutma işlemi sonuçları arasında kıyaslama yapmıştır. Seçilen kesme parametreleri doğrultusunda, kuru ve MMY ile tornalama işleminde, geleneksel emülsiyon soğutma işlemine göre daha iyi yüzey karakteristiği (pürüzlülük, dalgalanma) elde etmiştir. Yüzey özelliklerini iyileştirmesinin yanı sıra MMY sisteminin evre dostu olduğunu göstermiştir [17].

V. N. Gaitonde ve arkadaşları, pirinç malzeme tornalama işleminde, K10 karbür uç kullanılarak optimum MMY miktarı, kesme hızı ve ilerleme oranının belirlenmesinin asıl hedefleri oldukları belirtilmişler ve Taguchi tekniği ve çoklu yanıt optimizasyon metoduyla, yüzey pürüzlülüğü ve özel kesme kuvvetlerinin eş zamanlı olarak en aza indirilmesi amaçlamışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve özel kesme kuvvetlerini en aza

indirmek amacıyla, MMY debi miktarı 200 ml/h, kesme hızı 200 m/dk ve ilerleme oranı 0,05 mm/dev olarak belirlenen parametre değerlerinde optimum kesme koşulları elde edildiği gösterilmiştir [18].

S. Suda ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, makine takımlarının, çeşitli yağlayıcılara gerekliliklerini vurgulamış ve MMY sisteminde yağlayıcı olarak sentetik esterin başarılı kesme sıvısı olduğunu kanıtlamışlardır. Çok sayıda uygulanan, kesme ve yağlama testlerinin ardından, az miktar ile kullanılan esterin, başarılı ve çok fonksiyonlu yağlama performansı gösterdiğini göstermişlerdir [19].

Y. K. Hwang ve C. M. Lee, AISI 1045 çeliğinin tornalama işleminde, MMY sistemi ve ıslak kesme şartlarının, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve işlenebilirliğinin optimum şartlarını belirlemek için deneysel olarak modellenmesi araştırmışlardır. Araştırmayı, harici MMY sistemini, torna tezgahına entegresi ile gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda MMY sisteminin, ıslak kesme şartlarına göre daha iyi kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü sağladığı kanıtlamışlardır [20].

M. Z. A. Yazid ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, yüksek aşınma dirençli, nikel tabanlı süper alaşım Inconel 718 iş parçasının ince talaş tornalama işlemi sırasında, üç kesme koşulunun (kuru, MMY 50 ml/sa ve MMY 100 ml/sa), yüzey bütünlüğü, işlenebilirlik koşulları ve kesme parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, MMY sistemi kullanımının yüzey karakteristiğini geliştirdiğini göstermiştir [21].

N.R. Dharve arkadaşları, AISI 1040 çeliğinin tornalama işleminde, kesme sıcaklığı, talaş akış oranı, kesme kuvvetleri, takım aşınmaları, bitiş yüzeyi ve ölçüsel sapmaların deneysel ölçümüne bağlı olarak MMY tekniği ve kuru kesme tekniğinin mekanik performansları arasındaki farkları kıyaslamışlardır. MMY tekniği ile; düşük kesme sıcaklığı ve kesme kuvvetleri, düşük takım aşınması, düşük yüzey pürüzlülüğü ve düşük ölçüsel sapmalar elde edildiği gözlemlenmiştir [22].

M. M. A. Khan ve arkadaşları, AISI 9310 çelik alaşımının tornalama işleminde bitkisel yağ esaslı soğutma sıvısı kullanarak, MMY tekniğini incelemişlerdir. Çalışmada takım ve talaş temas bölgesi sıcaklığı, talaş şekli, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından ıslak kesme ve kuru kesme teknikleri ile kıyaslanarak MMY tekniğinin performansı hakkında

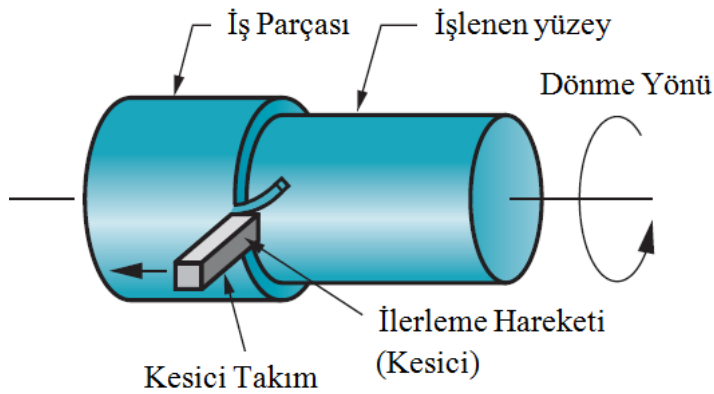
bilgi vermektedir. Uygulanan bu MMY tekniğinde hava ve bitkisel yağ, kesme bölgesine ihtiva edilir. Kesme bölgesi sıcaklığı, talaş akış şekli açısından MMY tekniğinin diğerlerine oranla çok daha üstün performans gösterdiği, takım aşınmasındaki azalmaya bağlı olarak takım ömründe ve bitiş yüzeyinde iyileşmeler gözlenmiştir. Buna ek olarak MMY tekniği çevre dostudur. Bu sonuçlar ile talaş kaldırma şartlarında olumlu gelişmeler sağlanmıştır [23].

P.S. Sreejith, elmas kaplamalı karbür takımlar ile 6061 alüminyum alaşımının işlenmesinde farklı yağlama uygulamaları konu edilmiştir. Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması dikkate alınarak kuru kesme, MMY ve geleneksel soğutma teknikleri analiz edilmiş ve bu şekilde üç farklı soğutma ortamını karşılaştırmıştır. Yapılan incelemeler sonunda MMS tekniğinin soğutma tekniği için bir alternatif olabileceğini saptamıştır. Bu da geleneksel soğutma tekniğinin yerini, uygun şekilde kullanılan MMY tekniğinin alacağını göstermektedir. Dolayısıyla sadece çevre dostu olduğu için değil, aynı zamanda işleme karakteristiğini yükselttiği için de tercih sebebi olduğunu kanıtlamıştır [24].

Yapılan bu araştırmalar sonucunda MQL sisteminin, alışlagelmiş soğutma yöntemlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların sonucunda geleneksel soğutma sisteminin yerini MMY sistemine geçilmesi hem ekonomik, hem çevre sağlığı ve de insan sağlığı açısından doğru seçim olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan bu çalışmada da aynı olumlu etkileri elde edebilmek için literatür araştırması sonucunda gözlemlenen MMY tekniği kullanılarak, farklı debilerin ve farklı kesme parametrelerine bağlı olarak optimum şartların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, minimum miktarda yağlama sistemi kullanılarak gerçekleştirilen tornalama işlemlerinde, kaplama uygulaması, yağlama debisi ve kesme hızının yüzey kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

### 3. TORNALAMA

Tornalama işlemi tek bir kesici uç ile dönen iş parçası üzerinden talaş kaldırarak, istenilen ölçü değerleri doğrultusunda yapılan işlemdir. Kesme işlemi, hareketli kesicinin ilerlemesi ile, dönen parça üzerinden talaş kaldırmasıyla gerçekleşir. Bu tanımlar doğrultusunda iş parçası üzerinde simetrik olarak talaş kaldırarak silindirik parçaların işlenmesinde kullanılmaktadır. Tornalamanın çeşitleri ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1. Tornalama işlemi [25]

Daha iyi sonuç alınabilmesi için işleme yöntemine, kesicinin cinsine, iş parçasına, soğutma sıvısı kullanımı v.b gibi sebepler dikkate alınarak uygulama yapıldığında maliyet, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü gibi durumlar karşısında avantaj sağlanmış olur. Tornalamada işlemin yöntemine göre kesiciler tercih edilir. Tornada talaş kaldırma uygulamaları:

- Boyuna tornalama
- Alın tornalama
- Açılı kopya tornalama
- Yuvarlak profil işleme
- İç çap tornalama
- Kesme veya kanal açma
- Diş açma vb.

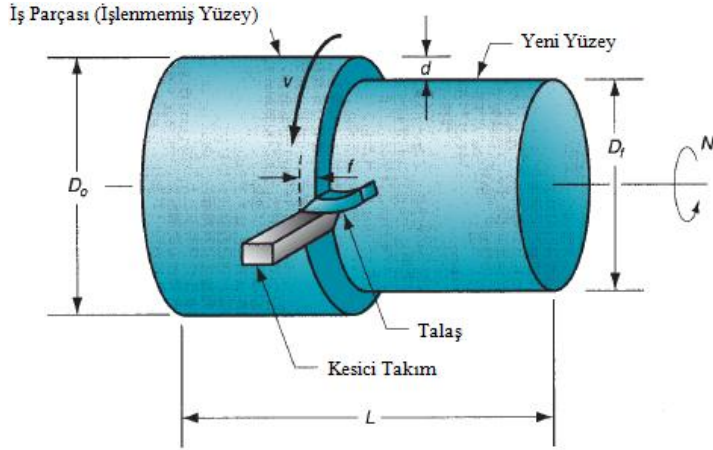
şeklinde sıralanabilir.

Tornalama işlemi, iş parçası eksenine ile kesicinin kesme noktasının aynı ekseninde olarak talaş kaldırılmasıdır. Tornalamada diğer yöntemlerle kıyaslama yapıldığında genellikle yüzey tornalama işlemi uygulamaları yapılır. Tornalama işleminde, ilerleme yönü, makine miline göre ağırlıklı olarak eksendedir. Talaş kaldırılan yüzeyde radyal ilerleme baskındır. Tornalama işlemlerinde kesme karakteristikleri, diğer işleme yöntemlerine benzerdir. Belirli bir işlem için sadece tek bir kesici takım kullanılır. Yüzey işlenmesine başladıktan sonra istenilen şekil veya yüzey elde edilene kadar kesici ile iş parçası sürekli temas halindedir. Tornalama işlemi yapılırken kesme hızı ve diğer kesme parametreleri sabit olarak kalacaktır. Yüzey operasyonlarında kesme hızı, iş parçası çapı ile orantılıdır.

Tornalama işleminde önemli olan durumlardan biriside yüzey pürüzlülüğüdür. Tornalama işleminde, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesici uç yarıçap değeri yüzey pürüzlülük değerini doğrudan etkilemektedir. Talaş derinliği ve ilerleme arttığında yüzey pürüzlülük değeri ve uç yarıçapı arttıkça yüzey kalitesi yükselir [26]. Yapılan çalışmalar doğrultusunda tornalama işlemi yaparken doğru kesme parametre seçimi, yüzey pürüzlülüğüne doğrudan katkıda bulunduğu görülür. Tornada talaş kaldırma işlemin de kullanılan parametreler Şekil 3.2’de gösterilmiştir. İşleme parametreleri

- Kesme hızı (V)
- İlerleme Oranı (f)
- Kesme Derinliği (a)

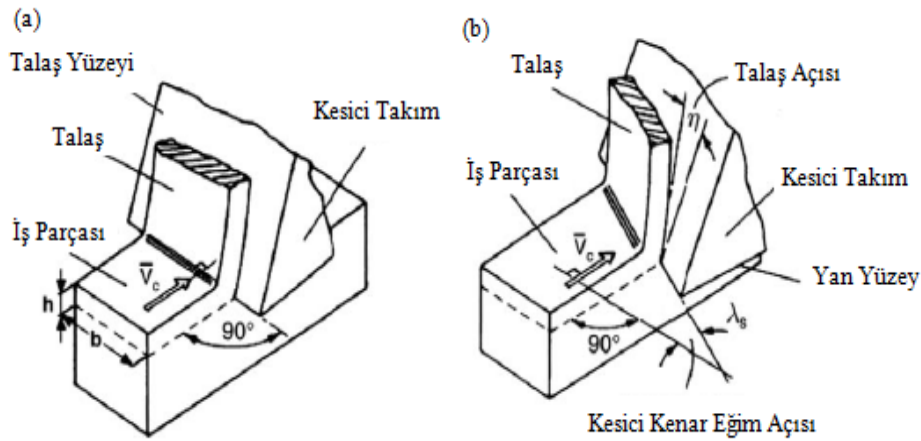
olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.2. Tornalamada işleme parametreleri [25]

### 3.1. Geometrik Ve Kinematik Tanımlama

Teorik olarak talaş kaldırma, kesici takımın kazıma diye tabir edilen talaş kaldırma işlemi sırasında, sürekli veya süreksiz talaş akışı oluşan, eğik veya dik kesme yöntemi uygulanarak meydana gelen durumdur. Talaş kaldırma yönteminde kesicilerin geometrik karakteristikleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir [27,28]. Talaş kaldırma işlemi sırasında dik ve eğik kesme yöntemlerinde hız çözümleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



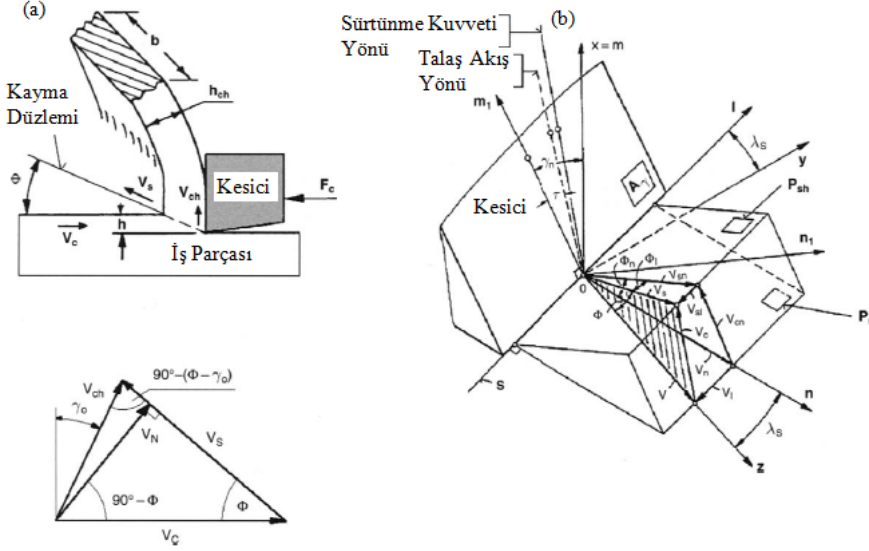
Şekil 3.3. Düz kesme kenarı olan kesicilerin, (a) dik ve (b) eğik kesme geometrileri

Şekil 3.4'te takım ve talaş arasındaki kayma hızı  $V_{ch}$  ve kesme hızı  $V_c$

$$V_{ch} = V_c \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma_0)} \quad (3.1)$$

$$V_s = V_c \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma_0)} \quad (3.2)$$

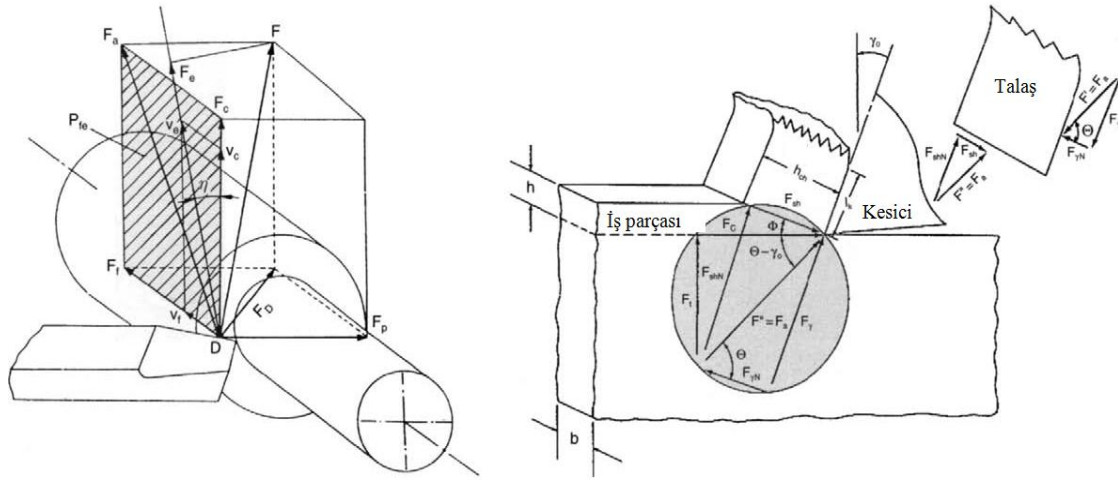
eşitlikleri ile hesaplanır. Eşitlik değerindeki  $\phi$  kayma açısı,  $\gamma_0$  ise dik işlemede yan kesme açısıdır.



Şekil 3.4. Dik (a) Ve Eğik (b) kesme için hız çözümleri [28]

### 3.2. Kesme Bölgesinde Oluşan Kuvvetler

Talaş kaldırma işleminde, en temel durumda kesicinin temas ettiği noktada üç temel F kuvveti oluşmaktadır. Şekil 3.5'te oluşan kuvvetler gösterilmektedir. İlk durumda koordinat sistemi birincil ve ilerleme hareketlerinin yönlerine odaklıdır. Bunun sonucu olarak  $F_c$  ve  $F_f$  ile gösterilen semboller kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti olarak adlandırılır. Ayrıca kesicinin, iş parçası tarafından radyal ve dik yönde baskı yapan kuvvetine ise pasif kuvvet  $F_p$  olarak tanımlanır.



Şekil 3.5. Dik kesme işleminde geometrik ve fiziksel kuvvetlerin gösterilmesi [29]

Takım hareket yönünde oluşan kuvvet bileşenlerinden  $F_c$ , belirli bir hareket mesafesi için iş miktarını belirler. İlerleme kuvveti olan  $F_f$  ise takımın iş parçası üzerinde ilerlemesi için gereken kuvveti belirler.

Kayma düzleminde oluşan kesme kuvvetleri ise  $F_{sh}$  ve  $F_{shN}$  olarak tanımlanır.  $F_{sh}$  kesme kuvveti kayma düzleminde talaşın kopması için gereken kuvveti temsil eder.  $F_{shN}$  kuvveti ise kayma düzlemine dik olarak hareket eder ve ek basınç oluşturur.

Kayma düzlemindeki meydana gelen kuvvetler

$$F_{sh} = F_c \frac{\cos(\theta + \phi - \gamma_0)}{\cos(\theta - \gamma_0)} \quad (3.3)$$

$$F_{shN} = F_c \frac{\sin(\theta + \phi - \gamma_0)}{\cos(\theta - \gamma_0)} \quad (3.4)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Kesici ve iş parçası ara yüzünde,  $F_\gamma$  ve  $F_{\gamma N}$  kuvvetleri iş yüzeyine paralel ve dik olarak ilerler.  $F_\gamma$  kuvveti talaşın kesici takımın eğim açısından akarken oluşan sürtünme kuvvetini ifade eder.

Kesici ve iş parçası ara yüzünde oluşan bu sürtünme kuvveti

$$F_{\gamma} = F_c \frac{\sin \theta}{\cos(\theta - \gamma_0)} \quad (3.5)$$

eşitliği ile elde edilir. Eşitlikteki  $\theta$  değeri sürtünme açısıdır.

Kesici ve iş parçası ara yüzündeki normal kuvvet

$$F_{\gamma N} = F_c \frac{\cos \theta}{\cos(\theta - \gamma_0)} \quad (3.6)$$

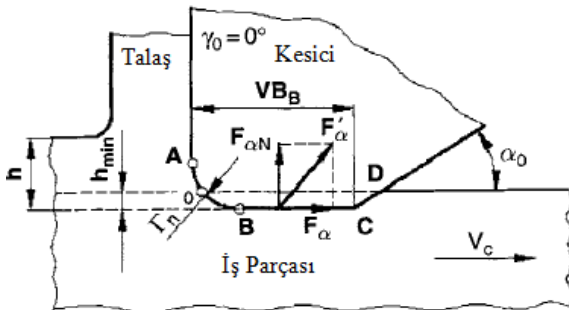
eşitliği ile hesaplanır.

Kesici ve talaş arasındaki  $F_{\gamma}$  ve  $F_{\gamma N}$  katsayıları

$$\mu_{\gamma} = \tan \theta = \frac{F_{\gamma}}{F_{\gamma N}} = \frac{F_c \sin \gamma_0 + F_f \cos \gamma_0}{F_c \cos \gamma_0 - F_f \sin \gamma_0} \quad (3.7)$$

eşitliği ile sonuç elde edilir.

Talaş kaldırma sırasında yüksek elastikiyet modülü ve yan yüzey aşınması ilerledikçe, aynı zamanda iş parçası ve yan yüzey temas noktasında oluşan kuvvetler, toplam kesme kuvvetlerini oluşturduğu, deneylerde oluşan şekli bozulmamış talaşlar sayesinde anlaşılmıştır. Şekil 3.6'da yan yüzeye etki eden  $VB_B$  kuvveti bulunmaktadır.



Şekil 3.6. İş parçası ile kesici yan yüzey temas noktası kuvvet dağılımları [28]

Bu kuvvetler şekli bozulmamış talaş kalınlığı  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetlerinin ekstrapolasyon

yöntemi ile çözümlenir [30]. Bu kuvvet  $F_\alpha$  ve  $F_{\alpha N}$

$$F_\alpha = F_{c(h \rightarrow 0)} i \quad F_{\alpha N} = F_{f(h \rightarrow 0)} \quad (3.8)$$

eşitliği ile çözümlenir.

Buna ek olarak yan yüzeye etki eden kuvvetlerin çözümü, sabit bir zımba kullanılarak yarı boşluklu kayma hattı düzlemi metoduyla çözümlenir [28].

Denklemdaki c değeri akma gerilmesi 2,6-4 arasında olup,  $A_\alpha$  ise kesici iş parçası temas eden bölge alanıdır. Aşınmış yan yüzeydeki normal kuvvet

$$F_{\alpha N} \approx c \sigma_p A_\alpha \quad (3.9)$$

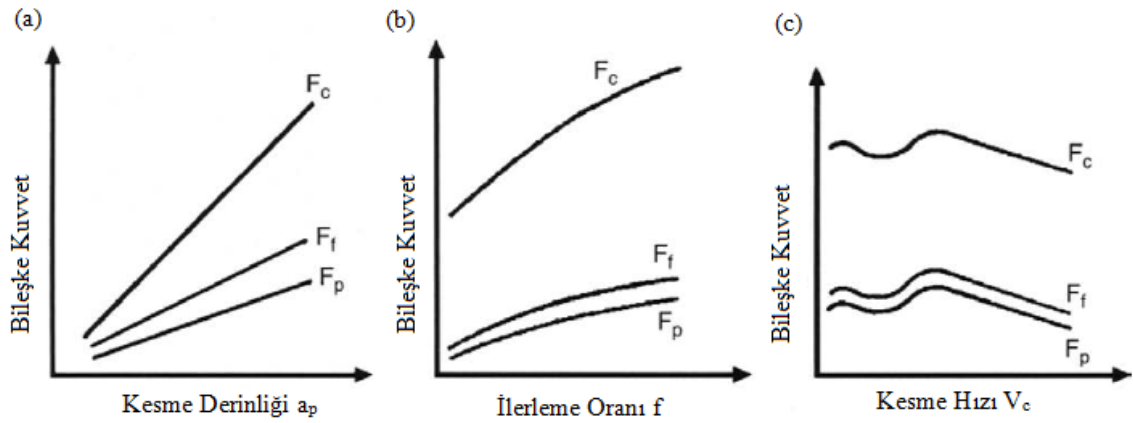
eşitliği ile çözümlenir.

$\tau_{cy}$  yan yüzeyde ana kayma gerilmesi ve UTS esas çekme mukavemetidir bu kuvvetler

$$F_\alpha = \tau_{cy} A_\alpha = (0.5/0.6) UTSA_\alpha \quad (3.10)$$

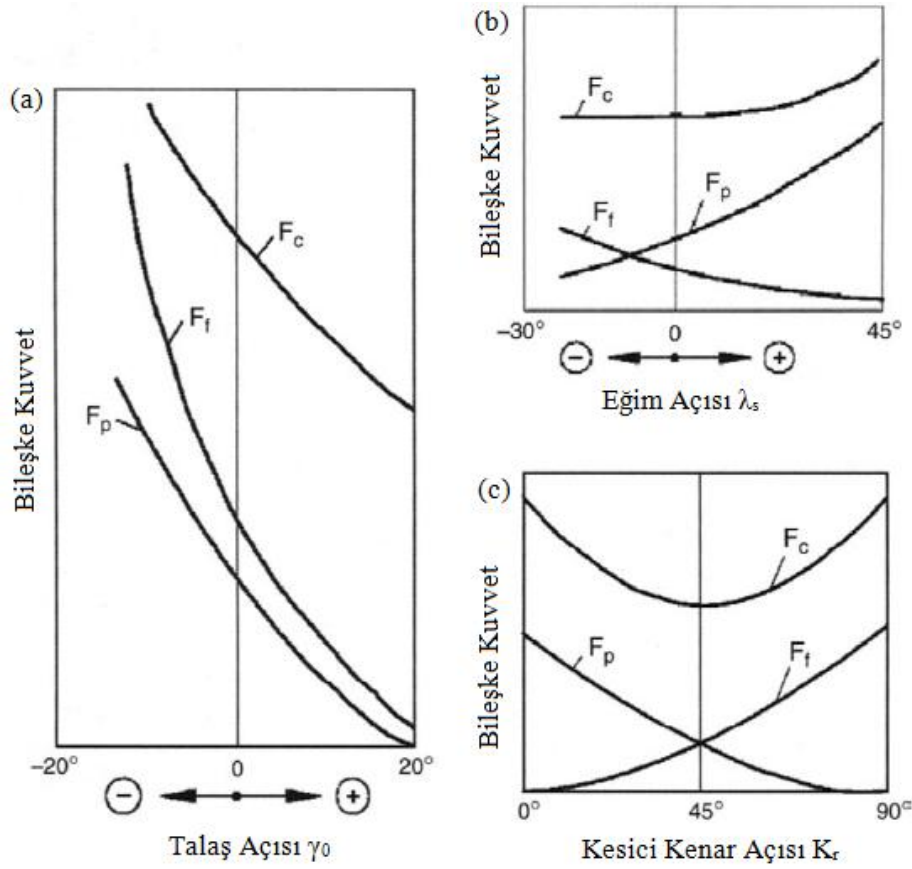
eşitliği ile sonuç elde edilir.

Talaş kaldırma işlemi sırasında kesme kuvvetlerinin sadece kesme parametreleri değil kesici geometrisinin de etkili olduğu anlaşılr (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8). Şekil 3.7’de iş parçası üzerinden kopmayarak bağlı bulunan talaşın, enine kesit alanının artışı toplam kuvvet bileşenlerini etkilediği görülür. Bir diğer yandan kuvvet/ilerleme eğrisi doğrusal değildir bunun sebebi ilerleme sonuçlarının artması özel kesme kuvvetini  $k_c$  azaltmasıdır [31].



Şekil 3.7. Kesme parametrelerinin kesme işleminde oluşan bileşke kuvvete etkisi [32]

Şekil 3.7' deki kesme hızı, bileşke kuvvet diyagramına bakıldığında eğri üzerinde oluşan kıvrım orta hız aralığında yığılmayı (BUE) göstermektedir. Çelik malzeme iş parçasında hız yükseltildiğinde yığılma (BUE) ortadan kalkar.



Şekil 3.8. Kesici takım açılarının bileşke kesme kuvvetlerine etkisi [28]

Kesme kuvvetlerini ayrıca takımın geometrik yapısı ve en önemli unsur olarak kesicinin talaş açısı etkiler. Talaş açısının artması kuvvetlerin değerini düşürür fakat aynı zamanda kesme gücünü azaltır ve bu durum kırılmasına yol açabilir. Güçlü kesme kenarı negatif talaş açısına sahip kesiciler tarafından sağlanır. Bu kesiciler sert sınıf tokluğu az, karbür, seramik ve kübik bor nitrür takımlardan oluşur.

Yüksek eğim açlarına sahip kesici takımlar yüksek itme kuvveti yüzünden iş parçasında sapmalara neden olmaktadır. Kesici kenar açısı  $90^\circ$  olan takımlarda bu kuvvet değeri az olur ve küçük iş parçaları işlenmesine olanak sağlar. Kesici takım malzemesi ve çökeltme yapılan kaplamalı takımlarda kesici ve iş parçası arasındaki temas kesme kuvvetlerini etkileyen ana unsurlardır [33]. Son olarak kesme kuvvetlerini, kesme sıvısı kullanımı ve sürtünme değeri düşük kaplamalı kesicilerin kullanımı doğrudan etkiler.

### 3.3. Tornalama İşlemlerinde Kullanılan Sementit Karbür Takımlar

Sementit karbürler, kompozit malzemelerden üretilen kesici takımlardır. Bu kesiciler kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Deneylerin yapımında seçilen kesiciler kaplamalı takımlardır. Karbürler geçiş metallerinden meydana gelir ve yumuşak bağlayıcı olarak kobalt ve/veya nikel ile birlikte kullanılır [34]. Metalik özelliklerini (elektrik iletkenliği) korumakla birlikte, oksitlenmeyen seramikler olarak ta adlandırılır [35]. Sert malzemeler, sertliğin ve aşınma direncinin taşıyıcısıdır. Sağlam gövde yapısı için bağlayıcıların önemi büyüktür. Sementit karbür kesici takımlar üç ana gruptan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla;

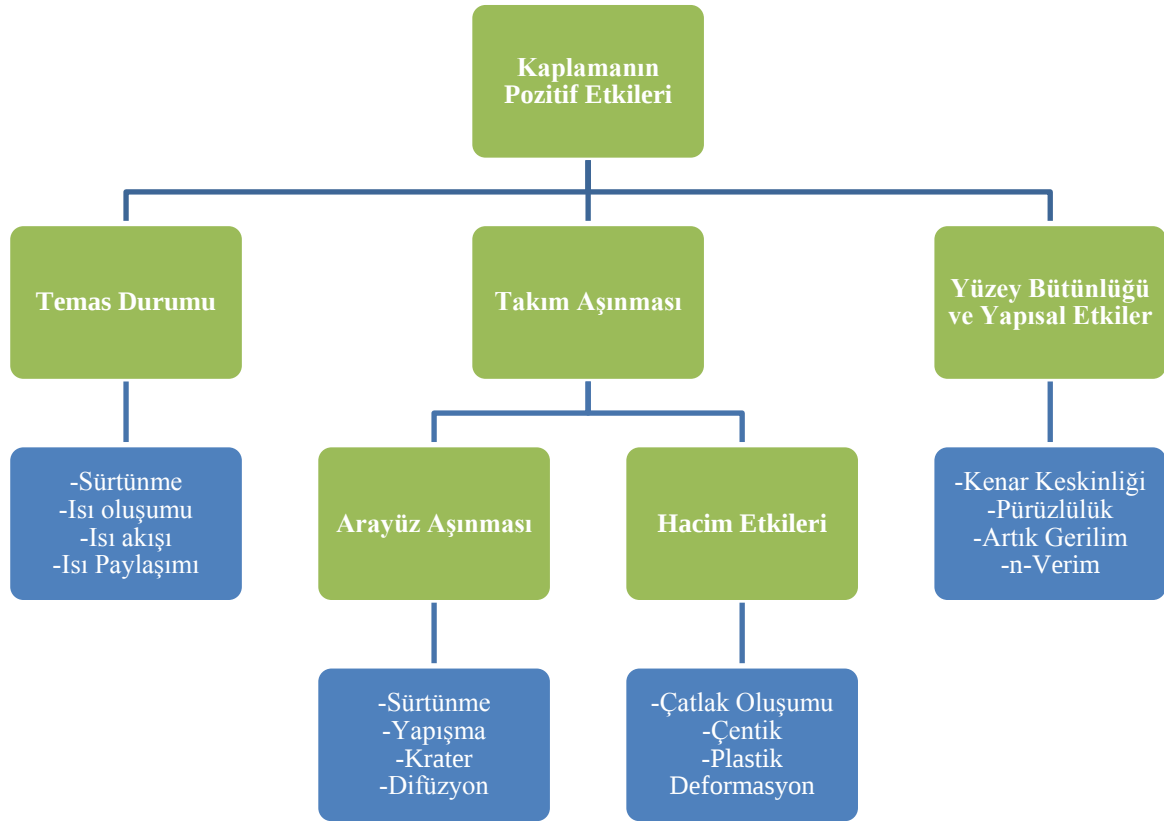
- WC-Co
- WC-(Ti,Ta,Nb)C-Co
- TiC/TiN-Co,Ni.

Sementit karbürün avantajlı olmasının sebebi, toz metalurji teknolojisi sayesinde iyi derecede yapısal bütünlüğe sahip olmalarıdır. Yapısal bütünlüğün getirdiği artılar ise yüksek sertlik, dayanım direnci ve yüksek sıcaklıktaki aşınma direnci olarak sıralanır. Sementit karbür  $1000^\circ\text{C}$  de, yüksek hız çeliğinin oda sıcaklığındaki sertliğine sahiptir [36]. Sementit karbürü, sert metallerin miktarını ve bağlayıcıları değiştirerek farklı özelliklerde üretmek mümkündür [37].

### 3.4.1. Kaplamalı sementit karbürler

Sementit karbürlerin kaplanması, ince katmandan oluşmaları ve yüksek aşınma direncine sahip olmaları sayesinde, sert malzeme kaplama teknolojisi gelişiminde önemli noktalardan birisidir. Kaplamalı bu takımlar, kesicinin yüzeyine homojen bir şekilde 5-20 µm arasında ince ve sert bir tabaka oluşturacak şekilde, karbürler (titanyum karbür, TiC), nitrürler (titanyum nitrür, TiN), karbon nitrürler (titanyum karbon nitrür, Ti(C,N) ve/veya oksitlerin (alüminyum oksit, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) uygulanmasıyla üretilen kesici takımlardır [38]. Kaplama teknolojisinin, bu kadar hızlı gelişmesi ve kullanımının artmasının sebebi olarak kaplanmış kesici takımların kesme süreci üzerindeki yaptığı pozitif etkilerden bahsedilmiştir, en önemli nokta olarak ise kaplamanın aşınma, ısı ve sürtünme üzerindeki olumlu etkisinin olabileceği yönündedir [39]. Bu etkiler Şekil 3.9’da resmedilmiştir. Ayrıca kaplama olarak kullanılan malzemelerin kesici takım üzerindeki etkilerini ayrıntılı olarak incelemek gerekirse [38];

- TiC çok iyi derece abrasif (yan yüzey ve krater) aşınma direnci sağlar,
- TiN kaplama sürtünmeyi azaltır, adezyon aşınmasını ve BUE oluşumunu engeller,
- Ti(C,N) kaplama yüksek kırılma sertliği ve abrasif aşınma direnci sağlar,
- TiAlN kaplama yüksek sıcak sertlik, süneklik ve termal direnç sağlar,
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama ise harika derecede termal yalıtım, oksitlenme direnci ve bunlarla beraber abrasif ve BUE oluşumunu engeller.



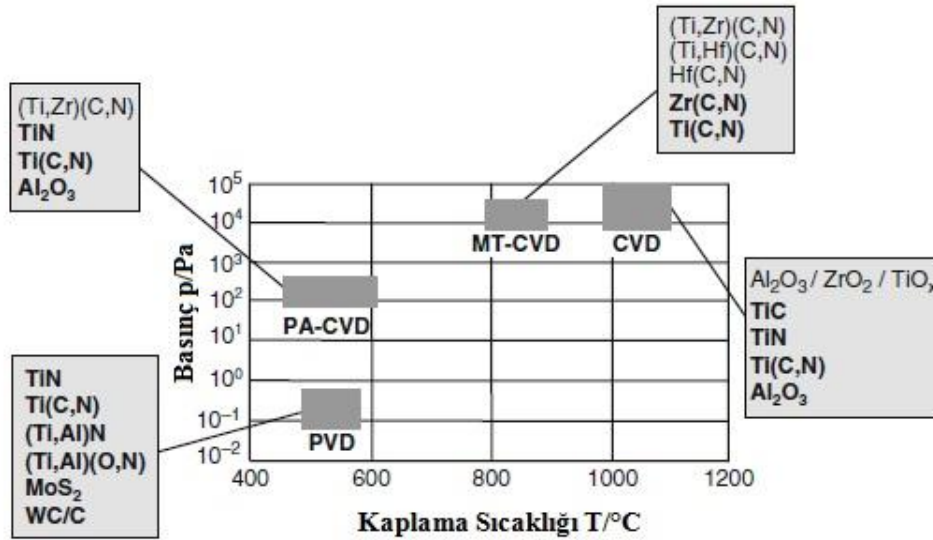
Şekil 3.9. Kaplamalı takımların, kesme sürecine pozitif etkileri [40]

Yapılan bu araştırmalar sonucunda, kaplamalı sementit karbür kesici takımların diğer kesici takımlara kıyasla daha iyi yüzey kalitesi elde edilebileceği gözlemlenmiş ve kesici seçimlerinin uygun olduğu görülmüştür. Seçilen kesici takımlarımızda SCMT120404-C25 geometrisine sahip kaplamalı ( $\text{Ti(C,N)} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$ ) Korloy NC320 kalitesinde (P20-P30) ve SCMT120408-C25 geometrisine sahip kaplamalı ( $\text{Ti(C,N)} + \text{TiC} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$ ) Korloy NC330 (P30-P40) olan kesici takımlar da bulunan katmanların dolaylı veya dolaysız yoldan yüzey pürüzlülüğüne etkilileri bilinmektedir. Bu bilgilerden yararlanılarak yapılan seçimlerin doğruluğu bir kez daha anlaşılmıştır.

#### Sementit karbürlerin kaplama yöntemleri

Yapılan araştırmalar sonucunda sementit karbür takımların iki yöntem kullanılarak kaplandığı anlaşılmıştır bunlar; kimyasal buhar çökeltme (CVD) ve fiziksel buhar çökeltme (PVD) yöntemleridir. Karakteristik özelliklerine göre takım kaplama işleminde

iki yöntem arasındaki sıcaklık ve basınç değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.10'da belirtilmiştir.



Şekil 3.10. PVD-CVD üretim değerlerinin karşılaştırılması [40]

#### Kimyasal buhar çökeltme (CVD) kaplamalı takım üretimi

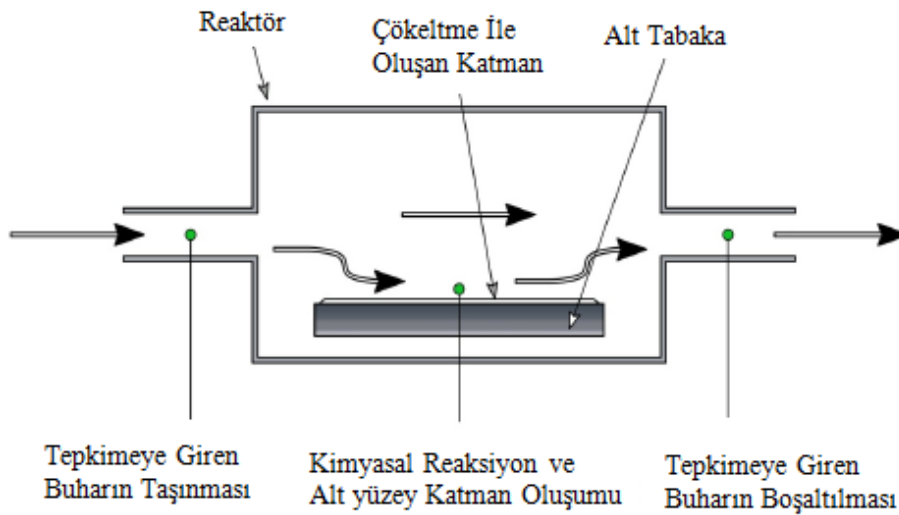
CVD kaplamalı kesici takımlar, yukarıdaki grafikten de anlaşılacağı gibi çok yüksek sıcaklık gerektiren işlemler sonucunda elde edilebilmektedir. Deneylerin yapımında kullanılan karbür takımlarımız CVD yöntemiyle kaplanmış kesici takımlardan oluşmaktadır. CVD üretimi yöntem süreci, gaz fazlarının, kimyasal reaksiyonlarla, yüksek vakum altında (10<sup>3</sup>-10<sup>5</sup> Pa), ısı veya ışın enerjisi ilavesi ile teknik olarak faydalı katı uçların üretim yöntemidir. Kimyasal reaksiyonların, gaz halindeki bileşenleri ve kısmı sıcaklık basıncı, termodinamiğin yasaları tarafından belirlenir [38].

CVD üretimi üç farklı yöntem ile yapılmaktadır, bunlar sırasıyla;

- HT-CVD (Yüksek Sıcaklık CVD, (900-1100 °C)
- MT-CVD (Orta Sıcaklık CVD, (700-900 °C)
- PA-CVD (Aktif Plazma CVD, (450-650 °C)

En yaygın kaplama malzemeleri, TiC, Ti(C,N), TiN gibi sert materyaller kullanılarak oluşturulan metalik bağlar, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katman için heteropolar (iyonik) bağlar ve aynı zamanda elmaslar için kovalent bağlar kullanılarak üretilmektedir [41].

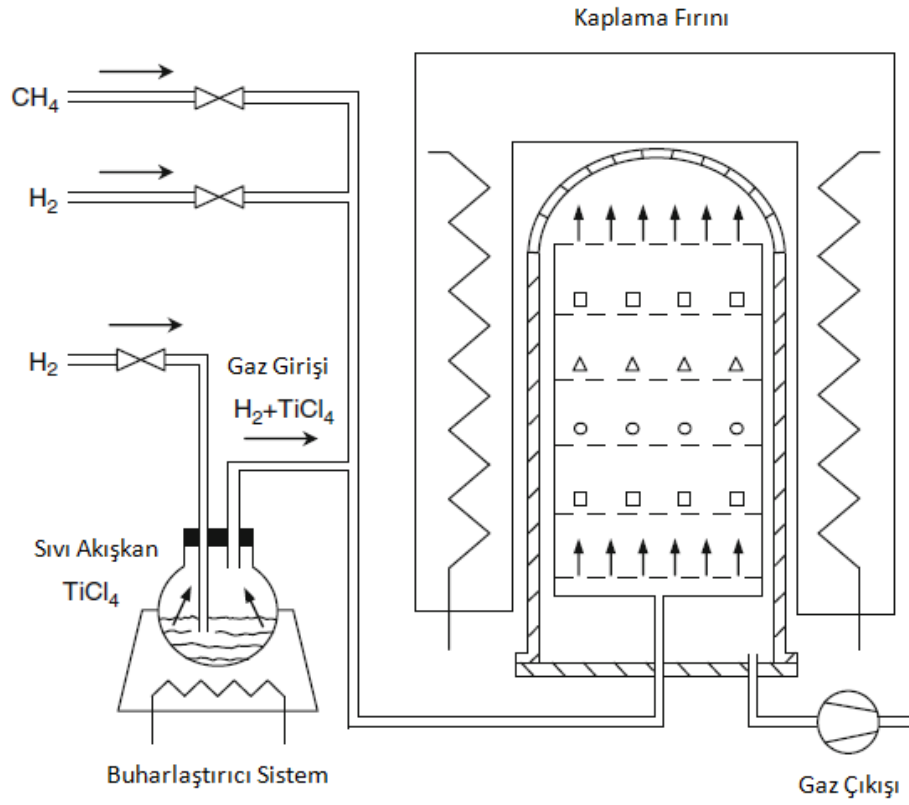
Şekil 3.11’de kimyasal buhar çökeltme (CVD) yönteminin şematik gösterimi verilmiştir. Bu yöntem genelde 4 bölümden oluşmaktadır; tepkimeye girmiş buhar formülasyonu, bu buharın taşınması, buhar ve ısıtılmış alt yüzey arasındaki kimyasal reaksiyon ve son olarak ta yan ürünlerin uzaklaştırılması işlemlerinden meydana gelmektedir [42]. Kabın içindeki basınç, atmosfer basıncında veya atmosfer basıncının altında olmalıdır. Özel malzeme üretimine bağlı olarak, reaktör içindeki sıcaklık 1500°C’ye kadar ulaşabilir [43].



Şekil 3.11. Kimyasal buhar çökeltme (CVD), şematik gösterimi [42]

Teknolojideki gelişmeler doğrultusunda, CVD kaplama işleminde, alt tabaka işlem sıcaklığını düşürmek amacıyla plazma destekli (PACVD) yöntem denenmektedir. Önemli ölçüde alt tabaka sıcaklığında azalma meydana gelmekte fakat sıcaklık düştüğünden bununla doğru orantılı olarak basınçta azalmaktadır. Basıncın azalmasıyla çökeltme hızı düştüğünden işlem süresi uzamaktadır [42].

Şekil 3.12’de titanyum karbür (TiC) kaplama elde etmek için, CVD yöntemiyle yapılan kimyasal reaksiyon örneği şematik olarak gösterilmektedir. Yapılan bu işlem 900-1100 °C arasında hidrojenli (H<sub>2</sub>) hava içerisinde, atmosfer basıncının altında, kimyasal reaksiyonlar oluşturularak elde edilmektedir [38].



Şekil 3.12. Titanyum karbür (TiC) kaplamanın CVD yöntemiyle üretim şeması [38]

Kimyasal Buhar Çökeltme (CVD) üretim yönteminin avantajları [44] :

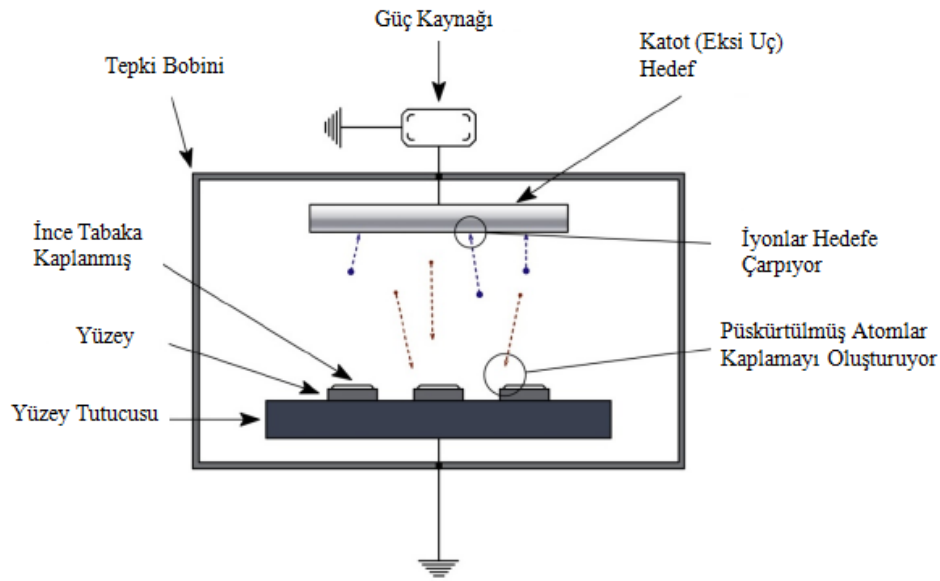
- Kuramsal yoğunluğa yakın malzeme üretimi yapılabilir.
- Tanecikleri bir yere yönlendirerek çökeltme yapılabilir.
- Aynı tip tanecik yapısında bir başka madde ile kaplama mümkündür.
- Pürüzlü yüzeylerde de uygun bir kaplamadır.
- Genellikle iyi bağ oluşturlar.
- Kimyasal Tepkime hızı yüksektir.
- Düzgün yüzey kaplama sağlanır.
- Erime ve sinterleme sıcaklıklarının çok altında kaplama yapılabilir.

Kimyasal Buhar Çökeltme (CVD) üretim yönteminin dezavantajları:

- Korozyona, toksik veya neme duyarlı işlem kimyasalları kapalı sistem gerektirir
- $300^\circ\text{C}$  'nin altında tepkime sınırlıdır.
- Fazla miktarda madde sarfiyatı vardır.

### Fiziksel buhar çökeltme (PVD) kaplamalı takım üretimi

Üretim yöntemlerinden bir diğeri olan fiziksel kimyasal buhar çökeltme yöntemi ise diğeri üretim yöntemine kıyasla daha az sıcaklık gerektiren, daha az malzeme sarfiyatı ve daha ince katman oluşturan kesici takım kaplama işlemidir. Şekil 3.13'te PVD yönteminin uygulanması ile ilgili şematik oluşum verilmiştir.



Şekil 3.13. Fiziksel Buhar Çökeltme (PVD), şematik gösterimi [42]

CVD yönteminin aksine, PVD kaplama bir vakum içerisinde birikmektedir. Kaplamanın metal türleri, buharlaşma yada püskürtme yoluyla, gaz oda içerisinde (azot veya amonyak) kimyasal reaksiyona girer ve alt tabaka üzerine biriktirilmesiyle oluşturulur. Yapılan bu işlem, CVD üretim yönteminin yaklaşık yarısı sıcaklık değeri olan 500°C sıcaklığa kadar uygulanmaktadır [40,45]. Düşük sıcaklıkta kaplama işleminin yapılması, ince taneli yapı oluşumu, kaplama da termal çatlak oluşumunu engellemesi, çok düzgün ve parlak bir yüzey oluşmasını sağlar [46].

Şekil 3.13 'te, kaplama malzemesi iyon buharı ile bombardıman edilir. Bu iyonların kinetik enerjisi sayesinde kaplama atomuna darbeye bulunarak, atomun hedeften dışarı atılmasını ve alt tabakaya gönderilmesini sağlar. Bu işlemler sonucunda PVD yöntem uygulanan malzemede katman oluşur [42].

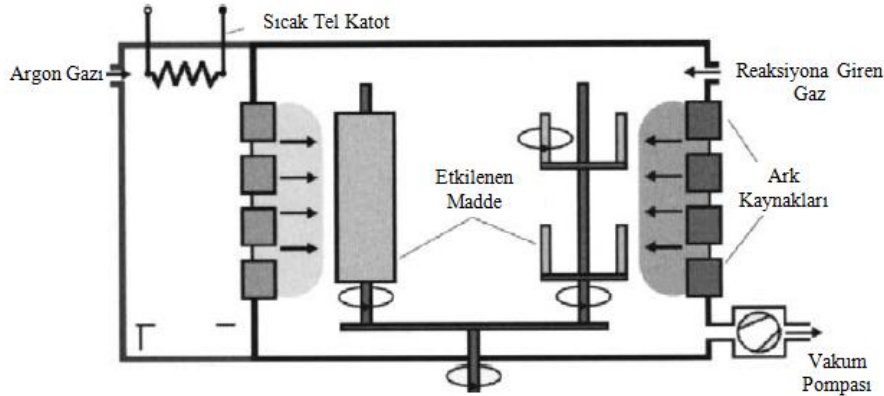
PVD kaplama, üç farklı yöntem ile uygulanabilir:

- Termal buharlaştırma yöntemi ile (Vakum buharlaştırma)
- Ark buharlaştırma yöntemi ile (ark-PVD)
- Katot buharlaştırma yöntemi ile (Püskürtme)

PVD ile CVD yöntemi arasındaki farklılıklar aşağıdaki gibi özetlenebilir [38]:

- 160-600 °C arasındaki sıcaklık değeri, kaplama yapılan malzeme üzerinde düşük sıcaklık stresi sağlar böylece ısıya duyarlı malzemelerin kaplanmasına elverişlidir.
- Kaplama yapılan malzemenin eğilme mukavemeti, düşük sıcaklık nedeniyle etkilenmez.
- PVD kaplama takımlar, artan basma gerilmeleri meydana geldiğinden, 3-6 µm arasında katman kalınlıkları sağlamaktadır. Artan basma gerilmeleri, termal döngü ve ani değişimlerde kırık oluşma riskini ortadan kaldırır.
- PVD sürecinde, kaplanacak olan parçaların kaplamadaki yapışmayı garanti altına almak için yüzey işlem kontrolünün iyi yapılması gerekir. CVD kaplamalar ise difüzyon ve buharlaşma sayesinde daha iyi yapışma sağlamaktadır.
- Yüzey özelliklerine olumlu etki eden kaplama ve gerekli katman kalınlıkları, dönen parçalar için çok pahalı cihazlar aracılığı ile yapılabilir. İç kısım derinlik/çap oranı 1 olacak şekilde kaplama sağlanabilir, tabaka kalınlığı derinliğin artmasıyla azalır.
- Potansiyel kaplama sistemleri ile kaplama yapılacak malzemelerin çeşitliliği.
- TiN ve Ti(C,N) gibi çok maddeli kaplama sistemleri, PVD sisteminde yarı kararlı fazlar arasında denge dışı koşullar altında biriktirilebilmektedir. Bu aşamalar genellikle denge koşullarına sahip değildirler. Bunun bir örneği de TiAlN kaplamadır.

Şekil 3.14'te fiziksel buhar çökeltme yönteminin üretim şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Fiziksel Buhar Çökeltme (PVD) temel üretim şeması [47]

Bu sistemde argon gazı ortamında, reaksiyona giren gaz sıcak katot tel yardımıyla ve ark kaynakları sayesinde tepkimeye girerek kaplama yapılmak istenin ürünlere kaplama yapılmaktadır.

Fiziksel buhar çökeltme işleminin kullanımı, kimyasal yöntemle oranda daha azdır. Bu yöntemin kullanılmasının avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibidir [42].

Fiziksel buhar çökeltme üretim yönteminin avantajları:

- Çevreye hiçbir zararı olmayan malzemeler, emisyonlar ve zehirli olmayan reaksiyon ürünleri kullanılır.
- Kaplama yapılabilen ürün sayısı çok çeşitlidir.
- Kaplama sıcaklığı, bir çok çelik türünün ergime derecesinin altında bulunmaktadır.
- Küçük ve hassas olarak çoğaltılabilen kaplama kalınlığına sahiptir.
- Yüksek aşınma direnci.
- Düşük sürtünme katsayısına sahiptir.

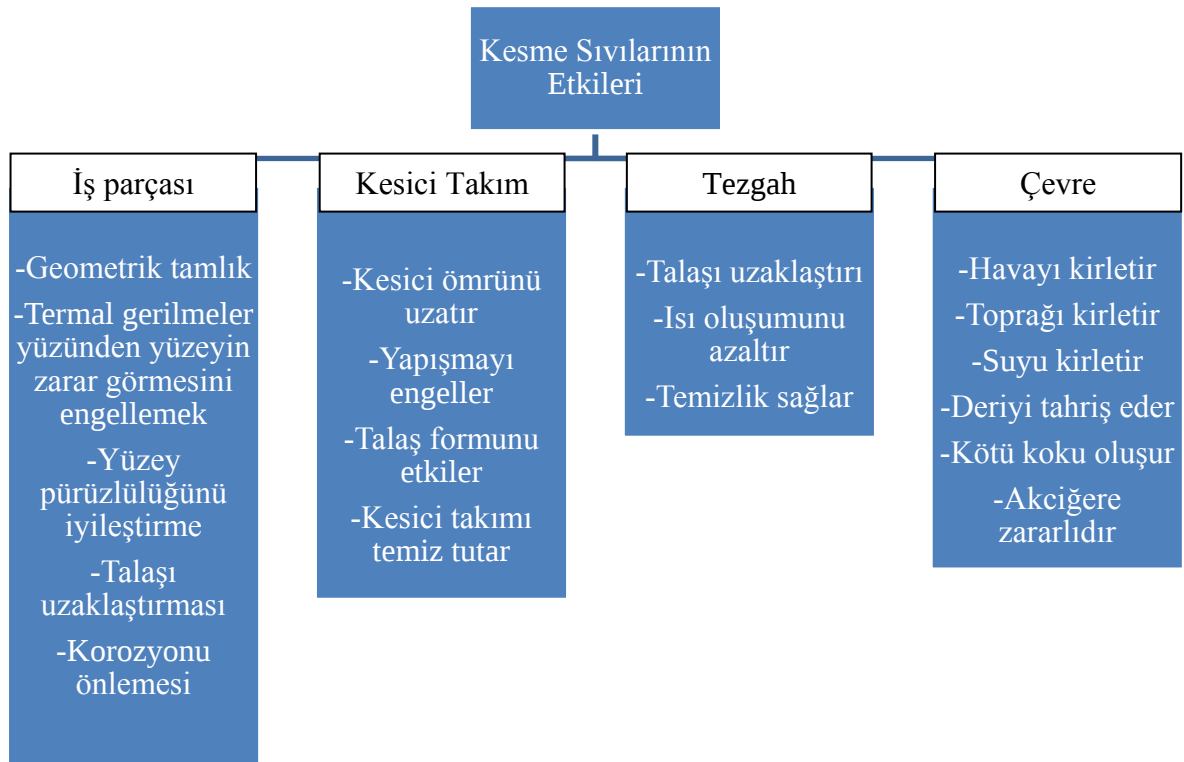
Fiziksel buhar çökeltme üretim yönteminin dezavantajları:

- Delikler ve yuvalara, deliğin genişliği ve deliğin çapı ile orantılı olarak kaplama yapılabilmektedir.
- Belli koşullar altına korozyon direncine sahiptirler.

- Gerekli kaplama kalınlığını elde etmek için, kaplama yapılan parçalar kaplama esnasında eksenî etrafında dönmesi gerekmektedir.

#### 4. KESME, SOĞUTMA SIVILARI VE MMY SİSTEMİ

Talaşlı imalat sürecinin en önemli amaçlarından biri de iş parçasına yeni bir şekil ve işlev kazandırabilmesidir. Genellikle bu süreç içerisinde iki katı cismin; kesici ve iş parçasının teması söz konusudur [48]. Sürtünme doğrudan doğruya yükle orantılıdır, yüzey alanına bağlı değildir. Sürtünmenin vereceği hasarı yok etmek veya en aza indirmek için koşullara uygun yağlama yağı kullanmak gerekir [49]. Bu durum karşısında, sürtünme ile oluşan ısının azaltılması ve talaşların uzaklaştırılabilmesi için kesme ve soğutma sıvıları kullanılmaktadır. Şekil 4.1’de kesme sıvılarının kesici takım, iş parçası, tezgah ve çevre üzerine olan etkileri belirtilmiştir. Bu çizelgeden yola çıkarak çevre hariç diğer etkilerinin olumlu olduğu anlaşılmıştır. MMY sistemi kullanımıyla çevreye ve insan sağlığına etkileri en aza indirmek mümkündür. Bu sebeplerden dolayı MMY kullanımının faydaları bir kez daha görülmüştür.



Şekil 4.1. Kesme sıvılarının üretimdeki etkileri [50]

##### 4.1. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması

Kesme sıvıları, talaş kaldırma işlemlerin de yüksek performans elde edilmek istenilen durumlarda tercih edilirler. Kullanılan kesme sıvıları uygulama alanlarına göre değişiklik

göstermektedir. Kesme sıvıları sınıflandırılacak olursa, işlevlerine ve kimyasal özelliklerine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde, kesme sıvısı, soğutucu, yağlayıcı, talaşı uzaklaştırıcı, korozyonu engelleyici v.b özelliklerinden faydalanmak amacıyla kullanılırlar. Kimyasal bileşenlerine göre inceleme yapıldığında da, neat (saf) yağlar, emülsiyonlar, sentetik yağlar ve yarı sentetik yağlar olmak üzere dört grupta incelenmektedir.

#### **4.1.1. İşlevlerine göre kesme sıvıları**

İşlevlerine göre inceleme yapıldığında bu tür sıvılar yağlayıcı ve soğutucu olmak üzere iki grupta incelenirler.

##### Yağlama Fonksiyonu Sağlayan Kesme Sıvıları

Yağlayıcıların ilk görevi takım ile iş parçası ve talaş ile iş parçası arasında sürtünme meydana gelen kısımları yağlamaktır. İki yüzey arasında kaygan bir film oluşturarak sürtünmeyi azaltan ve yüzeylerden birinin diğeri üzerinde veya her ikisinin de birbiri üzerinde kolaylıkla hareketini sağlayan yağ filminin varlığına yağlama denilmektedir [51]. Sürtünme doğrudan doğruya yükle orantılıdır, yüzey alanına bağlı değildir. Sürtünmenin vereceği hasarı yok etmek veya en aza indirmek için koşullara uygun yağlama yağı kullanmak gerekir [47]. Talaş kaldırma süreçlerine göre aşağıdaki yağlama farklılıklarından bir veya bir kaçını aynı anda kullanılarak yağlama işlemi gerçekleştirilebilir.

##### Polar (Sınır) Yağlama

Polar yağlama, polar katkı moleküllerinin yağ ile birleştirilerek kullanıma sunulması olarak tanımlanır. Sınır yağlama, yağlama filminin, iş parçasının yüzey pürüzlülük kalınlığının en yüksek noktalara teması ile oluşan yağlama şeklidir [52]. Şekil 4.2’de yağlama rejimleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Diyagramın ilk bölümü olan sınır yağlama çeşidinde de “ $h < R_a$ ” olacak şekilde yöntemden bahsedilmiştir. Bu yöntem kesici ile iş parçası arasındaki mesafeyi belirtmektedir. Bu yöntemde iş parçası yüzey pürüzlülüğünün en yüksek noktası ile kesicinin kesme yaptığı bölge ile aralarında temas söz konusudur. Bu yağlama türü hidrostatik ve hidrodinamik yağlama yöntemleriyle kıyaslama yapıldığında da sürtünme artışı, enerji kaybı ve maddi hasarlara yol açtığından, istenmeyen bir çalışma rejimine

sahiptir. Sınır yağlayıcılar genellikle uzun, düz ve polar moleküllere sahip olduğundan, metal yüzeylere teması kolaylaştırmaktadır [48]. Yağlama sıvısındaki polar katkılar, metal yüzeyinde toplanırlar ve kutuplaşmadan dolayı birbirlerini iterler, bu sayede metal yüzeylerinin birbirlerine temas etmesini engelleyerek sürtünmeyi minimumda tutarlar. Yağlayıcılık hidrodinamik yağlayıcılığa göre daha yüksektir [53]. Bu yağlayıcıların en büyük dezavantajı ise yüksek basınç altında beklenen sonuca ulaşamamasıdır.

### Karışık Yağlama

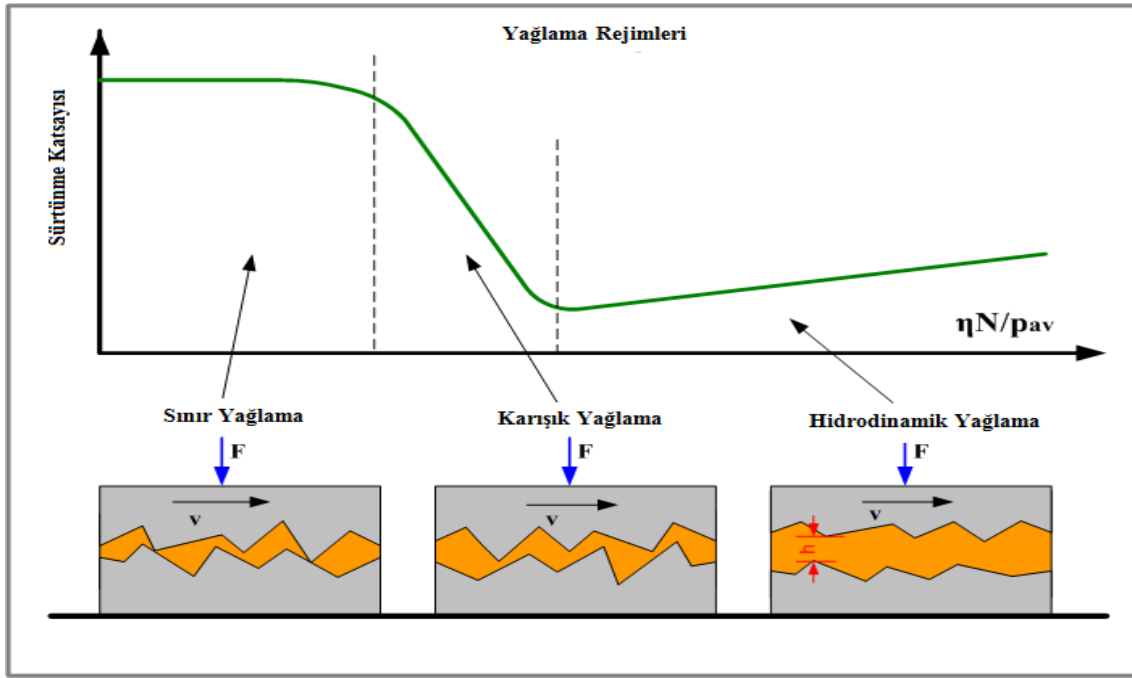
Bu yağlama türü aralıklı yüzeylerde, iki yüzey ile bağlantılı olarak, kesicinin sürtünme oluşan yüzey ile iş parçasının yüksek yüzeylerin temas ettiği yağlama biçimidir [54].

### Hidrodinamik (Akışkan Film Dolgulu) Yağlama

Birbiri üzerinde hareket eden iki yüzey, sürekli bir yağlayıcı film tabakasıyla birbirlerinden ayrılmış haldedirler. Bu rejimde yağlayıcı film her bir yüzeyle tam temas halindedir ve yüzeylerin hareketiyle aynı yönde ve aynı hızla hareket eder.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi “ $h > R_a$ ” olmak üzere bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemden yola çıkarak, bu yağlama türünde iş parçası ile sürtünmeye sebebiyet veren diğer parça arasında kalın bir yağ filmi oluşturarak sürtünmeyi en aza indirmektedir.

Yağlayıcının viskozitesi ve ikmal basıncı ile malzemenin dönme hızı ve ağırlığı hidrodinamik yağlamayı etkileyen faktörlerdir. Hızın veya viskozitenin artması yağ filmi kalınlığının artmasına, yükün artması da yağ filminin incelmesine neden olur.



Şekil 4.2. Yağlama rejimleri [54]

#### Yüksek Basıncılı Yağlama

Yüksek basınçlı yağlama, bir çok kimyasal bileşenlerden birinin veya bir kaçının formülasyona katılmasıyla elde edilir. Bu karışımlarda bor, fosfor, sülfür ve klor katkısı ya da bunlardan birkaçının katkısıyla elde edilmektedir. Katkı yapılarak elde edilen bu yağlar, metal yüzey üzerindeki yüksek yüklere ve yüksek sıcaklıklara rağmen dayanıklı yağ filmi oluşmakta

#### Hidrostatik Yağlama

Bu yağlama çeşidi, yüzey ve hareketli çiftin arasına dışarıdan püskürtme yöntemi ile uygulanan yağlama işlemidir. Bu yağlama mekanizması, yağlama mühendisliğinde alanında geniş yer kaplayarak, kullanımda üst sıralarda bulunmaktadır [55]. Özellikle, hidrodinamik yağlamanın yerine kullanıldığında, fazla etkili olmadığı kanıtlanmıştır. Uygulamalar, kinematik parçaların sağladığı geniş hareket ve uygulama alanı sayesinde yavaş işlem yapan makinelerden, hızlı işlem yapan makinelere kadar her türlü yağlama işleminde kullanılırlar.

### Soğutma Fonksiyonu Sağlayan Kesme Sıvıları

Soğutucular kesme işlemlerinde yağlayıcı ve soğutucu olarak kullanılarak takımın daha iyi kesmesini ve daha uzun kullanıma sahip olmasını sağlarlar. Bu sebepten dolayı, kesme sıvısı seçiminde, hem yağlayıcı hem de soğutucu özelliklere sahip kesme sıvısı seçilmelidir.

Soğutucular, bir diğer adıyla kesme sıvıları ya da talaş kaldırma sıvıları, karmaşık yağ bileşenlerine su katılmasıyla elde edilmiştir. Soğutucu konsantreleri genellikle %80 ile %99 arasında su ile seyreltilmiş olarak hazırlanmaktadır. Endüstride sadece %5'lik kullanım alanına sahiptirler [56].

#### **4.1.2 Kimyasal bileşenlerine göre kesme sıvıları**

Kimyasal bileşenlerine göre inceleme yapıldığında bu tür sıvılar saf, yağ katkılı emülsiyon, sentetik ve yarı sentetik olmak üzere dört grupta incelenirler.

#### Neat (Saf) Kesme Yağları

Saf kesme yağları ağırlıklı olarak yağ minerallerini barındıran ve karışıma su ilavesi olmadan, talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesme sıvılarıdır [57]. Karışımdaki yağ %70 ile %85 oranında olup, emülsiyon karışımına katılarak elde edilirler. Saf kesme yağları; petrol, deniz ve hayvan yağlarının bir veya daha fazlasının karışımından meydana gelmiştir [58]. Saf kesme yağları, diğer karışım yapıları elde edilen yağlara nazaran daha az yağlayıcı özelliklerine sahip olsalar da fiyat bakımından daha uygundur. Bu kesme yağları endüstri de daha çok kolay işlem gerektiren yerlerde; alüminyum, magnezyum ve az karbon yoğunluğuna sahip çelik gibi malzemelerin işlenmesinde tercih edilir [57].

#### Yağ Katkılı Emülsiyonlar

Emülsiyonlar, sıvı yağın yağlama özellikleri ile suyun soğutma özelliğinin bir araya getirilerek elde edilen kesme sıvılarıdır. Emülsiyondaki yağ miktarı %60 ile %85 oranında olup, su ve emülsiyon karışımı ilave edilerek kullanıma hazırlanmaktadır. Bu karışımlar, mineral yağ, emülgatör, korozyon inhibitörü ve koruyucu maddelerin karışımıyla elde edilirler [57]. Karışımdaki temel sıvı içerisine eklenen katkı maddelerinin, su ile çözelti

oluşturmasıyla emülsiyon oluşur [59]. İmalat sürecinde başarılı sonuç elde etmek isteniyorsa, karışımın homojen ve pH dengesinin uygun şartlarda olması gerektiği dikkate alınıp, doğru koşullarda muhafaza edilmelidir.

### Sentetik Yağlar

Sentetik yağlayıcılar endüstri sektöründe yıllardır kullanılmaktadır. 1930'lu yılların başlarında sentetik hidrokarbon ve ester teknolojilerinin, Almanya ve Amerika'da geliştirilerek bugün bu teknolojinin kullanıma sunulması sağlanmıştır [48]. Sentetik yağlar, içeriğinde hiç bir madensel yağ katkısı bulundurmamaktadır. Sentetik yağlar yapay olarak üretildikleri ve normal yağ, su karışımı ile karşılaştırma yapıldığında düşük ile yüksek sıcaklıklara ve yüksek basınca karşı dirençlidir [61]. Sentetik yağlar 25'den fazla türü bulunmaktadır. En çok kullanılan yedi sentetik yağ türü aşağıda verilmiştir [48].

- Polyalphaolefinler
- Alkylated Aromatikler
- Polybutenler
- Aliphatic Diesterler
- Polyolesterler
- Polyalkyleneglyols
- Phosphate Esterler

### Yarı Sentetik Yağlar

Yarı sentetik yağlar içeriğinde % 5 ile %50 arasında madensel yağ ve su, emülsiyon karışımından oluşan yağlardır. Yarı sentetik yağlar temelde kimyasal, aktif yüzey akışkan ve emülsiyondan oluşur, bu nedenle her farklı sıvının karakteristiğini taşırlar [62]. Bu kesme sıvılarının iyi soğutma ve korozyon önleme özellikleri vardır. Yağ içermedikleri için yağlayıcılıkları oldukça düşüktür. Yağ içeren kesme sıvılarına göre daha az probleme neden olsalar da köpük ve buharlaşma oluşumu problemine sebebiyet verebilirler [63].

## **4.2. Kesme Sıvılarının Etkileri**

MMY sistemi sayesinde, çevreye, insan sağlığına ve maliyete olumlu etkilerinden dolayı

en uygun etkiyi göstermektedir. Bu sebeplerden dolayı MMY kullanımının faydaları bir kez daha anlaşılmıştır.

#### 4.3. Kesme ve Yağlama Sıvılarının İnsan ve Çevre Sağlığına Etkileri

Kesme sıvısı uygulamalarında maliyetlerin artmaması ve ömrünü uzatabilmek için kesme sıvılarının bakımları zamanında ve uygun biçimde yapılmalıdır. Bu bakımlar uygun ve zamanında yapılmadığı zaman, kesme sıvısında; su buharlaşması, bakteri oluşumu, kirlilik ve yağ ile reaksiyona girerek yapısında bozulmalar meydana gelebilir. Bu bozulmalar iş parçası, kesici takım, tezgah ve çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkide bulunabilir. Kesme sıvıları talaşlı ve talaşsız imalat yöntemlerinde yağlama ve/veya soğutma özelliğinden yararlanılarak kullanılan yardımcı elemanlardır. Fakat bu kullanılan kesme ve/veya soğutma sıvıları kullanımı sonucu insan sağlığına ve çevreye etkilerini göz ardı etmemek gerekir. Bu nedenle Çevre ve Şehircilik bakanlığı tarafından yayınlanan talimatlar bulunmaktadır. Bakanlığın yayınladığı bu kılavuzlardan makinecilik sektöründe atık oluşturmada soğutma yağı kullanımı hakkında bilgiler vererek MMY sisteminin kullanımına dikkat çekilmek istenmiştir. Kesme sıvılarının neden olduğu sağlık problemlerinin şiddeti; maruz kalma süresi ve seviyesi, kirliliğin çeşidi, derecesi ve sıvının tipi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [64]. Kesme sıvılarının kullanımı sonucu dermatit (dermatitis), folliculitis, cilt kanseri ve solunum rahatsızlıkları gibi istenmeyen etkiler meydana gelebilmektedir [65]. Bu tehlikeler aşağıda özetlenmiştir.

*Dermatit:* Kesme sıvılarının uzun süre teması sonucunda bu durum meydana gelebilmektedir. Bu sıvılar, derinin lipid tabakasını ortadan kaldırmakta, dolayısıyla da bu tabakanın koruyucu özelliği yok olmakta ve zararlı maddelerin deriden yüksek oranda emilmesine yol açmaktadırlar. Başlangıçta, deride birikim sonucu oluşan bu hasar görülmeyebilir çünkü zararlı maddeye karşı vücut aylarca ve hatta yıllarca tolerans gösterebilir. Ancak, bu olumsuz durumun deride defalarca tekrarlanması sonucunda öyle kritik bir noktaya gelinir ki, bu maddelerin küçük miktarlarda dahi teması sonucu hastalık başlayabilmektedir [66].

*Folliculitis:* Sıvıların bazıları veya ihtiva ettikleri katkı maddeleri cilt tarafından emilebilir, kana karışabilir ve vücudun başka bölümlerinde tehlikeli olabilirler. Bazen "petrol folikülit" olarak adlandırılan ve aynı zamanda yağ aknesi olarak bilinen hastalık oluşur ki,

bu durumda tıkanan cilt gözenekleri nedeniyle salgı bezleri drenaj yapamaz hale gelirler. Bu şekilde engellenen bezler genelde sivilceye benzer. Onlar irin ile dolar, kızarıır, kaşıntı ve ağrılara neden olabilirler [67].

*Cilt Kanseri:* Keme sıvıları ile meydana gelen cilt hastalıklarının ilerlemiş hali cilt kanseridir. Rafine edilmemiş mineral yağların cilt kanserine neden oldukları görülmüştür. Ayrıca yağla ıslanmış bez parçaları ve giysilerle uzun süreli temas da kansere neden olabilmektedir [65].

*Solunum Yolu Hastalıkları:* Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesme sıvılarının yüksek sıcaklık altında çalıştıklarında buharlaşma söz konusudur. Buharlaşan kesme sıvıları solunum yoluyla vücuda alınmakta ve buda boğaz ağrısı burun kanaması v.b. gibi durumlara yol açabilmektedir. Bu belirtiler ilerleyerek kronik bronşit, astım ve akciğer yetmezliği gibi rahatsızlıkları tetikler ve mevcut solunum rahatsızlıklarını da ağırlaştırır [64].

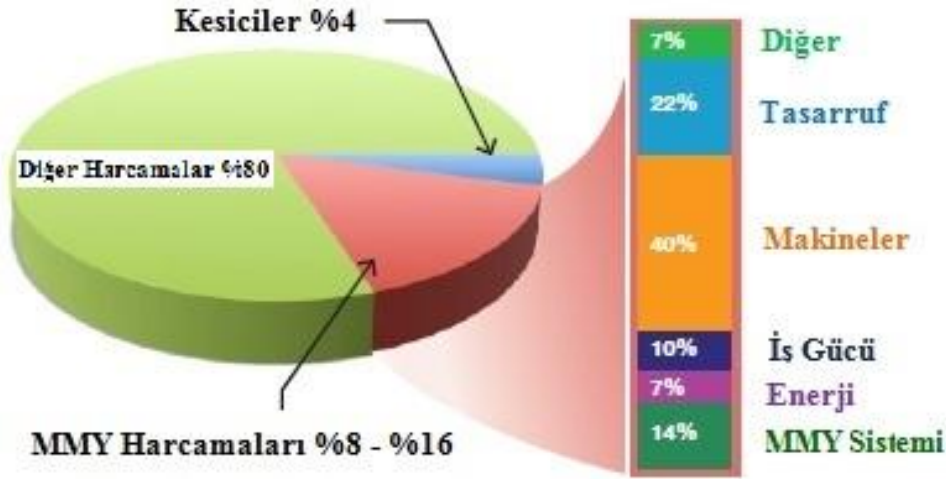
Deri hastalıklarının yanı sıra, solunum hastalıklarına da sebebiyet verebilen bu durumlardan korunmak için kesme sıvılarının temasının önlenmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı MMY sistemi kullanımı önemlidir.

#### **4.4. Minimum Miktarda Yağlama (MMY) Sistemi**

Minimum miktarda yağlama, isminden de anlaşılacağı gibi, çok küçük yağ damlalarının hava ile karışmasıyla birlikte, kesici takım ve iş parçasının sürtünen yüzeylerine, genelde yağ ve hava karışımı ile soğutmak için kullanılan sistemdir. Su, emülsiyon gibi soğutma özelliğine sahip karışımlarla da uygulama yapılabilmektedir.

MMY sisteminden en iyi sonuç elde edilebilecek kesme yöntemleri; kesme, tornalama, frezeleme ve delik delme işlemleri olarak sıralanabilir. Diğer üretim yöntemlerinden olan, aşındırıcı tanecik yardımıyla talaş kaldırma işlemlerin de yapılan uygulamalar; taşlama, honlama ve lebleme için yağın, toz şeklinde oluşan talaşa yapışarak iş parçasından uzaklaştırması mümkün olmadığından bu işlemlerde MMY kullanılamaz [68].

Şekil 4.3'te mevcut olan diyagram incelemeye alındığında toplam maliyet içerisinde, kesici takım maliyetleri (%4) ve kesme sıvısı maliyetlerinin (%14) olduğu gözlemlenmektedir. Bu maliyetlerin azaltılması için MMY sistemi kullanımı çok önemlidir. MMY sisteminin kullanılmasıyla takım ömründe artış ve kullanılan kesme sıvılarında azalma meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.3. Talaş kaldırma işlemlerinde maliyet şeması [68]

Kesme ve soğutma sıvısı olarak yağlar kullanıldığında, yağlama etkileri daha ön planda durmaktadır. Yağların görevleri iş parçası, talaş ve kesici takım arasında sürtünme ve yapışma süreçlerini azaltmaktır. Sürtünme azaltılarak daha az sürtünme ısı elde edilir. Kuru işlemeye göre daha düşük ısı ortaya çıkmaktadır [69]. Bu bilgilerden yola çıkarak hem takım ömründe bir artma meydana gelir ve takım ömrü yüzey pürüzlülüğü ilişkisinden yola çıkarak daha iyi yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilir. Isının azalmasıyla iş parçası malzemesinin de değişimi engellenmektedir. Çizelge 4.1'de MMY sisteminde kullanılan soğutucu ve yağlayıcıların karakteristiği, sistemin uygulama alanları ile ilgili bilgi verilmektedir. Çizelgeden anlaşılabileceği gibi iki çeşit sıvı kullanılmaktadır. Bazı sistemlerde su, emülsiyon ve karışımlarının yüksek basınçlı hava ile ihtiva etmesiyle yöntemi kullanılarak soğutma işlemleri yapılabilmektedir. Bu soğutma işlemine ise minimum miktarda soğutma işlemi (MQC) denmektedir. Bazı araştırmacıların yaptığı araştırmalar sonucunda bir diğer sistem olan, yağ, su ve emülsiyonlarının yine aynı sistem mantığıyla yüksek basınçlı hava ile ihtivası yöntemidir. Bu yöntem ise minimum miktarda soğutma yağlaması (MQCL) adıyla literatürdeki yerini almıştır.

Çizelge 4.1. MMY işleminde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri [70]

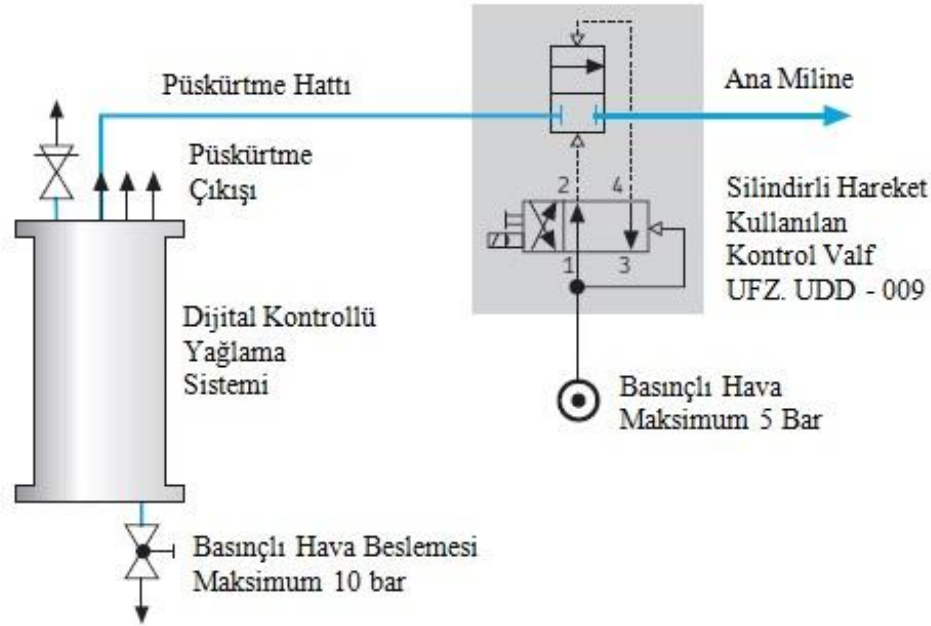
| MMY sıvılarının Karakteristik Özelliği                                                                                                                                                                         |                                                                                                              | MMY Sıvılarının Uygulama Alanları                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sentetik Esterler                                                                                                                                                                                              | Yağlı Alkoller                                                                                               | Sentetik Esterler                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Yağlı Alkoller                                                                                                                                                                                           |
| Kimyasal bileşenli, bitkisel yağlar                                                                                                                                                                            | Doğal hammadde veya mineral yağlardan yapılan, uzun zincirli alkoller                                        | İşleme Teknolojileri İçin                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ İyi biyoparçalanabilirlik</li> <li>➤ Suyu zararı azdır</li> <li>➤ Toksikolojik olarak zararsızdır</li> </ul>                                                          |                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Öncelikli olarak sürtünmeyi azaltmak</li> <li>-Yüksek yüzey kalitesi</li> <li>-Yapışmaya elverişli iş parçası kullanımlarında</li> <li>-Düşük kesme hızı ve yüksek yükleme alanları uygulamalarında</li> <li>-Rayların desteklenmesi ve yağlanması</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Öncelikli olarak ısı transferi uygulamalarında</li> <li>-Gri döküm demir ve alüminyum döküm alaşımlarının, kesme, tornalama ve frezeleme işlemlerinde</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-Düşük viskozitede, yüksek parlama ve kaynama noktası</li> <li>-İyi derecede yağlama özelliği</li> <li>-Düşük soğutma özelliği</li> <li>-Artıklar buharlaşır</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Yüksek viskozitede, daha düşük parlama ve kaynama noktası</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                          |

Talaş kaldırma işlemlerinde, daha az kesme sıvısı kullanımının birçok avantajı vardır. Ekonomik açıdan inceleme yapıldığında, en önemli nokta daha düşük maliyet anlamına gelmektedir. MMY (MQL) sistemi uygulamalarında, kesme sıvısının %2'sinin talaşa yapışmasından dolayı, kuruya yakın (near-dry) yağlama ve soğutma sistemi olarak da adlandırılabilir [68]. Fakat bu tamamen kuru anlamda yapılan yağlama ile aynı durum değildir. Buna ilaveten talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan talaşların, geri dönüşüm işlemi sırasında MMY sistemiyle yapılan çalışmalarda kesme sıvısından temizlenmesine gerek duyulmadığından maliyete pozitif katkısı vardır [71].

#### 4.4.1. Dahili minimum miktarda yağlama sistemi (Internal MMY-MQL)

MMY sistemi iki farklı yoldan uygulanabilmektedir. Bunlardan birincisi olan dahili sistem kullanılabilmesi için, MMY sisteminin tezgaha entegre edilebilmesi için elverişli olması gerekir. Dahili sistem, MMY ekipmanı tarafından muhafaza edilen bir hava yağ karışımının direk olarak ya iş milinin içinden yol alarak yada taret dediğimiz kesicilerin bulunduğu başlığa uygulanması ile gerçekleştirilebilir [72]. Şekil 4.4'te dahili sistem

MMY sisteminin pnömatik şeması verilmiştir. Bu şemadan yola çıkarak hava ve yağ karışımının iş miline nasıl entegre edildiği belirtilmiştir. Bu sistemler, homojen olarak karışmasını sağlayan bir muhafaza sistemine sahip, damla büyüklüğü  $\sim 0,5\mu\text{m}$  olan ve basınçlı hava ve yağ karışımını dışarı aktarılmasını sağlayan özel nozül sistemi ile üretilmiştir.



Şekil 4.4. “SKF Digital Super System” örnek dahili sistem pnömatik devre şeması [72]

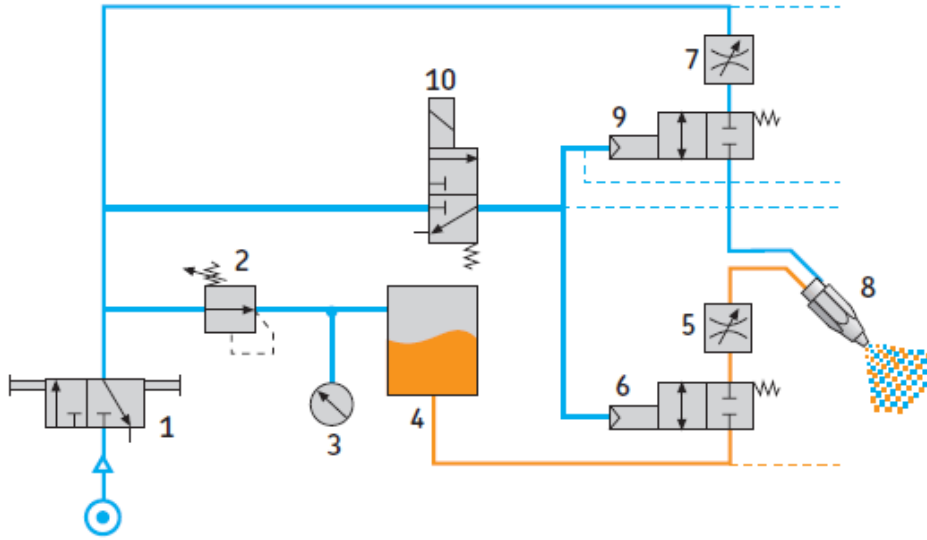
#### Avantajları:

- Hemen hemen her talaş kaldırma yöntemine uygundur
- Talaş kaldırılan yerden uygulama imkanı
- Takım değiştirme sırasında kısa işleme zamanları
- Hareketli kısım yok (aşınma yok)
- Küçük kesici ve yüksek kesme hızına elverişli
- Kesici takımlara uygun entegrasyon mevcuttur

#### **4.4.2. Harici minimum miktarda yağlama sistemi (External MMY-MQL)**

MMY uygulamalarının yapılmasını elverişli kılan bir diğer MMY yöntemi ise, yağ ve hava karışımına sahip sistemin, kesici ve iş parçasının sürtünme oluşan bölgesine dışarıdan (harici) olarak uygulanmasıdır. Harici sistemler kesme sıvısı ve havanın muhafaza edildiği,

bir veya daha fazla düzenleyici ünite ve kesme sıvısını bir hat yardımıyla sprey nözülden dışarı ihtiva edilmesiyle uygulanmaktadır. Basınçlı hava ve muhafaza edilen yağ, sistemin çalışmasıyla kanallara gelerek nozülünden dışarı ihtiva edilmektedir. Şekil 4.5'te deneylerin yapılmasında kullanılan MMY sisteminin pnömatik devre şeması incelenebilir.



- |                       |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|
| 1 Elle Kumandalı Valf | 6 2/2 - 2 yollu 2 konumlu Valf      |
| 2 Basınç Kontrol Valf | 7 Kısıtlama Valf                    |
| 3 Basınç Ölçer        | 8 Nozül                             |
| 4 Tank                | 9 2/2 - 2 yollu 2 konumlu Valf      |
| 5 Yağ Ayarlama Vidası | 10 Elektromanyetik Yön Kontrol Valf |

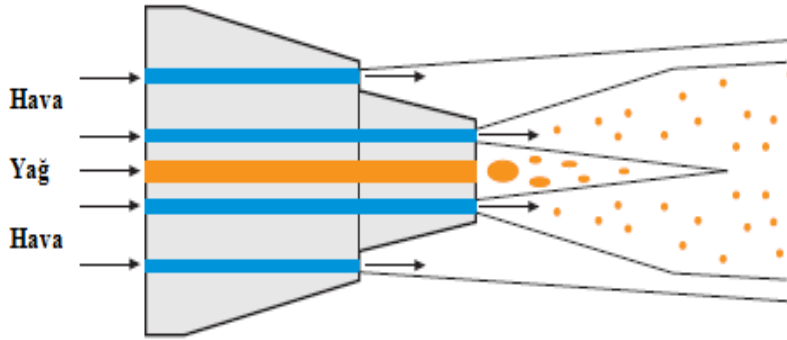
Şekil 4.5. “SKF Temel Sistem”, harici MMY sistemi pnömatik şeması [72]

#### Avantajları:

- Konvansiyonel makinelere kolayca uyum sağlar
- Hızlı tepki vermektedir
- Yüksek süreç güvenilirliğine sahiptir
- Kapattıktan sonra nozülünden damlama olmaz
- Geniş püskürtme aralığı (300 mm' ye kadar)
- Daha iyi bitirme yüzeyi sağlar
- İş parçası ve talaş üzerinde yağlayıcı kalmaz
- Daha iyi çalışma ortamı, güvenli ve çevresel kirliliğe karşı duyarlı
- Daha uzun kesici ömrü sayesinde, sistem kendini hızlı bir şekilde amorti eder

### Nozül Sistemi

Hava yağ karışımı, talaş kaldırma süreci içerisinde nozülünden çıkarak gerçekleşir. Yağlayıcı ve gerekli olan hava MMY sisteminde eş eksenli hat üzerinden beslenir. Yağlayıcı karışımın nozülünden ihtiva edebilmesi için Venturi prensibinden yararlanılarak biçim verilmiştir [72]. Şekil 4.6'da deneylerin yapıldığı sistemde mevcut olan nozülün yapısı görülmektedir.



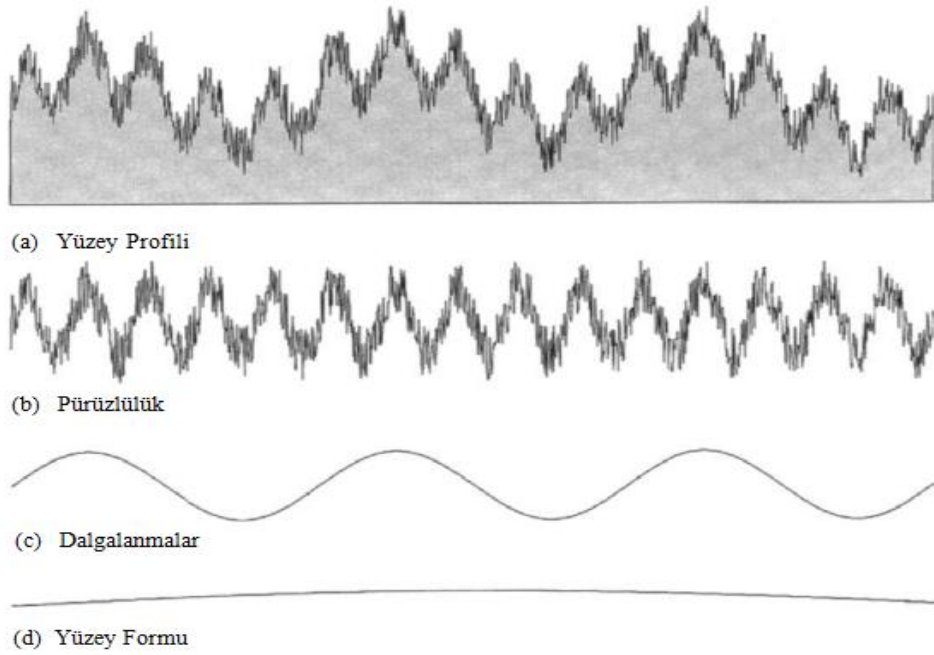
Şekil 4.6. Harici MMY sistem nozülü [72]

### **4.5. Yüzey Pürüzlülüğü**

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Bu işlem kalitesi doğrultusunda belirli bir değer aralığında izin verilen sapmalara tolerans denir.

Şekil 4.7'de yüzey profiline etki eden durumlar incelendiğinde üç ana gruptan meydana geldiği gözlemlenmiştir [73-75]:

- Pürüzlülük, kesici takım hareketleriyle ve yüksek frekans düzensizlikleri ile meydana gelen oluşumdur.
- Dalgalanmalar, yüzey pürüzlülüğü meydana getirebilecek düzeydeki orta frekans düzensizlikleridir. Kesici takım, iş parçası ve bağlama şekli arasında ilişkilidir.
- Yüzey formu, yüzey pürüzlülüğü ile yüzey dalgalanmalarının ihmali sonucu, termal bozulma, kayma yönü hatası, kesicinin aşınması yada iş parçasının esnemesi ile oluşan yüzeyin genel şeklidir.



Şekil 4.7. Yüzey profiline etki eden unsurlar [75]

Yüzey pürüzlülüğü, yüzey dokusunun ölçüsüdür [76]. Gerçek yüzey ile ideal yüzey arasında dikey sapmaların sayısallaştırılmasıdır. Eğer bu sapma büyük ise yüzey pürüzlüğü kaba, sapma küçük ise yüzey daha düzdür [77]. Varsayılan yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir.

Talaş kaldırma işlemlerinin sonucunda ister istemez bir pürüzlülük değeri meydana gelmektedir. Yapılan iş parçasının çalışacağı yere, talaş kaldırılacak parça cinsine, kesici v.b gibi durumlardan meydana gelir. İşin cinsine ve nerede kullanılacağına göre yüzey pürüzlülük değeri belirlenir ve uygun şartlar sağlanır. Bu şartlardan birisi olan uygun soğutma sıvısı kullanımı çok önemlidir. Çalışmamızda minimum miktarda yağlama sistemini (MQL) kullanarak en uygun pürüzlülük değerini elde etmeye çalıştık.

#### 4.5.1. İdeal yüzey

Teknolojik veriler doğrultusunda, pürüzlülük parametreleri üzerinde çalışmaya başlandığında çok basit bir teorik denklem ortaya çıkmıştır. İdeal yüzey pürüzlülüğü, kesici ilerleme oranı ve geometrisi fonksiyonudur. Mümkün olan en iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edebilmek için, uygun kesici ilerleme oranı ve geometrisi

seçilmelidir. Kesici takım da uç yarıçap değeri bulunmayan keskin takımlar da kullanılabilir. Bunun için kullanılan eşitlik:

$$R_{max} = \frac{f}{\cot\theta + \cot\beta} \quad (4.1)$$

Eşitlikte yer alan  $f$  ilerleme oranı,  $\theta$  büyük kesici kenar açısı ve  $\beta$  ise küçük kesici kenar açısıdır.  $R_a$  ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise  $R_{max}/4$  olarak ifade edilmektedir. Kesici takımda uç yarıçapı mevcut ise pürüzlülük değerinin ilerleme oranı ve uç yarıçapı ile ilişkili olduğunu gösteren eşitlik:

$$R_i = \frac{0,0321 \cdot f^2}{r} \quad (4.2)$$

Eşitlikte yer alan  $R_i$  değeri profilin ideal ortalama yükseklik noktası,  $f$  değeri ilerleme oranı ve  $r$  değeri ise kesici takımın uç yarıçap değeridir. Bu eşitlik kullanılarak, gerekli yüzey pürüzlülük değeri için uygun parametreler seçilmelidir.

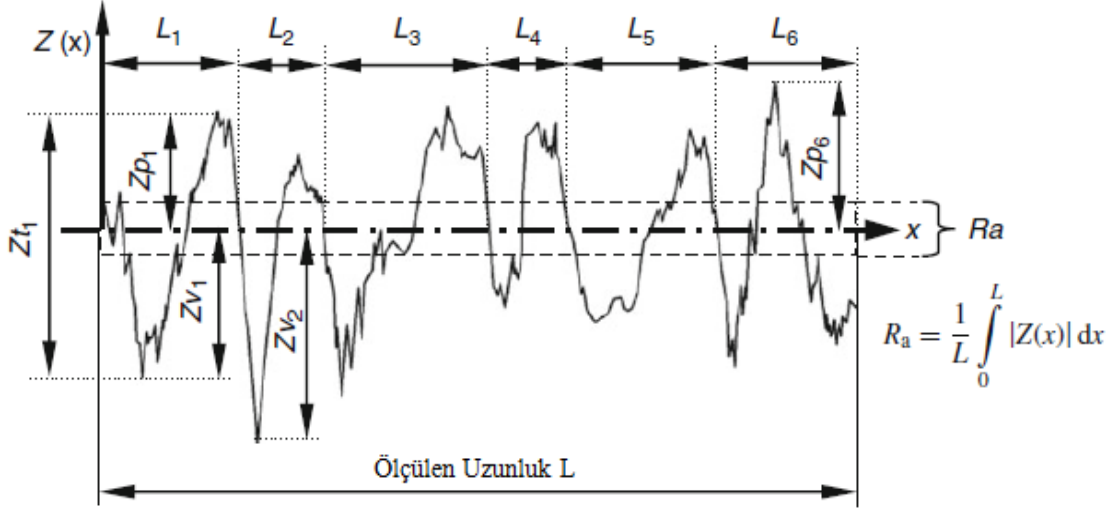
#### 4.5.2. Gerçek yüzey pürüzlülüğü

Uygulama da yukarıdaki ifadeler ve formüller doğrultusunda birebir doğru değeri elde etmek mümkün değildir. Verilen bilgiler yüzey pürüzlülük değerinin büyük kısmını oluşturmaktadır. Doğal yüzey pürüzlülüğüne katkıda bulunan faktörlerden biride yapışma (BUE) ve titreşimdir. Bu bilgiler doğrultusunda yapışma (BUE) oluşumunun artması ve oluşan talaşın uzaklaştırılamaması, yüzey pürüzlülüğüne negatif katkıda bulunacaktır [74].

#### 4.5.3. Yüzey pürüzlülüğü parametreleri

Yüzey pürüzlülük parametreleri incelendiğinde farklı yöntemler kullanılarak yüzey üzerindeki sapmaların ölçülmesi sağlanır. Deney malzemelerinin ölçümünde kullandığımız yöntem olarak ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değer sistemi seçilmiştir.  $R_a$  yüzey pürüzlülük değerinin çok yaygın kullanıma sahiptir, bunun nedeni ise kesme işlemi yapılan kısmın orta noktasından yüzey pürüzlülüğünün düzensizliğini ölçerek veri halinde elde

edilebilmesi, bu kesme alanı boyunca en yüksek ve en alçak noktaların arasındaki bölümde bulunmaktadır (Şekil 4.8) [77].



Şekil 4.8. Profil kesit yüzey temel terimler [38]

Şekil 4.8’de, uzunluğun bir bölümü, standart pürüzlülük grafiği üzerinde örneklenmiş olup, ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerinin hesaplanabilmesi için formül belirtilmiştir. Denetim teknolojisi, profil bir kesit yüzeyin temel bazı terimlerini göstermek için kullanılacaktır. Profil ile ilgili, sayısal olarak tespit edilen yüzey bölümünün test uzunluğu Lt ve değerlendirme için kullanılan ölçüm uzunluğu L (L<Lt) arasında ayırım yapılarak elde edilir [78]. Ölçülen bu değerler mikrometre (µm) ölçü birimi ile değerlendirilmektedir.

Şekil 4.8’ de verilen resim doğrultusunda, R-Profil pürüzlülüğü DIN EN ISO 4287’ye göre aşağıdaki durumlarla açıklanabilir.

- En yüksek profil noktası Rp yüksekliği: Orta profil çizgisinin örnekleme uzunluğu Li doğrultusunda en yüksek noktanın y koordinat düzlemindeki (Zx) değeridir.
- En derin noktanın vadi profil derinliği Rv: Orta profil çizgisinin örnekleme uzunluğu Li doğrultusunda en derin noktasının y koordinat düzlemindeki (Zx) değeridir.
- Profil yüzey toplam yüksekliği Rt: Profilin L uzunluğu doğrultusunda en yüksek profil noktasının ve en derin vadi profil noktalarının toplamıyla elde edilmektedir.

- En büyük yükseklik profil değeri  $R_z$ : Profilin  $L_i$  örnekleme uzunluğunda, en yüksek profil noktası  $R_p$  ve en derin vadi profil noktası  $R_v$  yöntemlerinin toplamıyla edilen edilen değerdir.
- Ortalama pürüzlülük değeri  $R_a$ : Profilin  $L_i$  örnekleme uzunluğunda, değerlerin aritmetik ortalamasının,  $y$  koordinat düzlemindeki ( $Z_x$ ) değeridir.

#### 4.5.4. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Kesici ve parça yüzeyi birbirlerine temas etmesi, birleşen parçaların aşınma ve performansı yüzey pürüzlülüğünde önemli rol oynar. İş parçası üzerinde meydana gelen bu düzensizliklerin, yüksekliği, şekli, düzenliliği ve yönü gibi faktörlerle yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki etmektedir. Bu düzensizliklere sebep olabilecek durumlar sırasıyla [76]:

- A) Talaş kaldırma parametreleri
  - a) Kesme hızı
  - b) İlerleme oranı
  - c) Kesme derinliği
- B) Kesici takım geometrisi
  - a) Kesici uç yarıçapı
  - b) Yan yüzey açısı
  - c) Kesici kenar açısı
  - d) Kesici kenar uzunluğu
- C) İş parçası ve kesici takım, malzeme kombinasyonu ve mekanik özellikleri
- D) Kullanılan kesici takımın kalitesi ve cinsi
- E) Yardımcı takımlar ve kullanılan kesme sıvısı
- F) İş parçası ve kesici takım arasındaki titreşimler
- G) İşleme kalitesini etkileyen faktörler dört grupta incelenir [79]:

Yüzeyi etkileyebilen bazı geometrik faktörler şunlardır:

- Takım tezgahına ait sapmalar; tezgahın kinematik mekanizmasındaki mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgahın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince sabit olmamasından kaynaklanır.

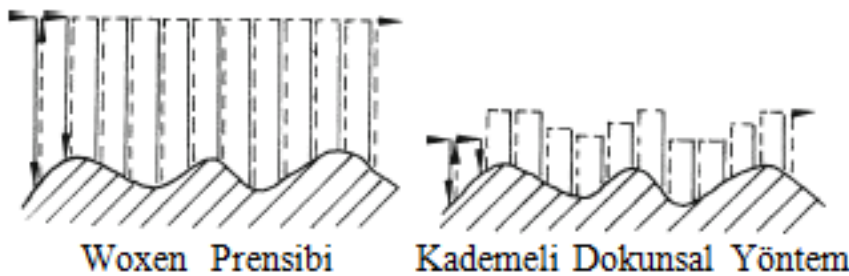
- Takım sistemine ait hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar sabit olmamasından, ana elemanlarda oluşan aşınmalardan kaynaklanır.
- Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirilmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanır.
- Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgahlardan gelen titreşimlerden kaynaklanır.

#### 4.5.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm metotları

Uzunluk ölçü sistemi bağlamında belirtilen tüm fiziksel ölçümleri prensipler temel yüzeyde geçerlidir. Bu alanda etkin olduğu kanıtlanan, mekanik ve optik ölçüm yöntemleri en çok tercih edilen yöntemlerdir.

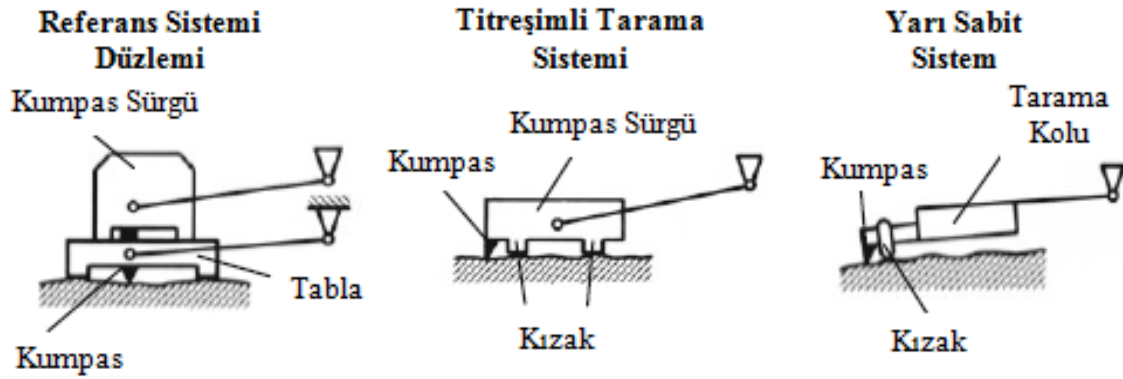
#### 4.5.6. Mekanik ölçüm yöntemleri

Mekanik fonksiyonel ilkesi temelinde, yüzey ölçümü için kullanılan cihazların sistemi stylus yöntemleri olarak adlandırılır. Mekanik ölçme işlemi, tarama yöntemi veya algılama yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Tarama yönteminde, bir temas kalemi ölçüm yapılacak yüzey üzerinde özel bir frekansta iner. Şekil 4.9'da tarama yöntemi ile ölçüm metodu gösterilmektedir. Stylus teması, yüzeye sabit bir seviyeye yükseltilmiş (Woxen Prensibi) veya yüzeydeki bir noktadan, sabit bir mesafeye yükseltilmiştir (Kademeli Dokunsal Yöntem).



Şekil 4.9. Tarama yöntemi ile mekanik ölçüm [38]

Algılama yöntemi uygulamalarda en yaygın kullanım alanına sahip olan mekanik ölçme yöntemidir. Şekil 4.10'da algılama yöntemlerine ait çeşitlilik gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Algılama yöntemi ile mekanik ölçüm [38]

#### Referans Sistemi Düzlemi

Bu sistemde, tarama birimi test numunesinin ideal geometrik yüzeyine karşılık gelen ve yüzey ölçülecek uzunluk boyunca yönlendirilmiş olan bir referans yüzeyi (düzlem, silindir) ile yönlendirilmektedir. Kumpas geometrisiyle doğan hatalar nedeniyle, bu tarama sistemi test örneğinde pürüzlülük ve dalgalanma değerlerini hatasız iletmesini sağlar. Tarama sistemi altında sıkı bir şekilde bağlanmış iş parçası, yatay yönde çok hassas sürgüler üzerinde taşınmaktadır. Pürüzlülük değeri yanı sıra yüzeyin mikro yapısı hakkında bilgi sahibi olunabilir.

#### Titreşimli Tarama Sistemi

Titreşimli tarama sisteminde iki kayar kızak sisteme rehberlik eder. Bu sayede ikinci yüzeyinde ölçme işlemi daha rahat olmaktadır. Ancak tekli kızak sisteminden daha fazla yer gerektirdiği için küçük veya erişimi zor alanlarda kullanılamaz.

Genellikle yüzey kayıtlarında x ve y koordinatları büyütme göstergeleri son derece farklı yollardan seçilir. Ölçme bölgesi hattında mm bölgesi (apsis) ve pürüzlülük parametreleri, mikron bölgesindeki ordinat sisteminde temsil edildiğinden bu gereklidir. Yüzey kaydının optik izlenimi, güçlü bir gerçeklik ile karşılaştırıldığında bozulur. Sytlus yöntemlerinde kullanılan uçlar genelde 2  $\mu\text{m}$  uç yarıçap değerine sahiptir. Bu sistemler 0,5 N'luk dayanma gücüyle işlev görürler. Bu sebepten dolayı test düzeyinde değişikliğe sebep olabilecek önemli basınçlara ( $6000 \text{ N/mm}^2$ ) neden olabilirler.

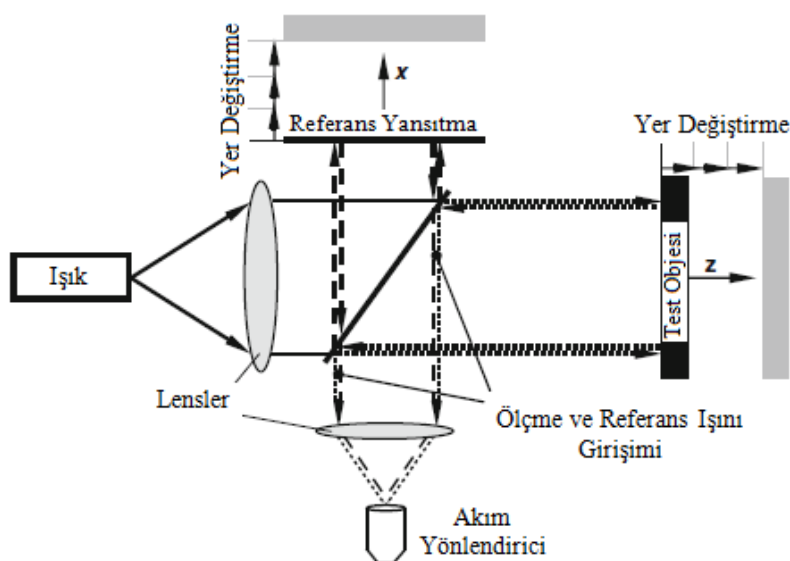
### Yarı sabit Sistem

Yarı sabit sistemde, stylus teması yüzey üzerinde kızak üzerinde kaydırılarak tarama yapılır. Bu sistemin avantajı az yer kaplaması, küçük ve ulaşılması zor yüzeylerin ölçülmesidir. Bir dezavantajı, sistemin yüzeye konumlandırma işlemi doğru yapılmalıdır aksi takdirde sistemin ölçülecek yüzeyinin kısımları bozuk bir şekilde iletilmesine neden olabilir.

#### 4.5.7. Optik ölçme yöntemi

## Beyaz-Işık İnterferometre

Bu teknoloji ile ölçüm yöntemi, lazer interferometredeki sistemden farklıdır. Sistemden yüzeye gönderilen çok sayıda beyaz ışık ve ışın, dalga boyu spektrumunun ölçüldüğü sistemdir. Bu sistemle saydam yüzeylerin pürüzlülük değerleri bile ölçülebilir. Yüzeyi ölçülecek parçanın, sistemdeki ışık yoğunluğu ile mekansal ayarlama oluşturulur. ölçülecek yüzeye bağlı olarak iki ölçüm yöntemi kullanılır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra değeri kullanılarak  $< 1$  nm den daha düz yüzeylerin ölçülmesinde ve diğer her türlü yüzeyler için yüzey pürüzlülük uygulaması yapılır. Şekil 4.11’de sistemin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Beyaz-Işık interferometre prensibi (iki-ışın interferometre) [38]

## 5. MALZEME, METOT VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu kısımda; deneysel çalışma, takım tezgahı, kesici takım ve kesme parametreleri hakkında bilgiler verilmiştir. İncelenen benzer çalışmalar ve literatür araştırması sonucunda, MMY sistemi uygulamasının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini değerlendirilmesi için yöntem geliştirilmiştir. Kesici takım firmasının önerdiği kesme hızı aralığı değerlerinin, MMY sistemi uygulanarak, parça yüzey pürüzlülüklerini ve kesme kuvvetlerinin incelenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneylerin yapımında kullanılan makine teçhizat hakkındaki bilgiler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan makine -teçhizat listesi ve kullanım amaçları

| Adı-Modeli                                                                                                                                   | Kullanılma Amacı                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Üniversal torna tezgahı/TezsanSn 45 A                                                                                                        | Deney numunelerinin hazırlanmasında                                                                                                                                        |
| CNC torna tezgahı / Johnford TC-35                                                                                                           | Deeylerin Gerçekleştirilmesinde                                                                                                                                            |
| Yüzey Pürüzlülük Ölçme Cihazı / MahrPerthometer M1                                                                                           | İşlenmiş yüzeylerin yüzey kalitesinin belirlenmesi (İşlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra) ölçülmesi)                                             |
| Dinamometre ve Aksesuarları / Kistler 9257B<br>Dinamometre, Kistler 1667A5 Data Kablosu, Kistler 5070-A Amplifier, Kistler Dynoware yazılımı | İşleme deneyleri sırasında oluşan kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Ft), ve pasif kuvvet (Fp) ölçülmesi ve bilgisayar ortamına aktarılarak, grafiklerin oluşturulması. |
| Çeşitli ölçü aletleri / Kumpas, mikrometre                                                                                                   | Deney numunelerinin hazırlanması sırasındaki ölçümler, deneyler öncesi yapılacak ayarlar                                                                                   |
| SKF Ufb20 Basic MMY Sistemi                                                                                                                  | Kesici ile iş parçası temas noktasına yağlama ve soğutma işlemini sağlayan cihaz.                                                                                          |

### 5.1. Tezgah

Deneylerin yapılabilmesi için, Gazi Üniversitesi envanterinde mevcut olan JohnFord TC35 marka CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Deneylerin yapılmasında kullanılan tezgahın, tüm özellikleri Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.2. “JohnFord TC35 ” CNC Torna Tezgahı’nın özellikleri

| Tezgah Özellikleri              | Birim Değerleri |
|---------------------------------|-----------------|
| X eksen                         | 250 mm          |
| Z eksen                         | 600 mm          |
| Tezgah gücü                     | 10 kW           |
| Devir sayısı                    | 4000 rpm        |
| Hidrolik ayna çapı              | 250 mm          |
| Hassasiyet                      | 0,001 mm        |
| Taret, Takım Bağlama Kapasitesi | 12              |

## 5.2. Deney Numuneleri

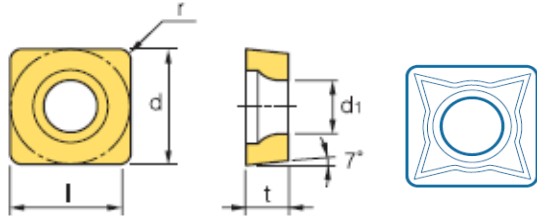
Deneylerde işlenmesi için seçilen malzeme olarak ISO 3685’e göre referans malzeme olarak önerilen malzemelerden AISI 1040 kullanılmıştır. Çizelge 5.3’te deneylerde kullanılan iş parçasının kimyasal malzeme yapısı verilmiştir. Deney numunesinin çapı 30 mm, talaş kaldırma uzunluğu 40 mm olarak alınmış ve kesme derinliği ise 2,5 mm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. AISI 1040 çeliğin kimyasal yapısı

| AISI | C    | Si  | Mn   | P     | S     | Fe    |
|------|------|-----|------|-------|-------|-------|
| 1040 | 0,42 | 0,8 | 0,25 | 0,035 | 0,035 | 98,46 |

## 5.3. Kesici Takım

Deneylerde SCMT120404-C25 geometrisine sahip kaplamalı (TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN) Korloy NC320 kalitesinde (P30) ve SCMT120408-C25 geometrisine sahip kaplamalı (TiCN+ TiC + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN) Korloy NC330 (P40) kesici takımlar kullanılmıştır. Her tornalama işlemi için yeni takım kullanılmıştır. Şekil 5.1’de kesici takım geometrisi ile ilgili bilgi verilmiştir. Yüzey kalitesi üzerinde etkili olabilecek şekilde, iki farklı uç yarıçapı kullanılması planlanmıştır. Kesicinin dört adet kesme kenarı bulunmaktadır, bu sayede 20 adet kesici takım ile 80 adet deney numunesi elde edilmiştir..



Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan kesici takım geometrisi

Çizelge 5.4'te deneylerin yapılmasında kullanılan kesici takımlara ait ölçü bilgileri verilmektedir. Bu bilgiler kesici takımların özellikleri hakkında bilgi edinmeye ve deney parametrelerinin belirlenmesine imkan sağlamaktadır.

Çizelge 5.4. Kesici takım ölçüleri

| KESİCİ TAKIM    | Kesici Takım Ölçüleri(mm)<br>(Şekil 5.1'e göre) |      |      |     |     | Önerilen Kesme Parametreleri |           |
|-----------------|-------------------------------------------------|------|------|-----|-----|------------------------------|-----------|
|                 | l                                               | d    | t    | r   | d1  | f                            | a         |
| SCMT 120404-C25 | 12,3                                            | 12,7 | 4,76 | 0,4 | 5,5 | 0,10-0,30                    | 0,80-3,80 |
| SCMT 120408-C25 | 11,9                                            | 12,7 | 4,76 | 0,8 | 5,5 | 0,12-0,38                    | 1,20-3,80 |

#### 5.4. Kesme Parametreleri

Kesme parametrelerinin belirlenmesinde malzemenin cinsi, tezgah özellikleri ve kesici takım firması katalog değerleri dikkate alınmıştır. Deneylerde kesme parametreleri olarak beş farklı MMY debisi, dört farklı kesme hızı, iki adet ilerleme oranı ve sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Bu parametrelere ait bilgi Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kesme parametreleri

| PARAMETRE                  | DEĞER                         |
|----------------------------|-------------------------------|
| MMY Debisi, Q (ml/dk)      | 0,225; 0,45; 0,9; 3,25; 16,25 |
| Kesme Hızı, V (m/dk)       | 100; 125; 160; 200            |
| İlerleme, f (mm/dev)       | 0,125; 0,25                   |
| Kesici Uç Yarıçapı, R (mm) | 0,4; 0,8                      |
| Kesme Derinliği, a (mm)    | 2,5                           |

### 5.5. Minimum Miktarda Yağlama

MMY uygulayıcısı olarak, kullanılan takım tezgahı özellikleri de dikkate alınarak harici uygulamalara uygun olan SKF marka UFB20-Basic soğutma sistemi tercih edilmiştir. Resim 5.1’de MMY sistemine ait temel ünite verilmiştir. Bu sistem hemen hemen her türlü tezgaha entegre edilerek, uygulama yapılabilmesi mümkündür.



Resim 5.1. “UFB20-Basic” MMY sistemi

Sistemde MMY uygulaması yapabilmek için iki çeşit yağ kullanılmaktadır. Bunlar çelik türü malzemeler “LubriOil” ve alüminyum türü malzemeler “LubriFluid-F100” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yapılan deneylerde kullanılan malzeme AISI 1040 türü çelik olduğundan LubriOil cinsinden yağ kullanılmıştır. Çizelge 5.6’da ise MMY uygulaması için kullanılan yağın özellikleri gösterilmektedir.

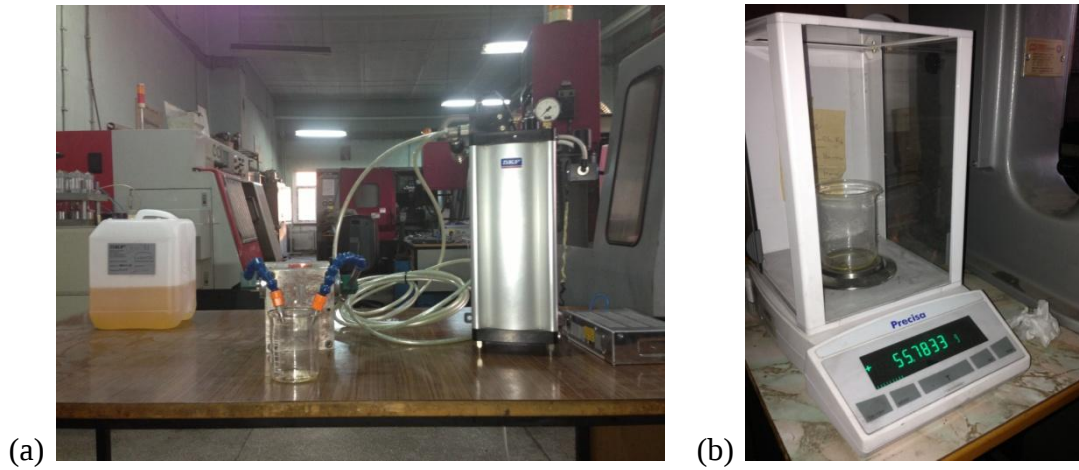
Çizelge 5.6. “LubriOil” MMY sistem yağı özellikleri [31]

| MMY Sistem Yağı ve Standartlara Göre Özellikleri |                 | DIN 51757                                     | DIN 51562                                       | DIN ISO 2592          |
|--------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Yağ Cinsi                                        | İçerik          | Yoğunluk<br>20° C ‘de<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | Viskozite<br>40° C ‘ de<br>[mm <sup>2</sup> /s] | Yanma Noktası<br>[C°] |
| LubriOil                                         | Ester yağ asidi | 0,92                                          | 47                                              | 265                   |

## 5.6. MMY Sistem Debisinin Belirlenmesi

MMY sistemi tezgaha entegre edildikten sonra deney parametresi olan kesme sıvısının hangi debilerde uygulanacağını ve ml/dk cinsinden ne kadar ihtiva edildiğini belirlemek için bazı araştırmalar ve hesaplamalar yapılmıştır.

Debi miktarı, Şekil 5.2’de gösterilen; (a) beher içine ihtiva edilen yağ karışımı ve (b) hassas terazi ile ölçüm yöntemleri ile sonuca ulaşılmıştır. MMY sisteminden gelen yağ ve hava karışımı ilk olarak beher içine ihtiva edilerek bir dakika boyunca beher içinde biriken yağ miktarının, hassas terazi ile ölçülerek ml/dk cinsinden sonuçlar elde edilmiştir.



Resim 5.2. MMY sistemi debisinin ölçme yöntemi, (a) sistem yağının beher ile ölçülmesi, (b) MMY sistem yağının hassas terazi ile ölçülmesi

## 5.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Deney numuneleri elde edildikten sonra, veri elde etme işlemine başlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi işleminde Gazi Üniversitesi envanterinde mevcut olan Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı kullanılmıştır (Çizelge 5.7). Deneylerde kullanılan ölçüm yöntemi olarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değeri seçilmiştir. Bu sistem stylus metodu ile ölçüm yapmaktadır. Stylus tekniği, yüzey dokusu ölçüm yöntemleri alanında en geniş kullanım alanına sahip yöntemlerden biridir.

Çizelge 5.7. “Mahr Perthometer-M1” YP ölçme cihazının özellikleri

| Model ve Özellikler      | Mahr Perthometer-M1  |
|--------------------------|----------------------|
| İğne uç yarıçapı         | 2 $\mu$ m            |
| Ölçme aralığı            | 100–150 $\mu$ m      |
| Tarama hızı              | 0,5 m/s              |
| Tarama kuvveti           | 0,75 mN              |
| Profil çözünürlüğü       | 12 mm                |
| Filtre                   | Gaussian             |
| Ölçülebilen parametreler | Ra, Rz, Rmax         |
| Örnekleme uzunluğu       | 0,25 – 0,8 – 2,5 mm  |
| Ölçme uzunluğu (L)       | 1,75 – 5,6 – 17,5 mm |

Her deney numunesinin yüzey pürüzlülüğü üç kere ölçülmüş olup bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

### 5.8. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Deneylerde üç kesme kuvveti bileşenini ( $F_c$ ,  $F_f$  ve  $F_r$ ) ölçme kapasitesine sahip kuartz kistler 9257 B tipi dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Dinamometre tarafından kaydedilen kesme kuvveti verileri (gerilim değerleri) Kistler Type 5070A Multichannel Charge Amplifier (yükseletç) yardımıyla Type 2855A3 A/D Board CIO-DAS 1602/12 veri alma kartı ve Kistler Type 2825A1-2 Dynoware yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına alınmıştır. Kesme kuvveti gerilim değerlerinin yükseltilmesi ve yazılım için istenilen kanal düzeninin (hangi kanaldan hangi kesme kuvveti bileşeninin okunacağı) ayarlanması gibi işlevler için kullanılan 5070A yükseletcinin bazı özellikleri Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.8. Kesme kuvveti (Kistler 9257 B ) ölçme cihazının özellikleri

| Kistler 9257 B Dinamometrenin Teknik Özellikleri |                     |
|--------------------------------------------------|---------------------|
| Kuvvet aralığı (Fx, Fy, Fz)                      | 5...10              |
| Tepki verme                                      | (N) 0,01            |
| Hassasiyet                                       | Fx, Fy -7,5 (pC/N)  |
| Hassasiyet                                       | Fz -3,5 (pC/N)      |
| Doğrusallık                                      | %1 FSO              |
| Histeresis                                       | %0,5 FSO            |
| Doğal frekans                                    | f0(x,y,z) 3,5 (kHz) |
| Çalışma sıcaklığı                                | (0°...70 °C)        |
| Kapasitans                                       | 220 (pF)            |
| 20 °C’ deki yalıtım direnci                      | 1013 ( $\Omega$ )   |
| Topraklama sınıfı                                | 108 ( $\Omega$ )    |
| Koruma sınıfı                                    | IP 67               |
| Ağırlık                                          | 7,3 kg              |

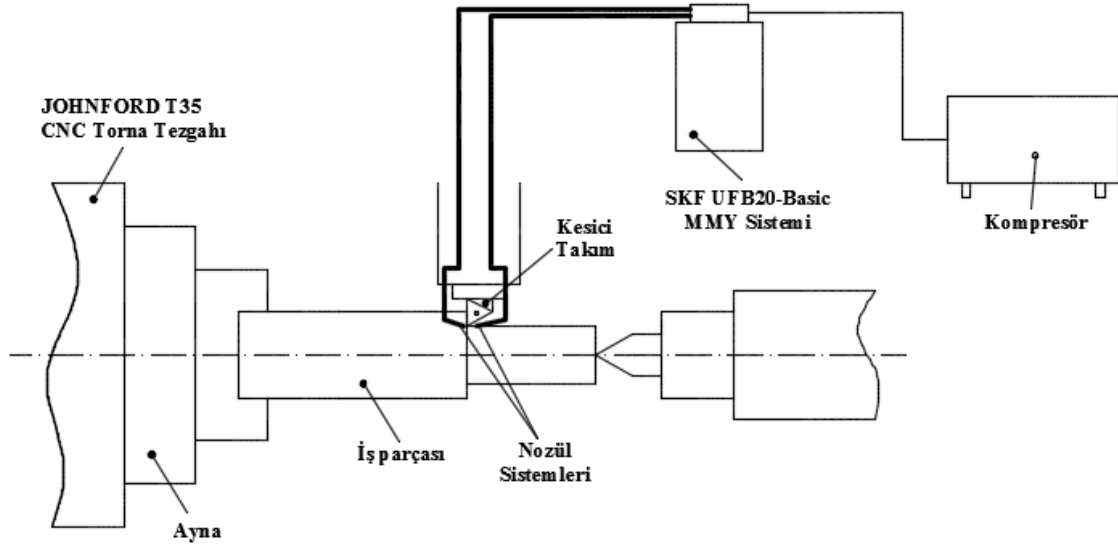
Çizelge 5.9. 5070A Amplifier (Yükseltici) teknik özellikleri

| 95070A Amplifier (Yükseltici) |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| Kanal sayısı                  | 8                         |
| Açıklama                      | 19” rack                  |
| Bağlantı                      | Fischer 9 pol. Neg        |
| Ölçüm aralığı                 | $\pm 200 \dots 200000$ pC |
| Frekans aralığı               | 0.....>45 kHz             |
| Frekans aralığı               | $\pm 10$                  |
| Çıktı sinyali                 | 200.....240 V             |
| Arayüz                        | RS-232C                   |

### 5.9. Deney Şeması

Deneylerin yapılabilmesi için CNC torna tezgahına bağlanan iş parçasına, harici MMY sistemi uygulaması yapılmıştır. MMY sistemi kompresörden gelen hava sayesinde, iş

parçası ile kesici takım sürtünme bölgesine hava ve yağ karışımını püskürtür. Şekil 7.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2. Deney şeması

Deney işleyiş sırası oluşturulduktan sonra sıra deneylerin yapım aşamasına gelinmiştir. Deneylerin yapılmasından sonra elde edilen veriler doğrultusunda gerekli grafikler oluşturularak yorumlanmıştır.

## 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Farklı uç yarıçap değerine ( $R=0,4$  ve  $R=0,8$  mm) sahip kesici takımlarla yapılan işleme deneyleri ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve kesme kuvvetleri; MMY sistem debisi, kesme hızı ve ilerleme miktarına göre oluşturulan grafikler kullanılarak aşağıda verilen ayrı başlıklar altında yorumlanmıştır.

### 6.1. MMY Sistem Debisi ve Kesme Hızına Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

MMY sistem debisi ve kesme hızına bağlı olarak işlenmiş yüzeylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri; kesici uç yarıçapı ( $R$  0,8 ve 0,4 mm) ve ilerleme ( $f$  0,125 ve 0,25 mm/dev) değerlerine bağlı olarak Çizelge 6.1-Çizelg 6.4'deki tablolarda verilmiştir. Bu veriler ışığında MMY debisi ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişimler  $R:0,8$  ve  $R:0,4$  mm için sırasıyla Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'deki, "Sigmaplot" yazılımı [80] kullanılarak çizilen, grafiklerde gösterilmiştir

Çizelge 6.1.  $R=0,8$  mm ve  $f=0,125$  mm/dev için MMY sistem debisi ( $Q$ ) ve kesme hızına ( $V$ ) bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerleri

| SCMT 120408-C25 - R:0,8 mm |          |            |           |         |          |          |            |           |         |
|----------------------------|----------|------------|-----------|---------|----------|----------|------------|-----------|---------|
| Deney No                   | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Ra (µm) | Deney No | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Ra (µm) |
| 1                          | 100      | 0,125      | 0,225     | 1,264   | 21       | 160      | 0,125      | 0,225     | 0,974   |
| 2                          |          |            | 0,45      | 1,190   | 22       |          |            | 0,45      | 0,908   |
| 3                          |          |            | 0,9       | 1,160   | 23       |          |            | 0,9       | 0,856   |
| 4                          |          |            | 3,25      | 0,996   | 24       |          |            | 3,25      | 0,807   |
| 5                          |          |            | 16,25     | 0,921   | 25       |          |            | 16,25     | 0,819   |
| 11                         | 125      |            | 0,225     | 0,988   | 31       | 200      |            | 0,225     | 0,917   |
| 12                         |          |            | 0,45      | 0,969   | 32       |          |            | 0,45      | 0,825   |
| 13                         |          |            | 0,9       | 0,863   | 33       |          |            | 0,9       | 0,787   |
| 14                         |          |            | 3,25      | 0,833   | 34       |          |            | 3,25      | 0,727   |
| 15                         |          |            | 16,25     | 0,785   | 35       |          |            | 16,25     | 0,890   |

Çizelge 6.2. R=0,8 mm ve f=0,25 mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

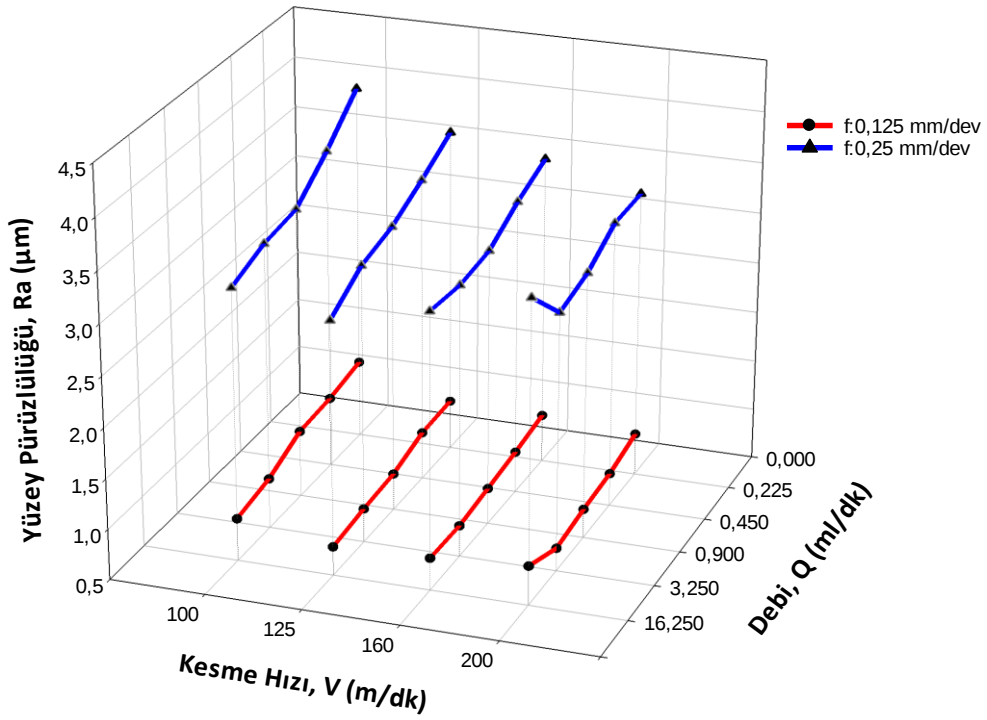
| SCMT 120408-C25 - R:0,8 mm |          |            |           |         |          |          |            |           |         |
|----------------------------|----------|------------|-----------|---------|----------|----------|------------|-----------|---------|
| Deney No                   | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Ra (µm) | Deney No | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Ra (µm) |
| 6                          | 100      | 0,25       | 0,225     | 4,04    | 26       | 160      | 0,25       | 0,225     | 3,571   |
| 7                          |          |            | 0,45      | 3,679   | 27       |          |            | 0,45      | 3,419   |
| 8                          |          |            | 0,9       | 3,378   | 28       |          |            | 0,9       | 3,218   |
| 9                          |          |            | 3,25      | 3,321   | 29       |          |            | 3,25      | 3,171   |
| 10                         |          |            | 16,25     | 3,182   | 30       |          |            | 16,25     | 3,212   |
| 16                         | 125      |            | 0,225     | 3,719   | 26       | 200      |            | 0,225     | 3,346   |
| 17                         |          |            | 0,45      | 3,511   | 37       |          |            | 0,45      | 3,33    |
| 18                         |          |            | 0,9       | 3,329   | 38       |          |            | 0,9       | 3,128   |
| 19                         |          |            | 3,25      | 3,233   | 39       |          |            | 3,25      | 3,035   |
| 20                         |          |            | 16,25     | 2,998   | 40       |          |            | 16,25     | 3,466   |

Çizelge 6.3. R=0,4 mm ve f=0,125 mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

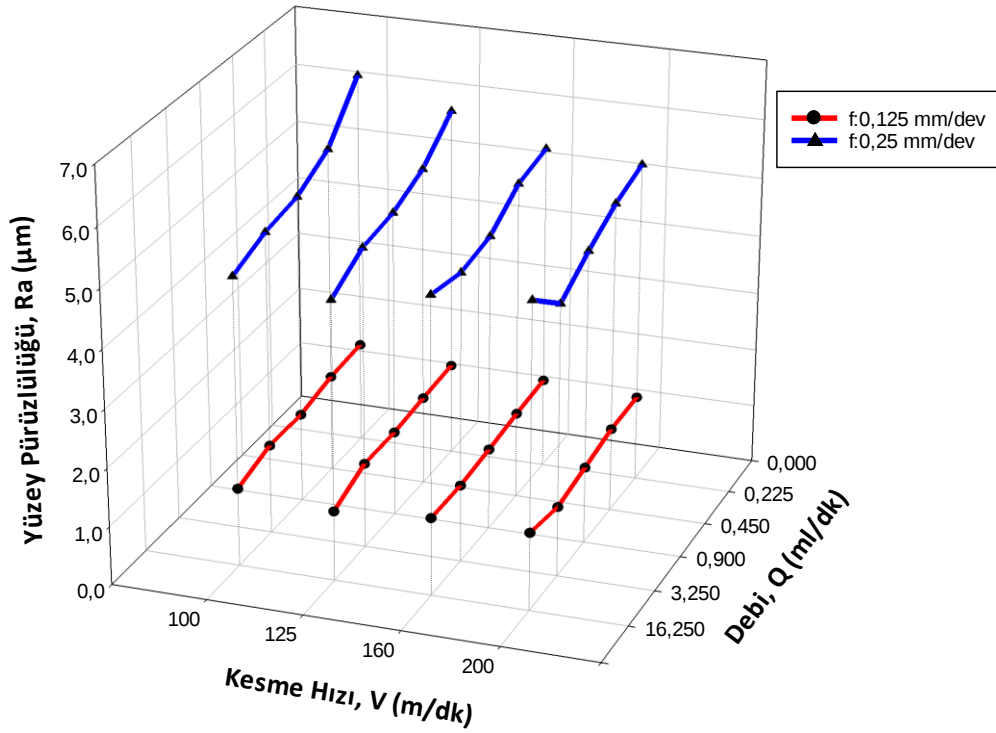
| SCMT 120404-C25 - R:0,4 mm |          |            |           |         |          |          |            |           |         |
|----------------------------|----------|------------|-----------|---------|----------|----------|------------|-----------|---------|
| Deney No                   | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Ra (μm) | Deney No | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Ra (μm) |
| 41                         | 100      | 0,125      | 0,225     | 1,704   | 61       | 160      | 0,125      | 0,225     | 1,522   |
| 42                         |          |            | 0,45      | 1,654   | 62       |          |            | 0,45      | 1,466   |
| 43                         |          |            | 0,9       | 1,517   | 63       |          |            | 0,9       | 1,384   |
| 44                         |          |            | 3,25      | 1,522   | 64       |          |            | 3,25      | 1,319   |
| 45                         |          |            | 16,25     | 1,335   | 65       |          |            | 16,25     | 1,332   |
| 51                         | 125      |            | 0,225     | 1,558   | 71       | 200      |            | 0,225     | 1,453   |
| 52                         |          |            | 0,45      | 1,507   | 72       |          |            | 0,45      | 1,43    |
| 53                         |          |            | 0,9       | 1,442   | 73       |          |            | 0,9       | 1,311   |
| 54                         |          |            | 3,25      | 1,449   | 74       |          |            | 3,25      | 1,197   |
| 55                         |          |            | 16,25     | 1,194   | 75       |          |            | 16,25     | 1,335   |

Çizelge 6.4. R=0,4 mm ve f=0,25 mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

| SCMT 120404-C25 - R:0,4 mm |          |            |           |         |          |          |            |           |         |
|----------------------------|----------|------------|-----------|---------|----------|----------|------------|-----------|---------|
| Deney No                   | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Ra (µm) | Deney No | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Ra (µm) |
| 46                         | 100      | 0,25       | 0,225     | 6,425   | 66       | 160      | 0,25       | 0,225     | 5,566   |
| 47                         |          |            | 0,45      | 5,614   | 67       |          |            | 0,45      | 5,434   |
| 48                         |          |            | 0,9       | 5,274   | 68       |          |            | 0,9       | 5,03    |
| 49                         |          |            | 3,25      | 5,159   | 69       |          |            | 3,25      | 4,917   |
| 52                         |          |            | 16,25     | 4,919   | 70       |          |            | 16,25     | 5,053   |
| 56                         | 125      |            | 0,225     | 6,01    | 76       | 200      |            | 0,225     | 5,497   |
| 57                         |          |            | 0,45      | 5,477   | 77       |          |            | 0,45      | 5,307   |
| 58                         |          |            | 0,9       | 5,211   | 78       |          |            | 0,9       | 4,997   |
| 59                         |          |            | 3,25      | 5,112   | 79       |          |            | 3,25      | 4,624   |
| 60                         |          |            | 16,25     | 4,75    | 80       |          |            | 16,25     | 5,186   |



Şekil 6.1.  $R=0.8$  mm ve  $f=0.125$  ve  $f=0.25$  mm/dev için MMY sistem debisi ( $Q$ ) ve kesme hızına ( $V$ ) bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki ( $R_a$ ) değişim



Şekil 6.2.  $R=0.4$  mm ve  $f=0.125$  ve  $f=0.25$  mm/dev için MMY sistem debisi ( $Q$ ) ve kesme hızına ( $V$ ) bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki ( $R_a$ ) değişim

Çizelge 6.1'deki verilere göre Şekil 6.1'deki grafik incelendiğinde, artan debi değerleriyle yüzey pürüzlülüğünde bir azalma eğilimi gözlenmektedir. 0,125 mm/dev ilerleme ve 0,8 mm uç yarıçapı için sabit talaş derinliği ( $a:2,5$  mm) kullanılarak yapılan deneylerde en yüksek yüzey pürüzlülük değeri en düşük kesme hızı (100 m/dk) ve en düşük debi uygulamasında (0,225 ml/dk) elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise en yüksek kesme hızı (200 m/dk) ve 3,25 ml/dk debi uygulamasında elde edilmiştir. Bu bulgular artan kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumlu etkisini bir kez daha ortaya koyarken [81-83], MMY uygulaması için yüzey kalitesinin artan debi ile bir yere kadar iyileştiğini göstermektedir. Kesme hızının en yüksek olduğu (200 m/dk) deneylerde, debi değerinin en yüksek seviyesinde (16,25 ml/dk) yüzey kalitesinin tekrar bozulduğu gözlenmiştir. Bu deney şartlarında, talaşın üzerine etki eden hava-yağ karışımının fazla olması, talaşın erken kopmasına yol açarak pürüzlülük değerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

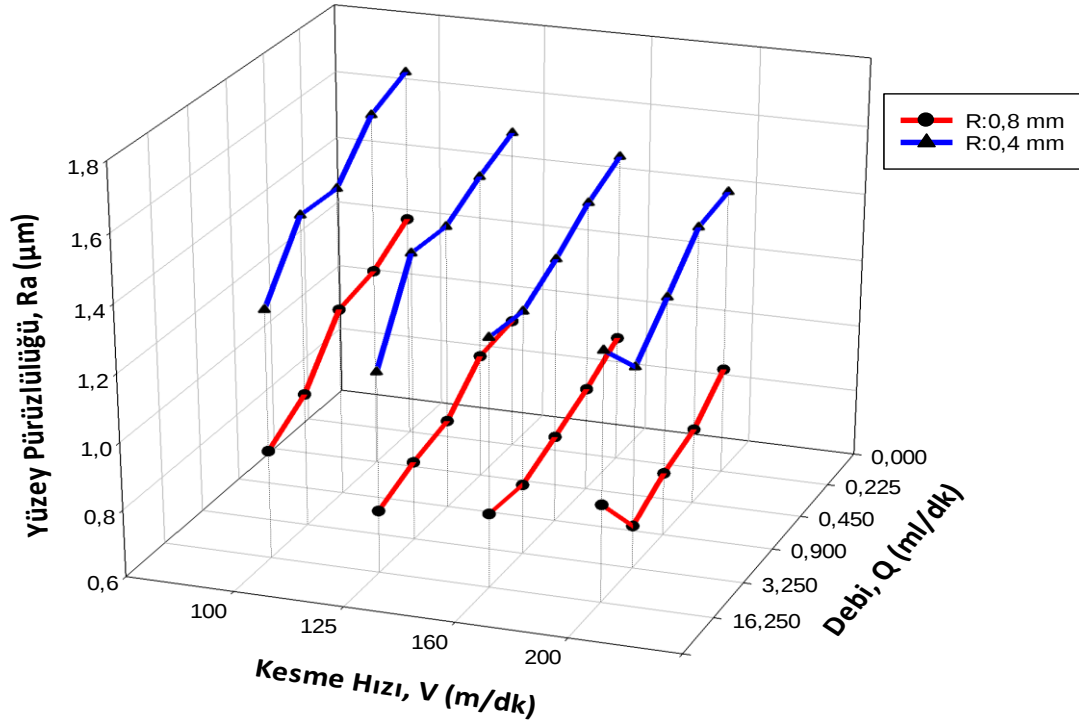
Çizelge 6.2' deki veriler ışığında Şekil 6.1'deki grafiklerden, diğer bütün parametreler aynı kalmak kaydıyla, ilerlemedeki artışın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi görülebilmektedir. Şekil 6,1'dekine benzer şekilde, kesme hızı ve debideki artışla yüzey pürüzlülüğü azalırken, yüksek kesme hızları ve yüksek debide yine benzer şekilde, yüzey pürüzlülüğü artmıştır. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri 0,225 ml/dk debi değerinde ve 100 m/dk kesme hızında elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 200 m/dk kesme hızında ve 3,25 ml/dk debi değerinde elde edilmiştir. Ancak artan ilerleme ile, debinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumlu etkisi daha belirgin hale gelmiştir.

Şekil 6.1'deki grafiklerde farklı ilerleme miktarına sahip yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında, ilerlemedeki artışla yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu sonuçlar, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olan önemli parametrelerden biri olduğunu göstermektedir (Bkz. Bölüm 4.4.1, Eşitlik 6.2) [73-75]. Artan ilerlemeye bağlı olarak artan talaş kesit alanı, talaşın sadece kısmen biçimlendirilebilmesine sebep olarak, ilk deformasyon bölgesindeki kırılmalarla yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir.

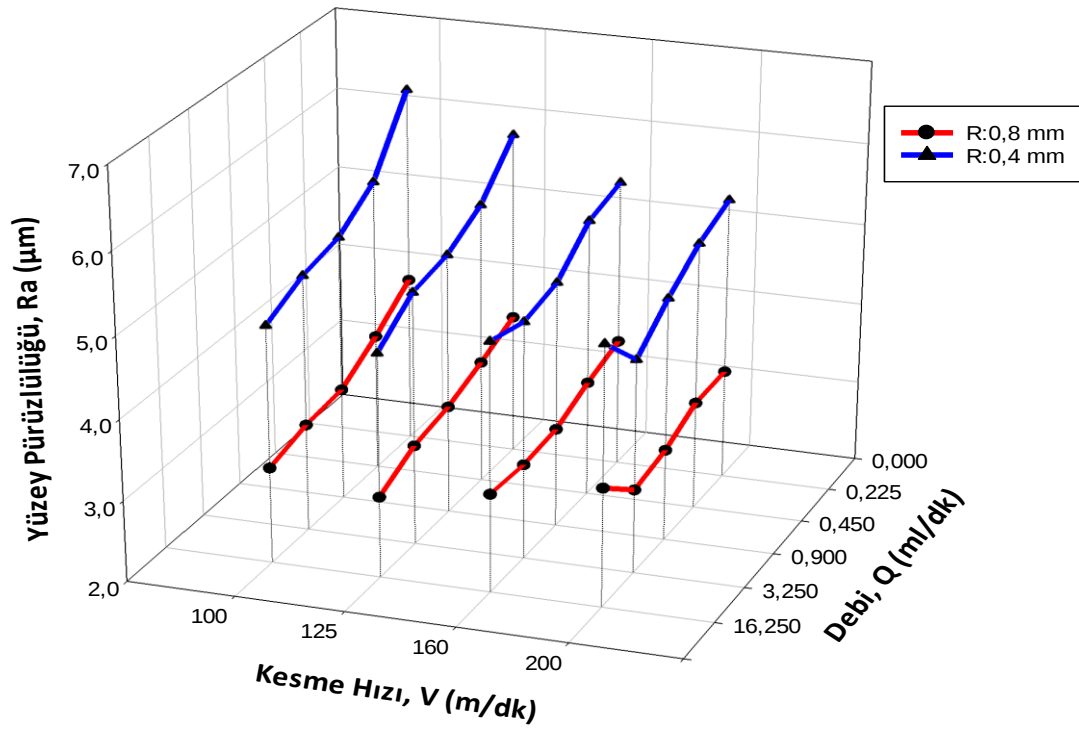
Deneylerin ikinci aşamasında kesici takım uç yarıçap değeri 0,4 mm olan kesici takımlar kullanılmıştır. Deneysel çalışmalardan 0,4 mm uç yarı çapı için elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 6.3 (f:0,125) ve Çizelge 6.4 (f:0,25)'de ve bu verilerden elde

edilen yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri ise Şekil 6.2’de verilmiştir. Şekil 6.2’deki grafikler incelendiğinde, aynı parametreler ışığında kesici uç yarıçapına bağlı elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin Şekil 6.1’deki grafiklerle tamamen benzer eğilim sergilediği görülürken sadece uç yarıçapındaki azalmayla birlikte pürüzlülük değerlerinde önemli bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu durum kesici uç yarıçapının da yüzey kalitesi üzerinde önemli bir parametre olduğunu ispatlar niteliktedir. Kesici uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini daha iyi anlayabilmek için, Şekil 6.1 ve şekil 6.2’deki grafikler kesici uç yarıçapına bağlı olarak tekrar oluşturularak  $f: 0,125 \text{ mm/dev}$  için Şekil 6.3’te ve  $f:0,25 \text{ mm/dev}$  için Şekil 6.4’te verilmiştir.

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’deki grafikler beraber değerlendirildiğinde, yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve debideki artışla azalma (en yüksek kesme hızı ve en yüksek debi değeri kombinasyonu hariç, bu durum parametrelere bağlı talaşın erken kırılmasına bağlı olarak yukarıda açıklanmıştır) eğilimindeyken uç yarıçapındaki artışla birlikte de azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum ideal yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmede kullanılan Eşitlik 4.2’yi doğrular niteliktedir. Bu eşitliğe göre, yüzey pürüzlülüğü ilerlemenin karesiyle doğru orantılı olarak artarken yarıçaptaki artışla azalacaktır. Şekil 6,1 ve Şekil 6.2’de uç yarıçapına bağlı olarak yüzey kalitesindeki iyileşme benzer eğilimlerle açık olarak görülürken, her iki şekildeki grafikler karşılaştırıldığında, ilerlemedeki artışın yüzey kalitesini çok daha olumsuz şekilde etkilediği görülmektedir. Çalışma konusuna bağlı olarak MMY sistem debisindeki artış, her iki uç yarıçapı için, yüzey kalitesi üzerinde olumlu etkiler yaratmış, ilerlemeye bağlı olarak bu eğilim sürerken yüksek hız ve debi kombinasyonlarında yüzey kalitesinde tekrar bozulma eğilimi söz konusu olmuştur. Bu durum yüksek hızlarda çalışma sırasında yüksek debilerin olumlu etkilerinin azaldığını göstermektedir. Artan debi ile oluşan talaşın erken kırılması, kesme hızındaki artışa bağlı artan sıcaklık sebebiyle oluşan erken buharlaşma etkisiyle birleştiğinde, uygulanan kesme sıvısının yağlayıcı özelliği ortadan kalkmakta ve yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu sonuçlara göre yüksek hızlarda çalışırken MMY etkisinin azalması dikkate alındığında, nispeten düşük debiler veya kuru çalışma önerilebilir [38].



Şekil 6.3.  $f=0,125$  mm/dev için kesici takımların MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak yüzey pürüzlülük (Ra) değerine etkisi



Şekil 6.4.  $f=0,25$  mm/dev için kesici takımların MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak yüzey pürüzlülük (Ra) değerine etkisi

## 6.2. MMY Sistem Debisi ve Kesme Hızı Kombinasyonuna Göre Asıl Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

MMY uygulamalarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini yorumlamak için sistem debisi ve kesme hızına bağlı olarak talaş kaldırma sırasında ölçülen ortalama asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri; kesici uç yarıçapı ( $R$  0,8 ve 0,4 mm) ve ilerleme ( $f$  0,125 ve 0,25 mm/dev) değerlerine bağlı olarak Çizelge 6.5-Çizelge 6.8'deki tablolarda verilmiştir. Bu veriler ışığında MMY debisi ve kesme hızına bağlı olarak asıl kesme kuvvetlerindeki değişimler  $R$ :0,8 ve  $R$ :0,4 mm için sırasıyla Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'daki grafiklerde gösterilmiştir

Çizelge 6.5.  $R=0,8$  mm ve  $f=0,125$  mm/dev için MMY sistem debisi ( $q$ ) ve kesme hızına ( $V$ ) bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri

| SCMT 120408-C25 - R: 0,8 mm |          |            |           |        |          |          |            |           |        |
|-----------------------------|----------|------------|-----------|--------|----------|----------|------------|-----------|--------|
| Deney No                    | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Fc (N) | Deney No | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Fc (N) |
| 1                           | 100      | 0,125      | 0,225     | 852,1  | 21       | 160      | 0,125      | 0,225     | 832,4  |
| 2                           |          |            | 0,45      | 859,1  | 22       |          |            | 0,45      | 823,7  |
| 3                           |          |            | 0,9       | 854,5  | 23       |          |            | 0,9       | 830,8  |
| 4                           |          |            | 3,25      | 855,4  | 24       |          |            | 3,25      | 845,4  |
| 5                           |          |            | 16,25     | 851,9  | 25       |          |            | 16,25     | 831,9  |
| 11                          | 125      |            | 0,225     | 860,8  | 31       | 200      |            | 0,225     | 825    |
| 12                          |          |            | 0,45      | 825,1  | 32       |          |            | 0,45      | 836,2  |
| 13                          |          |            | 0,9       | 837,5  | 33       |          |            | 0,9       | 832,4  |
| 14                          |          |            | 3,25      | 839,7  | 34       |          |            | 3,25      | 831,3  |
| 15                          |          |            | 16,25     | 780,6  | 35       |          |            | 16,25     | 809,2  |

Çizelge 6.6.  $R=0,8$  mm ve  $f=0,25$  mm/dev için MMY sistem debisi ( $Q$ ) ve kesme hızına ( $V$ ) bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri

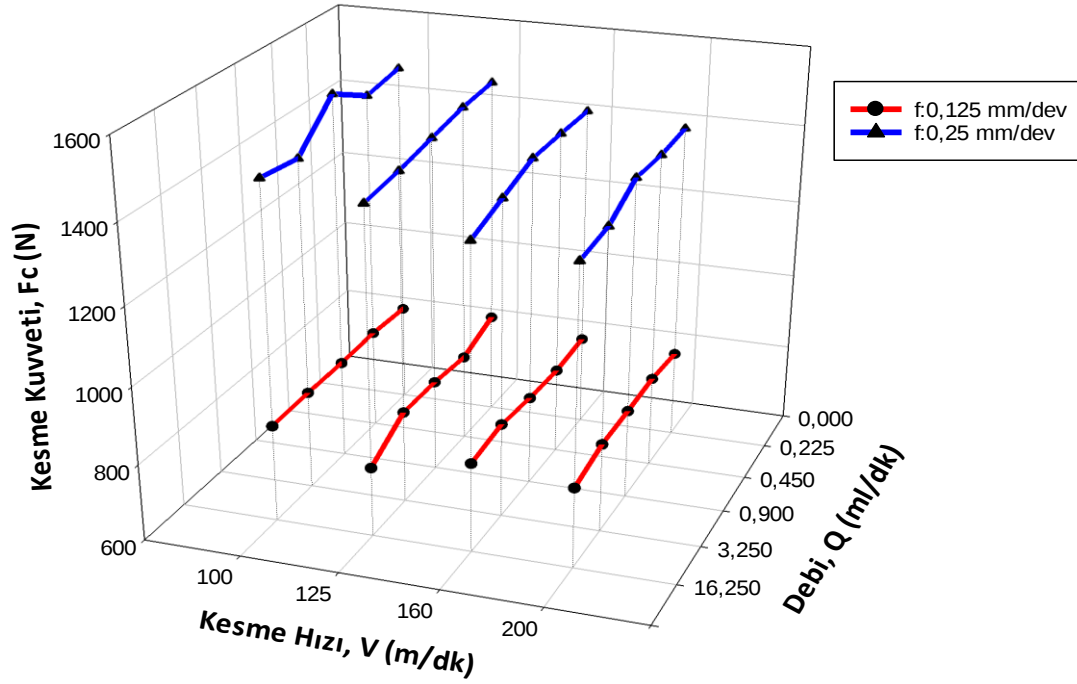
| SCMT 120408-C25 - R: 0,8 mm |          |            |           |        |          |          |            |           |        |
|-----------------------------|----------|------------|-----------|--------|----------|----------|------------|-----------|--------|
| Deney No                    | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Fc (N) | Deney No | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Fc (N) |
| 6                           | 100      | 0,25       | 0,225     | 1506,3 | 26       | 160      | 0,25       | 0,225     | 1444,3 |
| 7                           |          |            | 0,45      | 1490,3 | 27       |          |            | 0,45      | 1445,3 |
| 8                           |          |            | 0,9       | 1549,3 | 28       |          |            | 0,9       | 1444,3 |
| 9                           |          |            | 3,25      | 1451,3 | 29       |          |            | 3,25      | 1411,3 |
| 10                          |          |            | 16,25     | 1466,3 | 30       |          |            | 16,25     | 1378,3 |
| 16                          | 125      |            | 0,225     | 1493,3 | 36       | 200      |            | 0,225     | 1425,4 |
| 17                          |          |            | 0,45      | 1485,3 | 37       |          |            | 0,45      | 1418,3 |
| 18                          |          |            | 0,9       | 1467,3 | 38       |          |            | 0,9       | 1424,3 |
| 19                          |          |            | 3,25      | 1448,3 | 39       |          |            | 3,25      | 1373,4 |
| 20                          |          |            | 16,25     | 1435,3 | 40       |          |            | 16,25     | 1361,3 |

Çizelge 6.7. R=0,4 mm ve f=0,125 mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti (Fc) değerleri

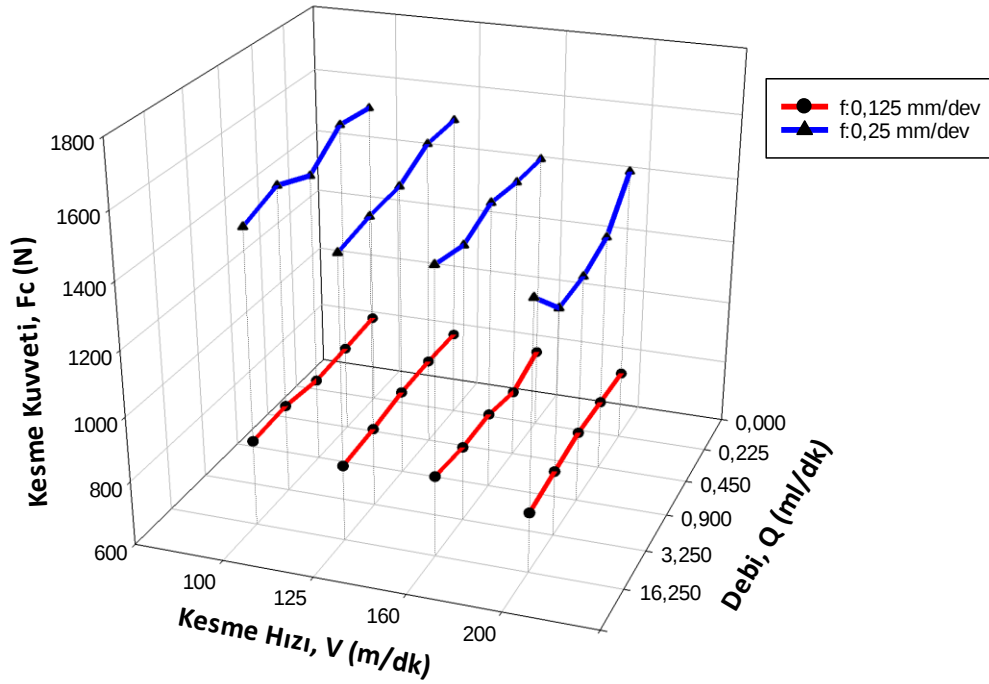
| SCMT 120404-C25 - R: 0,4 mm |          |            |           |        |          |          |            |           |        |
|-----------------------------|----------|------------|-----------|--------|----------|----------|------------|-----------|--------|
| Deney No                    | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Fc (N) | Deney No | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Fc (N) |
| 41                          | 100      | 0,125      | 0,225     | 881,1  | 61       | 160      | 0,125      | 0,225     | 845,9  |
| 42                          |          |            | 0,45      | 869,2  | 62       |          |            | 0,45      | 807,7  |
| 43                          |          |            | 0,9       | 858,9  | 63       |          |            | 0,9       | 835    |
| 44                          |          |            | 3,25      | 875,3  | 64       |          |            | 3,25      | 833,8  |
| 45                          |          |            | 16,25     | 866,3  | 65       |          |            | 16,25     | 850,3  |
| 51                          | 125      |            | 0,225     | 864,7  | 71       | 200      |            | 0,225     | 815,3  |
| 52                          |          |            | 0,45      | 867,9  | 72       |          |            | 0,45      | 818,2  |
| 53                          |          |            | 0,9       | 863,2  | 73       |          |            | 0,9       | 820,7  |
| 54                          |          |            | 3,25      | 845,8  | 74       |          |            | 3,25      | 804,3  |
| 55                          |          |            | 16,25     | 835,6  | 75       |          |            | 16,25     | 786,8  |

Çizelge 6.8. R=0,4 mm ve f=0,25 mm/dev için MMY sistem debisi (Q) ve kesme hızına (V) bağlı olarak elde edilen asıl kesme kuvveti (Fc) değerleri

| SCMT 120404-C25 - R: 0,4 mm |          |            |           |        |          |          |            |           |        |
|-----------------------------|----------|------------|-----------|--------|----------|----------|------------|-----------|--------|
| Deney No                    | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Fc (N) | Deney No | V (m/dk) | f (mm/dev) | Q (ml/dk) | Fc (N) |
| 46                          | 100      | 0,25       | 0,225     | 1570,3 | 66       | 160      | 0,25       | 0,225     | 1472,3 |
| 47                          |          |            | 0,45      | 1586,3 | 67       |          |            | 0,45      | 1475,3 |
| 48                          |          |            | 0,9       | 1504,3 | 68       |          |            | 0,9       | 1490,3 |
| 49                          |          |            | 3,25      | 1550,3 | 69       |          |            | 3,25      | 1446,3 |
| 50                          |          |            | 16,25     | 1509,3 | 70       |          |            | 16,25     | 1474,3 |
| 56                          | 125      |            | 0,225     | 1562,3 | 76       | 200      |            | 0,225     | 1466,3 |
| 57                          |          |            | 0,45      | 1559,3 | 77       |          |            | 0,45      | 1342,3 |
| 58                          |          |            | 0,9       | 1505,3 | 78       |          |            | 0,9       | 1307,3 |
| 59                          |          |            | 3,25      | 1494,3 | 79       |          |            | 3,25      | 1301,3 |
| 60                          |          |            | 16,25     | 1471,3 | 80       |          |            | 16,25     | 1420,3 |



Şekil 6.5.  $R=0,8$  mm ve  $f=0,125$  ve  $f=0,25$  mm/dev için MMY sistem debisi ( $Q$ ) ve kesme hızına ( $V$ ) bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki ( $F_c$ ) değişim



Şekil 6.6.  $R=0,4$  mm ve  $f=0,125$  ve  $f=0,25$  mm/dev için MMY sistem debisi ( $Q$ ) ve kesme hızına ( $V$ ) bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki ( $F_c$ ) değişim

Çizelge 6.5- Çizelge 6.8'deki verilere göre Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'daki grafikler incelendiğinde, artan debi değerleriyle birlikte asıl kesme kuvveti değerlerinde bir azalma eğilimi gözlenmektedir. Artan kesme hızının kesme kuvvetleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Yüksek kesme hızlarında 1. deformasyon bölgesinde artan sıcaklık, malzeme sertliğinin azalmasıyla deformasyon işleminin kolaylaştırmakta ve buna bağlı olarak kesme kuvvetleri de düşmektedir [80,81]. Bu çalışmada da benzer eğilim gözlenmiş ve artan kesme hızlarıyla kesme kuvvetleri azalma eğilimine girmiştir. Ancak bu azalma eğilimi, alışılmış tornalama işlemlerindeki kadar yüksek olmamıştır. Bu durum MMY uygulamasının, yağlama etkisi yanında kısmen de olsa soğutma etkisi olduğunu göstermektedir.

İlerleme miktarındaki artış kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur. Bu, beklenen bir durum olup, sabit kesme derinliğinde ilerlemedeki artışla birlikte artan talaş kesit alanı kesme kuvvetlerindeki artışın temel sebebidir [25,27,30,33,81-83].

MMY sistem debisindeki artışla birlikte kesme kuvvetleri de azalma eğilimi sergilemektedir. Kesme kuvvetlerinde debiye bağlı oluşan bu azalma eğilimi, MMY uygulamasının yağlama etkisiyle kesme bölgesindeki düşen sürtünme kuvvetlerine atfedilebilir [56]. MMY uygulamasının, kesme kuvvetleri üzerindeki olumlu etkisi, yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi kadar yüksek olmamıştır. Bu da, MMY uygulamalarının soğutma amacından çok yağlama etkisiyle yüzey kalitesini iyileştirmek için uygulanması gerektiğini gösteren bir kanıttır. Bu sonuç, literatürdekine benzer şekilde, yağlamayla birlikte soğutma amacı da hedeflendiğinde, MMY uygulamasının Minimum Miktarla Soğutma ve Yağlama (MMSY-MQCL) uygulamasıyla değiştirilmesi ihtiyacı doğmaktadır [38].

Çalışmada seçilen en düşük kesme hızında (100 m/dk), debiye bağlı olarak kesme kuvvetlerinde dalgalanmalar gözlenmiştir. Bu kesme hızında düşük debilerde görünen dalgalanmalar, MMY etkisinin kararsız olduğunu gösterirken, artan debiyle iyileşmeler sağlanabilmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen en yüksek kesme hızı şartları ve en yüksek debi miktarında (200 m/dk, 0,25 mm/dev ve 16,25 ml/dk) ise, yüzey pürüzlülüğündeki eğilime benzer şekilde, kesme kuvvetlerinde bir artış söz konusu olmuştur. Bu durum, artan kesme hızına bağlı artan sıcaklıkla kullanılan yağın süratle buharlaşarak yağlama etkisi yapamamış olmasına atfedilmiştir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

AISI 1040 deney numunelerinin, farklı kesme parametreleri ve MMY sistemindeki farklı debi seçenekleri ile CNC torna tezgahında işlenmesi ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- MMY uygulamasında artan debi değerleriyle birlikte yüzey pürüzlülüğünde bir azalma eğilimi gözlenmiştir.
- Deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular artan kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumlu etkisini bir kez daha ortaya koymuştur. Ancak, en yüksek kesme hızı (200 m/dk) ve en yüksek debi değerinde (16,25 ml/dk), yüksek hava ve yağ basıncının, talaşın erken kopmasına neden olarak, yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediği görülmüştür.
- Diğer bütün parametreler aynı kalmak kaydıyla, ilerlemedeki artışın yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve debideki artışla azalma eğilimindeyken uç yarıçapındaki artışla birlikte de azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.
- İlerleme ve kesici uç yarıçapındaki değişimle yüzey pürüzlülüğünde gözlenen değişimler, ideal yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmede kullanılan teorik yaklaşımı ( $R_f=0,321f^2/R$ ) doğrular niteliktedir.
- Artan kesme hızının kesme kuvvetleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada da benzer eğilim gözlenmiş ve artan kesme hızlarıyla kesme kuvvetleri azalma eğilimi sergilemiştir.
- İlerleme miktarındaki artış, artan talaş kesit alanı sebebiyle, kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur.
- MMY sistem debisindeki artışla birlikte kesme kuvvetleri de azalma eğilimi sergilemektedir. Kesme kuvvetlerinde debiye bağlı oluşan bu azalma eğilimi, MMY uygulamasının yağlama etkisiyle kesme bölgesindeki düşen sürtünme kuvvetlerine atfedilmiştir.
- MMY uygulamasının, kesme kuvvetleri üzerindeki olumlu etkisi, yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi kadar yüksek olmamıştır. Bu da, MMY uygulamalarının soğutma amacından çok yağlama etkisiyle yüzey kalitesini iyileştirmek için uygulanması gerektiğini göstermiştir.

- Deney sonuçlarının aralarında tutarlılık göstermesi ve yüzey pürüzlülüğü ile kesme kuvvetleri üzerinde sergilediği olumlu etki, MMY sisteminin önemini kanıtlamış, hem insan sağlığı, hem de çevre kirliliği açısından tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

MMY uygulamalarında temel kesme parametrelerine bağlı olarak debinin etkisini ortaya koymak için, işlenebilirlik deneylerinde referans olarak kullanılan AISI 1040 çeliği üzerinde yapılan bu çalışma sonuçlarını daha ileriye götürebilmek için;

- Yağlama etkisinin önemli olduğu BUE oluşturma eğilimi yüksek sünek malzemelerde (Al alaşımları, Östenitik Paslanmaz Çelikler vb.) benzer çalışmalar yapılabilir,
- Kaplamalı takımlarla yapılan bu çalışma, kaplamasız ve farklı kaplama uygulanmış takımlarla genişletilerek kaplama ile MMY uygulamalarının etkisini değerlendirmek için genişletilebilir,
- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler olan ilerleme ve kesici uç yarıçapı değerlerinin sayısı artırılarak, MMY ile beraber etkisi değerlendirilip yüzey pürüzlülüğü tahminin de kullanılan teorik yaklaşımlar genişletilebilir,
- Bu çalışmada ticari olarak tedarik edilerek kullanılan MMY yağına ilave olarak kolay ve ucuz temin edilebilir (bitkisel yağlar gibi) alternatif yağ uygulamaları ile çalışmanın kapsamı genişletilebilir,
- MMY'nin yağlama etkisi yanında soğutma etkisini de güçlendirmek için su bazlı emülsiyonlar kullanılarak, MMSY uygulamaları değerlendirilebilir,
- Çalışmada seçilen tornalama işleminden elde edilen sonuçların yaygın kullanılan diğer talaş kaldırma işlemlerinde (frezeleme, delme vb.) MMY uygulamaları ile genişletilmesi mümkün olabilir,
- Performans deneyleri ile MMY uygulamasının takım aşınması ve takım ömrü üzerindeki etkileri değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Akben, U., Erten, M. (2009, Ekim). Minimum miktarda yağlama yöntemi ile sulu kesme yönteminin takıma ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. 1. *Uluslararası İmalat Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, 45-55.
2. Braga D.U., Diniz A.E., Miranda G.W.A. and Coppini N.L. (2002). Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 122(1), 127-138.
3. Dhar, N.R., Kamruzzaman, M., Ahmed, M. (2006). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 172, 299-304.
4. Khan, M.M.A., Mithu, M.A.H., Dhar, N.R. (2009). Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 5573-5583.
5. Sreejith, P.S. (2008). Machining of 6061 aluminium alloy with MMS, dry and flooded lubricant conditions. *Materials Letters*, 62, 276-278.
6. Sharma, V.S., Dogra, M., Suri, N.M. (2009). Cooling techniques for improved productivity inturning, International. *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49, 435-453.
7. L'opez de Lacalle, L.N., Angulo, C., Lamikiz, A. and S'anchez, J.A. (2006). Experimental and numerical investigation of the effect of spray cutting fluids in high speed milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 172, 11-15.
8. Diniz, A.E., Ferreira J.R., Ferreira and Filho F.T. (2003). Influence of refrigeration/lubrication condition on SAE 52100 hardened steel turning at several cutting speeds. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(3), 317-326.
9. Silva, L. R. da , Bianchi, E.C., Füsse,R.Y., Catai R. E., França, T. V. and Aguiar, P. R.. (2007, Febr.). Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant-MQL in grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(2), 412-418.
10. Sarıkaya, M., Güllü A. (2014). Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*, 65, 604-616.
11. Meena, A., Mansori, M. El. (2011). Study of dry and minimum quantity lubrication drilling of novel austempered ductile iron (ADI) for automotive applications. *Wear* 271, 2412- 2416.
12. Chiffre, L De., Tosello, G., Piska, M., Müller, P. (2009). Investigation on capability of the reaming process using minimal quantity lubrication. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2, 47-54.

13. Hadad, M. ve Sadeghi, B. (2013). Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy. *Journal of Cleaner Production*, 54, 332-343.
14. Davim, J.P., Sreejith, P. S. and Silva, J. (2007). Turning of Brasses Using Minimum Quantity of Lubricant (MQL) and Flooded Lubricant Conditions. *Materials and Manufacturing Processes*, 22, 45–50.
15. Autret, R. ve Liang, S. Y. (2003, March) Minimum Quantity Lubrication in Finish Hard Turning. *Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, Manila, Philippines, 27-30.
16. Patil Deepakkumar H. and Sadaiah M. (2011, October). Investigations On Finish Turning Of AISI 4340 Steel In Different Cutting Environments By Cbn Insert. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 3(10), 7690-7706.
17. Leppert, T. (2011). Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51, 120–126.
18. Gaitondea, V.N., Karnik, S.R. and Davim, J. P. (2008). Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass. *Journal of materials processing technology*, 204, 459–464.
19. Suda, S., Wakabayashi, T., Inasaki, I., Yokota, H. (2004). Multifunctional Application of a Synthetic Ester to Machine Tool Lubrication Based on MQL Machining Lubricants. *CIRP Annals- Manufacturing Technology*. 53(1), 61-64.
20. Hwang, Y. K. and Lee, C. M. (2010). Surface roughness and cutting force prediction in MQL and wet turning process of AISI 1045 using design of experiments. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24 (8), 1669-1677.
21. Yazid, M.Z.A., Ibrahim, G.A., Said, A.Y.M., CheHaron, C.H. and Ghani, J.A. (2011). Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL. *1st CIRP Conference on Surface Integrity (CSI), Procedia Engineering*, 19, 396 – 401.
22. Dhar, N.R., Ahmed, M.T., Islam, S. (2007). An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 748–753.
23. Khan, M.M.A., Mithu, M.A.H., Dhar, N.R. (2009). Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 5573–5583.
24. Sreejith, P.S. (2008). Machining of 6061 aluminium alloy with MMS, dry and flooded lubricant conditions. *Materials Letters*, 62, 276–278.
25. Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems* (4th edition). Pennsylvania: John Wiley and Sons Inc.

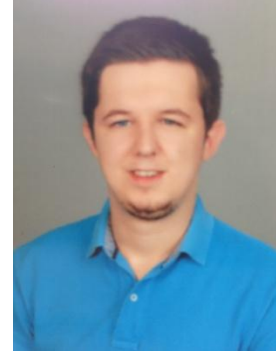
26. Gökkaya, H., Nalbant, M., (2007), The Effects of Cutting Tool Geometry and Processing Parametres on The Surface Roughness of AISI1030 Steel, *Materials and Desing*, 28, 717- 721.
27. Boothroyd, G. ve Knight, W.A. (2006). *Fundamentals of Machining and Machine Tools*. Boca Katon: CIKC Press.
28. Grzesik, W. (1998). *Fundamentals of Machining of Metallic Materials (in Polish)*. Warsaw: WNT.
29. Drozda, T.J. ve Wick, C. (1983). *Tool Manufacturing Engineers Handbook (4th Edition)*. Vol. 1, Machining, SME, 3-4.
30. Zorev, N.N. (1996). *Metal Cutting Mechanics*, Oxford: Pergamon Press.
31. Kaczmarek, J. (1976). *Principles of Machining by Cutting, Abrasion and Erosion*, , Stevenage: Peter Peregrinus Ltd.
32. Konig, W., Klocke, F. (1997). *Fertigungsve~farhen. Drehen, Friisen, Bohren*. Berlin: Springer.
33. Trent, E.M. and Wright, P.K. (2000). *Metal Cutting*. Boston: Butterworth-Heinemann.
34. Hornbogen, E. (2006). *Werkstoffe: Aufbau und Eigenschaften von Keramik-, Metall-, Polymer- und Verbundwerkstoffen*. Berlin: Springer.
35. Salmang, H., Scholze, H. (1983). *Keramik, part 1: Allgemeine Grundlagen und wichtige Eigenschaften*. Berlin: Springer.
36. Schedler, W. (1988). *Hartmetall für den Praktiker. Aufbau, Herstellung, Eigenschaften und industrielle Anwendung einer modernen Werkstoffgruppe*. Düsseldorf: Plansee TIZIT GmbH (ed.) VDI.
37. Kolaska, H. (1992)., *Pulvermetallurgie der Hartmetalle vol. 8: Beschichten und Verbinden in Pulvermetallurgie und Keramik*. Hagen: Fachverband Pulvermetallurgie.
38. Klocke, F. (2011). *Manufacturing Processes 1 (RWTH Edition)*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
39. Klocke, F. and Krieg, T. (1999). Coated tools for metal cutting-features and applications. *CIRP Annals*, 48(2).
40. Grzesik, W. (2003). *Advanced Protective Coatings for Manufacturing and Engineering*. Cincinnati: Hanser Gardner.
41. Damm, H. (2004). Werkzeug-doping. *Werkstatt und Betrieb* 137(3), 10–19
42. Montgomery, S., Kennedy, D. and O'Dowd, N. (2010). *PVD and CVD Coatings for the Metal Forming Industry*. , Croatia: Matrib

43. Grainger, S. (1989). *Engineering coatings : design and application (1st Edition)*. Industrial Press, Inc.
44. Dişbudak, H. (1997, Eylül). Uranyum dioksit-gadolonyum oksit yakıtını bor karbür ile gaz fazında kimyasal çökeltme yöntemiyle kaplayarak yeni nükleeryakıt geliştirilmesi. *1.Ulusal Nükleer Yakıt Teknolojisi Sempozyumu*, 221-231.
45. Destefani, J. (2002). Cutting tools 101: Geometries. *Manufacturing Emgineering*, 129(10), 25-42.
46. Grzesik, W. (2008, January). *Advanced Machining Processes of Metallic Materials Theory, Modelling and Applications*. Poland: Elsevier .
47. Selle, T. C. (1998). *Carbide Drills: At the Peak of Development (3rd Edition)*. Gühring OGH, Germany: Albstadt.
48. R.M. Mortier, S.T Orszulik, 1993 “Chemistry and Technology of Lubricants”.
49. İnternet: Beşergil, B. (2010). Yağlama. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.bayar.edu.tr%2Fbesergi%2Fyaglama.pdf&date=2015-01-08>, Son Erişim Tarihi: 08.01.2015.
50. Erdel, B.P. (2003). *High-speed Machining*, SME Press.
51. Rinker, U., Christoffel, K. (1996). *Trockenbearbeitung entlastet die Umwelt*. München: Werkstatt u. Betrieb, 129.
52. İnternet: Aggeliki, K. (2011). Hydrostatic Lubrication. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.brighthubengineering.com%2Fmanufacturing-technology%2F73568-hydrostatic-lubrication%2F&date=2015-01-08>, Son Erişim Tarihi: 08.01.2015.
53. Şahin, Y. (2002). *Talas Kaldırma Prensipleri I*. Ankara: Star ofset-Şelale ofset, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
54. İnternet: [Kopeliovich](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.substech.com%2Fdokuwiki%2Fdoku.php%3Fid%3Dlubrication+regimes&date=2015-01-08), D. (2008). Lubrication Regimes. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.substech.com%2Fdokuwiki%2Fdoku.php%3Fid%3Dlubrication+regimes&date=2015-01-08>, Son Erişim Tarihi: 08.01.2015.
55. Bassani, R. and Piccigallo, B. ( 1992). *Hydrostatic Lubrication*, Tribology Series, 22, Elsevier, New York, NY, USA.
56. İnternet: What is Coolant?. (2010). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.coolantmaintenance.com%2F&date=2015-01-08>, Son Erişim Tarihi: 08.01.2015.
57. El Baradie, M.A. (January 1996). Cutting Fluids:Part II. Recycling and Clean Machining. *Journal of Materials Processing Technology*, 56(1–4), 798–806.

58. Popke, H., Emmer Th., Steffenhagen J. (1999). Environmentally clean metal cutting processes—machining on the way to dry cutting. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 213, Part B, 329 - 332
59. Vieira, J.M., Machado, A.R. and Ezugwu , E.O. (2001). Performance of cutting fluids during face milling of steels. *Journal of Material Processing Technology*, 116, 244-251.
60. Mortier, R.M. and Orszulik, S.T. (Editors). (1993). Chemistry and Technology of Lubricants. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1-32.
61. Şık, E. (2009). Bitkisel Tabanlı Yağlardan Metal Kesme Sıvısı Eldesi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kocaeli: Gebze.
62. Sluhan, C.A. (1994, May). Selecting the right cutting and grinding fluids. *Tooling And Production*, 40-50.
63. Turchin H, Byers J.P. (2000). Effect of oil contamination on Metalworking Fluid Mist. *Lubr Eng*, 56, 21–25.
64. Anaç, N. ve Ay, İ. (2004). .Soğutma sıvılarının insan sağlığına etkileri. *Metal Makine*, Sayı: 149.
65. Yücel, E., Günay, M., Ayyıldız, M., Erkan, Ö. ve Kara, F. (2011, Mayıs). Talaşlı imalatla Kullanılan Kesme Sıvılarının insan Sağlığına Etkileri Ve Sürdürülebilir Kullanımı. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey
66. İnternet: Kontakt Dermatit ve Mesleki Ekzema. (2009). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.diyadinnet.com%2FSaglikBilgisi36%26Saglik%3Dkontakt-dermatit-ve-mesleki-ekzema&date=2015-01-08>, Son erişim tarihi: 08.01.2015.
67. İnternet: Tehlikeli Kimyasallar-Metal İşleme Sıvıları. (2006). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.toolboxtopics.com%2FGen%2520Industry%2FMetalworking%2520Fluids.htm&date=2015-01-08>, Son Erişim Tarihi: 08.01.2015.
68. Walker, T. (2013). *The MQL Handbook*. Copyright, Unist, Inc. V1.0.3
69. Eisenblätter, G. (2000). *Trockenbohren mit Vollhartmetallwerkzeugen*, PhD Thesis, RWTH, Aachen University
70. Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J.W. and Wakabayashi, T. (2004). Dry machining and minimum quantity lubrication. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 53(2), 511-537.
71. İnternet: The Many Ways Ford Benefits From MQL: Modern Machine Shop. (2010, October). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mmmsonline.com%2Fart>

- [icles%2Fthe-many-ways-ford-benefits-from-mal&date=2015-01-08](#), Son Erişim Tarihi: 08.01.2015.
72. SKF LubriLean Catalogue . (2014, July). *MQL for dry machining process*. Order No: 1-5102 EN
  73. Griffiths, B. (2001). *Manufacturing Surface Technology. Surface Integrity and Functional Performance*. London: Penton Press.
  74. ASM Handbook. (4th Edition). (1999). *Surface Engineering*. Ohio: ASM Int., Materials Park.
  75. Exploring Surface Texture. (2000). *A Fundamental Guide to the Measurements of Surface Finish*. England: Taylor Hobson Ltd.
  76. Khandey, U., Datta, S., Mahapatra S. S. and Bandyopadhyay, A. (2009, August). Optimization of Surface Roughness, Material Removal Rate and Cutting Tool Flank Wear in Turning Using Extended Taguchi Method. *Proceedings of International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME)*, 1034-1038,
  77. İnternet: Start To Finisih, Section. (2010). [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.deterco.com%2Fproducts%2Fmahr%2520federal%2FGaging%2520Tips%2520Articles%2FE\\_Surface%2520measurment.PDF&date=2015-01-08](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.deterco.com%2Fproducts%2Fmahr%2520federal%2FGaging%2520Tips%2520Articles%2FE_Surface%2520measurment.PDF&date=2015-01-08), Son Erişim Tarihi: 08.01.2015.
  78. Grote, K.H., Feldhusen, J. (2005). *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau (21st Edition)*. Berlin: Springer.
  79. IŞIK, Y. ve ÇAKIR M.C. (2001). Hız Çeliği Takımlar İçin Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Teknoloji*,1-2, 111-118
  80. İnternet: Sigmaplot Software. (2010). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.sigmaplot.com%2Fdownloads%2Ftrial%2Fsigmaplot-trial.php&date=2015-01-08>, Son Erişim Tarihi: 08.01.2015.
  81. Boothroyd, G. (1981). *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools* (5th Edition). New York: International Student ed., McGraw-Hill.
  82. Sandvik Coromant Co. Inc. (1997). *Modern Metal Cutting-A Practical Handbook*, Sweden.
  83. Shaw, M. C. (1984). *Metal Cutting Principles*. London: Oxford University Press.

## ÖZGEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : İLHAN, Mümin  
 Uyuğu : T.C  
 Doğum tarihi ve yeri : 28.05.1989 - BURSA  
 Medeni Hali : Bekar  
 Telefon : 0 (538) 428 38 66  
 e-posta : mumin.ilhan@gazi.edu.tr

| Eğitim Derecesi | Okul/Program                             | Mezuniyet Yılı |
|-----------------|------------------------------------------|----------------|
| Yüksek Lisans   | Gazi Üniversitesi / Makine Eğitimi       | Devam Ediyor   |
| Lisans          | Gazi Üniversitesi / Talaşlı Üretim Öğrt. | 2011           |
| Lise            | Mehmet Kemal Coşkunöz A.T.L.             | 2007           |

| İş Deneyim            | Çalıştığı Kurum   | Görev     |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| 2013-2014 (Güz-Bahar) | G.Ü Atatürk M.Y.O | Öğr. Gör. |
| 2012-2013 (Güz-Bahar) | G.Ü Atatürk M.Y.O | Öğr. Gör. |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

- İlhan, M., Çavuşoğlu, O., Duran, A. ve Şeker, U. (2013, Kasım). Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Uygulamasının Kesme Hızı Ve Yağlama Debisine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 637-644.

### Hobiler

Araba yarışları, Futbol, Masa tenisi, Bilgisayar Teknolojileri



## İNDEKS

### **A**

ABSTRACT · VI, IX

### **B**

BUE · 2, 14, 16, 36, 60

### **C**

CVD · XII, XVI, 17, 18, 19, 20, 21, 64

### **D**

Debi · V, XV

### **E**

emülsiyon · 2, 5, 26, 27, 28, 30, 31

### **G**

Geometrik · IX, XII, 9, 11

### **İ**

İlerleme · XV, 4, 9, 11, 38, 44, 58, 59

### **K**

Kaplamalı · IX, XII, 15, 16, 17, 20, 60

karbür · XII, 4, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 65

kesici · IV, 1, 2, 3, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 23, 24, 28, 30, 33, 34, 35, 36, 38, 42, 43, 44, 48, 49, 52, 55, 59, 60

Kesme · V, IX, X, XI, XII, XIII, XV, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 38, 44, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 66, 67

kesme kuvveti · 4, 11, 42, 46, 55, 58

Kinematik · IX, 9

### **M**

mineral yağ · 27

MMY · IV, V, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 42, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60

MQL · 1, II, IV, V, VI, VII, IX, XV, 1, 4, 7, 31, 32, 33, 36, 61, 62, 63, 66

### **N**

nozül · 2, 4, 32

### **Ö**

ÖZET · IV, IX

### **P**

PVD · XII, XVI, 17, 20, 21, 63, 64

### **S**

Sementit · IX, 15, 17

Sentetik · 27, 28, 31

soğutma · IV, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 23, 27, 28, 30, 31, 32, 36, 42, 45, 58, 59, 60

### **T**

talaş · 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 23, 24, 26, 30, 32, 33, 34, 35, 43, 52, 55, 58, 59, 60

Tornalama · IX, XII, 8, 9, 15

### **Y**

Yağlama · IV, V, IX, X, XII, XV, 1, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 33, 45, 58, 60, 65

Yüzey Pürüzlülüğü · V, IX, X, XV, 34, 36, 39