



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**17-4 PH PASLANMAZ ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE KESİCİ TAKIM UÇ  
RADYÜSÜ, KESME FORMUNUN VE KESME PARAMETRELERİNİN  
KESME KUVVETİ, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TAKIM AŞINMASINA  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**NURETTİN BULAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. FUAT KARA**

**DÜZCE, 2020**



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**17-4 PH PASLANMAZ ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE KESİCİ TAKIM UÇ  
RADYÜSÜ, KESME FORMUNUN VE KESME PARAMETRELERİNİN  
KESME KUVVETİ, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TAKIM AŞINMASINA  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**NURETTİN BULAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. FUAT KARA**

**DÜZCE, 2020**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**17-4 PH PASLANMAZ ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE KESİCİ TAKIM UÇ  
RADYÜSÜ, KESME FORMUNUN VE KESME PARAMETRELERİNİN  
KESME KUVVETİ, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TAKIM AŞINMASINA  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Nurettin BULAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Uğur KÖKLÜ

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Doç. Dr. Engin NAS

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 24/12/2020

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

24 Aralık 2020

Nurettin Bulan



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Fuat Kara'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen çok saygıdeğer Prof. Dr. Uğur Köklü'ye de şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında katkı veren çok saygıdeğer patronum Selim Çakmak'a, değerli öğrenci arkadaşım Aykut Eser'e ve çalışma arkadaşım Çağatay Altaş'a teşekkür ederim.

**Aralık 2020**

**Nurettin Bulan**

# İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | viii            |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....  | x               |
| KISALTMALAR.....  | xi              |
| SİMGELER.....   | xii             |
| ÖZET.....   | xiii            |
| ABSTRACT.....   | xiv             |
| 1. GİRİŞ.....   | 1               |
| 2. LİTERATÜR.....   | 3               |
| 3. PASLANMAZ ÇELİKLER.....                                  | 10              |
| 3.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....            | 11              |
| 3.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....                    | 12              |
| 3.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....                     | 12              |
| 3.1.3. Martensitik Paslanmaz Çelikler.....                  | 13              |
| 3.1.4. Dupleks (Ferritik-Östenitik) Paslanmaz Çelikler..... | 13              |
| 3.1.5. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler.....         | 14              |
| 4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK.....                    | 16              |
| 4.1. TALAŞLI İMALAT.....                                    | 16              |
| 4.2. İŞLENEBİLİRLİK.....                                    | 16              |
| 4.3. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ.....                           | 17              |
| 4.4. FREZELEME.....   | 17              |
| 4.4.1. Kesme Modelleri.....                                 | 20              |
| 4.4.2. Talaş Oluşumu.....                                   | 21              |
| 4.4.3. Frezelemede Talaş Kaldırma Parametreleri.....        | 22              |
| 4.4.3.1. Kesme Hızı.....                                    | 22              |
| 4.4.3.2. İlerleme Hızı.....                                 | 22              |
| 4.4.3.3. Kesme Derinliği.....                               | 23              |
| 4.5. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ.....         | 23              |
| 4.5.1. Hız Bağlıları.....                                   | 24              |
| 4.5.2. Kuvvet Bağlıları.....                                | 24              |
| 4.5.3. Hesaplama Üçgenleri.....                             | 25              |
| 4.5.4. Esas Kesme Kuvvetinin (Fc) Hesaplanması.....         | 26              |
| 4.5.5. Kienzle'e Göre Esas Kesme Kuvveti.....               | 26              |
| 4.5.6. Esas Kesme Kuvvetini (Fc) Etkileyen Faktörler.....   | 27              |
| 4.5.6.1. Kesme Hızı Faktörü ( $K_v$ ).....                  | 28              |
| 4.5.6.2. Talaş Açısı Faktörü ( $K_\gamma$ ).....            | 28              |
| 4.5.7. Kesme Kuvveti Bileşenleri.....                       | 29              |
| 4.6. KESME SICAKLIĞI.....                                   | 30              |
| 4.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....                                 | 31              |
| 4.8. TAKIM AŞINMASI.....                                    | 32              |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5. METERYAL METOD .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>5.1. İŞ PARÇASI MALZEMESİ .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>5.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TUTUCULAR, KESİCİ TAKIMLAR VE KESME PARAMETRELERİ.....</b> | <b>35</b> |
| 5.2.1. Takım Tutucu .....  | 35        |
| 5.2.2. Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri.....   | 35        |
| <b>5.3. TAKIM TEZGÂHI.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>5.4. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>5.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>5.6. KESME SICAKLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ.....</b>   | <b>41</b> |
| <b>5.7. TAKIM AŞINMASI ÖLÇÜMLERİ.....</b>  | <b>43</b> |
| <b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>   | <b>45</b> |
| 6.1. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....  | 45        |
| 6.2. KESME SICAKLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....  | 62        |
| 6.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ .....  | 67        |
| 6.4. KESİCİ TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....  | 72        |
| <b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>   | <b>87</b> |
| 7.1. SONUÇLAR.....   | 87        |
| 7.2. ÖNERİLER.....   | 89        |
| <b>8. KAYNAKLAR.....</b>   | <b>90</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>  | <b>95</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.1. Krom oranına göre korozyon oranının değişimi .....   | 10 |
| Şekil 3.2. Scheffler diyagramı .....  | 11 |
| Şekil 4.1. Frezeleme biçimleri .....  | 19 |
| Şekil 4.2. Frezeleme yönleri .....  | 20 |
| Şekil 4.3. Kesme modelleri .....  | 21 |
| Şekil 4.4. Talaş oluşumunun kesit görünüşü, a) Pozitif talaş açılı kesici takım, b)<br>Negatif talaş açılı kesici takım ..... | 22 |
| Şekil 4.5. Hız bağıntıları .....  | 24 |
| Şekil 4.6. Dik kesmede oluşan kuvvet bileşenleri .....  | 25 |
| Şekil 4.7. Hesaplama üçgenleri .....  | 25 |
| Şekil 4.8. Talaş kesit boyutları .....  | 27 |
| Şekil 4.9. Kesme hızı (V) ile esas kesme kuvveti (Fc) bağıntısı .....   | 28 |
| Şekil 4.10. Talaş açısı ( $\gamma^\circ$ ) ile esas kesme kuvvetinin (Fc) değişimi .....                                      | 29 |
| Şekil 4.11. Kuvvet bileşenlerinin kesit alanına bağlı olarak değişimi .....   | 30 |
| Şekil 4.12. Talaşlı imalatta talaş ve ısı oluşumu .....   | 31 |
| Şekil 4.13. Uç yarıçapının ve ilerleme oranının yüzey kalitesine etkisi .....   | 32 |
| Şekil 5.1. Deney numunesinin teknik resmi. ....   | 34 |
| Şekil 5.2. Takım tutucu iki boyutlu ve perspektif resmi. ....   | 35 |
| Şekil 5.3. Kesici takım iki boyutlu resmi. ....   | 36 |
| Şekil 5.4. CNC freze tezgâhı .....  | 38 |
| Şekil 5.5. Deney düzeneği .....   | 39 |
| Şekil 5.6. Kesme kuvveti bileşenlerinin DynoWare programında ölçülmesi. ....  | 40 |
| Şekil 5.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde kullanılan optik profilometre .....  | 41 |
| Şekil 5.8. Deneylerde kullanılan termal kamera. ....  | 42 |
| Şekil 5.9. Kesme sıcaklığı deney düzeneği. ....   | 43 |
| Şekil 5.10. Aşınma ölçümlerinde kullanılan İnsize dijital mikroskobu. ....  | 44 |
| Şekil 6.1. İlerleme hızına bağlı olarak "X" ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti<br>değerlerinin değişimi. ....             | 47 |
| Şekil 6.2. Kesme hızına bağlı olarak "X" ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti<br>değerlerinin değişimi. ....                | 49 |
| Şekil 6.3. İlerleme hızına bağlı olarak "Y" ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti<br>değerlerinin değişimi. ....             | 51 |
| Şekil 6.4. Kesme hızına bağlı olarak "Y" ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti<br>değerlerinin değişimi. ....                | 53 |
| Şekil 6.5. İlerleme hızına bağlı olarak "Z" ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti<br>değerlerinin değişimi. ....             | 55 |
| Şekil 6.6. Kesme hızına bağlı olarak "Z" ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti<br>değerlerinin değişimi. ....                | 57 |
| Şekil 6.7. İlerleme hızına bağlı olarak bileşke kesme kuvveti değerlerinin değişimi. ....                                     | 59 |
| Şekil 6.8. Kesme hızına bağlı olarak bileşke kesme kuvveti değerlerinin değişimi. ....  | 61 |
| Şekil 6.9. İlerleme hızına bağlı olarak takım sıcaklığının değişimi. ....   | 64 |
| Şekil 6.10. Kesme hızına bağlı olarak takım sıcaklığının değişimi. ....   | 66 |
| Şekil 6.11. İlerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi .....  | 69 |
| Şekil 6.12. Kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi. ....   | 71 |
| Şekil 6.13. 70 m/dak ve 0,06 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı<br>olarak takım aşınmasının değişimi .....     | 73 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 6.14. 70 m/dak ve 0,12 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi .....  | 75 |
| Şekil 6.15. 140 m/dak ve 0,06 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi ..... | 77 |
| Şekil 6.16. 140 m/dak ve 0,12 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi ..... | 79 |
| Şekil 6.17. 210 m/dak ve 0,06 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi ..... | 81 |
| Şekil 6.18. 210 m/dak ve 0,12 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi ..... | 83 |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|  | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|--|------------------------|
| Çizelge 4.1. $k_v$ faktörü değerleri. ....   | 28                     |
| Çizelge 5.1. 17-4 PH paslanmaz çeliğin kimyasal bileşenleri (Ağırlıkça %). ....                              | 34                     |
| Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan takım tutucu ve boyutları. ....   | 35                     |
| Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan kesici takımların ölçüleri. ....  | 36                     |
| Çizelge 5.4. Deney tablosu ve kesici takım türleri. ....   | 37                     |
| Çizelge 5.5. CNC freze tezgâhı teknik özellikleri. ....  | 38                     |
| Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan dinamometre teknik özellikleri. ....                                      | 40                     |
| Çizelge 5.7. PI 450 termal kamera teknik özellikleri. ....   | 42                     |
| Çizelge 5.8. İnsize dijital mikroskobu teknik özellikleri. ....  | 44                     |
| Çizelge 6.1. Kesme kuvvetleri tablosu ....   | 45                     |
| Çizelge 6.2. Takım sıcaklığı tablosu.....  | 63                     |
| Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü tablosu. ....   | 68                     |
| Çizelge 6.4. Kesici takımların 70 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri. ....  | 74                     |
| Çizelge 6.5. Kesici takımların 70 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri. ....  | 76                     |
| Çizelge 6.6. Kesici takımların 140 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri. .... | 78                     |
| Çizelge 6.7. Kesici takımların 140 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri. .... | 80                     |
| Çizelge 6.8. Kesici takımların 210 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri. .... | 82                     |
| Çizelge 6.9. Kesici takımların 210 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri. .... | 84                     |

## KISALTMALAR

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| AISI                           | American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Alüminyum Oksit   |
| CAD                            | Bilgisayar Destekli Tasarım   |
| CAM                            | Bilgisayar Destekli İmalat  |
| CNC                            | Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayısal Denetim)               |
| Co                             | Kobalt  |
| DIN                            | Deutsche Industrie Norm (Alman Standartları)                          |
| FMS                            | Flexible Manufacturing Systems (Esnek İmalat Sistemleri)              |
| HMK                            | Hacim Merkezli Kübik  |
| HRC                            | Hardness Rockwell C (Rockwell Sertlik Değeri)                         |
| HSS                            | High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)                                  |
| MQL/ MMY                       | Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)               |
| NC                             | Numerical Control (Sayısal Kontrol)                                   |
| PVD                            | Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)                 |
| RMS                            | Root Mean Square (Karelerinin Ortalamasının Kare Kökü)                |
| SAE                            | Otomativ Mühendisleri Topluluğu                                       |
| SK                             | Sementit Karbür   |
| TiAlN                          | Titanyum Alüminyum Nitrür   |
| TiCN                           | Titanyum Karbon Nitrür  |
| TiN                            | Titanyum Nitrür   |

## SİMGELER

|               |   |
|---------------|---|
| $a_p$         | Kesme derinliği (mm)                                |
| $F_f$         | İlerleme kuvveti (N)                                |
| $F_n$         | $F_s$ ' ye dik kuvvet (N)                           |
| $F_{pi}$      | Eksenel kuvvet (N)                                  |
| $F_r$         | Radyal kuvvet (N)                                   |
| $F_{rz}$      | Radyal kuvvet (N)                                   |
| $F_s$         | Kesme kuvveti (N)                                   |
| $F_s$         | Kayma düzlemine paralel kuvvet (N)                  |
| $F_{sz}$      | Asıl kesme kuvveti (N)                              |
| $F_y$         | Normal statik kuvvet (N)                            |
| $f_z$         | İlerleme (mm/diş)                                   |
| $N$           | Devir sayısı (dev/dak)                              |
| $R_a$         | Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )        |
| $R_t$         | Maxsimum yüzey pürüzlülüğü değerı ( $\mu\text{m}$ ) |
| $V$           | Kesme hızı (m/dak)                                  |
| $V_b$         | Serbest Yüzey Aşınması                              |
| $\mu\text{m}$ | Mikrometre  |
| $\psi$        | Uç açısı ( $^\circ$ )                               |
| $R$           | Uç Radyusu  |
| $\omega$      | Açısal hız (mm/dev)                                 |
| $\alpha$      | Boşluk açısı ( $^\circ$ )                           |

## ÖZET

### 17-4 PH PASLANMAZ ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE KESİCİ TAKIM UÇ RADYÜSÜ, KESME FORMUNUN VE KESME PARAMETRELERİNİN KESME KUVVETİ, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TAKIM AŞINMASINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Nurettin BULAN  
Düzce Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi  
Danışman: Doç. Dr. Fuat KARA  
Aralık 2020, 94 sayfa

Bu çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde kesici takım kesme formları, kesici takım uç radyüsleri ile işleme parametrelerinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. İşleme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı (70, 140, 210 m/dak) üç farklı ilerleme hızı (0,06, 0,09, 0,12 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1 mm) alınmıştır. Deneylerde iki farklı kesme formu (M – ML) ve iki farklı uç radyüsü (0,4 – 0,8 mm) kesici uçlar kullanılmıştır. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri, işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerleri ölçülmüş elde edilen veriler deneysel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ML formlu kesici takımlar ile M formlu takımlara göre genel olarak %19 oranında daha düşük kesme kuvvetleri ölçülürken, 0,4 mm uç radyüslü kesici takımlar ile 0,8 mm uç radyüslü kesici takımlara göre genel olarak %16 oranında daha düşük kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri bütün kesici takımlar için genel olarak kesme hızının artması ile azalmış, ilerleme hızının artması ile de artmıştır. Kesme hızlarının ve ilerleme hızlarının artması ile kesme sıcaklıkları bütün kesici takımlar için artmıştır. En düşük kesme sıcaklıkları 0,4 mm uç radyüslü, ML kesme formlu kesici takımlar ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü kesme hızının artması ile azalmış, ilerleme hızının artması ile de artmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü 0,8 mm uç radyüslü, ML kesme formlu kesici takımlar ile elde edilmiştir. ML formlu kesici takımlar ile M formlu kesici takımlara göre genel olarak %16 oranında daha düşük takım aşınması olduğu tespit edilirken, 0,4 mm uç radyüslü kesici takımlar ile 0,8 mm uç radyüslü kesici takımlara göre genel olarak %8 oranında daha düşük takım aşınması olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme hızının artması ile takım aşınması artmış, talaş hacminin artması ile de takım aşınması artmıştır.

**Anahtar sözcükler:** 17-4 PH, Frezeleme, Kesme formu, Kesme kuvveti, Takım aşınması.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING TOOL CUTTING FORM, NOSE RADIUS AND CUTTING PARAMETERS ON CUTTING FORCE, SURFACE ROUGHNESS AND TOOL WEAR IN MILLING OF 17-4 PH STAINLESS STEEL

Nurettin BULAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing  
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fuat KARA

December 2020, 94 pages

In this study, the effects of cutting tool cutting forms, cutting tool tip radius and machining parameters on cutting forces, surface roughness and tool wear were investigated experimentally in milling 17-4 PH stainless steel. Three different cutting speeds (70, 140, 210 m/min), three different feed rates (0.06, 0.09, 0.12 mm/rev) and constant cutting depth (1 mm) were taken as machining parameters. In the experiments, two different cutting forms (M-ML) and two different tip radius (0.4 - 0.8 mm) inserts were used. Cutting temperature, cutting forces, surface roughness of machined surfaces and tool wear values were measured during chip removal, and the obtained data were evaluated experimentally. As a result of the experiments, 19% lower cutting forces are measured with ML-shaped cutting tools compared to M-shaped tools, while cutting tools with 0.4 mm tip radius are 16% lower cutting forces compared to cutting tools with 0.8 mm tip radius. measured. Cutting forces decreased with increasing cutting speed and increased with increasing feed rate for all cutting tools. Cutting temperatures increased for all cutting tools with increasing cutting speeds and feeds. The lowest cutting temperatures were measured with cutting tools ML cutting form with 0.4 mm tip radius. Surface roughness decreased with increasing cutting speed and increased with increasing feed rate. The lowest surface roughness was obtained with ML cutting form cutting tools with 0.8 mm tip radius. While ML-shaped cutting tools have been found to have 16% lower tool wear compared to M-shaped cutting tools, with 0.4 mm tip radius cutting tools, 8% lower tool wear than cutting tools with 0.8mm tip radius. has been found to occur. Tool wear increased with the increase in cutting speed and feed rate, and tool wear increased with the increase in chip volume.

**Keywords:** 17-4 PH, Cutting force, Cutting form, Milling, Tool wear.

# 1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde mevcut malzemeler sürekli geliştirilmekte ve malzemelerden bazı üstün özellikler beklenmektedir. Bu durum malzemelerin işlenmesinde zorluklar meydana getirmektedir. 17-4 PH paslanmaz çeliğinin içerdiği yüksek krom oranından dolayı talaşlı imalat yöntemi ile işlemek oldukça zordur. Talaşlı imalatta zorlu malzemelerin kullanımı, imalat sırasında talaş kıramama; kesme işleminin kolay gerçekleştirilememesi, kötü derecede yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, takım ısınması gibi sorunlara neden olmaktadır. Kesici takım firmaları endüstrinin sürekli karşılaştığı bu gibi sorunları çözmek üzere kesici takımları sürekli geliştirmektedirler. Kesme formları üzerindeki yenilikler ve çalışmalar da bu çözümlerden bir tanesidir. İşlenmesi oldukça zor olan malzemeleri işlemek üzere geliştirilen ML kesme formu daha önce var olan M formlu kesici takımlara göre daha keskin bir yapıya sahiptir. Geliştirilen keskin yapı sayesinde malzeme üzerinde talaş kaldırma işlemini daha kolay gerçekleştirmekte ve bu da yüzey pürüzlülüğünü, takım aşınmasını ve takım sıcaklığını doğrudan etkilemektedir.

Talaşlı imalat işleminde maliyetleri düşürmek için düşük kesme kuvveti, düşük kesme sıcaklığı, en az takım sarfiyatı ile ve en kısa sürede işleme oldukça önemlidir. Bu nedenle, işleme sırasında talaş kaldırma fiziğini anlamak için kesme esnasında oluşan kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve tüketilen enerji gibi değerler ölçülmektedir [1].

Yüzey pürüzlülüğü, mühendislik malzemelerinin işlenmiş yüzeylerinin kalitesinin önemli bir göstergesidir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel etkenler takım geometrisi (uç radyüsü, kesme kenar geometrisi vs.) ve kesme şartları (ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği vs.) dir. Bu etkenlerin yanı sıra yüzey pürüzlülüğü işlenen malzemenin özelliklerine göre de değişmektedir [2].

Talaş kaldırma işleminde kesme işleminin etkin bir şekilde yapılabilmesi için kesici takımın iş parçası yapısına, işleme operasyonunun çeşidine, tezgaha ve en uygun işleme parametrelerine uygun olması gerekmektedir. İşleme esnasında oluşan yüksek gerilmeler, sürtünme ve kesme sıcaklığı kesici takım ömrünü doğrudan etkilediği için kesici takımda aşınmalara ve dolayısıyla işleme maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır [3].

Kesici takımın kesim yaparken, kesme özelliğini kaybedene kadar geçen süresi takım ömrü olarak tanımlanmaktadır. Takım malzemesi, iş parçası malzemesi, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, talaş geometrisi vb. takım ömrünü doğrudan etkileyen faktörlerdendir. İşlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğünün artması da kesici takım ömrünün dolduğunun bir göstergesidir [4].

Bu çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD), (TiAlN-TiN) kaplı tungsten karbür takımlarla frezelenmesinde kesici takım kesme formlarının, kesici uç radyüslerinin ve kesme parametrelerinin; kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve takım aşınması üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler sonucunda 17-4 PH paslanmaz çeliğinin işlenmesinde maliyetleri düşürmek ve daha verimli imalat yapılabilmesi için kesici uç kesme formlarının farklı parametrelerde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve takım aşınması üzerindeki etkileri incelenmiştir.



## 2. LİTERATÜR

Literatürde, farklı malzemeler kullanılarak kesici takım geometrilerinin, talaş kırma formlarının, kesici takım uç radyüslerinin ve kesme parametrelerinin kesme kuvvetine, kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına olan etkilerinin incelendiği birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Çakmak tarafından yapılan çalışmada, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) 4140 çeliğinin işlenmesinde farklı uç geometrilerine sahip uçların talaş kırmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Talaşlı imalatta en önemli sorunlarda biri talaş kıramama olduğu vurgulanmıştır. Araştırmada Bilgisayar Sayısal Denetim (CNC) torna tezgahı ile AISI 4140 çeliği, farklı işleme parametrelerinde, farklı uç geometrilerine sahip kaplamalı uçlar ile deneyler yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında kullanılan kesici uç geometrilerinin, farklı işleme parametrelerinde talaş kırmaya ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri ortaya konulmuştur. FG formulu uç talaş kırma bakımından başarılı fakat yüzey pürüzlülüğü açısından başarısız olduğu görülmüştür. PC formulu uç yüzey pürüzlülüğü açısından orta değerlerde olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünü en iyi sağlayan formun MT formu olduğu görülmüştür [5].

Çakmak, AISI 1040 imalat çeliğinin üzerinde frezeleme işlemi yaparak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri ölçmüştür. Deneyler, CNC dik işleme merkezine bağlanan dinamometre ve bu dinamometrenin üzerine bağlanan deney parçalarının işlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde dört farklı talaş kırıcı geometrisine sahip PVD kaplamalı kesici takımlar kullanılmıştır. Sabit kesme derinliğinde ve farklı işleme parametrelerinde frezeleme işlemi yapılmıştır. Her talaş kırıcı geometrisi için ayrı ayrı işlenen parçalarda talaş kırıcı geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülükleri bütün kesiciler için genel olarak ilerlemenin artışı ile arttığı, kesme hızının artışı ile azaldığı bu çalışmada da ortaya çıkarılmıştır. Kesme kuvvetleri genel olarak ilerleme değerlerinin artmasıyla arttığı, kesme hızlarının artmasıyla azaldığı ispat edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, en iyi yüzey pürüzlülük değerlerini ve en düşük kesme kuvveti değerlerini veren kesici takımın E-PL 1030 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici takım olduğu belirlenmiştir.

Düşük kesme kuvveti ve iyi bir yüzey pürüzlülüğü için en ideal kesme parametrelerinin 300 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme değerleri olduğu belirlenmiştir [2].

Baran, yapmış olduğu bu çalışmada 51 Rockwel Sertlik Değeri (HRc) sertlik değerinde sertleştirilmiş Alman Standartları (DIN) 1.2344 sıcak iş çeliği, 6 mm çaplı küresel uçlu parmak freze ile farklı işleme parametrelerinde yüksek hızda işleme ile deneyler gerçekleştirmiştir. İşleme sonucunda elde edilen yüzey kaliteleri incelenmiştir. Eksenel ve yanal ilerleme değerleri, diş başına ilerleme değeri ve talaş derinliği 0,05 ile 0,1 mm aralığında, kesme hızı 32,04 m/dak ile 263,89 m/dak aralığında değiştirilmiştir. Bu işlemler yarıçapı 21 mm ve merkez açısı 150° olan küresel formu bir malzeme üzerinde yapılmıştır. Deneylerde eş yönlü, zıt yönlü ve çift yönlü olmak üzere üç farklı işleme yönü seçilmiştir. İşlenen malzeme üzerinde 15°, 45°, 75°, 90°, 105°, 135° ve 165° merkez açılı doğrultularda yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda en uygun işleme koşulları ve parametreleri tespit edilerek belirlenmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri her iki tarafa da 15° ve 45° arası açı değerlerinde elde edilmiştir [6].

Ok, tarafından yapılan çalışmada imalat sektöründe kullanılan paslanmaz malzemelerin korozyon direnci, süneklilik ve çekme mukavemetinin yüksek olması paslanmaz çeliklerin sahip oldukları temel özelliklerden olduğu ve bu malzemelerin içerdiği krom, nikel ve molibden gibi alaşım elementleri, işlenebilirliklerini olumsuz olarak etkilediği vurgulanmıştır. Ok yapmış olduğu çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde farklı takımlar (farklı kaplama kaliteleri) kullanılarak işlenebilirlikleri ve takım performanslarını incelemiştir. Kesme parametrelerinin etkisinde takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri deneysel olarak belirlenmiş ve paslanmaz çeliklerin işlenmesinde optimum kesme koşullarının belirlenmesi, adaptif kontrol ve takım durumunun izlenmesi çalışmalarına temel teşkil etmek üzere tahmin modelleri tayin edilmiştir. IC 330 ve IC 808 kalite uçların paslanmaz çeliklerin işlenmesinde takım ömrü açısından daha uzun olduğu görülmüştür [7].

Şahin, yapmış olduğu bu çalışmada AISI H13 (DIN 1.2344) çeliğinin tarama başlığı ile frezelenmesi sırasında parça yüzey bölgesinde oluşan ısı oluşumu ve kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Oluşan sıcaklığı ölçmek için iş parçası üzerinde oluşan sıcaklığın ısı çiftleri kullanılarak ölçülmesi ve talaş üzerinde oluşan sıcaklık değerinin temassız olarak

kızılötesi (infrared) tekniği kullanılarak ölçülmesi olarak iki farklı yöntemi kullanmıştır. Kızılötesi ölçüm tekniği ile çıkan talaşların sıcaklık değerleri ölçülmeye çalışılmış fakat talaşların sürekli olması ve yüksek hızda atılması nedeniyle verimli bir sonuç elde edilememiştir. Bu teknik değerlendirme dışı tutulmuştur. Bu nedenle gerçekleştirilen bu çalışmada, ısı oluşumunun belirlenmesi için ısı çifti ile ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme hızı ve üç farklı kesme derinliği seçilerek toplam 36 (otuz altı) adet işleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin ölçülmesi için Kistler 9257 B tipi dinamometre kullanılmıştır. Ayrıca, işlenen yüzeyin pürüzlülüğü ölçülmüş ve çıkan talaş biçimleri tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma sonucuna göre, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti bileşenlerine ait değerlerin değişiminde ilerleme hızının en etkili parametre olduğunu kanısına varılmıştır. Bu değerler ilerleme hızının artmasıyla doğru orantılı olarak arttığı sonucu çıkarılmıştır. Sıcaklık ölçüm sonuçları ise ilerleme hızının artmasıyla ters orantılı olarak düştüğü belirtilmiştir [4].

Bakır, yapmış olduğu çalışmada kesme parametrelerinin talaş oluşumuna etkilerini çalışmıştır. Frezelemede kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini belirlemek için taguchi deney metodu yardımı ile L36 karma tasarım deney dataları dizayn edilmiştir. İlerleme hızı, kesme hızı, talaş derinliği, kesme derinliği, talaş açısı ve kesici takım çapı kontrol faktörü olarak seçilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen etken faktörleri belirlemek için ANOVA analizi yapılmıştır. Minimum yüzey pürüzlülüğü, talaş kalınlığı, talaş segmentasyon oranı, kesme kuvveti, mikro sertlik, ve sehim için optimum talaş kaldırma kombinasyonları belirlenmiştir. Doğrulama deneyleri tüm çıkış parametrelerinin optimizasyonunda başarılı sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar ışığında sonuç olarak matematiksel modeller oluşturulmuştur. Bu çalışmada özellikle sertliği yüksek malzemelerin frezelenmesi esnasında oluşan talaş morfolojisi incelenmiştir. Elde edilen modeller yardımıyla minimum yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için gerekli şartların belirlenebileceği bu çalışma sayesinde ortaya konulmuştur. Kesme Kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü en fazla etkileyen parametrenin diş başına ilerleme faktörü olduğu görülmüştür. Talaş kalınlıklarının diş başına ilerlemenin artması ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Kesme hızı talaşların mikro sertliklerinin değişiminde en etkili parametre olduğu görülmüştür [8].

Bakioğlu, yapmış olduğu çalışmada mikro frezeleme operasyonları hassas ve küçük kesici takımlarla parçaların üretilmesinde en yaygın olarak kullanılan tekniklerden biri

olduğunu vurgulamıştır. Geleneksel frezeleme operasyonları ile karşılaştırılacak olursa, mikro frezeleme operasyonlarında kullanılan takımların çok daha ufak çaplarda ve daha kırılğan bir yapıya sahip olmaları, operasyon sırasında takım üzerine etkiyecek olan kuvvetlerin operasyondan önce tespit edilmesinin önemini daha da arttırmıştır. Mikro frezeleme operasyonlarındaki kesilmemiş talaş kalınlığı değerlerinin düşük olması, takım ucundaki radyüsten dolayı oluşan üçüncü deformasyon bölgesinin toplam kesme kuvvetleri üzerindeki payını arttırmıştır.

Bu tez çalışmasının ana amacı, mikro frezelemede oluşan kesme kuvvetlerinin operasyonlardan önce tespit edilmesi adına analitik ve mekanistik modeller oluşturulmasıdır. Birinci, ikinci ve üçüncü deformasyon bölgeleri için geliştirilen analitik modeller tanıtılmıştır. Bunun yanında yine üçüncü deformasyon bölgesi kuvvetleri ve takım tabanındaki sürtünme kuvvetleri deneysel olarak modellenmiştir. Önerilen modeller deneyler ile doğrulanmış, hesap edilen değerlerin deney sonuçları ile oldukça yakın olduğu görüşmüştür [9].

Dal, tarafından yapılan bu tez çalışmasında Talaş kaldırma ve talaş kaldırmaya etki eden faktörler araştırılıp detaylı incelenmiştir. Frezeleme hakkında genel bilgi verilip, çevresel frezeleme ve silindirik parçaların freze ile işlenmesi hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Silindirik parçaların frezelenmesi ile ilgili kullanılan parametrelerin kesme kuvvetine ve kesme gücüne etkileri araştırılmış, analizi yapılarak sonuçları incelenmiştir. Analiz; Solidworks programında çizilen parçaların, ANSYS Workbench ekranında özel tanımlamalar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada literatürde rastlanmayan silindirik kesitli bir iş parçasının frezeleme işleminin ANSYS programı kullanılarak kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve kesme gücü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Yapılan analizde kesme parametreleri olarak; iş parçası yarıçapı, talaş derinliği, dakikadaki ilerleme hızı kullanılmıştır. Parametrelerin belirlenmesinde kesme kuvveti ve gücünü etkileyecek olan parametreler alınmıştır. Sonuç olarak dakikadaki ilerleme hızının artması ile kesme kuvveti ve gücünün arttığı, talaş derinliğinin ve iş parçası yarıçapının azalması ile kesme kuvveti ve gücünün azaldığı analiz sonuçlarında belirlenmiştir. ANSYS programında oluşturulan bu analiz ile imalat öncesi frezelenen parça için gerekli olan kesme kuvveti ve gücünün hesaplanmasına imkân sunacağı vurgulanmıştır [10].

Durmaz, tarafından yapılan çalışmada katodik ark fiziksel buhar kaplama yöntemi ile Tungsten Karbür (WC) taban malzeme üzerine TiAlSiN, AlCrN ve TiAlN seramik

filmleri büyütülerek, karbür malzemenin aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Kaplama işlemleri hem prizmatik test numunelerine hem de karbür parmak frezelere uygulanmıştır. Üretilen kaplamaların yapısal ve mekanik özellikleri taramalı elektron mikroskobu, X ışını kırınım ölçer, calotest kalınlık ölçümü, çizik testi, mikrosertlik cihazı ve optik profilometre yardımı ile belirlenmiştir. Kaplamaların gerçek çalışma performanslarının belirlenmesi için işlemsiz ve kaplanmış karbür takımlar ile CNC dik işleme merkezinde impax çeliğinden imal edilmiş iş parçası, yüksek hızlı frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan frezeleme işleminde, klasik yöntemlerle üretilen takım yollarının kullanılması yerine, son dönemde kullanılmaya başlayan ve akıllı imalat (intelligent machining) şeklinde nitelendirilen iMachining modülü ile takım yolları oluşturulmuştur. Çalışma sonrası üretilen kaplamaların aşınma performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve aşınma testi sonucuna göre en düşük aşınma oranı işlemsiz numune için elde edilmiştir. Gerçek kesme koşullarında en düşük yan yüzey aşınma genişliği TiAlN seramik filmi ile kaplanmış kesici takım için elde edilmiştir. Yüksek hızlı frezeleme işlemi sonrası impax çeliği iş parçası yüzeyinden alınan yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına göre, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri TiAlN seramik filmi ile kaplanmış karbür kesici takımla frezelenmiş iş parçası yüzeyinden elde edilmiştir [11].

Şah, tarafından yapılan bu çalışmada, Otomatik Mühendisleri Topluluğu (SAE) 4140 malzemenin CNC freze tezgahı ile işlenerek kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve talaş kaldırma sırasında tüketilen enerjiye etkileri incelenmiştir. Kesme parametresi olarak ilerleme hızı, talaş derinliği ve devir sayısı gibi değişkenler deneyde kullanılmıştır. Deneyler kuru ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, zaman ve maliyet açısından sağladığı avantajlar nedeniyle, deneylerin istatistiksel analizinde Taguchi Metodu kullanılmıştır. Malzemesi SAE 4140 olan parçanın CNC frezeleme işleminde en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri ölçülmüştür. Bu değer, ilerleme hızının 300 mm/dak, devir sayısının 2500 dev/dak ve talaş derinliğinin 0,5 mm olduğu deney koşullarında elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda yüzey pürüzlülük durumuna etkisi en fazla olan parametre devir sayısı olarak bulunmuştur. CNC frezeleme işleminde şebeke üzerinden çekilen en düşük akım miktarı ilerleme hızının 100 mm/dak, devir sayısının 1250 dev/dak talaş derinliğinin 0,5 mm olduğu durumda elde edilmiştir. Talaş derinliğinin şebeke üzerinden çekilen akım miktarına en çok etki eden parametre olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma sonucunda en verimli ve ekonomik işleme koşulları belirlenmiştir [12].

Hopa, yapmış olduğu çalışmada mikro frezeleme işleminde kaplama malzemesinin, kesme parametrelerinin ve farklı soğutma/yağlama koşullarının apak boyutu, yzey kalitesi, takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Özellikle havacılık ve biyomedikal sektöründe sıklıkla kullanılan Ti6Al4V malzemesi iş parçası olarak seçilmiştir. Çalışmada üç farklı kaplama malzemesi (TiN, AlCrN, NCD) kullanılmış olup, mikro frezeleme sonucu meydana gelen kanallarındaki apak oluşumları 3D profilometre cihazı ile tespit edilmiştir. Ayrıca kaplamalı takımların slot yzey kalitesi üzerindeki etkisi ve takımda meydana gelen hasar tipleri belirlenmiştir. Sonuç olarak; mikro frezeleme işleminde kullanılan TiN, AlCrN, NCD kaplamalı takımların, kanallardaki apak oluşumunu azalttığı söylenmiştir. Bununla birlikte, kullanılan kaplamalı takımların, takım aşınması üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Bu alışma sonucunda en az aşınma meydana gelen kaplama türü AlCrN kaplama olarak belirlenmiştir. Bunun yanında Minimum Miktarda Yağlama (MQL) nın kullanılması hem takım ömrü hem de apak oluşumu açısından önemli avantajlar sağladığı tespit edilmiştir [13].

Nas, tarafından yapılan çalışmada AISI 1050 elik malzeme kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak alın frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Alın frezeleme deneyleri beş farklı kesme hızında, üç farklı talaş derinliğinde ve üç farklı ilerlemede soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Alın freze akısındaki kesici takım sayısının titreşim ve yzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla deneylerde farklı sayılarda ( $Z_1=1$ ,  $Z_2=2$ ,  $Z_3=3$ ,  $Z_4=6$ ) kesici takımlar kullanılmıştır. Frezeleme işlemi esnasında oluşan titreşim ve yzey pürüzlülük değerleri llmştr. Bu parametrelerin yzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yzey pürüzlülük 6 dişte elde edilen değer 1 dişte elde edilen değere göre oranı %262 artmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda kesici uç sayısı arttığa yzey pürüzlülüğünü arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, titreşimin de yzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Yzey pürüzlülüğünün artmasının sebebi uç sayısı arttığa kesici takım ile iş parçası arasında oluşan titreşim frekansını artırarak yzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olması kanısına varılmıştır [14].

Bagheri, yapmış olduğu bu çalışmada, CNC dik işleme tezgâhında kesme parametrelerinin titreşim, yzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerine etkilerini incelemiştir. Deneyler üç farklı talaş derinliği, üç farklı ilerleme miktarı ve iki farklı kesme hızı parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde malzeme olarak

1.2367 (AISI H11) sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Kesme kuvvetini ölçmek için dinamometre kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçlarına göre, titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu görülmüştür. Titreşim miktarı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri artan ilerleme oranı ve talaş derinliğine bağlı olarak artmış ancak artan kesme hızına bağlı olarak azalmıştır. Karelerinin Ortalamasının Kare Kökü (RMS)-x üzerinde en etkili parametre %55,17 ile talaş derinliği olduğu görülmüştür. Kesme hızının kesme kuvveti üzerinde etkisi çok küçük olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetinin oluşumu üzerinde en etkin parametre %53,1 ile ilerleme miktarı, daha sonra %44,7 ile talaş derinliği olduğu belirlenmiştir. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin oldukça düşük olduğu kanısına varılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin, %72,69 oranı ilerleme miktarı olduğu görülürken, %14,56 oranı kesme kuvveti ve %6,3 oranı ise talaş derinliği olduğu görülmüştür [1].

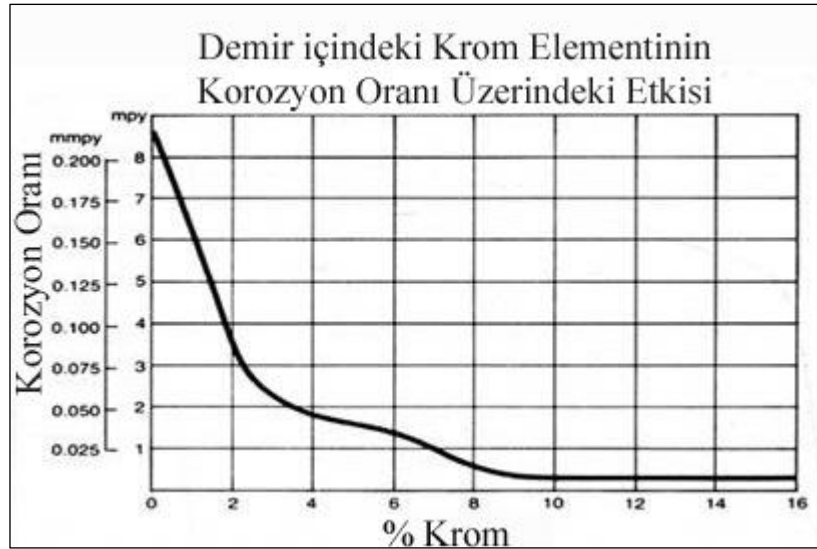
Literatürde, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması hakkında yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, kesme kuvvetleri için kesme hızlarının artmasıyla azaldığı, ilerleme değerlerinin artmasıyla arttığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. Kesici takım yapısının keskinleşmesi ile düşük kesme kuvvetleri ve iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği yapılan araştırmalar neticesinde kanıtlanmıştır. Yüzey pürüzlülükleri bütün kesiciler için genel olarak ilerleme değerinin artışı ile arttığı, kesme hızının artışı ile azaldığı literatür araştırmalarında ifade edilmektedir. Kesme sıcaklığına bakıldığında, kesme hızı ve ilerleme parametreleri ön planda tutulmuştur. Literatür araştırmalarına göre kesme hızı ve ilerleme değerlerinin artması, kesme sıcaklığını olumsuz etkilediği ifade edilmiştir. Kesme parametrelerinin kesici takım ömrüne önemli bir etkisi olduğu literatür araştırmalarında görülmektedir.

Bu çalışmamızda, 17-4 PH paslanmaz malzeme kullanılmıştır. Kesme formlarının, kesici uç radyüslerinin ve işleme parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Kesme formları ve paslanmaz çeliklerin frezelenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar az olduğundan, literatür çalışmaları ve imalat sektörüne katkı yapılması amaçlanmıştır.

### 3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler; bileşiminde (ağırlıkça) en az %10,5 oranında krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak bilinirler. Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan Cr, silisyum (Si) ve alüminyum (Al) gibi elementler, oksijen ile birleşerek, çok ince bir oksit filmi tabakası oluştururlar. Bu tabaka paslanma oluşumunu engelleyen koruyucu bir zırh gibidir. Bir malzemenin paslanmaya karşı dayanımlı olabilmesi için malzemenin her m<sup>2</sup> sinde malzeme kaybının 2,4 gr'dan az olması gerekir. Paslanma durumu sadece malzemenin alaşım oranıyla ilgili değildir. Malzemelerin talaşlı imalat işleminde kullanılan imalat yöntemlerinde de paslanma konusunda önemlidir. Örneğin; yüzeyi hassas taşlanmış bir malzemenin paslanma oranı, kaba frezelenmiş bir malzemenin paslanma oranından daha düşüktür. Şekil 3.1'de krom oranının korozyon oranı üzerindeki etkisini gösteren grafik verilmiştir [15].



Şekil 3.1. Krom oranına göre korozyon oranının değişimi [15].

Paslanmaz çelikler birçok ortamda, korozyona ve oksitlenmeye karşı yüksek bir dayanıma sahiptir. Fakat her bir özel kullanım yeri için doğru tipte ve kalitede paslanmaz çeliğin seçilmesi oldukça önemlidir. Kalite seçiminde dikkat edilecek ilk husus, tasarım aşamasında malzemenin maruz kalacağı durumlar ve mevcut çalışma şartlarının detaylı bir şekilde tanımlanmasıdır [15].

Krom Çeliklerinin korozyon dayanımı, içerdikleri krom miktarına bağlıdır.

Genellikle %13-17 arasında krom içerirler.

Krom-Nikel Çelikler %13-21 Krom , %5-20 Nikel ve %0,02-0,16 arasında karbon içerirler. Nikel oranının artmasıyla korozyon dayanımları daha da artar.

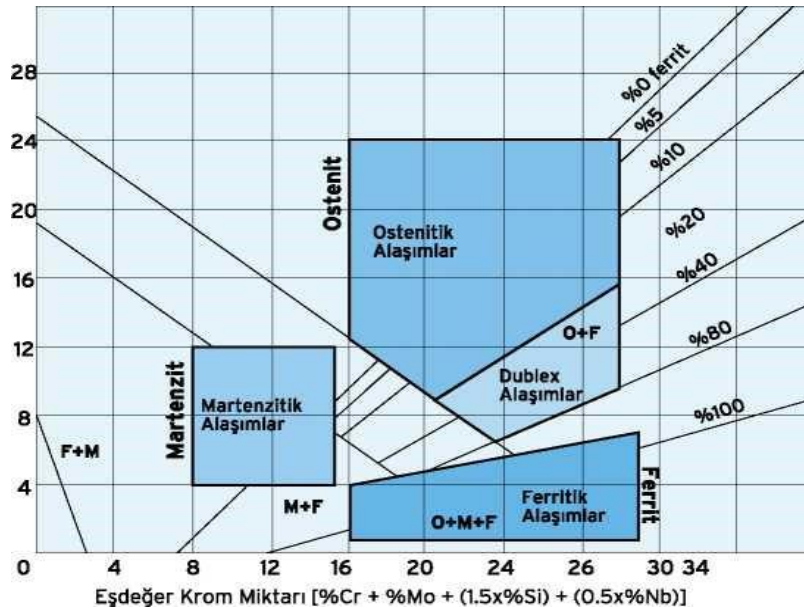
Krom-Mangan Çelikler; Krom-nikel çeliklerinin kullanımına paralel olarak özel durumlarda kullanılabilirler. X12MnCr18-12 çeliği -180 dereceye kadar olan sıcaklıklarda kullanılabilir [16].

### 3.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan, içerdikleri katkı elementlerine göre değişen, beş farklı paslanmaz çelik türü vardır.

Bunlar;

- 1 - Östenitik paslanmaz çelikler
- 2 - Ferritik paslanmaz çelikler
- 3 - Martenzitik paslanmaz çelikler
- 4 - Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler
- 5 - Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir [17].



Şekil 3.2. Scheffler diyagramı [18].

- Östenitik: Demir-krom-nikel, karbon < %0,1 (çoğunlukla 18/8; 18/10 olarak anılan 1.4301/304 kalite dahil), satışa sunulduğu haliyle manyetik değil; dünya paslanmaz kullanımındaki payı > %65.
- Ferritik: Demir-krom, karbon < %0,1, manyetik.
- Martensitik: Demir-krom, karbon > %0,1, manyetik ve sertleştirilebilir.
- Dupleks: Demir-krom-nikel, birleşik östenitik-ferritik yapı, manyetik.
- Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen: Demir-krom, karbon > %0,4 [17].

### 3.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Dünyada üretilen toplam çelik miktarının başında östenitik paslanmaz çelikler yer alır. %16-%26 arasında krom içeren bu paslanmaz çeliklerin atomik yapısı yüzey merkezli kübiktir. Bu paslanmaz çeliklerde nikel ve mangan toplam oranı %10 ile %24 arasında değişmektedir. Karbon oranı ise ortalama %0,40 seviyesinde çok düşük miktardadır. Ayrıca östenitik paslanmaz çelikler bunların dışında molibden, azot, bakır, niyobyum ve titanyum gibi alaşım elementleri de içermektedir [19].

Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılmasında, içerdikleri elementler çeliklerin kalitesini de doğrudan etkilemektedir. Sanayide en fazla kullanılan östenitik paslanmaz çelikler AISI 304 ve AISI 304L kalitelerdir. Östenitik paslanmaz çeliklerin karbon oranının düşük olması üretimleri sırasında ara tavlama yapılmaması anlamına gelmektedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kolay şekil alması bu çelik türlerinin fazla kullanım alanına sahip olduğunu göstermektedir. Bu sebepten dolayı bu çelik türleri kullanılarak çok kolay ve farklı tipte ürünler üretilebilmektedir. Ayrıca bu çelikler ısı işlemiyle sertleşmemekte ve manyetik özellik göstermemektedirler. Östenitik paslanmaz çelikler asidik ortamlarda yüksek korozyon direnci gösterirken, klorlu ortamlarda ise bu özellikleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir [19].

### 3.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler bileşimlerinde %16-%30 arasında krom ve yaklaşık olarak da %0,05-%0,25 arasında karbon içermektedirler. Bu paslanmaz çelikler, Hacim Merkezli Kübik (HMK) yapıları olduklarından dolayı, katı eriyik halde iyi mukavemet gösterirler. Ayrıca orta seviyede sünekliğe sahiptirler. Bu tür paslanmaz çelikler 400

serisi olarak isimlendirilirler [20].

Karbon miktarının az oluşu sebebiyle ısı işlemler ile sertleştirilemez. Bu tip çeliklerin en önemli özelliği yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksitlenmeye dirençlerinin fazla oluşudur. Ferritik paslanmaz çeliklerin sertleştirilebilmeleri ancak az oranda ve soğuk şekillendirme ile mümkündür. Bu çelikler yumuşak iken daha fazla korozyon direnci gösterirler. Bu tip çelikler 750-850 °C sıcaklıkta yumuşatmaya tabi tutulurlar [25]. Talaşlı şekillendirilebilme kabiliyetleri ve korozyon dayanımları martenzitik paslanmaz çeliklerden daha iyidir [21].

Genellikle ferritik paslanmaz çelikler; otomobil şasi ve egzoz parçaları, sıcak su tankları, bazı mutfak ekipmanları, klima kanalları, çamaşır makinası tamburları, barbekü ızgaraları gibi alanlarda kullanılırlar. Bu paslanmaz çeliklerin atmosferik korozyona ve oksidasyona karşı dayanımları oldukça iyidir [22].

### **3.1.3. Martensitik Paslanmaz Çelikler**

Martensitik paslanmaz çelikler %11-%18 arasında Cr, %1,2 oranına kadar karbon (C) ve düşük miktarlarda manganez (Mn) ve nikel (Ni) içermektedirler. Bu tür paslanmaz çelikler tavlандıklarında östenit yapıya dönüşürler ve oluşan östenit yapının soğuması sırasında martensite dönüştürülmesiyle sertleşebilirler. Martensitik paslanmaz çeliklerde 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 türü malzemeler bulunmaktadır [26]. Bu paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımları orta seviyededir. Kaynak edilebilirlikleri oldukça düşüktür. Isıl işlem ile sertleştirilebilirler ve manyetikler [23].

Martensitik paslanmaz çelikler, yüksek alaşımlı takım çelikleri gibi temperleme eğrileri oluştururlar. Temperleme sıcaklığı 500 °C'ye ulaşıncaya kadar malzemenin yapısında çok az yumuşama olur. Fakat alaşım içerisinde karbürler oluşursa ikinci bir sertleşme yükselmesi görülebilir. Martenzitik paslanmaz çeliklerde temperleme işlemi; düşük krom içeriği ve iki fazın varlığı sebebi ile bu paslanmaz çeliklerin diğer paslanmaz çeliklerden daha az korozyon direnci göstermesine neden olmaktadır. Bu çelikler sertlik dayanımı ve korozyon direncinin uyumluluğu sebebi ile yüksek kalitede bıçak, yük taşıyan bilye ve valfler gibi birçok uygulamalarda kullanılmaktadır [20].

### **3.1.4. Dupleks (Ferritik-Östenitik) Paslanmaz Çelikler**

Dupleks paslanmaz çelikler, korozyona karşı mükemmel derecede dayanım gösteren bir paslanmaz çelik türüdür. 4462 kalitesindeki bu paslanmaz çelikler 304 ve 316 kalite

malzemelere göre paslanmaya karşı daha yüksek bir direnç göstermektedir. Bu çelikler kimyasal yönden bakıldığında hem östenitik hem de ferritik paslanmaz çelik özelliği taşımaktadırlar. Dupleks paslanmaz çelikler ferretik paslanmaz çeliklere göre sertlik dayanımı yüksek olup, östenitik paslanmaz çeliklere göre ise kopmaya karşı iki kat daha fazla direnç göstermektedirler. Ülkemizde dupleks paslanmaz çelikler yerine göre (İngilizce ismiyle) "duplex paslanmaz" olarak da isimlendirilmektedir. Yüksek korozyon dayanımı ve yüksek mekanik dayanım bakımından tekne ve yat şaftı olarak en fazla bu paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. İşlenebilirlik bakımında zor gözüke de günümüz teknolojisi ile işlenebilirliği kolaylaştırılmıştır [24].

Dupleks paslanmaz çeliklerin son zamanlarda Türkiye'de ve Dünyada kullanımı büyük bir artış göstermiştir. Dupleks paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklere (304 ve 316 kalite paslanmaz çelikler) benzer özellikler gösterirler. Ayrıca, dayanıklılık değerleri (akma, kopma ve burulma) oldukça yüksek olduğu için sağlamlık ve hafiflik gerektiren birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [24].

Dupleks paslanmaz çeliklerin diğer paslanmaz çeliklere göre kilogram fiyatı daha yüksektir. Fakat daha küçük hacimli parçalarda bile yüksek dayanıklılık gösterdiğinden dolayı fiyat/performans açısından diğer paslanmaz çeliklere göre öne çıkan bir türdür. Bu paslanmaz çelikler genellikle pompa millerinde, pervane yapımında, tekne şaftlarında, özel hidroelektrik santrallerinde, kimya sektöründe, gıda sektöründe ve makine üretiminde; dolayısıyla esneklik, sağlamlık ve dayanıklılık gerektiren alanlarda sıklıkla kullanılan bir kalitedir [24].

### **3.1.5. Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler**

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler yapısında bir takım alaşımları içerir. Bu paslanmaz çeliklere içerisindeki alaşımlar farklı özellikler katmaktadır. Çökelme sertleşmesi; çözeltiye alma işleminden sonra hızlı bir şekilde soğuma işlemine tabi tutulmasıdır. Çözelti oluşturma işlemi sırasında çözülen çeliğin içindeki maddeler hızlı soğutma işlemiyle çökelme oluşturularak paslanmaz çeliğin özelliklerinin gelişmesi sağlanmaktadır. Genellikle korozyon dirençleri ve mekanik dayanımları bu malzemelerin gelişmeleri istenen özellikleridir. Paslanmaz çelikler için bu iki özellik oldukça önemlidir. Çökelme sertleşmesinde son işlem olarak yapılan hızlı soğuma işlemine yaşlandırma da denilmektedir.

Bu sebepten dolayı çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklere yaşlandırma ile sertleştirilen paslanmaz çelikler de denilmektedir [25].

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler çözeltiye alma işleminden sonra yapılan yaşlandırma işlemi sayesinde martenzitik paslanmaz çelikler kadar mekanik dayanıma, östenitik paslanmaz çelikler kadar korozyon direncine sahip olurlar. Bu paslanmaz çelikler yapılan çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemlerinden sonra normalize edilerek kolaylıkla şekillendirilebilmektedir. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler ısı işlem uygulanarak mekanik özellikleri daha da iyileştirilebilmektedir. Genellikle bu çeliklere 480 dereceyle 600 derece arasında ısı işlem uygulanmaktadır. Bu paslanmaz çelikler uygulanan ısı işleminden sonra, martenzitik paslanmaz çeliklerden daha yüksek seviyede mekanik dayanımlara ulaşmaktadırlar. Bu sayede paslanmaz çeliklerin özelliklerinin geliştirilmesi amacına ulaşılmaktadır [25].

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler uğradıkları yapısal değişikliğe ve özelliklerine göre üç farklı sınıfta gruplanmaktadır. Bu paslanmaz çelik sınıfları şunlardır [25]:

- Martenzitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler,
- Yarı-östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler,
- Östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdir

## **4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK**

### **4.1. TALAŞLI İMALAT**

Talaşlı imalat endüstride kullanılan önemli üretim yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işlemi; işlenecek malzemeyi belirlenen forma getirebilmek ve istenilen ölçü tamlığını yakalamak amacı ile iş parçasını uygun kesici takım ve tezgah (torna, freze, matkap vb.) kullanılarak iş parçasının üzerinden fazlalıkları almak ve yüzey bütünlüğünü sağlamak için yapılan işlemlerdir.

Talaşlı imalat 18. ve 19. yüzyıllardaki endüstri devrimi ile önce buhar makinesinin bulunması, daha sonra elektrik enerjisiyle sağlanan gücün kullanılmasıyla gelişimine başlamış ve 20. yüzyılda önemli gelişmeler kaydetmiştir. 19. yüzyılda Avrupa ve Amerika'da atölyeler ve tezgah parkları silah üreticileri sayesinde önemli gelişmeler kaydetmiş, yeni tezgahlar üretilmiş, üniversal freze ve taşlama tezgahları kullanılmaya başlanmış, revolver tornalar ve otomatik çubuk işleme tezgahları yaygınlık kazanmıştır. Fredrick Taylor tarafından hız çeliğinin bulunmasıyla yüksek kesme hızlarında ve ilerleme değerlerinde talaşlı imalat gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Nümerik Kontrollü (NC-Numerical Control) denilen tezgahların uygulamaya konulması ile takım tezgahları alanında büyük bir gelişme kat edilmiş ve Sayısal Kontrol (NC) tezgahların bilgisayarla donatılması ile CNC (Computer Numerical Control) ve DNC (Direct Numerical Control) tezgahları oluşmuş, otomasyona dayalı imalat sistemi geçilmiştir. Bilgisayarların yardımı ile ayrı, ayrı yapılan Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli İmalat (CAM) işlemleri birleştirilerek CAD-CAM (Bilgisayar destekli tasarım ve imalat) ile Esnek İmalat Sistemleri (FMS) ortaya atılmıştır [26].

### **4.2. İŞLENEBİLİRLİK**

İşlenebilirlik, talaş kaldırma teknikleri ile iş parçalarının kolay işlenebilmesi veya üretilmesi olarak tanımlanabilir. İşlenebilirliğin karakteristik özellikleri, işlenen malzemenin cinsi, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklıkları, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ile belirlenebilir. İş parçasının içyapısındaki metalin türü, sertliği sünekliği, mikro yapısı, ısıl işlem uygulanmışlığı gibi değişken özellikler işlenebilirliği doğrudan

etkileyen faktörlerdir. Bir malzemenin işlenebilirliği; takım ömrü, kesme hızı, talaş kaldırma miktarı, kesme kuvveti, yüzey kalitesi ve talaş şekli kriterlerine göre değerlendirilir [27].

İşlenebilirlik evrensel olarak tanımlanmış, standart bir özellik değildir. Malzemenin işlenebilme kabiliyeti, uygun bir kesici takımla ve uygun kesme parametreleri kullanılarak talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilmesinin kolaylığı veya zorluğu olarak tanımlanabilir. Kesici takımlardaki gelişmeler, değişen koşullar ve metotlar nedeniyle işlenebilirlik kavramı karşılaştırmalı değerler cinsinden ifade edilmesi zor olan bir kavramdır. İş parçası malzemelerinin metalürjisi, kimyası, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler işlenebilirliği etkiler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde kesici kenarın, takım tutucunun, takım tezgahının, işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür [28].

### **4.3. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ**

Talaş kaldırma işlemi için kullanılan takım tezgahı, kesici takım ya da iş parçasının konumu ve hareketi ne olursa olsun talaş kaldırmada gerekli olan esas olay, kesici takımın kesme kenarının hemen önünde iş malzemesi üzerinde bölgesel kayma deformasyonunun oluşmasıdır [29].

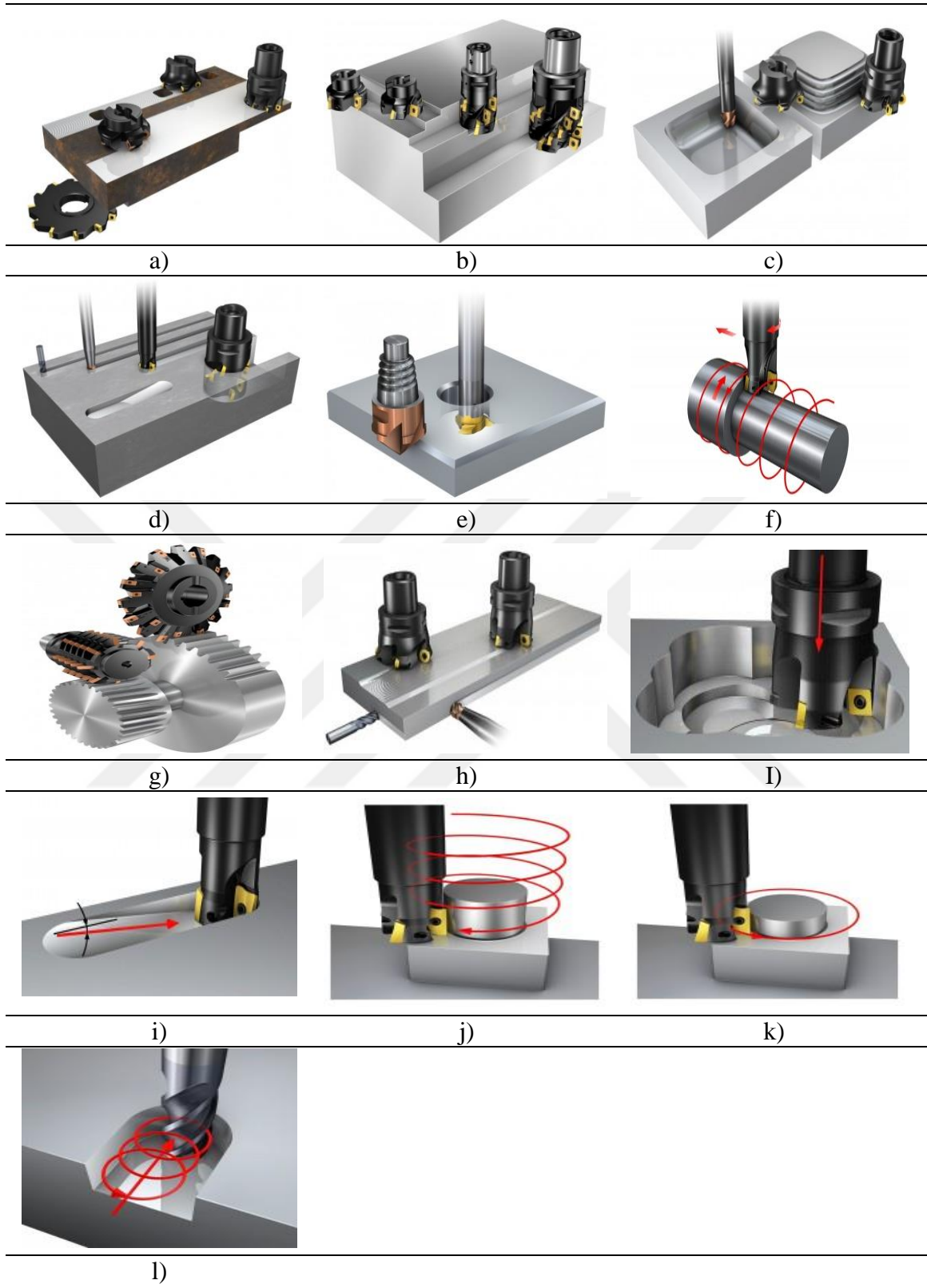
Kesici takım işlenecek olan iş parçası üzerine belirli bir kuvvet ile temas ettirilip hareket ettirildiğinde, kesici takım ucunun iş parçasına temas ettiği bölgede önce elastik sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelerek iş parçası üzerinde akmalar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka iş parçasından ayrılır. Ayrılan tabaka talaş olarak tanımlanır [30].

### **4.4. FREZELEME**

Frezeleme, çevresinde birçok kesici dişi bulunan takımın kendi eksenine etrafında dönmesi ile kesme hızı gerçekleştirilmesi ve bir tabla üzerine sabitlenen iş parçasının ilerleme hareketi yaparak talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmesi olarak tanımlanır. Frezeleme işlemi endüstride büyük bir öneme sahiptir. Makine, otomotiv, havacılık, kalıpcılık ve silah sanayi frezeleme işlemini yoğun olarak kullanan alanlardandır. Talaşlı imalat gereksinimlerini karşılamak amacıyla değişik özelliklerde ve boyutlarda freze tezgahları yapılmaktadır.

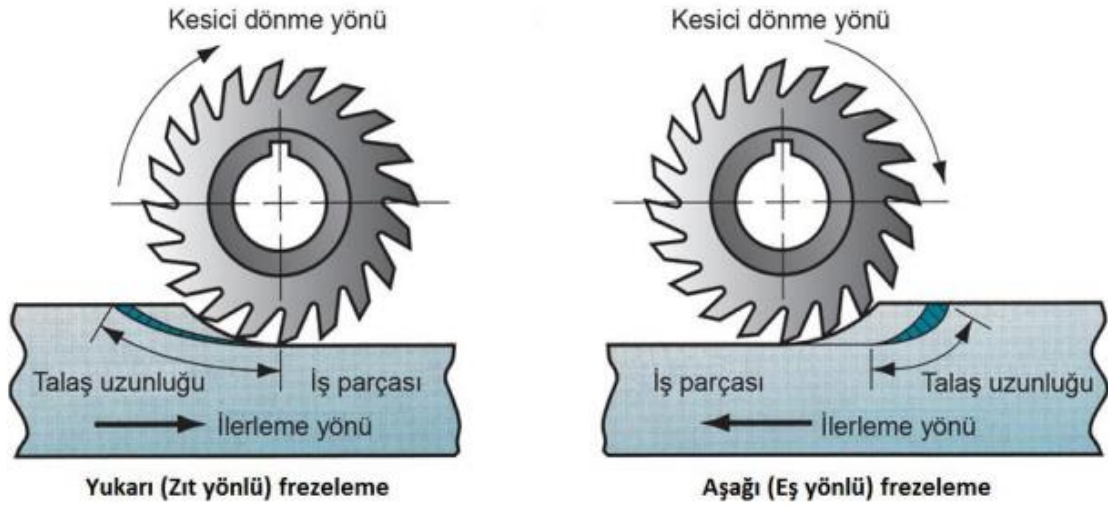
Frezeleme biçimler, iş parçasında oluşturduğu işlem veya takımın izlediği yol açısından bakıldığında aşağıdaki gibi adlandırılabilir [31]:

- a) Yüzey frezeleme
- b) Kenar frezeleme
- c) Profil frezeleme
- d) Kanal frezeleme
- e) Havşa (pah) frezeleme
- f) Torna frezeleme
- g) Diş frezeleme
- h) Yüksek ilerlemeli frezeleme
- ı) Dalma frezeleme
- i) Lineer açılı (rampa) frezeleme
- j) Helisel interpolasyon
- k) Dairesel interpolasyon
- l) Yuvarlamalı frezeleme



Şekil 4.1. Frezeleme biçimleri, a) Yüzey frezeleme, b) Kenar frezeleme, c) Profil frezeleme, d) Kanal frezeleme, e) Havşa (pah) frezeleme, f) Torna frezeleme, g) Diş frezeleme, h) Yüksek ilerlemeli frezeleme, i) Dalma frezeleme, i) Lineer açılı (rampa) frezeleme, j) Helisel interpolasyon, k) Dairesel interpolasyon, l) Yuvarlamalı frezeleme [31].

Frezeleme işlemi, kesici takımın dönme yönü ve iş parçasının ilerleme yönüne göre; yukarı (zıt yönlü) ve aşağı (eş yönlü) frezeleme olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 4.2. Frezeleme yönleri, a) Yukarı (zıt yönlü) frezeleme, b) Aşağı (eş yönlü) frezeleme [32].

Yukarı (zıt yönlü) frezelemede kesici takım iş parçasının ilerleme yönüne göre zıt yönlü döner. Aşağı (eş yönlü) frezelemede ise kesici takım dönme yönü ile iş parçasının ilerleme yönü aynıdır. Yukarı frezelemede talaş kesiti ince olarak başlar ve kalınlığı giderek artar. Aşağı frezelemede kalın olarak kaldırılmaya başlayan talaş kesiti giderek incilir. Aşağı frezelemede talaş boyu daha kısa olduğu için takım ömrü daha uzundur [32].

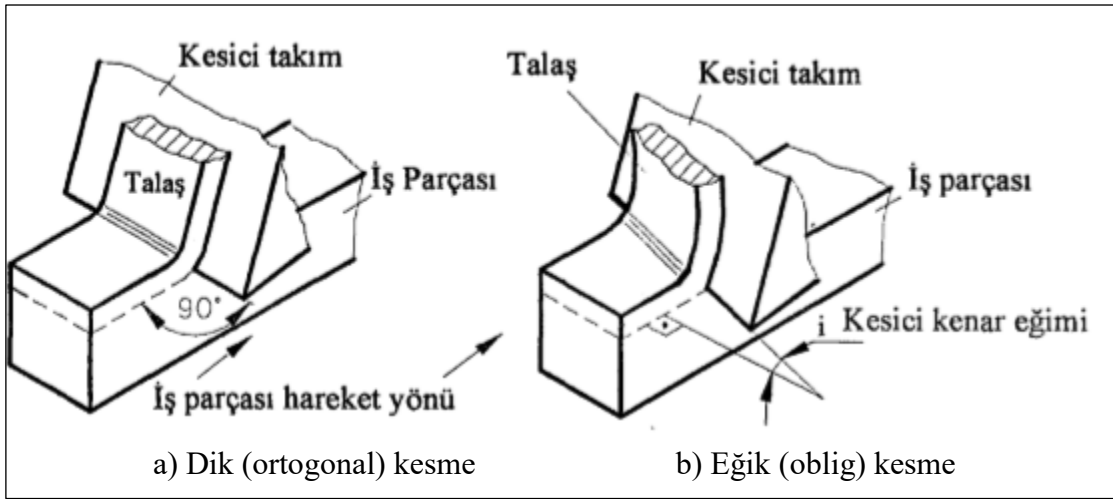
#### 4.4.1. Kesme Modelleri

Kesici takımın iş parçası üzerinde talaş kaldırma sırasında, kesici takım kesme kenarının iş parçası-takım hareket yönüne göre dik veya açılı konumuna göre sınıflandırıldığında iki boyutlu dik (ortogonal) kesme ve üç boyutlu eğik (oblig) kesme olarak adlandırılır [33].

Dik (ortogonal) kesme modelinde kesici takımın kesme kenarı iş parçası-takım hareket yönüne dik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Kayma yüzeyi düzlemseldir ve kesici kenardan yukarıya doğru uzanır. Dik kesme işleminde talaş yanlara akmaz. Kesme derinliği sabittir ve kesici takımın genişliği iş parçasının genişliğinden daha büyüktür. Kesme işlemi sırasında kesintisiz talaş üretilir. Kayma düzlemi ve takım boyunca, kayma gerilmesi ve normal gerilmeler uniformdur [33].

Eğik (oblig) kesme modelinde ise kesici takımın kesme kenarı iş parçası- takım hareket

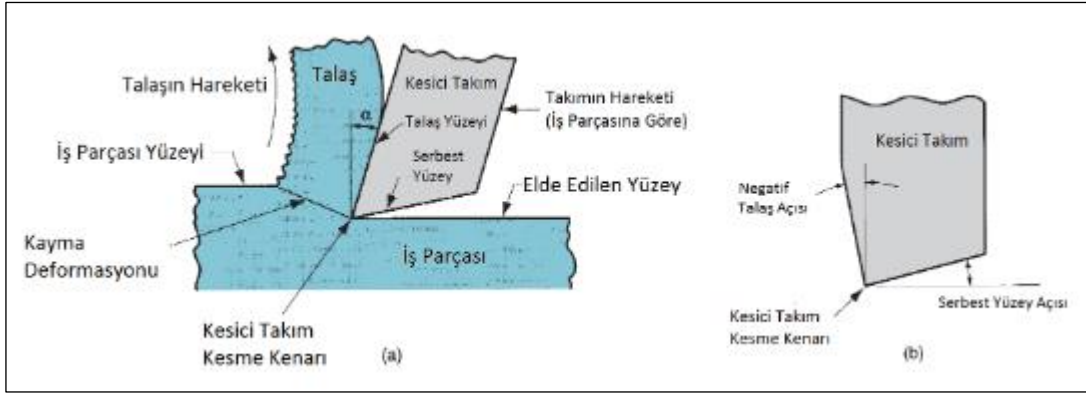
yönüyle bir açı yapacak şekilde talaş kaldırılmaktadır. Eğik (oblig) kesme modelinde, kesici takım eğimli bir şekilde keme işlemi yaptığından bu eğim, talaşın akış yönünü ve böylece de takımın performansını önemli şekilde etkilemektedir [4]. Eğik (oblig) kesme modeli endüstride dik (ortogonal) kesme modeline göre daha çok kullanılmaktadır. Ancak çalışmalarda modelleme ve hesaplama tekniği açısından daha kolay olan iki boyutlu dik (ortogonal) kesme modeli tercih edilmiştir [33]. Dik (ortogonal) kesme ve Eğik (oblig) kesme modellerinin şematik gösterimi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kesme modelleri a) Dik (ortogonal) kesme, b) Eğik (oblig) kesme [33].

#### 4.4.2. Talaş Oluşumu

Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki deformasyona uğramamış malzeme ile kesici takım arasındaki bağıl hareket doğrultusunda kayma deformasyonuna maruz kalması sonucunda plastik deformasyona uğraması ile gerçekleşir. Oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek atılır. Birinci kayma (deformasyon) düzleminde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır. Kesici takımın iş parçasına nüfuz etmesi sonucu, sürtünmelere ve yüksek gerilmelere maruz kaldığından bu gerilmeler ve sürtünmeler ısı enerjisi olarak açığa çıkmaktadır [2]. Talaş oluşumu Şekil 4.4'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Talaş oluşumunun kesit görünüşü, a) Pozitif talaş açılı kesici takım, b) Negatif talaş açılı kesici takım [34].

### 4.4.3. Frezelemede Talaş Kaldırma Parametreleri

#### 4.4.3.1. Kesme Hızı

Frezeleme işleminde kesme hızı, kesici takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ile takım üzerindeki bir noktanın bir dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir.

$$V = (\pi \cdot D \cdot N) / 1000 \quad (4.1)$$

Formülü ile hesaplanır.

D = Freze çapı,

N = Takımın dakikadaki dönme sayısı (dev/dak.) [29].

Kesme hızı formül ile hesaplanırsa da iş parçası ve kesici takım göz önünde bulundurularak kesici takım firmaları tarafından denemeler sonucunda belirlenen katalog değerlerine uyulmalıdır

#### 4.4.3.2. İlerleme Hızı

Frezelemede ilerleme tabla ilerlemesi ve diş başı ilerleme olarak ikiye ayrılır.

Tabla ilerlemesi; freze takımının iş parçası üzerinden talaş kaldırma sırasında dakikada milimetre cinsinden aldığı yoldur.

Diş başı ilerleme; freze takımı üzerinde bulunan bir kesici ağzının bir tam turda iş parçası üzerinde milimetre cinsinden yer değiştirme miktarıdır.

$$F = F_z \times Z \times N \quad (4.2)$$

Formülü ile hesaplanır [29].

F = Tabla ilerleme hızı, (mm/dak.)

Fz = Diş başına ilerleme, (mm/dev)

Z = Frezenin kesici diş sayısı, (adet)

N = Devir sayısı, (dev/dak) [29].

İşleme sırasındaki ilerlemenin artması devir sayısına ve freze takımı üzerindeki kesici ağız sayısına bağlıdır.

#### 4.4.3.3. Kesme Derinliği

Kesici takımın iş parçası üzerinden talaş kaldırma derinliği olarak ifade edilir. (a) sembolü ile gösterilir ve birimi mm'dir [29].

### 4.5. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ

Talaş kaldırma işlemlerinde ölçülen kuvvetler, uzun süre mühendislerin çalışma alanı olmuştur. Bu kuvvetler, makine güç gereksinimlerini ve rulman yüklerini belirlemek için kullanılır. Artan kuvvetler iş parçası, kesici takım veya makine yapısının bozulmasına neden olur; ve aşırı kesme sıcaklıklarına veya dengesiz titreşimlere yol açar. Ölçülen kesme kuvvetleri bazen malzemelerin işlenebilirliğini karşılaştırmak için de kullanılır. Kesme kuvveti ölçümleri ayrıca, sensör bazlı kontrol yapılarak takım aşınması ve kesme işleminin izlenmesi için kullanılır [1].

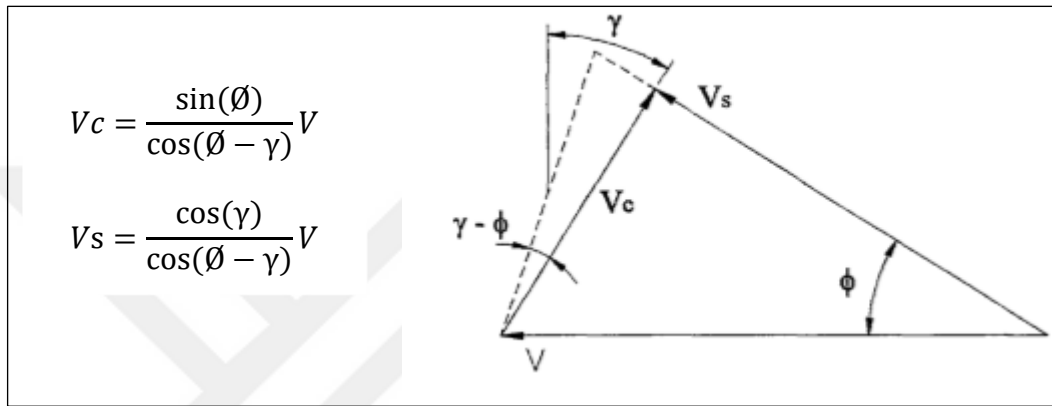
Dinamik frezelemede kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü mekanizması ölçülen kesme kuvvetleri ile belirlenebilmektedir. Ayrıca, kesme kuvvetleri ile takım aşınması arasında bir bağ kurabilmek ve kesme parametrelerine göre kuvvet değerlerinin değişimlerinin belirlenebilmesi için hassas bir sistem tarafından ölçülmesi gerekir [35].

Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri, ekonomik işleme ve kesme performansı açısından önemli bir etkidir. Bu nedenle araştırmacıların sürekli çalışma konuları olmuş ve halen de üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Kesici takım malzemelerinin gelişmeye başlamasıyla sert karbürler keşfedilmiş ve yüksek kesme hızlarıyla işlemler yapılarak daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. Talaş kaldırma işlemi kişisel tecrübelerle dayanan uygulamalardan bilimsel verilere dayanan uygulamalara geçiş yapmıştır [36].

Talaşlı imalatın emniyetli, ekonomik ve daha kaliteli olabilmesi için, kesici takıma etkiyen tüm kuvvetlerin hassas bir şekilde ölçülmesi ve sağlıklı biçimde belirlenmesi gereklidir [36].

#### 4.5.1. Hız Bağlıları

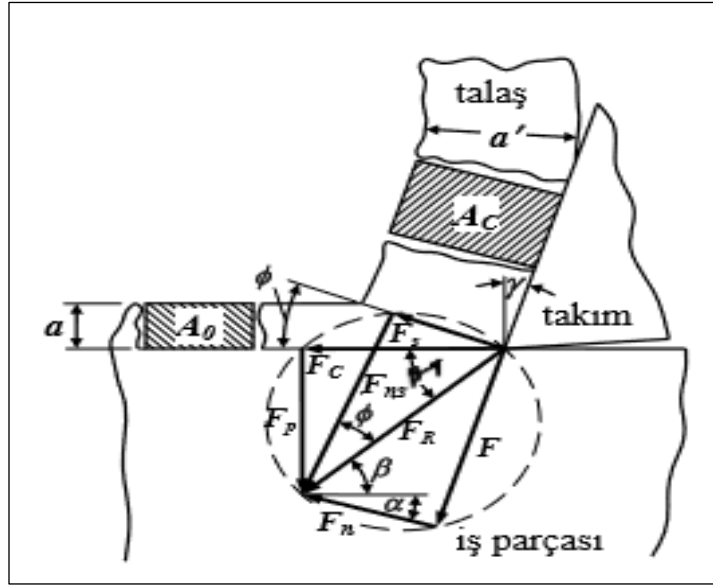
Talaş kaldırma sırasında üç hız meydana gelir. Bu hızlar hem takım tasarımı hem de takım üretimi açısından önemlidir. Bunlar; kesme hızı ( $V$ ), talaş hızı ( $V_c$ ) ve kesilme hızı ( $V_s$ ). Hız bağlantıları Şekil 4.5’de görüldüğü gibidir. Kesme hızı, kesme kuvveti  $F_c$ ’ye paralel olarak oluşturulan takımın bağıl hızıdır. Talaş hızı, takımın talaş yüzeyine paralel olarak talaşın takıma göre bağıl hızıdır. Kesilme hızı ise talaş kesilme (kayma) düzlemine paralel olarak oluşan talaşın iş parçasına göre bağıl hızıdır [36].



Şekil 4.5. Hız bağlantıları [37].

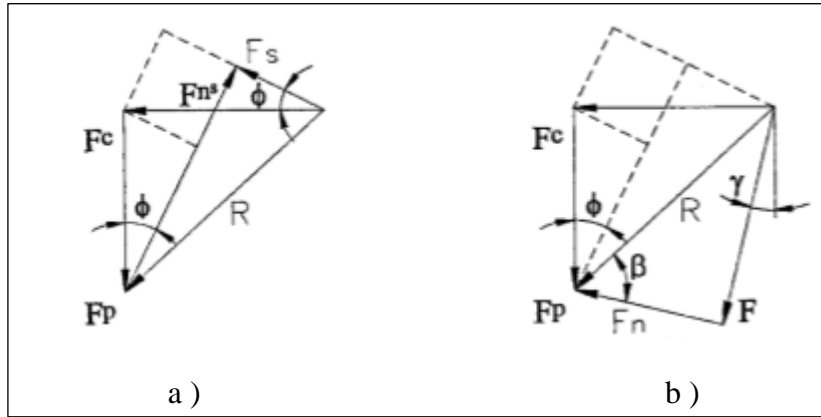
#### 4.5.2. Kuvvet Bağlıları

Dik kesmede oluşan kuvvet bileşenleri ve hesaplama üçgenleri Şekil 4.6’da ve Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Dik kesmede oluşan kuvvet bileşenleri ( $\alpha$  kesme derinliği,  $\alpha'$  çıkan talaş kalınlığı,  $A_0$  talaş kesit alanı,  $\emptyset$  kayma (kesme) düzlemi açısı,  $\gamma$  talaş açısı,  $\beta$  sürtünme açısı,  $F_S$  kayma düzlemi boyunca etki eden kuvvet,  $F_C$  esas kesme kuvveti,  $F_P$  pasif kuvvet (radyal kuvvet),  $F$  sürtünme kuvveti,  $F_R$   $F_C$  ile  $F_P$ 'nin bileşke kuvveti,  $F_{ns}$   $F_S$ 'ye dik kuvvet) [38].

#### 4.5.3. Hesaplama Üçgenleri



Şekil 4.7. Hesaplama üçgenleri [37].

$$F_{ns} = F_p \cos (\emptyset) + F_C \sin (\emptyset)$$

$$F = F_C \sin (\gamma) + F_p \cos (\gamma)$$

$$F_n = F_C \cos (\gamma) - F_p \sin (\gamma) \quad (4.3)$$

Şekil 4.7 (b)'den yola çıkarak aşağıdaki sürtünme açısı ( $\beta$ ) denklemi yazılabilir [36].

$$\tan(\beta) = \mu = \frac{F}{F_n} \quad (4.4)$$

F ve Fn yerine koyulursa;

$$\mu = \frac{F_c \sin(\gamma) + F_p \cos(\gamma)}{F_c \cos(\gamma) - F_p \sin(\gamma)} \quad (4.5)$$

$$\mu = \frac{F_p + F_c \tan(\gamma)}{F_c - F_p \tan(\gamma)} \quad (4.6)$$

Talaş açısı ( $\gamma$ ) negatif bir değer alırsa;

$$\mu = \frac{F_p - F_c \tan(\gamma)}{F_c + F_p \tan(\gamma)} \quad (4.7)$$

#### 4.5.4. Esas Kesme Kuvvetinin ( $F_c$ ) Hesaplanması

Kayma düzlemine etki eden  $F_s$  kuvveti, kaldırılan talaş miktarı, malzemenin çekme dayanımına ve kayma düzlemi açısına bağlı olarak hesaplanabilir [36].

$$F_s = A_0 \cdot \sigma_k \cdot \text{cosec}(\emptyset)$$

$$F_s = a \cdot f \cdot \sigma_k \cdot \text{cosec}(\emptyset) \quad (4.8)$$

$F_s$  yi ve şekil 4.7'deki hız üçgenleri kullanılarak  $F_c$ 'yi hesaplamaya yarayan formül aşağıda verilmektedir [36].

$$F_c = \frac{F_s \cos(\beta - \gamma)}{\cos(\emptyset + \beta - \gamma)} \quad (4.9)$$

#### 4.5.5. Kienzle'e Göre Esas Kesme Kuvveti

Bu teoreme göre esas kesme kuvveti ( $F_c$ ); talaş kesiti ile işlenen malzemenin özgül kesme direncinin çarpımı ile ifade edilir [36].

$$F_c = A_0 \cdot k_s$$

$$A_0 = a \cdot f \text{ veya } A_0 = b \cdot h \quad (4.10)$$

şeklinde yazılabilir.

$a$  : kesme derinliği (mm)

$f$  : ilerleme (mm/dev)

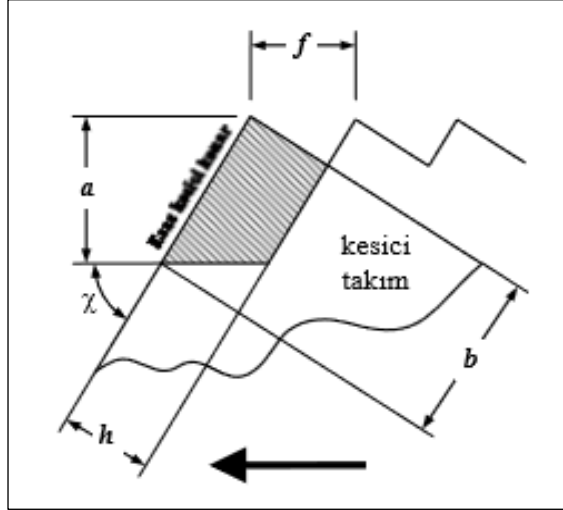
$\sigma_k$  : malzemenin çekme dayanımı ( $N/mm^2$ )

Talaş genişliği;

$$b = \frac{\alpha}{\sin(\gamma)} \quad (4.11)$$

Talaş kalınlığı;

$$h = f \times \sin(\gamma) \quad (4.12)$$



Şekil 4.8. Talaş kesit boyutları [38].

Esas kesme kuvvetinin ( $F_c$ ) hesaplanmasında kullanılan özgül kesme direnci [36].

$$k_s = \frac{k^{11}}{h^m} \quad (4.13)$$

bağıntısı ile bulunur. Bu bağıntıdaki  $k^{11}$  ;  $h=1$  mm ve  $b=1$  mm bir kesit hacminin özgül kesme kuvvetini ifade eder.  $m$  ise işlenen malzemenin cinsine bağlı olarak sabit bir değerdir [36].

#### 4.5.6. Esas Kesme Kuvvetini ( $F_c$ ) Etkileyen Faktörler

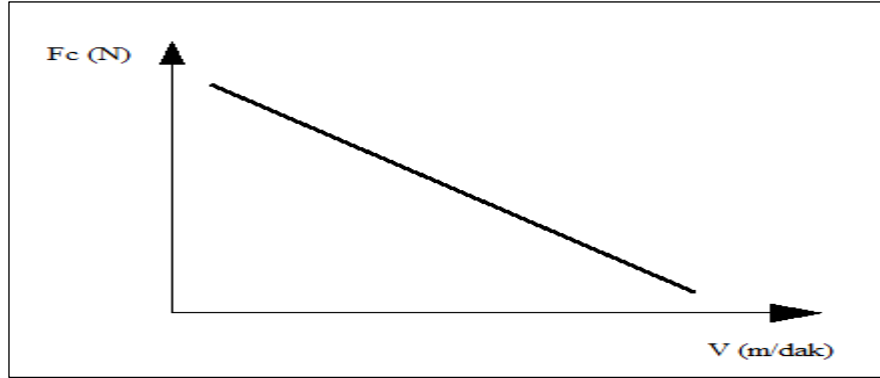
- Kesme hızı faktörü ( $k_v$ )
- Talaş açısı faktörü ( $k_\gamma$ )
- Takımın aşınma faktörü ( $k_a$ )
- Takım malzemesi faktörü ( $k_t$ )
- Özgül kesme direnci ( $k_s$ )
- Talaş kesit alanı ( $A_0$ )

Kienzle göre kesme kuvveti aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [36].

$$F_c = [A_0 \cdot k_s] \cdot k_v \cdot k_\gamma \cdot k_a \cdot k_t \quad (4.14)$$

#### 4.5.6.1. Kesme Hızı Faktörü ( $K_v$ )

Artan kesme hızıyla esas kesme kuvveti azalmaktadır [36].



Şekil 4.9. Kesme hızı (V) ile esas kesme kuvveti (Fc) bağıntısı [36].

Çizelge 4.1.  $k_v$  faktörü değerleri.

| V (m/dak) | $k_v$ | V (m/dak) | $k_v$ |
|-----------|-------|-----------|-------|
| 20        | 1,25  | 120       | 0,99  |
| 30        | 1,20  | 150       | 0,97  |
| 40        | 1,15  | 200       | 0,956 |
| 50        | 1,11  | 250       | 0,94  |
| 60        | 1,08  | 300       | 0,93  |
| 67        | 1,05  | 400       | 0,91  |
| 80        | 1,02  | 500       | 0,89  |
| 90        | 1,01  | 600       | 0,88  |
| 100       | 1,00  |           |       |

#### 4.5.6.2. Talaş Açısı Faktörü ( $K_\gamma$ )

$$k_\gamma = 1 - \left[ \frac{(\gamma - \gamma_0)}{66.7} \right] \quad (4.15)$$

eşitliği ile ifade edilir.

$\gamma$  : takımın efektif talaş açısı

$\gamma_0$  : talaş açısı referans değeri

Çelik malzemelerin işleminde  $\gamma_0 = 6^\circ$ , döküm ve benzeri malzemelerin işlenmesinde

$\gamma_0 = 2^\circ$  sabitleri alınır [36].

Bir başka ifade ile;

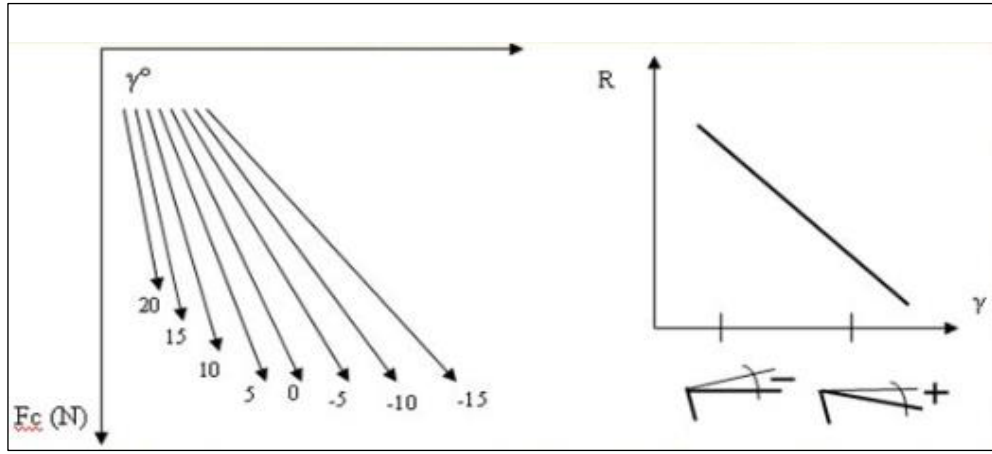
$$k\gamma = \left[ \frac{C-1.5\gamma}{100} \right] \quad (4.16)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikte C, bir sabit olup malzeme cinsine göre;

Çelik malzemeler için  $C = 109$

Döküm malzemeler için  $C = 103$  değerleri alınır.

Talaş açısı esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ona dik olan pasif kuvveti ( $F_p$ ) önemli ölçüde etkiler. Şekil 4.10'da talaş açısının kesme kuvvetini değiştiren grafikleri verilmiştir [36].



Şekil 4.10. Talaş açısı ( $\gamma^\circ$ ) ile esas kesme kuvvetinin ( $F_c$ ) değişimi [36].

#### 4.5.7. Kesme Kuvveti Bileşenleri

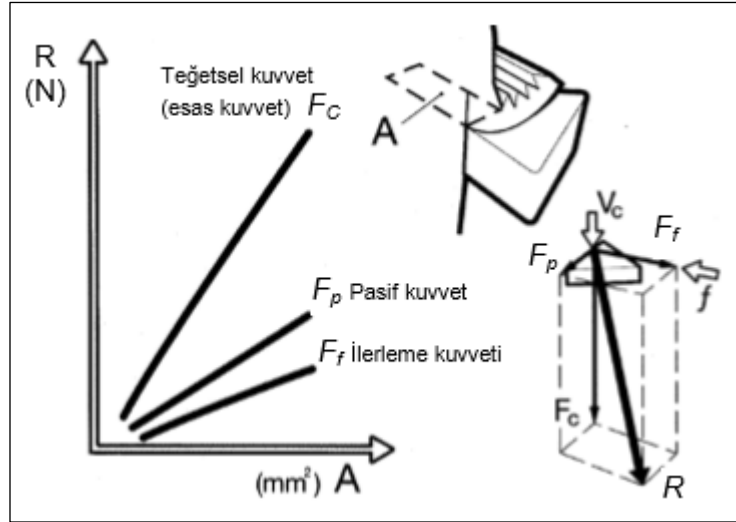
Talaş kaldırma sırasında oluşan kuvvetlerin ölçülerek (dinamometre ile) belirlenmesi doğru bir yoldur. Pasif (radyal) kuvvet  $F_p$  ve ilerleme kuvveti  $F_f$  için kesin değerler olmasa da  $F_c$ 'ye bağlı yaklaşık aşağıdaki gibi hesaplanır [36].

$$F_f \approx (0.2 \sim 0.3) F_c \quad (4.17)$$

$$F_p \approx (0.1 \sim 0.2) F_c \quad (4.18)$$

Bileşke kuvvet aşağıdaki formül ile hesaplanır [36].

$$R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad (4.19)$$



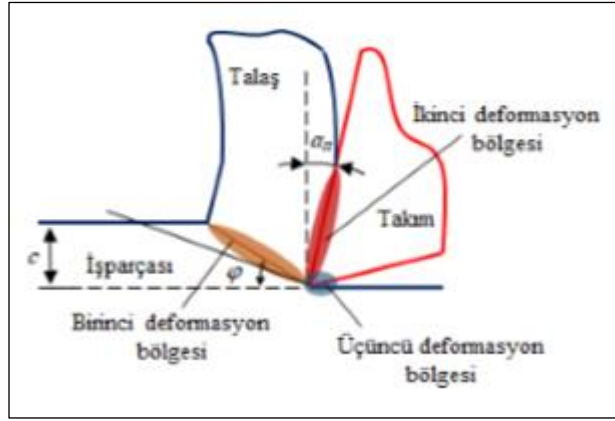
Şekil 4.11. Kuvvet bileşenlerinin kesit alanına bağlı olarak değişimi [38].

#### 4.6. KESME SICAKLIĞI

Talaş kaldırma esnasında kesme bölgesinde, sürtünmeden dolayı yüksek sıcaklıklar meydana gelmekte ve bu sıcaklıklar kesici takım performansını ve ömrünü doğrudan etkilemektedir. Ayrıca kesici takımlarda termal çatlaklara, aşınma ve kırılma deformasyonlarına yol açmaktadır. Kesici takımlarda ısı oluşumu işlenebilirlik değerlendirmesinde temel kriterlerden birisidir. Bu yüzden talaşlı imalat da, kesici takım ve işlenen malzemenin termal özellikleri, kesici takım ve iş parçası ara yüzündeki sıcaklık dağılımı iyi analiz edilmelidir. Kesme işlemi sırasında oluşan sıcaklıkların doğru şekilde belirlenmesi zor olduğundan nümerik çözümleme teknikleri kullanılmaktadır [39].

Talaşlı imalatta oluşan ısının bir kısmı iş parçasına geçerken diğer bir kısmı takıma, bir diğer kısmı ise kaldırılan talaşa geçer. Bu ısı geçişleriyle birlikte sıcaklıkların artması malzeme yapısının değişmesine ve yüzey bütünlüğünün bozulmasına, parçanın ısıl genleşmeler nedeniyle boyutlarının dışına çıkmasına ve takımın aşınmasına neden olur. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların belirlenmesi oldukça önemlidir [40].

Kesme bölgesinde oluşan ısının Şekil 4.12'de gösterilen 3 adet kaynağı vardır; kayma düzleminde meydana gelen plastik deformasyon (Birinci deformasyon bölgesi), talaş yüzeyinde meydana gelen takım ve talaşın sürtünmesi (ikinci deformasyon bölgesi) ve yeni oluşturulmuş yüzeyde takımın iş parçasına sürtünmesi (üçüncü deformasyon bölgesi) [40].



Şekil 4.12. Talaşlı imalatta talaş ve ısı oluşumu [40].

Termal kameralar kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkların belirlenmesi için en gelişmiş araçlar olarak kullanılmaktadır ancak bu cihazların geliştirilmeye ihtiyaçları vardır. Termal kamera ile ölçüm sırasında incelenen malzemenin yayma katsayısı değeri bilinmesi gerekir [40].

#### 4.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş parçaların kesici takımlar ile kesilen yüzeylerinin kalitesinin bir ölçütüdür. Üretilen parçaların yüzey kalitesi, kesici takım uç yarıçapı, kesme kenarı geometrisi, boşluk açısı gibi takım geometrisi ve kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği gibi işleme parametrelerine bağlıdır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, üretilen iş parçasının yorulma ve aşınma direncini, ısıl iletkenliğini, sürtünme, yağlama ve sızdırmazlık gibi özelliklerini de etkilemektedir [41].

İdeal yüzey pürüzlülüğü için kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme parametreleri üst seviyede kontrol edilebilir. Fakat takım geometrisi, takım aşınması, talaş oluşumları, kesici takım ve iş parçasının malzeme özellikleri yüzey pürüzlülüğü için kontrol edilemeyen özelliklerdir. Takım tezgâhı titreşimleri, işleme sırasında ciddi oranda yüzeyin bozulmasına neden olan önemli bir etkendir. İyi kalitede yüzey pürüzlülüğü değerini sağlamak için ilerleme ve kesme hızı gibi işleme parametrelerinin uyumunu değerlendirmek önem arz eder [42].

Talaşlı imalat işleminde genellikle kesme hızı arttırıldıkça yüzey kalitesi de artar. Fakat yüksek kesme hızlarında işleme yapmak kesici takım aşınması hızlandırdığı için aynı yüzey kalitesi uzun süre elde edilemez. Tek ağızlı takımlar ile yapılan talaş kaldırma işleminde elde edilen ortalama ideal yüzey pürüzlülüğünün kesici takım uç yarıçapı ve

takımın adım başı ilerlemesine göre denklemi aşağıdaki verilmiştir [42].

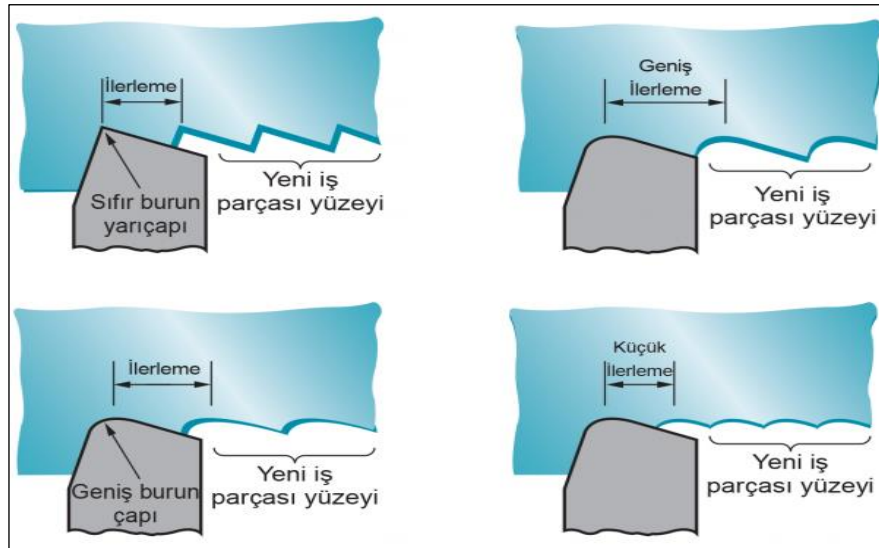
$$Ri = \frac{f^2}{32r} \quad (4.20)$$

Ri: İdeal ortalama yüzey pürüzlülüğü, mm

f: İlerleme, mm/dev

r: Uç yarıçapı, mm

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi kesici takım uç yarıçapının artması ile yüzey kalitesi ve kesici takımın kenar mukavemeti de artmaktadır. İlerleme oranının düşmesi ile de yüzey kalitesi artmaktadır. Fakat ilerleme oranını ve kesici takım uç radyüsünü sadece yüzey kalitesine göre seçmek doğru değildir. Bu parametreleri seçerken iş parçası mekanik özellikleri, kesici uç malzeme özellikleri, kesme şartları vs. gibi başka faktörlerde göz önünde bulundurulmalıdır [2].



Şekil 4.13. Uç yarıçapının ve ilerleme oranının yüzey kalitesine etkisi [43].

#### 4.8. TAKIM AŞINMASI

Takım aşınması, talaşlı imalat operasyonlarında işleme maliyetlerini artırması yüzey kalitesini direk olarak etkilemesi gibi nedenlerden dolayı araştırmacıların en önemli konularından biri olmuştur. Bu nedenle araştırmacılar kesme parametreleri üzerinde çalışmalar yaparak ve çeşitli takım kaplamaları geliştirerek takım aşınmalarını azaltmaya çalışmışlardır [44].

İmalat esnasında yüksek basınç ve sıcaklık altında çalışan kesici uçta meydana gelecek

aşınma veya kırılmanın takibi ve müdahalesi oldukça güçtür. Kesici uçta meydana gelen aşınmanın fark edilemediği durumlarda iş parçasına ve tezgâha zarar vereceği bilinmektedir [45].

Talaş kaldırma işleminde aşınma, sürekli olarak yeni yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve küçük temas alanlarında sürtünmeden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle çeşitli takım aşınması türleri vardır. Bunlar [46];

1. Serbest yüzey aşınması
2. Krater aşınması
3. Talaş yığılması (BUE)
4. Çentik aşınması
5. Plastik deformasyon
6. Termal (ısı) çatlaklar
7. Kenar tanecik kopması/kırılması

Ekonomik bir talaşlı imalat işlemi için takım aşınmasının üretime ara verilmeden tespit edilebilmesi gerekir. Bu amaçla modern üretim tezgahlarında adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Üretilen parçaların tolerans değerlerinin doğru olması için kesici takımın ömrünü doldurmadan değiştirilmesi gerekir. Kesici takımda ve yan yüzeyde oluşan aşınmalar yüzey kalitesinde bozulmalara neden olacaktır [47].

Kesici takımın aşınmayla kesme kuvvetleri artar ve yüzey kalitesini etkileyen bir titreşim oluşur. Kesici ucun aşınması, işlenmiş yüzeyin toleransını da bozacağından aşınma kriteri talaşlı imalat işlemi için gerekli toleranslara bağlı olmalıdır. Kesici uç aşınmaları, uç ömrünün sonuna doğru hızla artar. Bu nedenle aşınma kriteri olarak çekirdek boyutu kullanılır. Eğer işlemeye uç kırılana kadar devam edilirse, kesici ucun yanı sıra takım tutucu ve tezgah da zarar görür. Bu nedenle en ideal olan işleme yöntemi, testler yapılarak belirli bir parçayı işlemek için kesici uç kenar sayısının belirlenmesi ve bu sayının bir kriter olarak kullanılarak sabit aralıklarla kesici uçların değiştirilmesidir [48].

## 5. METERYAL METOD

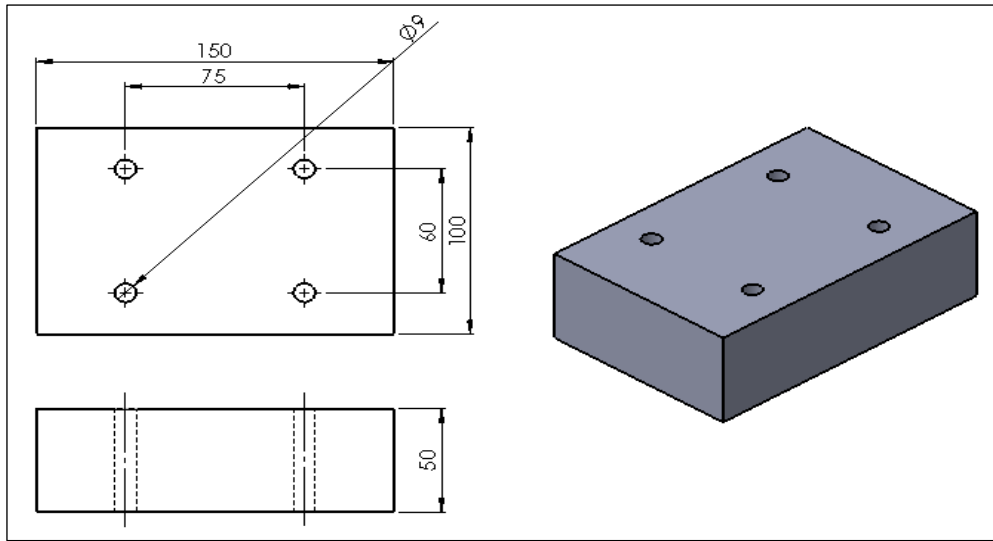
Bu çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde, kesme formlarının ve kesici takım uç radyüslerinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Verimli bir işleme için uygun kesme parametreleri ve kesici takım kesme formu belirlenmiştir.

### 5.1. İŞ PARÇASI MALZEMESİ

Frezeleme deneylerinde 150x100x50 mm boyutlarında 17-4 PH paslanmaz çelik numuneler kullanılmıştır. 17-4 PH paslanmaz çelik numunelere ait kimyasal bileşenleri ve teknik resmi sırasıyla Çizelge 5.1’de ve Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 17 – 4 PH paslanmaz çeliğin kimyasal bileşenleri (Ağırlıkça %).

| C    | Mn   | Cr   | Mo   | Ni   | Co   | Cu  | Nb  | Fe   |
|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| 0,04 | 0,78 | 15,9 | 0,40 | 4,69 | 0,06 | 3,4 | 0,2 | 73,9 |



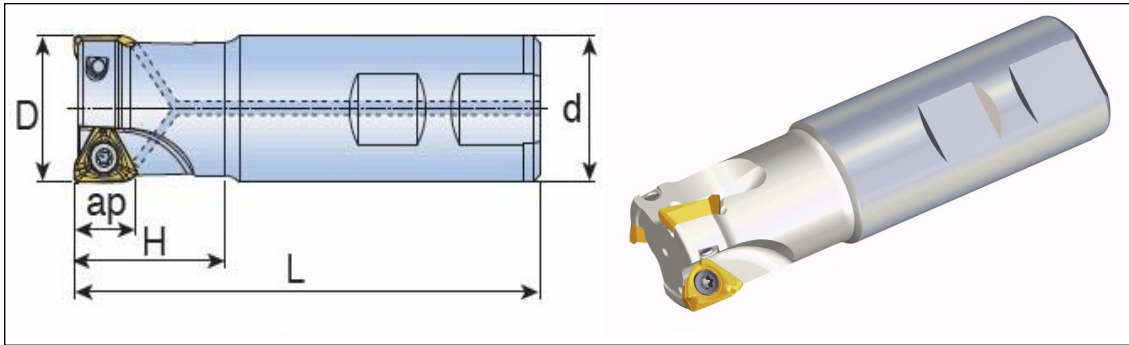
Şekil 5.1. Deney numunesinin teknik resmi.

17-4 PH paslanmaz çelik malzeme 150x100x50 mm ölçülerinde kestirildikten sonra freze tezgahında tüm kenarları işlenerek düzgün bir kütük haline getirilmiştir. Deney numunelerinin dinamometre cihazına bağlanabilmesi için uygun ölçülerde dört adet delikler açılmıştır.

## 5.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TUTUCULAR, KESİCİ TAKIMLAR VE KESME PARAMETRELERİ

### 5.2.1. Takım Tutucu

Bu çalışmada; frezeleme işlemlerinde çok sık kullanım alanına sahip, TaeguTech firması tarafından imal edilmiş kesici uçları bağlamak için tasarlanmış 3P TE90-116-W16-10 Z=1 adet uç bağlanabilen frezeleme takım tutucu kullanılmıştır. Kullanılan takım tutucunun şekli ve ölçüleri sırasıyla Şekil 5.2’de ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Takım tutucu iki boyutlu ve perspektif resmi.

Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan takım tutucu ve boyutları.

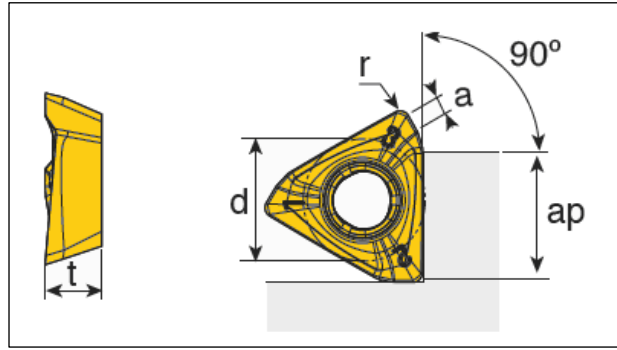
| D     | Z | d     | L     | H     | ap   | kg   |
|-------|---|-------|-------|-------|------|------|
| 16,00 | 1 | 16,00 | 90,00 | 20,00 | 7,00 | 0,12 |

### 5.2.2. Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri

Frezeleme işlemlerinde kesme parametreleri, kesici takımın yapısına ve işlenecek malzeme türüne göre seçilir. Bu parametreler kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması vb. gibi işleme sonundaki çıktıları etkileyen en önemli unsurlardır. Bu nedenle kesme parametreleri belirlenirken kesici takımları üreten firmanın, işleme yapılacak malzemeye göre önerdiği değerler temel alınmıştır. İşleme kriterleri olarak;

kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi unsurlardan oluşur.

Deneylerde TT8080 PVD, TiAlN-TiN kaplamalı TaeguTec, firmasına ait 3PKT 1004 serisi 0,4 mm ve 0,8 mm uç radyüslü takım kullanılmıştır. Deneylerde, iki farklı kesme yapısına sahip (M ve ML) formları kullanılmış ve bütün parametrelerdeki etkileri değerlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takımlar aynı karbür iç yapısına sahiptir. Şekil 5.3'te kesici takım görseli verilmiştir.




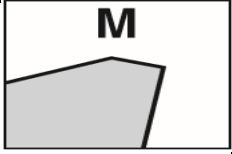

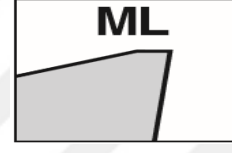
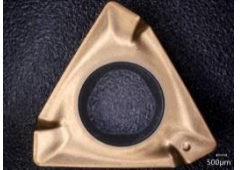
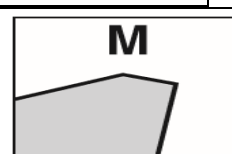


Şekil 5.3. Kesici takım iki boyutlu resmi.

Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan kesici takımların ölçüleri.

| Kesici Takım | d    | r    | a    | t    | ap   | Ap (min) | Ap (max) | Fz (min) | Fz (max) |
|--------------|------|------|------|------|------|----------|----------|----------|----------|
| 0,4 R-M      | 6,90 | 0,40 | 1,30 | 4,00 | 7,00 | 2,000    | 8,000    | 0,050    | 0,120    |
| 0,4 R-ML     | 6,90 | 0,40 | 1,30 | 4,00 | 7,00 | 2,000    | 6,000    | 0,040    | 0,120    |
| 0,8 R-M      | 6,90 | 0,80 | 0,90 | 4,00 | 7,00 | 2,000    | 8,000    | 0,050    | 0,120    |
| 0,8 R-ML     | 6,90 | 0,80 | 0,90 | 4,00 | 7,00 | 2,000    | 6,000    | 0,040    | 0,120    |

Yapılan bu çalışmada en etkili kesme formunu ve uygun parametrelerin belirlenmesi için; kesme derinliği sabit tutularak, her bir parametre için işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde; 3 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme hızı ve sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Kesme parametrelerine göre işleme yapılmış ve her bir deney için yeni bir kesici takım kullanılmıştır. Çizelge 5.4'te deney tablosu ve kesici takım türleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. Deney tablosu ve kesici takım türleri.

| Deney No | Kesici takım        | Kesici takımlar ve kesme formları   | Kesme Derinliği (mm) | Kesme hızı (Vc) m/dak | İlerleme hızı (Fz)mm/dev |
|----------|---------------------|---|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1        | 3PKT 100404<br>R-M  |    | 1                    | 70                    | 0,06                     |
| 2        |                     |   |                      | 70                    | 0,09                     |
| 3        |                     |   |                      | 70                    | 0,12                     |
| 4        |                     |    |                      | 140                   | 0,06                     |
| 5        |                     |   |                      | 140                   | 0,09                     |
| 6        |                     |   |                      | 140                   | 0,12                     |
| 7        |                     |   |                      | 210                   | 0,06                     |
| 8        |                     |   |                      | 210                   | 0,09                     |
| 9        |                     |   |                      | 210                   | 0,12                     |
| 10       | 3PKT 100404<br>R-ML |    | 70                   | 0,06                  |                          |
| 11       |                     |   | 70                   | 0,09                  |                          |
| 12       |                     |   | 70                   | 0,12                  |                          |
| 13       |                     |   | 140                  | 0,06                  |                          |
| 14       |                     |   | 140                  | 0,09                  |                          |
| 15       |                     |   | 140                  | 0,12                  |                          |
| 16       |                     |   | 210                  | 0,06                  |                          |
| 17       |                     |   | 210                  | 0,09                  |                          |
| 18       |                     |   | 210                  | 0,12                  |                          |
| 19       | 3PKT 100408<br>R-M  |  | 70                   | 0,06                  |                          |
| 20       |                     |   | 70                   | 0,09                  |                          |
| 21       |                     |   | 70                   | 0,12                  |                          |
| 22       |                     |  | 140                  | 0,06                  |                          |
| 23       |                     |   | 140                  | 0,09                  |                          |
| 24       |                     |   | 140                  | 0,12                  |                          |
| 25       |                     |   | 210                  | 0,06                  |                          |
| 26       |                     |   | 210                  | 0,09                  |                          |
| 27       |                     |   | 210                  | 0,12                  |                          |
| 28       | 3PKT 100408<br>R-ML |  | 70                   | 0,06                  |                          |
| 29       |                     |   | 70                   | 0,09                  |                          |
| 30       |                     |   | 70                   | 0,12                  |                          |
| 31       |                     |  | 140                  | 0,06                  |                          |
| 32       |                     |   | 140                  | 0,09                  |                          |
| 33       |                     |   | 140                  | 0,12                  |                          |
| 34       |                     |   | 210                  | 0,06                  |                          |
| 35       |                     |   | 210                  | 0,09                  |                          |
| 36       |                     |   | 210                  | 0,12                  |                          |

### 5.3. TAKIM TEZGÂHI

Frezeleme deneyleri Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Makina Mühendisliği Bölümü atelyelerinde yer alan Quaser MV154C Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (CNC-Computer Numerical Control) dik işleme merkezinde (Şekil 5.4) yapılmıştır. Bu tezgaha ait teknik özellikler Çizelge 5.5’te verilmiştir.



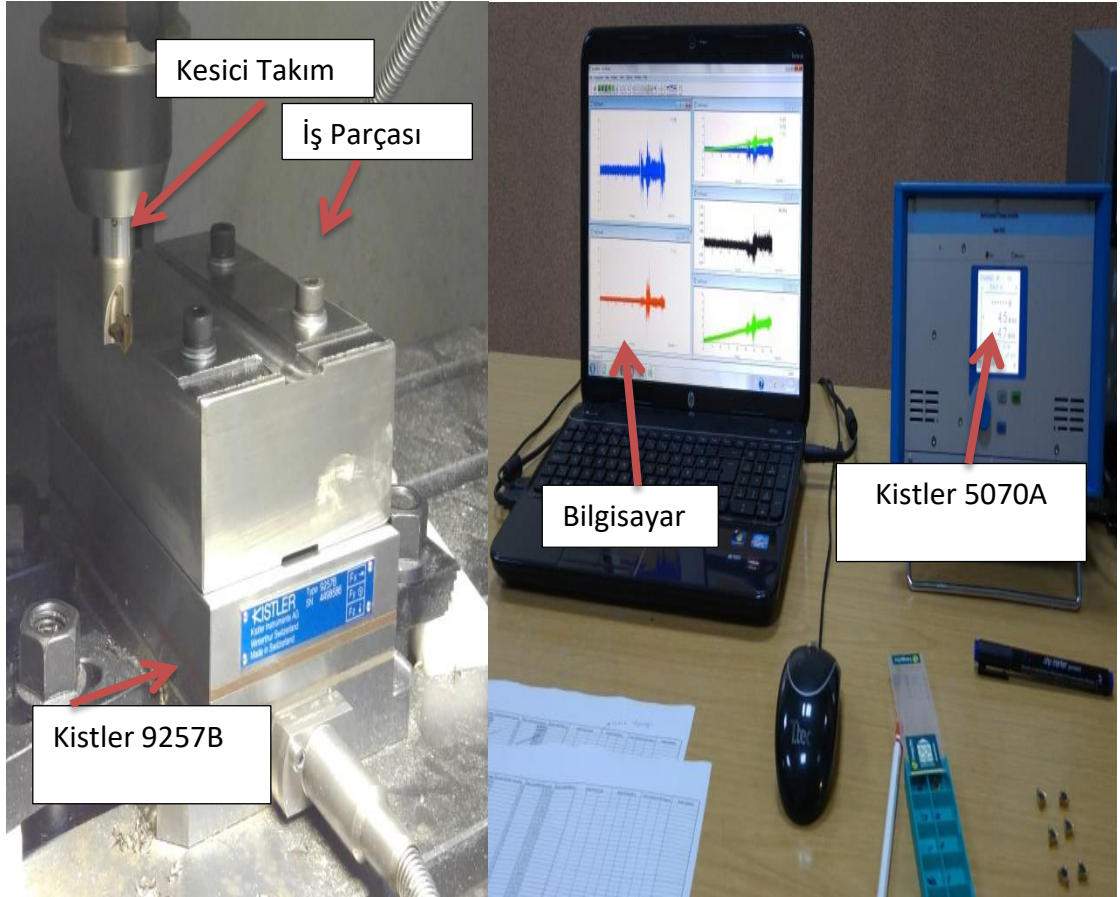
Şekil 5.4. CNC freze tezgâhı.

Çizelge 5.5. CNC freze tezgâhı teknik özellikleri.

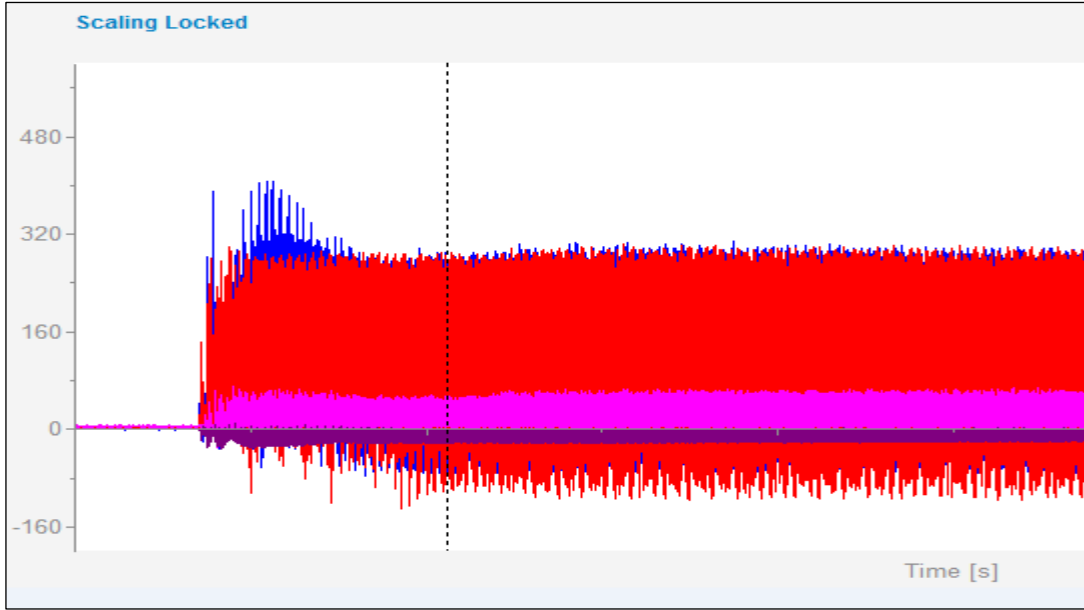
|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| Tabla Ölçüsü (mm)             | 900x500          |
| Hareketler X/Y/Z (mm)         | 700x530x560      |
| Tabla yükü (Kg)               | 500              |
| Boşta hareketler X/Y/Z (m/Dk) | 32/32/24         |
| İş mili Tipi                  | BT40             |
| İş mili Devri                 | 10.000           |
| İş mili Motoru S6-40% (Kw)    | 18,5             |
| İş mili torku S6-40% (Nt)     | 118/96 / 118/102 |
| Takım Magazini                | 30 Adet          |
| Soğutma suyu tankı (Litre)    | 300              |
| Makine yüksekliği (mm)        | 3000             |
| Makine taban alanı (mm)       | 2100x2600        |
| Makine ağırlığı (Kg)          | 6300             |
| İşletim sistemi               | Mitsubishi M70   |

#### 5.4. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Frezeleme sırasında kesme kuvvetleri Kistler marka 9257B tipi dinamometre yardımı ile ölçülmüş ve Amplifier'a (yükselteç) aktarılmış, daha sonra da program sayesinde bilgisayara aktarılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için tezgahın tablasına bağlanan dinamometre üzerine iş parçası monte edilerek CNC freze tezgahında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 5.5'te gösterilmektedir. Dynoware programı kullanılarak her bir deneyde  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  olmak üzere üç farklı eksende kesme kuvveti verileri ölçülmüştür (Şekil 5.6). Her deney için yeni bir kesici takım kullanılmıştır. Talaş kaldırma süresince kararlı kesme bölgesinde elde edilen kuvvet değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Elde edilen bu üç kuvvetin ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) bileşkesi alınarak bileşke kuvvet bulunmuştur. Bileşke kuvvet ve bu üç ortalama kuvvet ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) değerlerine göre grafikler oluşturulmuştur. Kesme kuvveti verilerini ölçmede kullanılan cihazın teknik özellikleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5. Deney düzeneği.



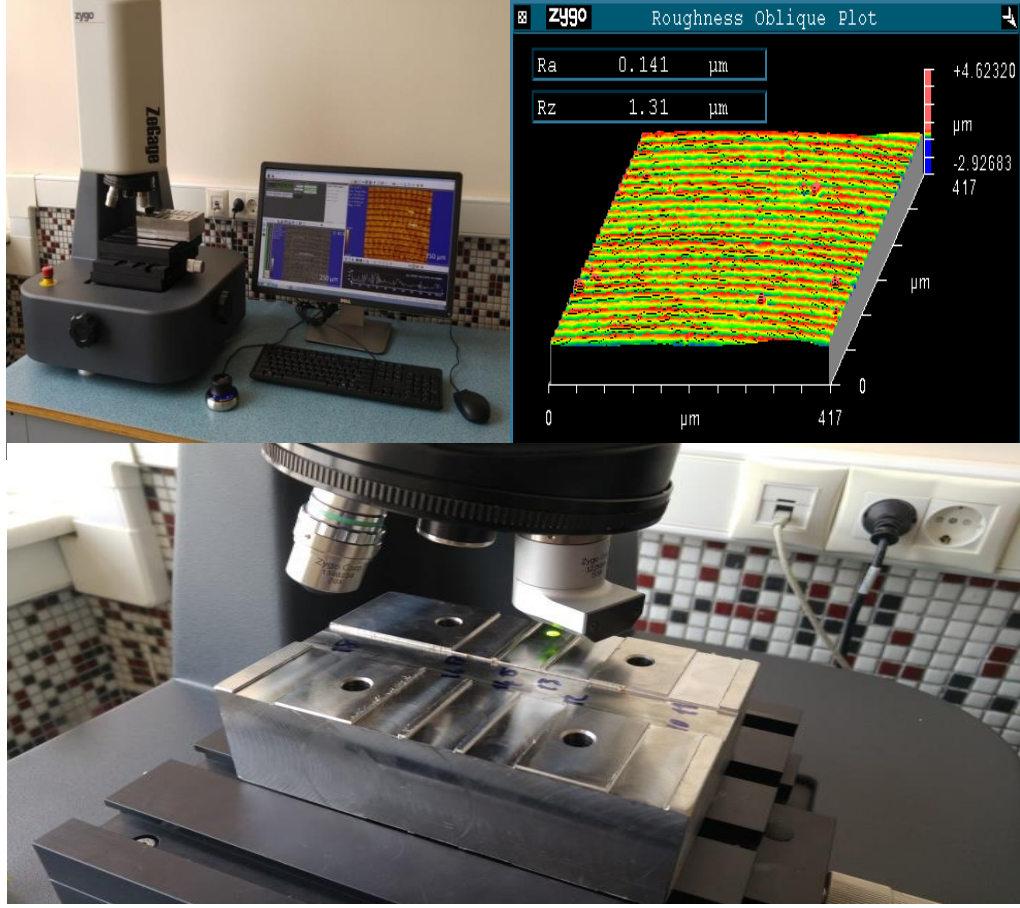
Şekil 5.6. Kesme kuvveti bileşenlerinin DynoWare programında ölçülmesi.

Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan dinamometre teknik özellikleri.

| Cihaz/donanım             | Özellik  |
|---------------------------|--|
| Dinamometre               | Kistler 9257B<br>Fx, Fy, Fz, -5+10 kN, boyut: 170x100x60mm           |
| Amplifier (Yükselteç)     | Kistler 5070A<br>8 kanaldan veri alma, ±10V                          |
| Veri okuma kartı          | CIO DAS 1602/12 Kart<br>8 analog kanal, 1,25-2,5-5-10V ölçüm aralığı |
| Yazılım                   | Dynoware Veri sayısı/süresi ayarlama, grafik oluşturma               |
| Hassasiyet                | Fx, Fy : $\approx -7,5$ pC/N Fz : $\approx -3,7$ pC/N                |
| Çalışma Sıcaklığı Aralığı | 0-70 °C  |

## 5.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

İşleme deneylerinden sonra frezelenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçülmesi için Zygo ZeGage optik profilometre (Şekil 5.7) kullanılmıştır.



Şekil 5.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde kullanılan optik profilometre.

Yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi için, frezeleme işleminden sonra iş parçası paralel bir şekilde optik profilometre cihazının tablasına yerleştirilmiştir. Cihazın odak uzaklığı ayarlanarak bir deneyde işlenen yüzeyin üç farklı noktadan ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Alınan bu ortalama değerlere göre grafikler oluşturulmuştur.

## 5.6. KESME SICAKLIKLARININ ÖLÇÜLMESİ

Kesme sıcaklığı, kesme olayını önemli ölçüde etkilediği için, kesme sıcaklığının ölçülmesi son derece önem arz etmektedir. Termal kameralar, kızılötesi (infrared: IR) enerjiyi esas alan görüntüleme sistemidir. Bu yöntem işleme esnasında kesici takımın, iş parçası ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkları belirleme metodudur. Bu çalışmada işleme sırasında oluşan sıcaklıkların ölçülmesi için, OPTRIS marka PI 450 modellenli termal kamera (Şekil 5.8) kullanılmıştır.

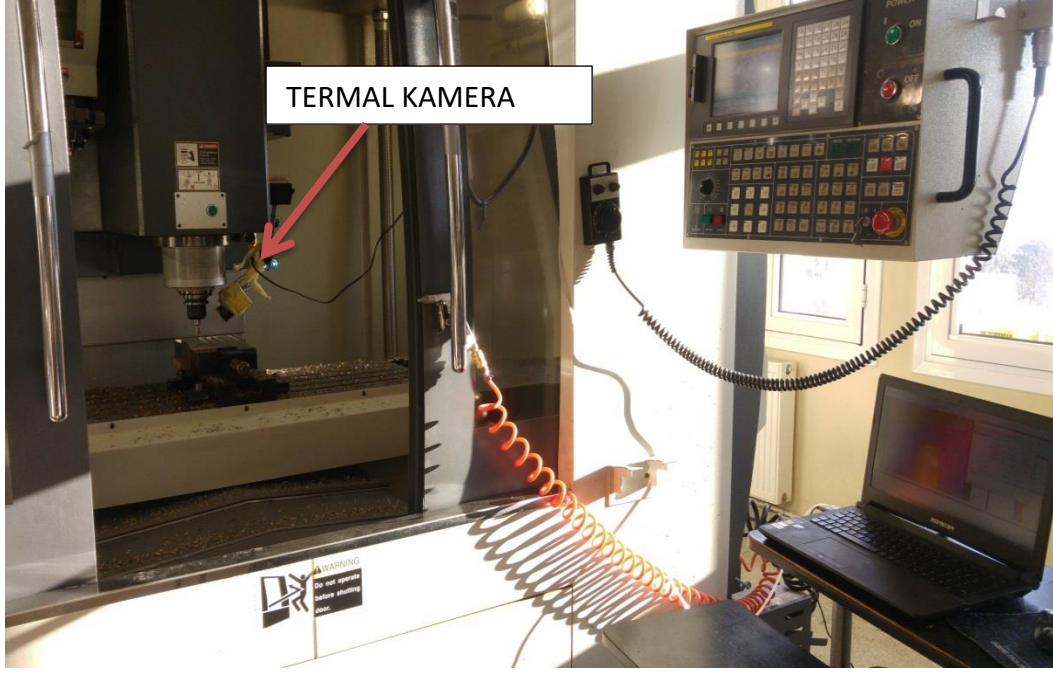


Şekil 5.8. Deneyleerde kullanılan termal kamera.

Kullanılan termal kamera ile 900 °C'ye kadar sıcaklık ölçümleri yapılabilmektedir. Deneyleerde kullanılan 17-4 PH malzemenin kesme sıcaklığı değeriinin ölçülmesi için yayım kabiliyeti (emissivity) değeri 0,8 olarak seçilmiştir [49]. Cihazın teknik özellikler Çizelge 5.7'de verilmiştir. Kesme sıcaklığı deney düzeneği Şekil 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.7. PI 450 termal kamera teknik özellikleri.

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| Model             | PI 450                         |
| Sıcaklık Aralığı  | -20 °C ile 900 °C              |
| Spektral Aralık   | 7,5-13 µm                      |
| Çerçeve Hızı      | 80 Hz                          |
| Termal Hassasiyet | 40 mK yüksek termal hassasiyet |
| Optik Çözünürlük  | 382x288 piksel detektör        |
| Ağırlık           | 320 gr                         |
| Boyut             | 46x56x90                       |



Şekil 5.9. Kesme sıcaklığı deney düzeneği.

## 5.7. TAKIM AŞINMASI ÖLÇÜMLERİ

Deneylerde kullanılan iki farklı kesme formu (M ve ML) ve iki farklı uç radyüslü (0,4 ve 0,8 mm) kesici takımların aşınma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kesme hızları ve ilerleme değerlerine göre kaldırılacak talaş hacmi belirlenerek aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Takım aşınması deneyleri üç farklı kesme hızı (70, 140 ve 210 m/dak), iki farklı ilerleme hızı (0,06 ve 0,12 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1 mm) parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Her 100 mm işleme boyundan sonra kesme işlemi durdurulmuş ve İnsize marka dijital mikroskobu kullanılarak kesici takımın aşınan kenarı fotoğraflanmıştır. Aşınma deneyleri sonucu kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları talaş hacmine bağlı olarak değerlendirilmiştir. İnsize dijital mikroskobu Şekil 5.10'da gösterilmektedir. Mikroskobun teknik özellikleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.10. Aşınma ölçümlerinde kullanılan İnsize dijital mikroskobu.

Çizelge 5.8. İnsize dijital mikroskobu teknik özellikleri.

|               |  |
|---------------|--|
| Model         | ISM-PM200SA                                  |
| Stand         | Üniversal stand                              |
| Yakınlaştırma | 10X - 200X                                   |
| Pixel         | 1,3M (Çözünürlük: 1280x1024)                 |
| Aydınlatma    | Ayarlanabilir LED ışıklar                    |
| Güç Kaynağı   | USB 2,0 Kablo (Gerekli Voltaj: $5\pm 0,1V$ ) |
| Çıkış         | Resim ve video çekilebilir                   |

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 6.1. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

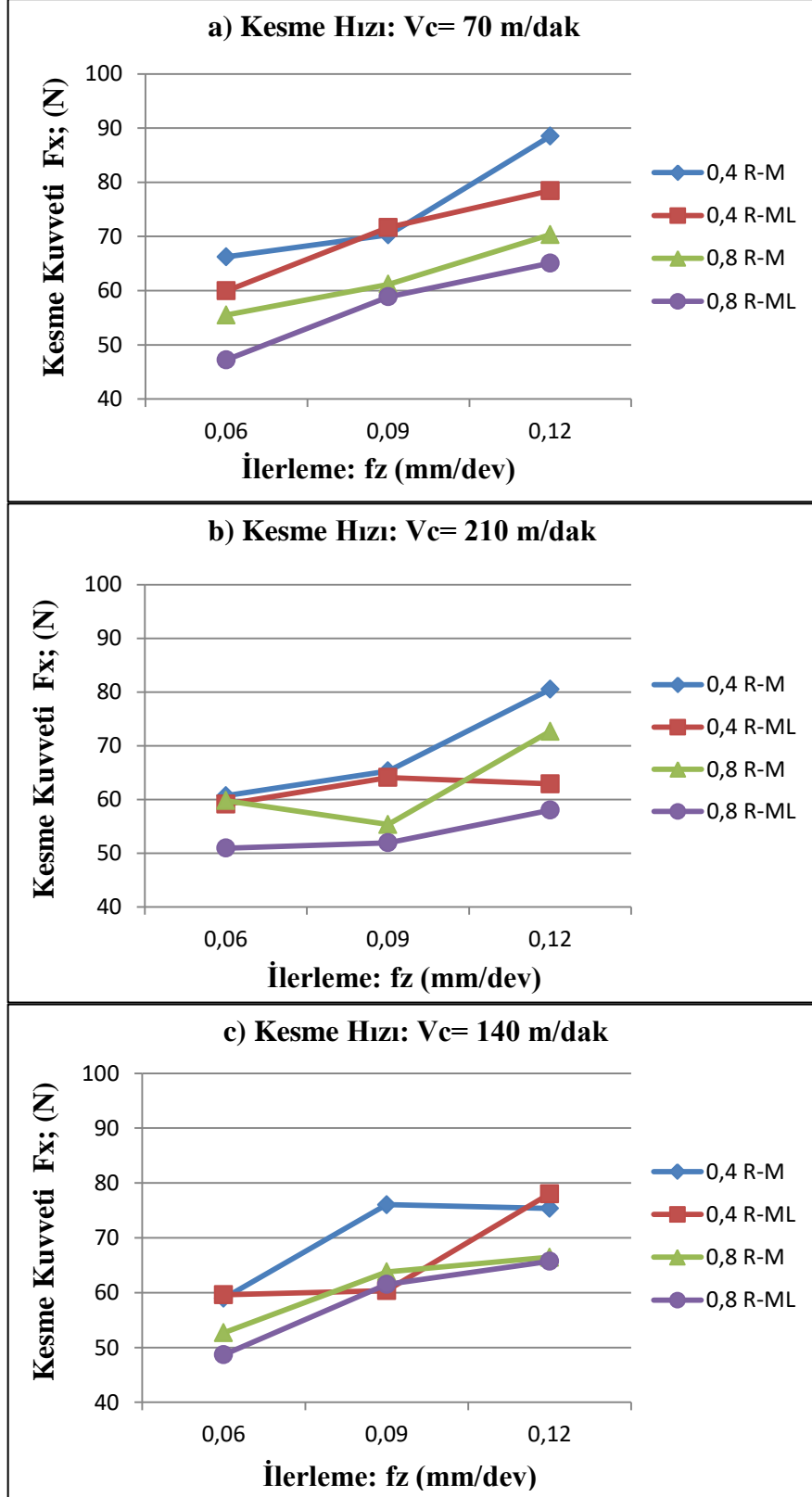
Kesme kuvvetleri için yapılan deneyler sonucunda her bir kesici uça oluşan üç farklı kuvvetin ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) ölçümü dinamometre yardımı ile yapılmıştır. Dynoware programı kullanılarak alınan değerlerin kararlı kesme bölgesindeki ortalama kuvvetleri hesaplanmıştır. Farklı kesme parametrelerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen 3 farklı eksenindeki kuvvet değerleri ve bileşke kuvvetler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Kesme hızları, ilerleme değerleri, kesici takım uç radyüsleri ve kesme formlarına göre kesme kuvvetlerinin değişimini gösteren grafikleri Şekil 6.1 ve Şekil 6.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Kesme kuvvetleri tablosu.

| Deney No | Kesici Takım | Kesme Hızı (Vc) m/dak | İlerleme (Fz)mm/dev | “X” Ekseninde ölçülen ortalama kuvvet, ( $F_x$ ), N | “Y” Ekseninde ölçülen ortalama kuvvet, ( $F_y$ ), N | “Z” Ekseninde ölçülen ortalama kuvvet, ( $F_z$ ), N | Bileşke kuvvet (F), N |
|----------|--------------|-----------------------|---------------------|---|---|---|-----------------------|
| 1        | 0,4 R-M      | 70                    | 0,06                | 66,22   | 66,12   | 28,38   | 97,79                 |
| 2        |              |                       | 0,09                | 70,29   | 77,72   | 34,09   | 110,19                |
| 3        |              |                       | 0,12                | 88,51   | 105,01  | 35,78   | 141,93                |
| 4        |              | 140                   | 0,06                | 58,97   | 57,28   | 30,02   | 87,52                 |
| 5        |              |                       | 0,09                | 76,04   | 82,11   | 33,61   | 116,85                |
| 6        |              |                       | 0,12                | 75,36   | 90,10   | 37,33   | 123,25                |
| 7        |              | 210                   | 0,06                | 60,69   | 59,78   | 27,65   | 89,56                 |
| 8        |              |                       | 0,09                | 65,32   | 70,91   | 35,24   | 102,65                |
| 9        |              |                       | 0,12                | 80,53   | 94,21   | 34,87   | 128,75                |
| 10       | 0,4 R-ML     | 70                    | 0,06                | 59,95   | 56,68   | 16,80   | 84,20                 |
| 11       |              |                       | 0,09                | 71,65   | 80,94   | 23,70   | 110,67                |
| 12       |              |                       | 0,12                | 78,44   | 91,52   | 31,90   | 124,69                |
| 13       |              | 140                   | 0,06                | 59,62   | 58,09   | 20,40   | 85,71                 |
| 14       |              |                       | 0,09                | 60,39   | 68,38   | 21,71   | 93,78                 |
| 15       |              |                       | 0,12                | 78,06   | 95,29   | 30,15   | 126,80                |

Çizelge. 6.1. (Devam) Kesme kuvvetleri tablosu.

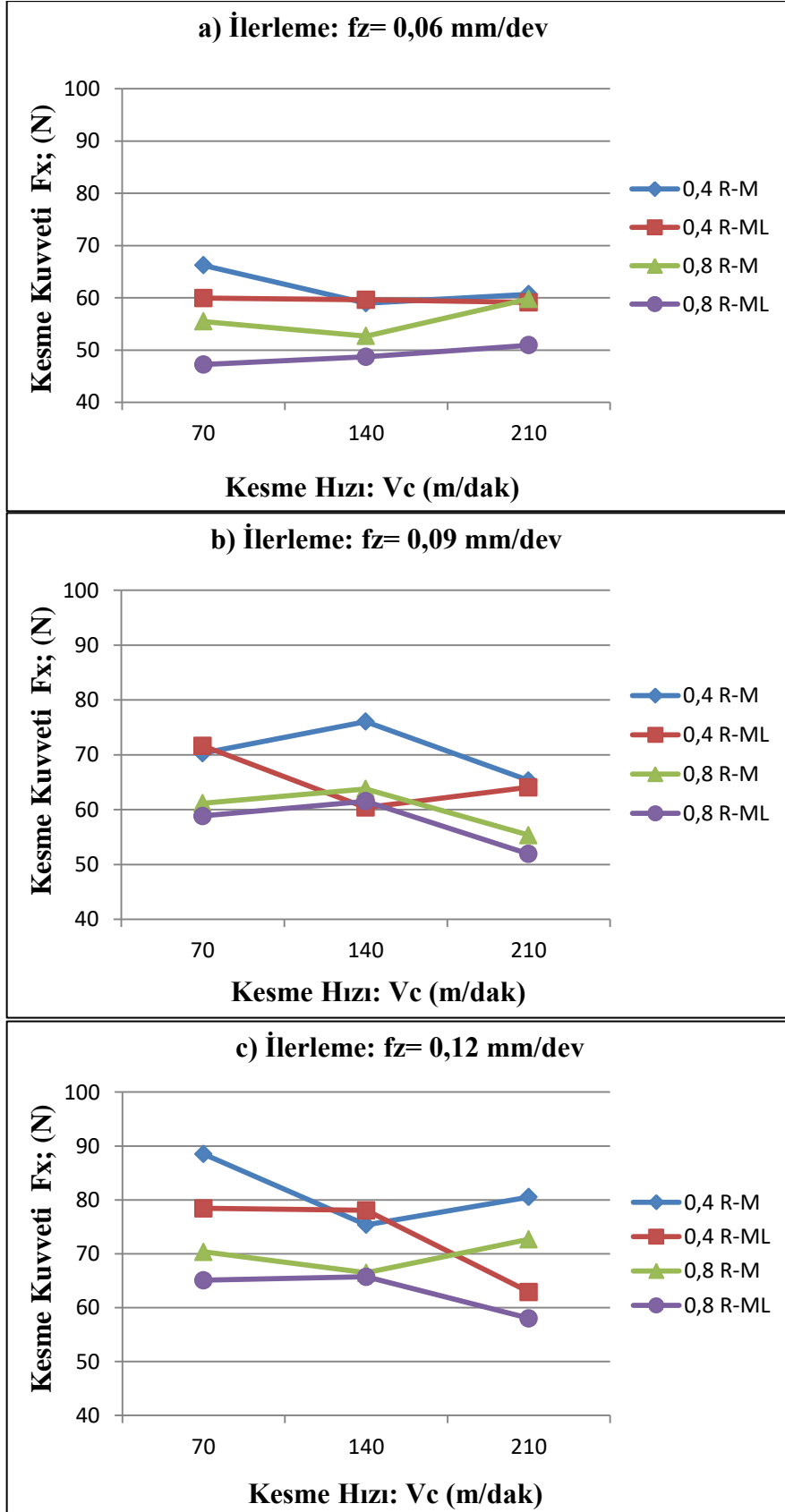
| Deney No | Kesici Takım | Kesme Hızı (Vc) m/dak | İlerleme (Fz)mm /dev | “X” Ekseninde ölçülen ortalama kuvvet, (Fx), N | “Y” Ekseninde ölçülen ortalama kuvvet, (Fy), N | “Z” Ekseninde ölçülen ortalama kuvvet, (Fz), N | Bileşke kuvvet (F), N |
|----------|--------------|-----------------------|----------------------|--|--|--|-----------------------|
| 16       |              | 210                   | 0,06                 | 59,12  | 52,07  | 21,94  | 81,78                 |
| 17       |              |                       | 0,09                 | 64,09  | 73,82  | 21,30  | 100,05                |
| 18       |              |                       | 0,12                 | 62,92  | 80,67  | 23,52  | 104,97                |
| 19       | 0,8 R-M      | 70                    | 0,06                 | 55,50  | 59,06  | 54,05  | 97,42                 |
| 20       |              |                       | 0,09                 | 61,18  | 71,07  | 44,08  | 103,62                |
| 21       |              |                       | 0,12                 | 70,34  | 85,93  | 58,57  | 125,54                |
| 22       |              | 140                   | 0,06                 | 52,70  | 52,26  | 55,20  | 92,50                 |
| 23       |              |                       | 0,09                 | 63,80  | 68,03  | 60,02  | 110,91                |
| 24       |              |                       | 0,12                 | 66,46  | 77,62  | 63,60  | 120,36                |
| 25       |              | 210                   | 0,06                 | 59,78  | 53,33  | 57,47  | 98,60                 |
| 26       |              |                       | 0,09                 | 55,35  | 62,53  | 56,59  | 100,88                |
| 27       |              |                       | 0,12                 | 72,69  | 80,34  | 63,96  | 125,82                |
| 28       | 0,8 R-ML     | 70                    | 0,06                 | 47,23  | 49,99  | 48,12  | 83,93                 |
| 29       |              |                       | 0,09                 | 58,86  | 69,82  | 50,14  | 104,18                |
| 30       |              |                       | 0,12                 | 65,08  | 82,15  | 54,41  | 118,09                |
| 31       |              | 140                   | 0,06                 | 48,71  | 47,93  | 51,50  | 85,57                 |
| 32       |              |                       | 0,09                 | 61,53  | 64,21  | 57,01  | 105,64                |
| 33       |              |                       | 0,12                 | 65,74  | 82,50  | 60,28  | 121,49                |
| 34       |              | 210                   | 0,06                 | 50,95  | 46,01  | 53,88  | 87,26                 |
| 35       |              |                       | 0,09                 | 51,93  | 61,66  | 53,47  | 96,74                 |
| 36       |              |                       | 0,12                 | 58,02  | 73,46  | 54,10  | 108,12                |



Şekil 6.1. İlerleme hızına bağlı olarak 'X' ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti değerlerinin değişimi, a) 70 m/dak kesme hızında, b) 140 m/dak kesme hızında, c) 210 m/dak kesme hızında.

X ekseninde ölçülen ( $F_x$ ) kuvvetlerinin, ilerleme değerlerine göre oluşturulan grafikleri değerlendirildiğinde ilerleme değerlerinin artması ile yaklaşık olarak %12 kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. İlerlemenin artması ile talaş hacmi artmakta bir devirde kaldırılan talaş kesit alanı ve birinci deformasyon bölgesinde bulunan kayma düzlemi alanı artmakta ve kesici takım artan talaş kesitini koparmak için daha büyük kesme kuvvetine ihtiyaç duymaktadır [2]. Bu da kesici takıma gelen kuvvetin artmasına neden olmaktadır. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile x eksenindeki kesme kuvvetleri azalmaktadır. Kesme formlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar ile ölçülen kuvvetlerin M formlu takımlara göre %17 daha düşük olduğu görülmektedir. ML formlu takım daha keskin bir yapıya sahip olduğu için düşük sürtünme kuvveti ile kesme yapmaktadır. Daha az sürtünme ile kesme yapan kesici takım düşük kesme kuvveti oluşturmaktadır. En düşük kesme kuvveti 0,8 R-ML kodlu takımda 0,06 mm/dev ilerleme değerinde 47,23 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 0,4 R-M kodlu takımda 0,12 mm/dev ilerleme değerinde 88,51 N olarak ölçülmüştür.

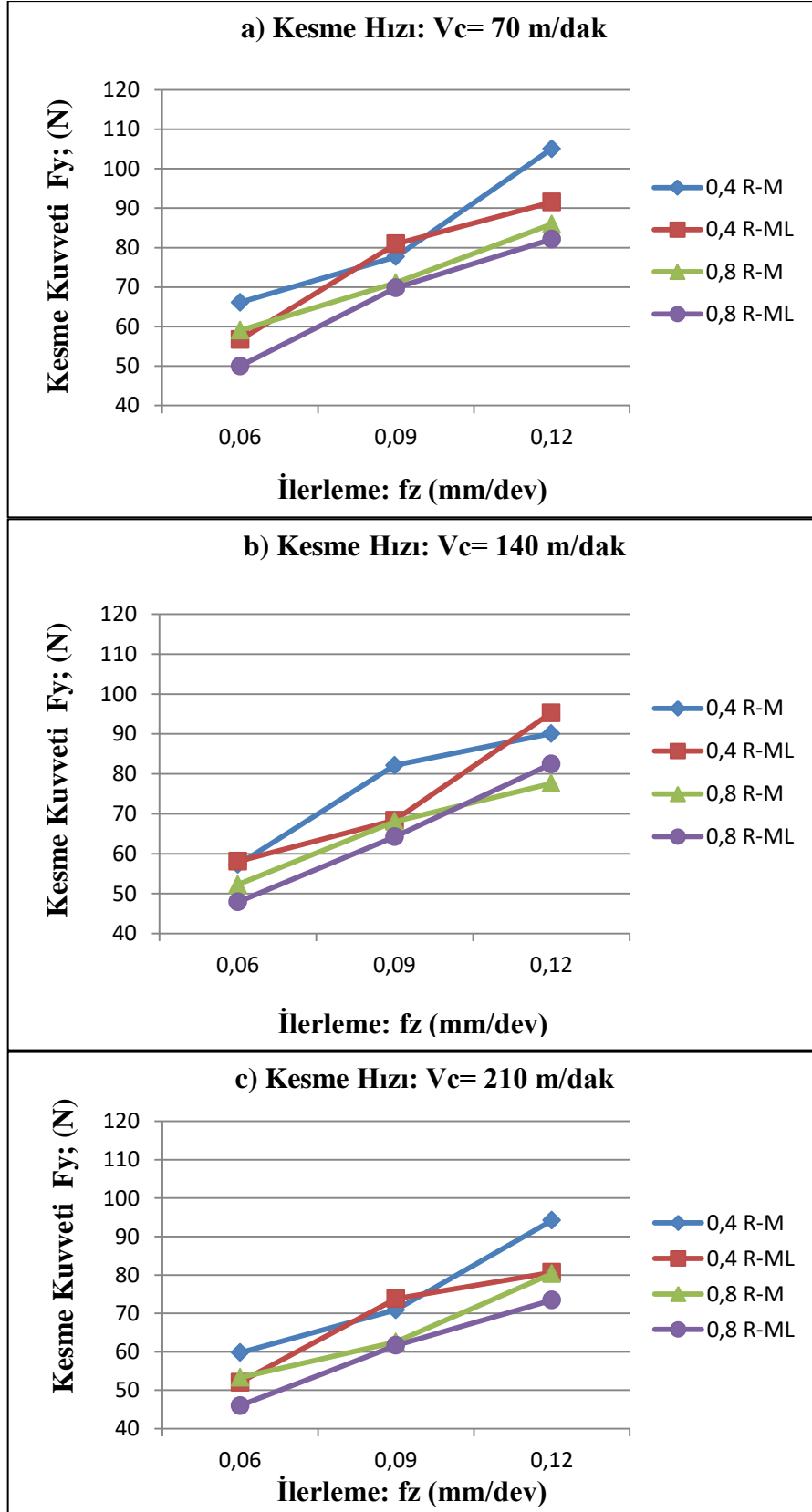




Şekil 6.2. Kesme hızına bağlı olarak “X” ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti değerlerinin değişimi, a) 0,06 mm/dev ilerleme hızında, b) 0,09 mm/dev ilerleme hızında, c) 0,12 mm/dev ilerleme hızında.

X ekseninde ölçülen ( $F_x$ ) kuvvetlerinin, kesme hızı değerlerine göre oluşturulan grafikleri değerlendirildiğinde kesme hızı değerlerinin artması ile bazı durumlarda arttığı görülse de genel olarak %13 kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Kesme kuvvetinin azalmasını kesme bölgesinde açığa çıkan enerji (ısı), deformasyonu ve talaş akışını kolaylaştırmasına bağlamak mümkündür [2]. Kesici takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklık artışından dolayı kesici takım/talaş ara yüzeyinde sürtünme katsayısının azalması kesme kuvvetinin azalmasına neden olduğu söylenebilir [50]. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile x eksenindeki kesme kuvvetleri azalmaktadır. Bu durumu kesme sıcaklığına bağlamak doğru olacaktır. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile sıcaklık arttığından birinci deformasyon bölgesinde kayma işlemi sıcaklığın etkisi ile kolaylaşmakta ve kesme kuvvetleri azalmaktadır. Kesme formlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar ile ölçülen kuvvetlerin M formlu takımlara göre genel olarak %17 daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük kesme kuvveti 0,8 R-ML kodlu takımda 210 m/dak kesme hızı değerinde 47,23 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 0,4 R-M kodlu takımda 70 m/dak kesme hızı değerinde 88,51 N olarak ölçülmüştür.

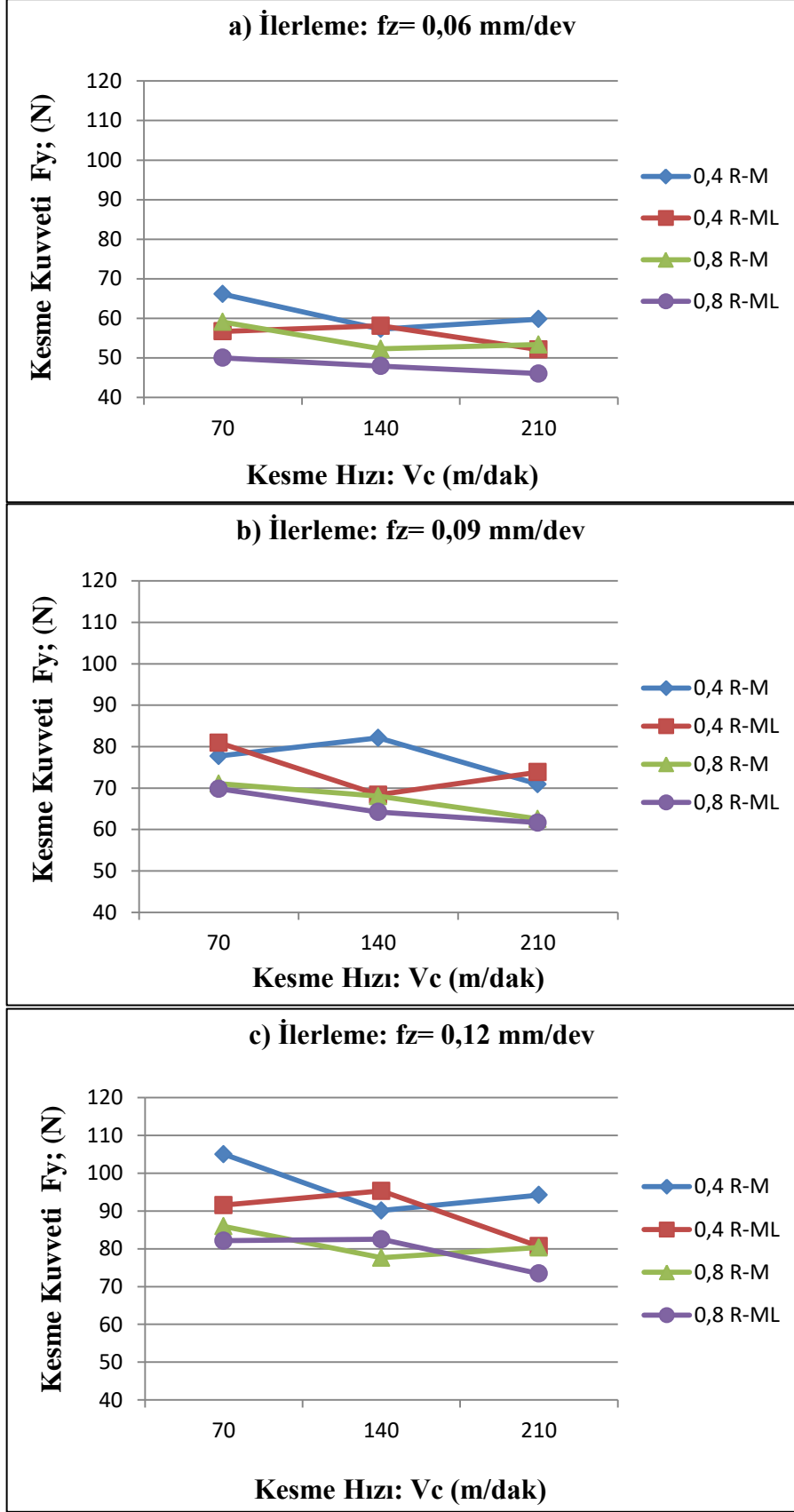




Şekil 6.3. İlerleme hızına bağlı olarak ‘Y’ ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti değerlerinin değişimi, a) 70 m/dak kesme hızında, b) 140 m/dak kesme hızında, c) 210 m/dak kesme hızında.

Y ekseninde ölçülen ( $F_y$ ) kuvvetlerinin, ilerleme değerlerine göre oluşturulan grafikleri değerlendirildiğinde ilerleme değerlerinin artması ile yaklaşık olarak %19 kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile y eksenindeki kesme kuvvetleri azalmaktadır. Kesme formlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar ile ölçülen kuvvetlerin M formlu takımlara göre yaklaşık olarak %9 daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük kesme kuvveti 0,8 R-ML kodlu takımda 0,06 mm/dev ilerleme değerinde 46,01 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 0,4 R-M kodlu takımda 0,12 mm/dev ilerleme değerinde 105,01 N olarak ölçülmüştür.

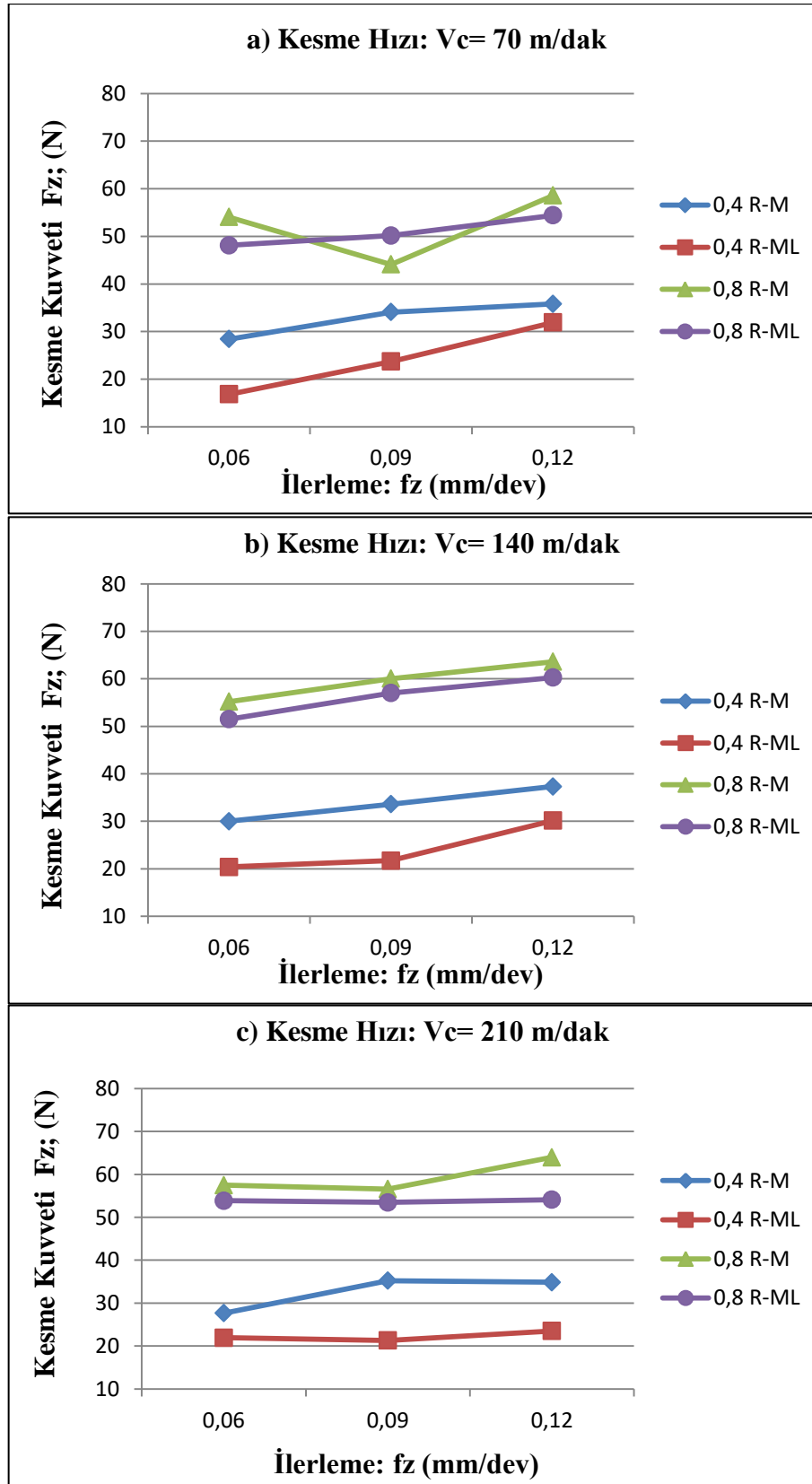




Şekil 6.4. Kesme hızına bağlı olarak “Y” ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti değerlerinin değişimi, a) 0,06 mm/dev ilerleme hızında, b) 0,09 mm/dev ilerleme hızında, c) 0,12 mm/dev ilerleme hızında.

Y ekseninde ölçülen ( $F_y$ ) kuvvetlerinin, kesme hızı değerlerine göre oluşturulan grafikleri değerlendirildiğinde kesme hızı değerlerinin artması ile bazı durumlarda arttığı görülse de genel olarak %11 kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile y eksenindeki kesme kuvvetleri azalmaktadır. Kesme formlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar ile ölçülen kuvvetlerin M formlu takımlara göre genel olarak %15 daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük kesme kuvveti 0,8 R-ML kodlu takımda 210 m/dak kesme hızı değerinde 46,01 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 0,4 R-M kodlu takımda 70 m/dak kesme hızı değerinde 105,01 N olarak ölçülmüştür.

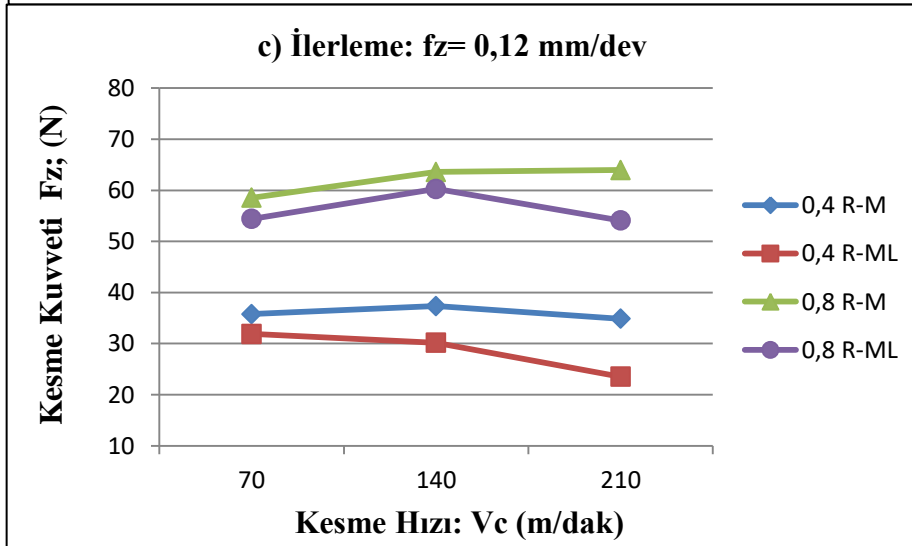
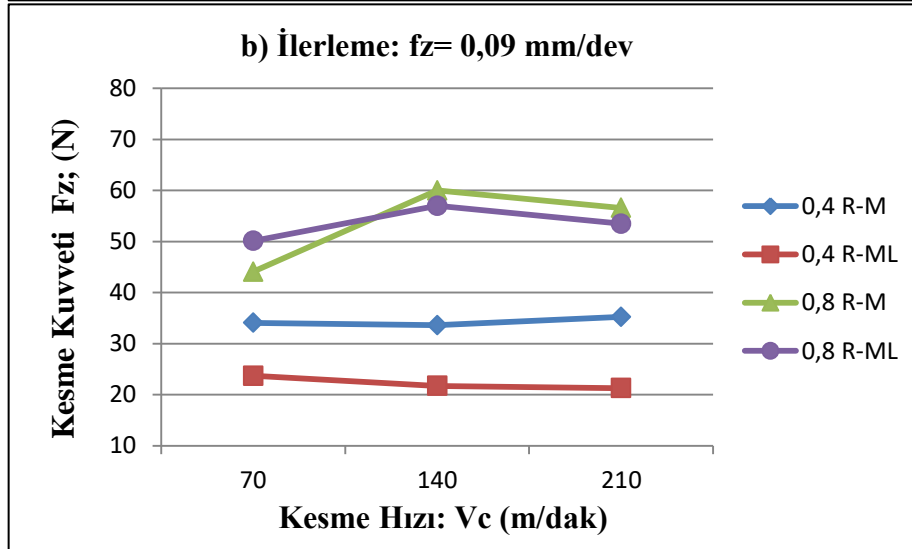
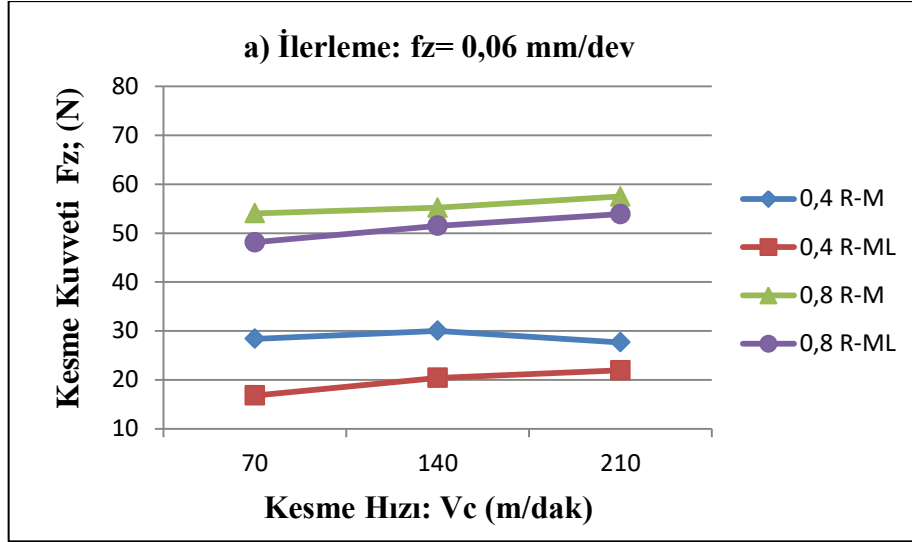




Şekil 6.5. İlerleme hızına bağlı olarak ‘Z’ ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti değerlerinin değişimi, a) 70 m/dak kesme hızında, b) 140 m/dak kesme hızında, c) 210 m/dak kesme hızında.

Z ekseninde ölçülen kuvvetler X ve Y ekseninde ölçülen kuvvetlere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Z ekseninde ölçülen ( $F_z$ ) kuvvetlerinin, ilerleme değerlerine göre oluşturulan grafikleri değerlendirildiğinde ilerleme değerlerinin artması ile yaklaşık olarak %6 kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile z eksenindeki kesme kuvvetleri artmaktadır. Kesme formlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar ile ölçülen kuvvetlerin M formlu takımlara göre yaklaşık olarak %18 daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük kesme kuvveti 0,4 R-ML kodlu takımda 0,06 mm/dev ilerleme değerinde 16,80 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 0,8 R-M kodlu takımda 0,12 mm/dev ilerleme değerinde 63,96 N olarak ölçülmüştür.

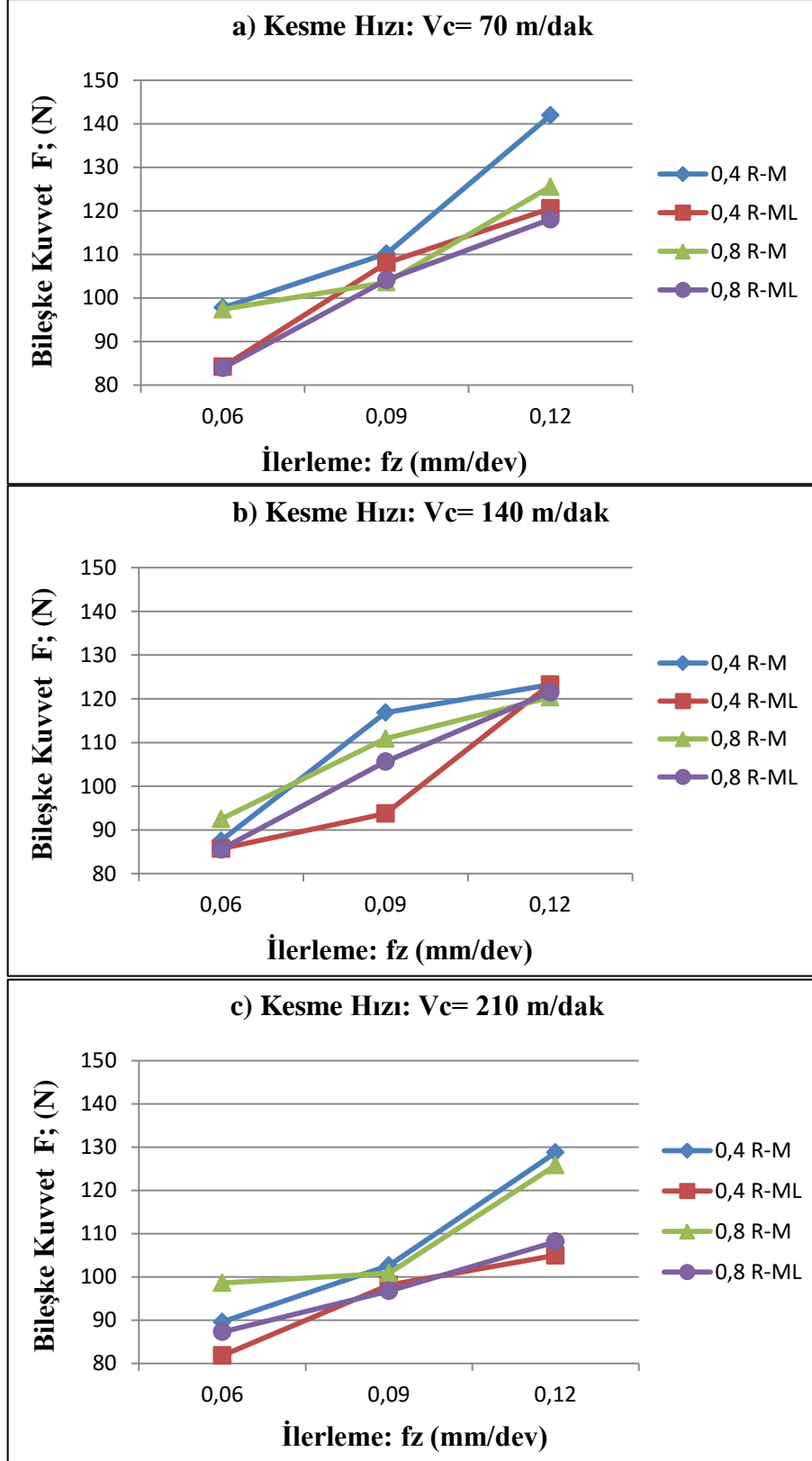




Şekil 6.6. Kesme hızına bağlı olarak "Z" ekseninde tespit edilmiş kesme kuvveti değerlerinin değişimi, a) 0,06 mm/dev ilerleme hızında, b) 0,09 mm/dev ilerleme hızında, c) 0,12 mm/dev ilerleme hızında.

Z ekseninde ölçülen ( $F_z$ ) kuvvetlerinin, kesme hızı değerlerine göre oluşturulan grafikleri değerlendirildiğinde 70 m/dak kesme hızından 140 m/dak kesme hızına arttığında yaklaşık olarak %14 kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. 140 m/dak kesme hızından 210 m/dak kesme hızına arttığında kesme kuvvetlerinin bazı durumlarda arttığı görülse de yaklaşık olarak %11 kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile z eksenindeki kesme kuvvetleri artmaktadır. Kesme formlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar ile ölçülen kuvvetlerin M formlu takımlara göre genel olarak %48 daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük kesme kuvveti 0,4 R-ML kodlu takımda 70 m/dak kesme hızı değerinde 16,80 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 0,8 R-M kodlu takımda 210 m/dak kesme hızı değerinde 63,96 N olarak ölçülmüştür.

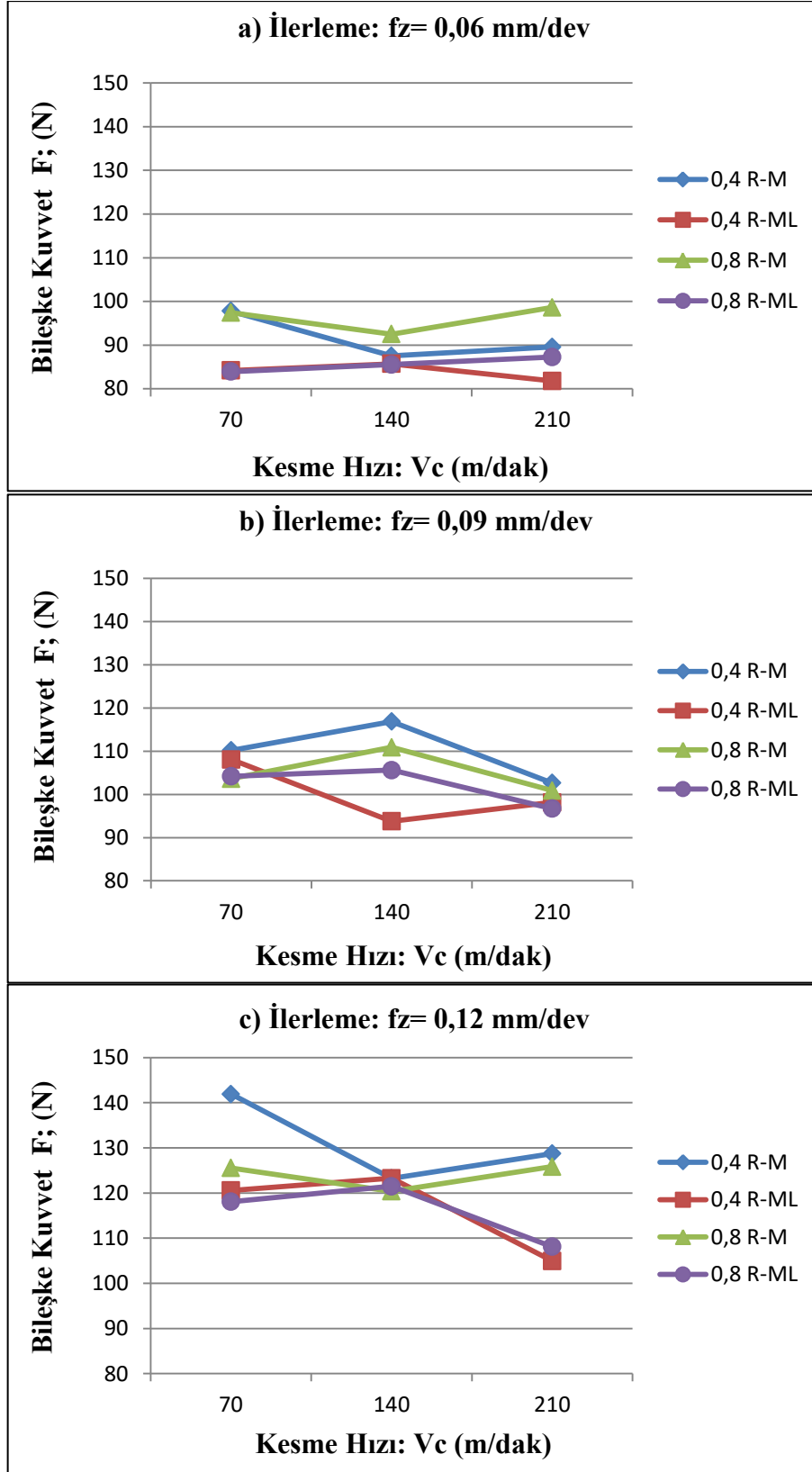




Şekil 6.7. İlerleme hızına bağlı olarak bileşke kesme kuvveti değerlerinin değişimi, a) 70 m/dak kesme hızında, b) 140 m/dak kesme hızında, c) 210 m/dak kesme hızında.

Bileşke kuvvet X, Y ve Z eksenlerinde tespit edilen ortalama kuvvet değerlerinin bileşkesi alınarak hesaplanmıştır. İlerleme değerlerine göre oluşturulan grafikler değerlendirildiğinde ilerleme değerlerinin artması ile yaklaşık olarak %14 bileşke kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile bileşke kuvvet azalmaktadır. Kesme formlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar ile ölçülen kuvvetlerin M formlu takımlara göre yaklaşık olarak %13 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük bileşke kuvvet 0,8 R-ML kodlu takımda 0,06 mm/dev ilerleme değerinde 83,93 N olarak ölçülürken, en yüksek bileşke kuvvet 0,4 R-M kodlu takımda 0,12 mm/dev ilerleme değerinde 141,93 N olarak ölçülmüştür.





Şekil 6.8. Kesme hızına bağlı olarak bileşke kesme kuvveti değerlerinin değişimi, a) 0,06 mm/dev ilerleme hızında, b) 0,09 mm/dev ilerleme hızında, c) 0,12 mm/dev ilerleme hızında.

Bileşke kuvvetlerinin, kesme hızı değerlerine göre oluşturulan grafikleri değerlendirildiğinde 140 m/dak kesme hızında bileşke kuvvetlerin arttığında görülse de genel olarak 70 m/dak kesme hızından 210 m/dak kesme hızına arttığında yaklaşık olarak %10 bileşke kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerinin artması ile bileşke kuvvetleri azalmaktadır. Kesme formlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar ile ölçülen kuvvetlerin M formlu takımlara göre genel olarak %16 daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük bileşke kuvvet 0,4 R-ML kodlu takımda 210 m/dak kesme hızı değerinde 81,78 N olarak ölçülürken, en yüksek bileşke kuvvet 0,4 R-M kodlu takımda 70 m/dak kesme hızı değerinde 141,93 N olarak ölçülmüştür.

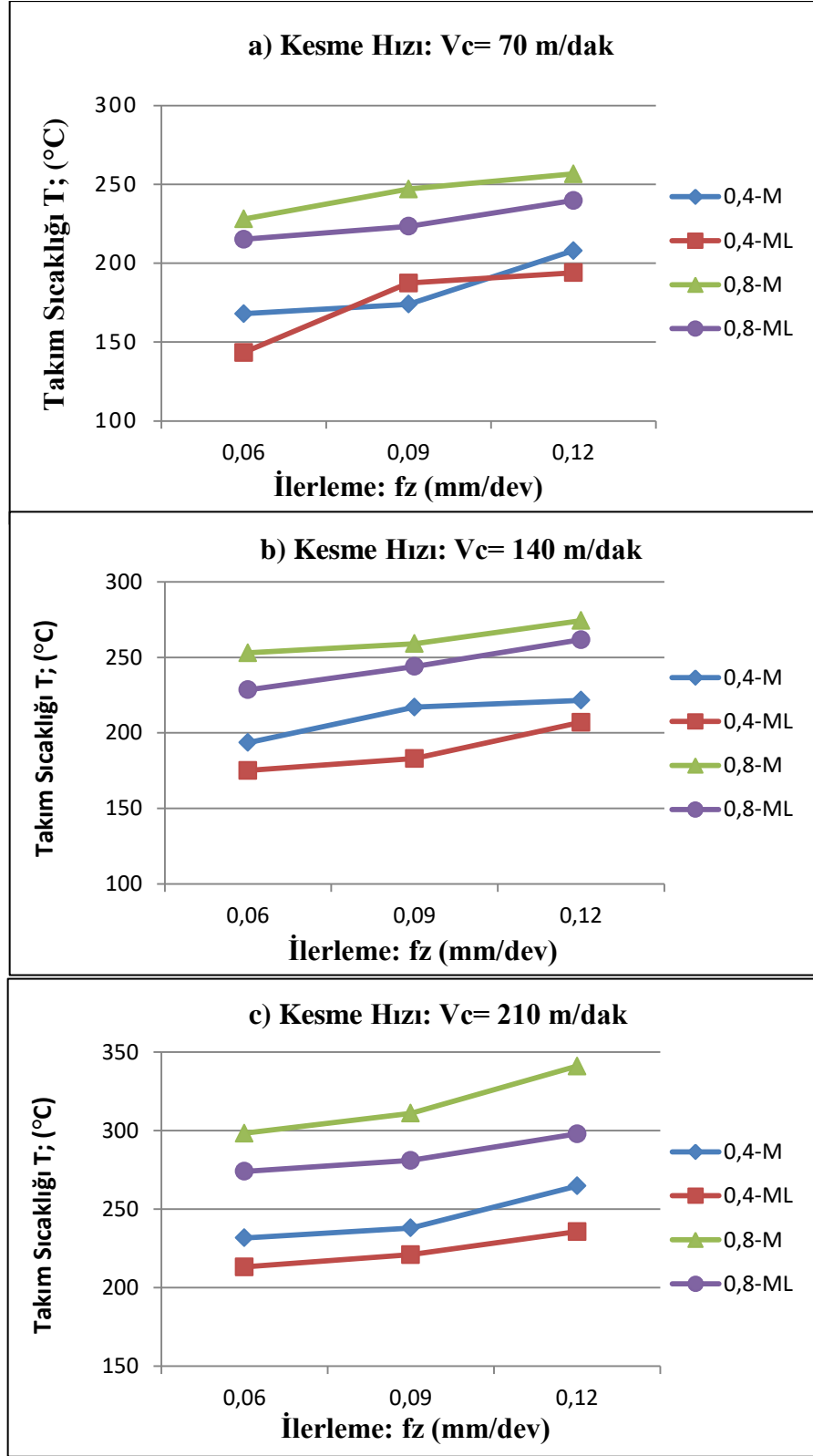
Kesme kuvvetleri grafiklerinin tümü birlikte değerlendirildiğinde genel olarak kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin azaldığı, ilerleme miktarının artması ile de genellikle doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. En düşük kesme kuvvetleri 210 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme değerlerinde ölçülmüştür. Genel olarak keskin yapıya sahip olan ML formlu kesici takımlar ile M formlu kesici takımlara göre daha düşük kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Grafiklerin tamamı incelendiğinde genel olarak 0,8 mm uç radyüslü takımlarla 0,4 mm uç radyüslü kesici takımlara göre daha düşük kesme kuvvetleri ölçülmüştür.

## **6.2. KESME SICAKLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Kesme sıcaklığı için yapılan deneylere ait ölçülen maksimum kesme sıcaklığı değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Grafiklerde ölçülen maksimum kesme sıcaklığı verilerine göre, kesme hızına ve ilerleme değerine bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişimler Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'daki grafiklerde görülmektedir. Kesme hızı ve ilerleme değerinin yanı sıra grafiklerde ayrıca, kesici takım uç radyüsü ve kesici takım kesme formuna bağlı olarak da kesme sıcaklığının nasıl değiştiği görülmektedir. Kuru şartlarda yapılan kesme deneyleri değerlendirildiğinde kesme sıcaklığının 143 °C ve 341 °C aralığında değiştiği görülmektedir.

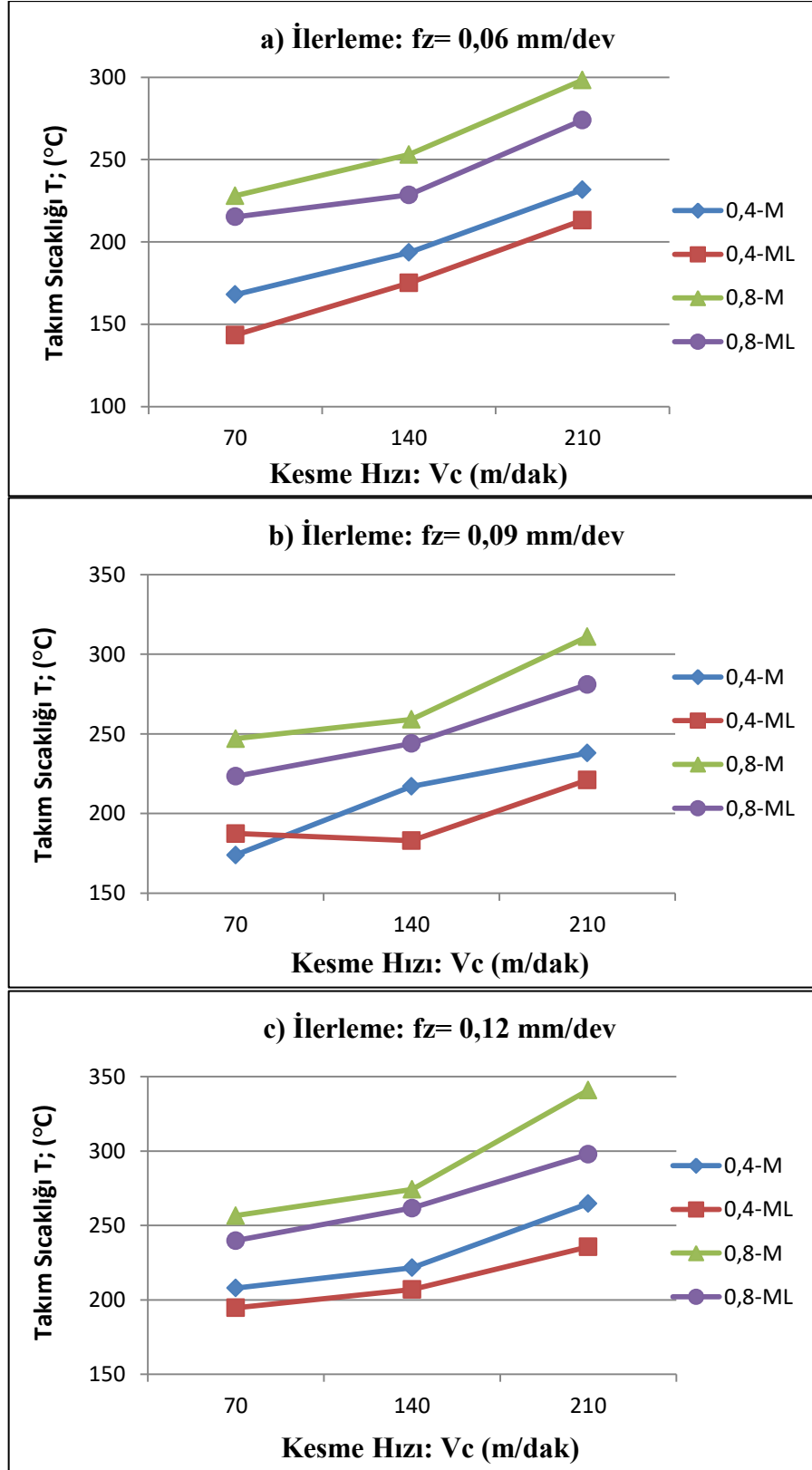
Çizelge 6.2. Takım sıcaklığı tablosu.

| Deney No | Kesici Takım | Kesme Hızı (Vc) m/dak | İlerleme (Fz)mm/dev | Ölçülen En Yüksek Sıcaklık Değeri (Tmax), °C |
|----------|--------------|-----------------------|---------------------|--|
| 1        | 04 R-M       | 70                    | 0,06                | 168,00                                       |
| 2        |              |                       | 0,09                | 174,00                                       |
| 3        |              |                       | 0,12                | 208,00                                       |
| 4        |              | 140                   | 0,06                | 193,60                                       |
| 5        |              |                       | 0,09                | 217,00                                       |
| 6        |              |                       | 0,12                | 221,60                                       |
| 7        |              | 210                   | 0,06                | 231,70                                       |
| 8        |              |                       | 0,09                | 238,00                                       |
| 9        |              |                       | 0,12                | 264,70                                       |
| 10       | 04 R-ML      | 70                    | 0,06                | 143,40                                       |
| 11       |              |                       | 0,09                | 187,40                                       |
| 12       |              |                       | 0,12                | 194,00                                       |
| 13       |              | 140                   | 0,06                | 175,10                                       |
| 14       |              |                       | 0,09                | 183,00                                       |
| 15       |              |                       | 0,12                | 207,00                                       |
| 16       |              | 210                   | 0,06                | 213,20                                       |
| 17       |              |                       | 0,09                | 221,00                                       |
| 18       |              |                       | 0,12                | 235,70                                       |
| 19       | 08 R-M       | 70                    | 0,06                | 228,00                                       |
| 20       |              |                       | 0,09                | 247,00                                       |
| 21       |              |                       | 0,12                | 256,60                                       |
| 22       |              | 140                   | 0,06                | 253,00                                       |
| 23       |              |                       | 0,09                | 259,10                                       |
| 24       |              |                       | 0,12                | 274,30                                       |
| 25       |              | 210                   | 0,06                | 298,30                                       |
| 26       |              |                       | 0,09                | 311,00                                       |
| 27       |              |                       | 0,12                | 341,00                                       |
| 28       | 08 R-ML      | 70                    | 0,06                | 215,20                                       |
| 29       |              |                       | 0,09                | 223,40                                       |
| 30       |              |                       | 0,12                | 239,80                                       |
| 31       |              | 140                   | 0,06                | 228,50                                       |
| 32       |              |                       | 0,09                | 244,00                                       |
| 33       |              |                       | 0,12                | 261,70                                       |
| 34       |              | 210                   | 0,06                | 274,00                                       |
| 35       |              |                       | 0,09                | 281,00                                       |
| 36       |              |                       | 0,12                | 297,90                                       |



Şekil 6.9. İlerleme hızına bağlı olarak takım sıcaklığının değişimi, a) 70 m/dak kesme hızında, b) 140 m/dak kesme hızında, c) 210 m/dak kesme hızında.

İlerleme hızına bağlı olarak bir değerlendirme yapıldığında, ilerleme değerinin artması ile bütün takımlarda kesme sıcaklığının arttığı görülmektedir. İlerleme hızının artmasına bağlı olarak kesici takımın bir devirde kesmeye çalıştığı talaş kesit alanı artar. Kesici takım artan talaş kesitini koparmak için daha büyük kesme kuvvetine maruz kalır. Bu durum daha büyük bir enerjinin ortaya çıkmasına ve bu enerjinin de kesme sıcaklığı ile doğru orantılı olduğu söylenebilir [51]. Grafiklerde dikkati çeken bir diğer husus, kesici takım uç radyüsünün artması ile kesme sıcaklığının artmasıdır. Gök ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, takım burun yarıçapı arttıkça, takım iş parçası üzerinde daha fazla temas alanı oluşacağı ifade edilmiştir. Daha fazla temas alanının da takım-talaş-iş parçası arasındaki sürtünmeyi artıracığı, bu durumun da kesme sıcaklığının artması ile sonuçlanacağı bildirilmiştir [52]. Kesici takım kesme formlarının sıcaklık üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımların M formlu takımlara göre daha düşük kesme sıcaklığı oluşturduğu görülmektedir. Bu sonuç, kesme kuvveti sonuçları ile ilişkilendirilebilir. ML formlu takım M formlu takıma göre daha keskin ve sivri bir yapıya sahiptir. Bu sayede kesme işlemi esnasında daha düşük kuvvetle ve daha az zorlanma ile kesme işlemi yapılmaktadır. Rahat kesen ve daha az zorlanan takım daha düşük sürtünme kuvveti oluşturacağından ortaya çıkaracağı enerji doğru orantılı olarak düşmektedir. Bu durumun daha düşük kesme sıcaklığı oluşturduğu söylenebilir. En düşük kesme sıcaklığı 0,4 uç radyüslü ve ML formlu takımında 0,06 mm/dev ilerleme hızında 143,40 °C ölçülürken, en yüksek kesme sıcaklığı 0,8 uç radyüslü ve M formlu takımında 0,12 mm/dev ilerleme hızında 341 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.10. Kesme hızına bağlı olarak takım sıcaklığının değişimi, a) 0,06 mm/dev ilerleme hızında, b) 0,09 mm/dev ilerleme hızında, c) 0,12 mm/dev ilerleme hızında.

Kesme hızlarına göre oluşturulan kesme sıcaklığı grafikleri Şekil 6.10'da verilmektedir. Grafikler incelendiğinde tüm ilerleme hızı değerleri için artan kesme hızı ile birlikte kesme sıcaklığının arttığı görülmektedir. Özellikle tornalama ve frezeleme işlemlerinde, kesme hızının artması ile takım-talaş ara yüzeyinde sıcaklığın arttığı bilinmektedir. Bu durum; artan kesme hızı ile birlikte birinci deformasyon bölgesinde sürtünme enerjisinin artması sonucunda bu enerjinin hemen hemen tamamına yakın bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesine atfedilebilmektedir [53]. Artan kesme hızı kayma düzlemindeki şekil değiştirme hızını doğrudan etkilemektedir. Birinci deformasyon bölgesindeki şekil değiştirme hızının artması talaş kaldırma esnasında yüksek ısı oluşumuna neden olmaktadır. Bunun sonucunda, takım-talaş temas boyunca (ikinci deformasyon bölgesi) oluşan sıcaklık artmaktadır. Çünkü artan kesme hızına bağlı olarak birinci deformasyon bölgesindeki şekil değiştirme hızı da artmakta ve yüksek şekil değiştirme hızı, talaş kaldırma esnasında yüksek ısı oluşumuna neden olmakta ve bu nedenle sıcaklık artmaktadır [54]. Yine kesici takım uç radyüsünün artması ile kesme sıcaklığının arttığı görülmektedir. Kesme formlarına bakıldığında ML formlu takımlar ile yapılan deneylerde M formlu takımlar ile yapılan deneylere göre daha düşük kesme sıcaklığı ölçüldüğü görülmektedir. En düşük kesme sıcaklığı 70 m/dak kesme hızında 0,4 uç radyüslü ve ML formlu takım ile 143,40 °C ölçülürken, en yüksek kesme sıcaklığı ise 210 m/dak kesme hızında 0,8 uç radyüslü ve M formlu kesici takım ile yapılan deneyde 341 °C olarak ölçülmüştür.

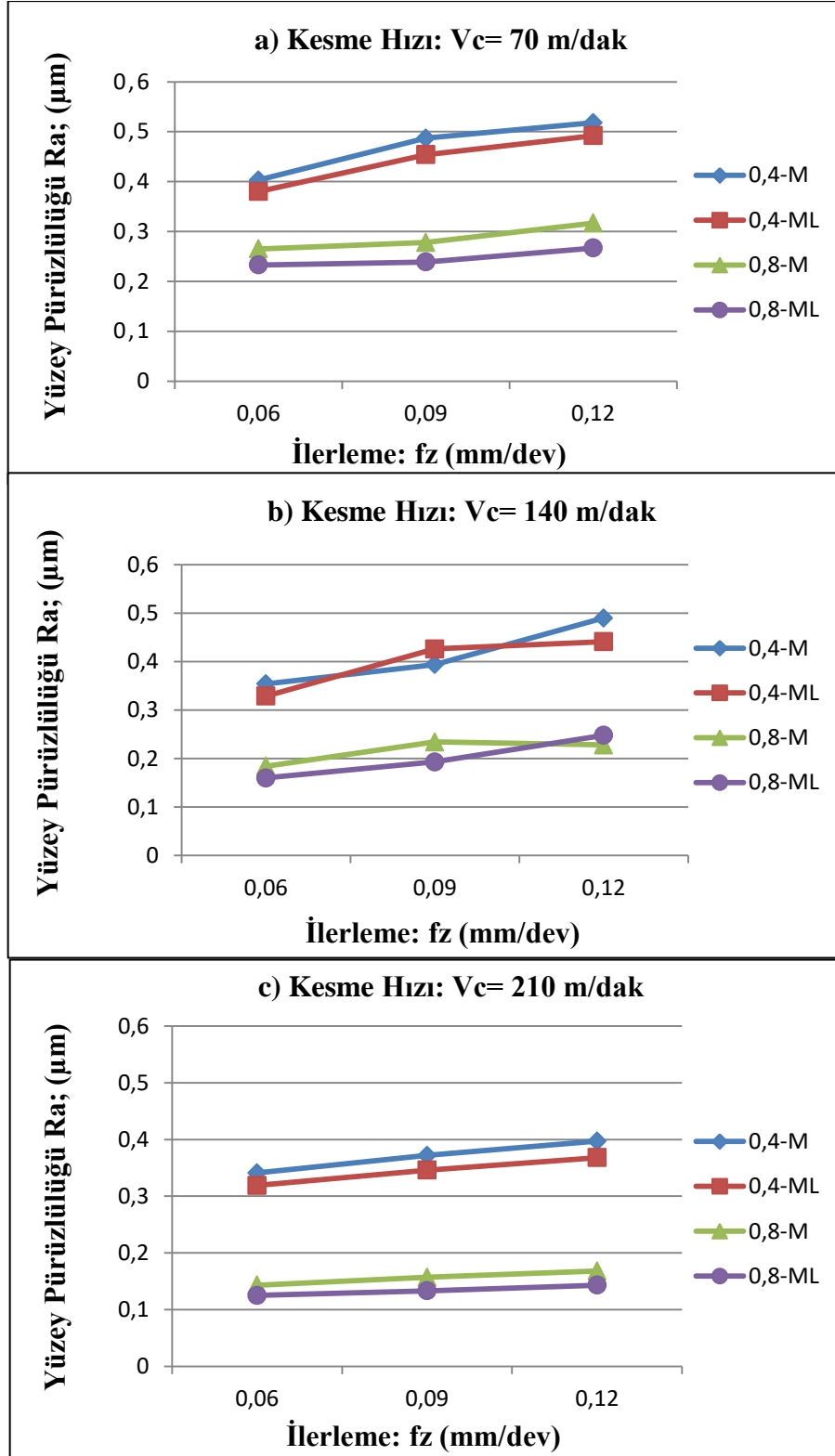
Genel olarak kesme sıcaklıkları değerlendirildiğinde en düşük kesme hızlarında ve en düşük ilerleme değerlerinde kesme sıcaklıklarının en düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Kesici takımlar değerlendirildiğinde ise ML formlu ve 0,4 mm uç radyüslü kesici takımlar ile en düşük kesme sıcaklıklarında frezeleme deneylerinin gerçekleştirildiği görülmüştür.

### **6.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ**

17-4 ph paslanmaz çeliğinin frezeleme deneyleri sonrasında, ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 6.3'te verilmiştir. Kesici takım uç formlarına, uç radyüslerine ve kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin değişimleri Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir. Grafiklere bakıldığında, yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin 0,125 µm ile 0,518 µm aralığında değiştiği görülmektedir.

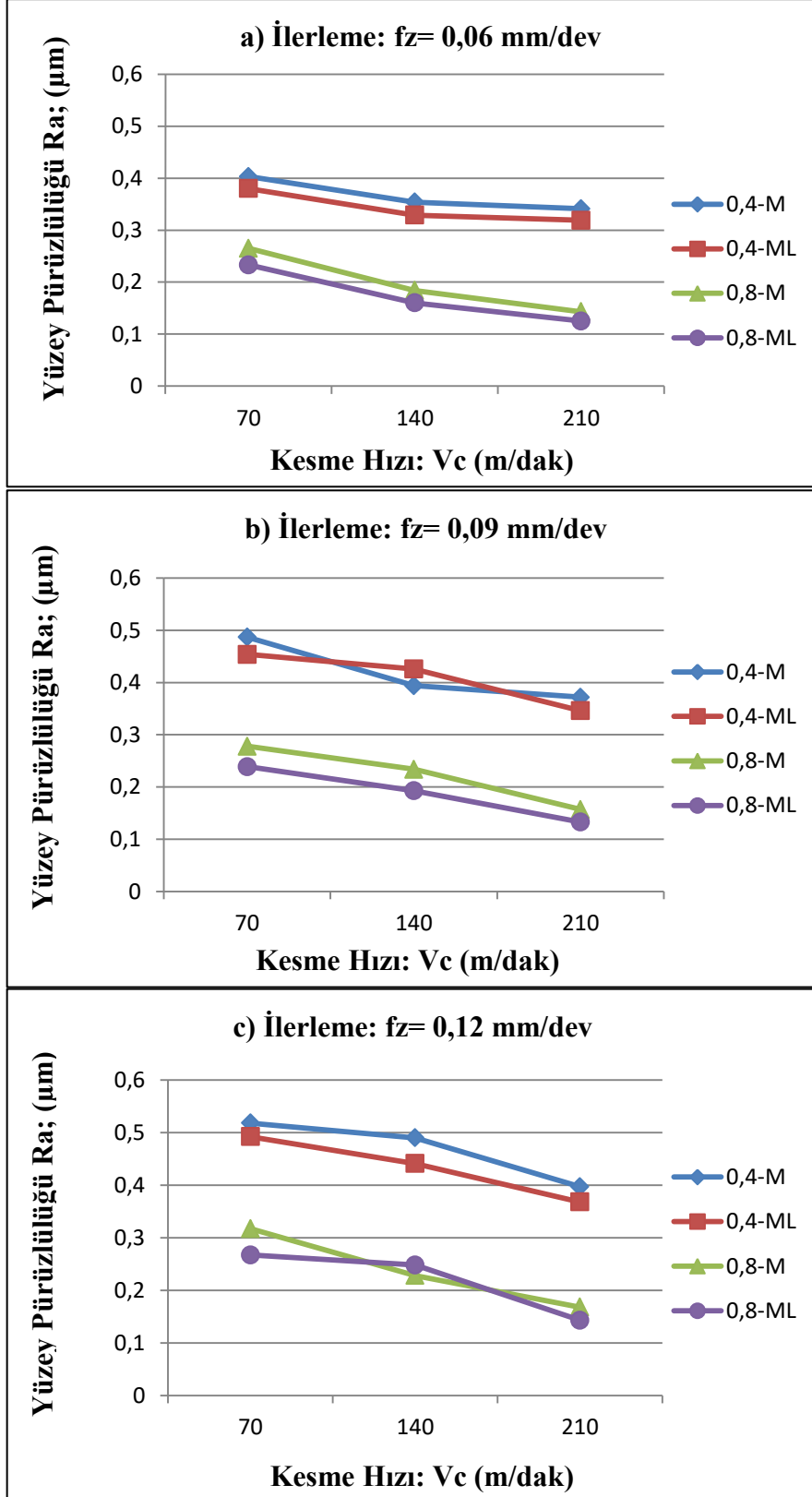
Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü tablosu.

| Deney No | Kesici Takım | Kesme Hızı (Vc) m/dak | İlerleme (Fz)mm/dev | Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra), $\mu\text{m}$ |
|----------|--------------|-----------------------|---------------------|---|
| 1        | 0,4 R-M      | 70                    | 0,06                | 0,403   |
| 2        |              |                       | 0,09                | 0,487   |
| 3        |              |                       | 0,12                | 0,518   |
| 4        |              | 140                   | 0,06                | 0,354   |
| 5        |              |                       | 0,09                | 0,394   |
| 6        |              |                       | 0,12                | 0,490   |
| 7        |              | 210                   | 0,06                | 0,341   |
| 8        |              |                       | 0,09                | 0,372   |
| 9        |              |                       | 0,12                | 0,397   |
| 10       | 0,4 R-ML     | 70                    | 0,06                | 0,380   |
| 11       |              |                       | 0,09                | 0,454   |
| 12       |              |                       | 0,12                | 0,492   |
| 13       |              | 140                   | 0,06                | 0,329   |
| 14       |              |                       | 0,09                | 0,426   |
| 15       |              |                       | 0,12                | 0,441   |
| 16       |              | 210                   | 0,06                | 0,319   |
| 17       |              |                       | 0,09                | 0,346   |
| 18       |              |                       | 0,12                | 0,368   |
| 19       | 0,8 R-M      | 70                    | 0,06                | 0,265   |
| 20       |              |                       | 0,09                | 0,278   |
| 21       |              |                       | 0,12                | 0,317   |
| 22       |              | 140                   | 0,06                | 0,184   |
| 23       |              |                       | 0,09                | 0,234   |
| 24       |              |                       | 0,12                | 0,228   |
| 25       |              | 210                   | 0,06                | 0,143   |
| 26       |              |                       | 0,09                | 0,157   |
| 27       |              |                       | 0,12                | 0,168   |
| 28       | 0,8 R-ML     | 70                    | 0,06                | 0,233   |
| 29       |              |                       | 0,09                | 0,239   |
| 30       |              |                       | 0,12                | 0,267   |
| 31       |              | 140                   | 0,06                | 0,16  |
| 32       |              |                       | 0,09                | 0,193   |
| 33       |              |                       | 0,12                | 0,248   |
| 34       |              | 210                   | 0,06                | 0,125   |
| 35       |              |                       | 0,09                | 0,133   |
| 36       |              |                       | 0,12                | 0,143   |



Şekil 6.11. İlerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi, a) 70 m/dak kesme hızında, b) 140 m/dak kesme hızında, c) 210 m/dak kesme hızında.

Genel olarak tüm kesme parametrelerinde artan ilerleme miktarı ile bütün takımlarda yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin arttığı görülmektedir. İlerleme miktarı arttıkça bir devirde kopartılan talaş boyutu ve birinci deformasyon bölgesinde bulunan kayma düzlemi alanı artacaktır. Bu da kesici takıma gelen yükün artması ve kesici takımın kesme işlemini yaparken zorlanması anlamına gelmektedir. Sonuç olarak ilerlemenin artmasıyla işlenen yüzeyde kalıcı gerilmeler artacağından, Ra değerlerinde artışın olması beklenen bir sonuçtur [55]. Bir diğer sonuç da ilerleme miktarı arttıkça iş parçası üzerindeki takım izleri arasındaki mesafenin artmasına ve yüzey pürüzlülüğü değerinin yüksek okunmasına neden olduğu düşünülmektedir. Kesici uç radyüslerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi incelendiğinde artan uç radyüsü ile yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin azaldığı grafikler üzerinde görülmektedir. Bu durum, kesici takım uç radyüsünün artmasıyla birlikte azalan kesilmemiş talaş kalınlığına bağlı talaş oluşumu ile açıklanabilir [55]. Kesici takım uç radyüsünün artması ile takım iş parçası temas alanı artacağından talaş kaldırma sırasında kesici takım izleri büyük çıkmaktadır. Takım izlerinin büyümesi yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin düşük okunmasına neden olduğu düşünülmektedir. Kesici takım kesme formlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelendiğinde ML formlu takımlar M formlu takımlara göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) oluşturduğu görülmektedir. Bunun nedeni daha keskin formlu ML kesici takım M formlu kesici takıma göre keskinliğinden dolayı daha düşük kuvvet ile kesme işlemi gerçekleştirmektedir. Kesici takım rahat ve düşük kuvvetle kesme işlemi yaptığı için kesme bölgesindeki talaşı malzemeden daha rahat keserek uzaklaştırmakta ve daha iyi bir yüzey kalitesi oluşturmaktadır. En düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri 0,8 mm uç radyüslü ve ML formlu takımda 0,06 mm/dev ilerleme değerinde 0,125  $\mu\text{m}$  olarak belirlenirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri ise 0,4 mm uç radyüslü ve M formlu kesici takımda 0,12 mm/dev ilerleme değerinde 0,518  $\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.12. Kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi, a) 0,06 mm/dev ilerleme hızında, b) 0,09 mm/dev ilerleme hızında, c) 0,12 mm/dev ilerleme hızında.

Kesme hızlarına göre oluşturulan grafikler incelendiğinde tüm ilerleme değerleri için artan kesme hızıyla birlikte bütün takımlarda yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Kesme hızının artmasıyla artan sıcaklığa bağlı olarak kesme bölgesinde deformasyon ve talaş akışı kolaylaşacağından buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin düşmesi, beklenen bir sonuçtur [56], [57]. Bu durum daha rahat bir talaş kaldırma işlemi ile düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin oluşması olarak özetlenmektedir. Kesici takım uç radyüsünün artması ile yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin azaldığı görülmüştür. Yine kesme hızlarına göre oluşturulan grafiklerde de ML formlu takımlarda en düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri 0,8 mm uç radyüslü ve ML formlu takımında 210 m/dak kesme hızında 0,125  $\mu\text{m}$  olarak belirlenirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri ise, 0,4 mm uç radyüslü ve M formlu takımında 70 m/dak kesme hızında 0,518  $\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir.

Genel olarak en yüksek kesme hızlarında ve en düşük ilerleme değerlerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşılmıştır. Kesici takım kesme formlarının ve uç radyüslerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü ML formlu ve 0,8 mm uç radyüslü kesici takımlar ile elde edilmiştir.

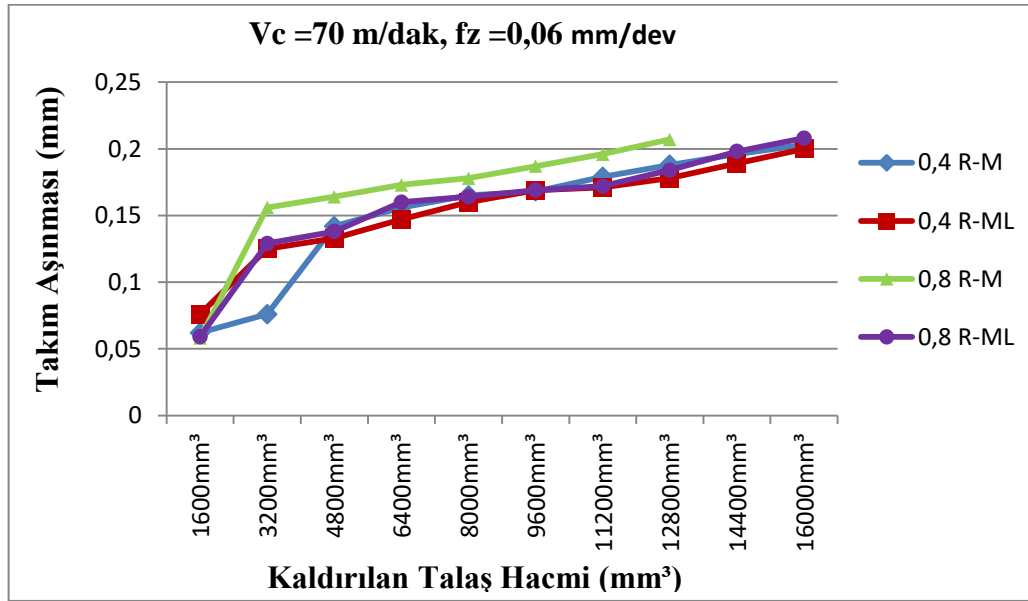
#### **6.4. KESİCİ TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Takım aşınması, talaşlı imalatta karşılaşılan en büyük sorunlardan biridir. Aşınan kesici takım, işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü arttırmakla birlikte, iş parçasının bütünlüğünü bozmaktadır. Kesici takımdaki aşınma kesme kuvvetlerini artırır. Kesme kuvvetlerinin artması sonucu daha fazla güce ihtiyaç duyulur. Kesici takım aşınmasına en büyük etken sürtünme ve kesme sıcaklığıdır. Kesici takım firmaları bu aşınmaları azaltmak ve daha ekonomik talaşlı imalat işlemleri yapmak için sürekli arge çalışmaları yapmaktadır. Kesme formları da ekonomik işleme çalışmalarından bir tanesidir.

Yapılan bu çalışmada farklı kesme parametrelerine, farklı kesici uç radyüsüne ve farklı kesme formlarına göre takım aşınması deneyleri yapılmıştır. Deneylerde iki farklı kesme formu (M ve ML), iki farklı uç radyüsü (0,4 ve 0,8 mm), üç farklı kesme hızı (70, 140 ve 210 m/dak), iki farklı ilerleme (0,06 ve 0,12 mm/dev) kullanılmıştır.



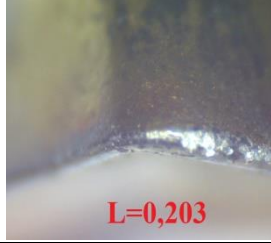
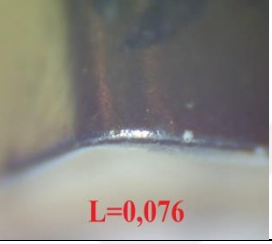
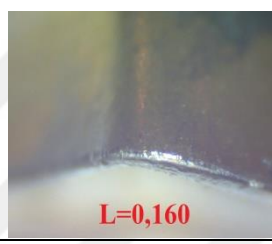
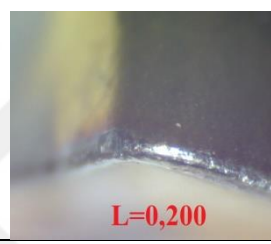
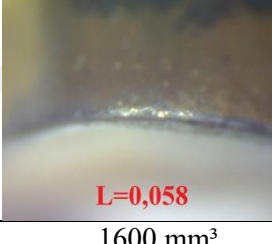
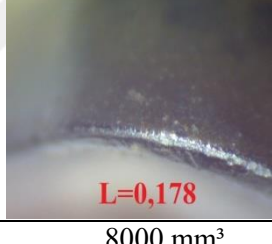

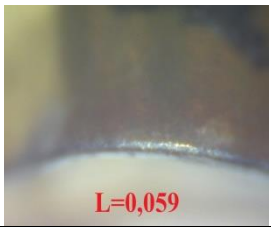
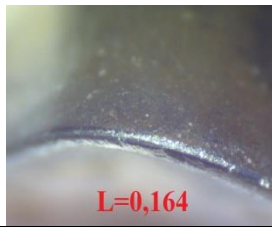
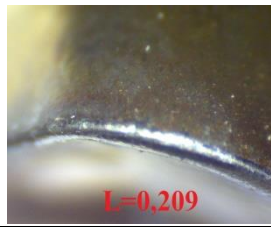
Aşınma deneyleri 0,2 mm kesici takım aşınma değeri bulununcaya kadar devam edilmiştir. İşleme miktarı 1600 mm<sup>3</sup> ile 16000 mm<sup>3</sup> arasında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda takımlarda oluşan aşınmalar incelenmiştir.

İşleme miktarları sonucunda aşınma değerleri mikroskop cihazı ile ölçülmüştür. Bütün kesme parametrelerinde ölçülen aşınma değerlerini işleme miktarlarına göre gösteren grafikler Şekil 6.13 ve Şekil 6.18’de gösterilmiştir. Ayrıca aşınmış kesici uçların işleme miktarlarına göre fotoğrafları Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.9’da verilmiştir.



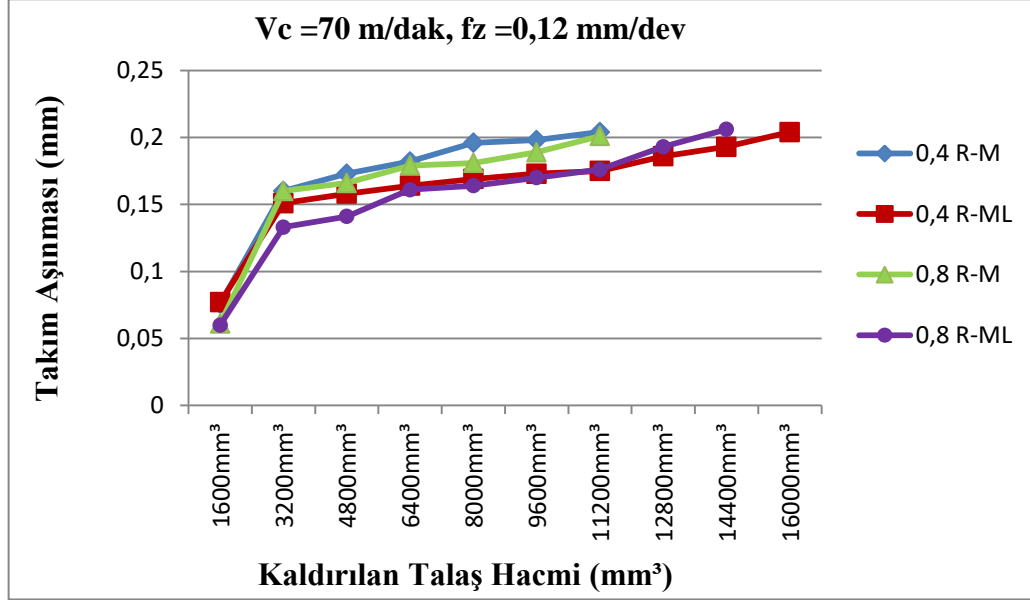
Şekil 6.13. 70 m/dak ve 0,06 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi.

Çizelge 6.4. Kesici takımların 70 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

| Vc =70 m/dak, fz =0,06 mm/dev |   |   |   |
|-------------------------------|---|---|---|
|                               | 1600 mm <sup>3</sup>  | 8000 mm <sup>3</sup>  | 16000 mm <sup>3</sup>   |
| 0,4 R-M                       |  L=0,062   |  L=0,165   |  L=0,203   |
|                               | 1600 mm <sup>3</sup>  | 8000 mm <sup>3</sup>  | 16000 mm <sup>3</sup>   |
| 0,4 R-ML                      |  L=0,076   |  L=0,160   |  L=0,200   |
|                               | 1600 mm <sup>3</sup>  | 8000 mm <sup>3</sup>  | 12800 mm <sup>3</sup>   |
| 0,8 R-M                       |  L=0,058 |  L=0,178 |  L=0,207 |
|                               | 1600 mm <sup>3</sup>  | 8000 mm <sup>3</sup>  | 16000 mm <sup>3</sup>   |
| 0,8 R-ML                      |  L=0,059 |  L=0,164 |  L=0,209 |


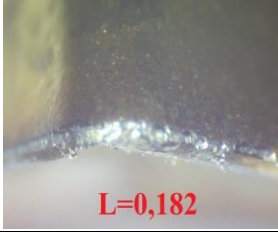
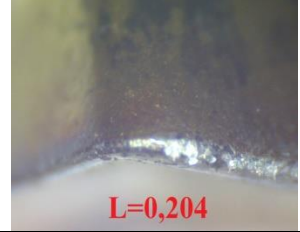


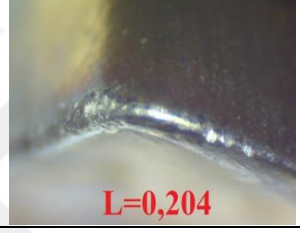
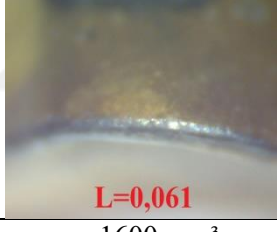

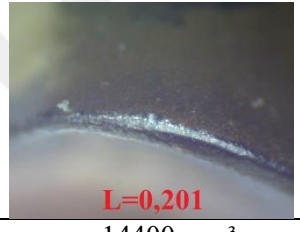

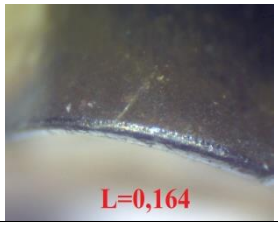
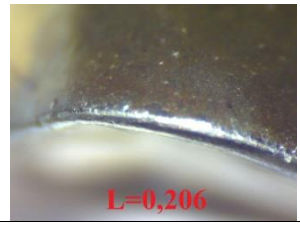
Şekil 6.13'de 70 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme değerinde yapılan takım aşınması deneyinde 0,4 mm ve 0,8 mm uç radyüslü, M ve ML kesme formulu takımlar ile yapılan deneylerde takım aşınması incelenmiştir. Grafiklerde 0,8 radyüslü M formulu takım ile 12800 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş hacmi ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. Diğer bütün takımlar ile 16000 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. Kesme formlarına göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-ML kodlu takım 0,4 R-M kodlu takıma göre %1,5 daha az aşındığı grafik üzerinde görülmektedir.

0,8 R-ML kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %32,5 daha az aşındığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerine göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-M kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %22 daha az aşındığı görülmektedir. 0,4 R-ML kodlu takım 0,8 R-ML kodlu takıma göre %4 oranında daha az aşındığı görülmektedir.



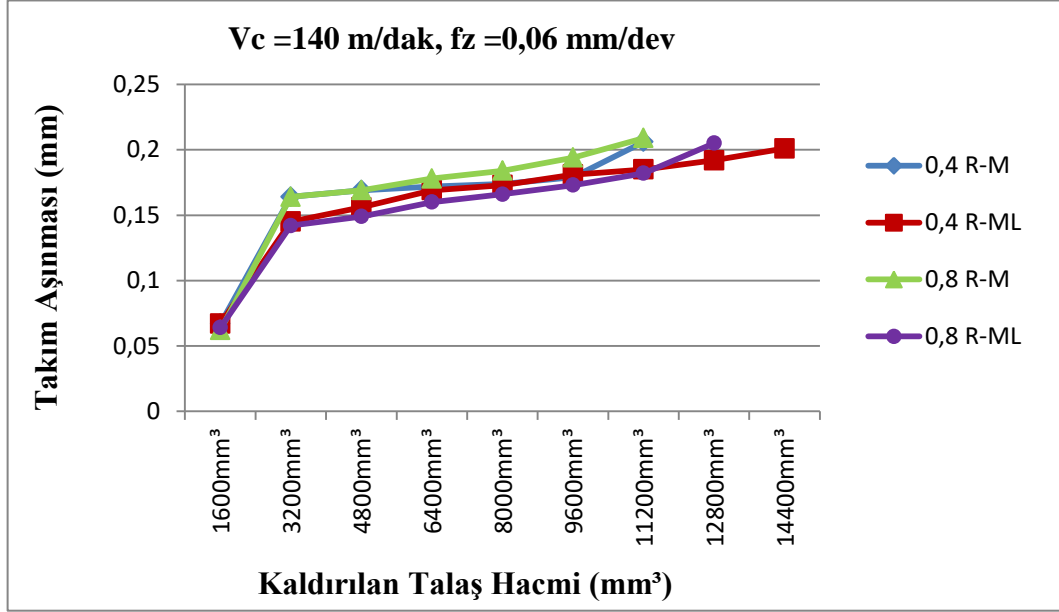
Şekil 6.14. 70 m/dak ve 0,12 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi.

Çizelge 6.5. Kesici takımların 70 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

| Vc =70 m/dak, fz =0,12 mm/dev |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|
|                               | 1600 mm <sup>3</sup>   | 6400 mm <sup>3</sup>   | 11200 mm <sup>3</sup>  |
| 0,4 R-M                       | <br>L=0,076   | <br>L=0,182   | <br>L=0,204   |
|                               | 1600 mm <sup>3</sup>   | 8000 mm <sup>3</sup>   | 16000 mm <sup>3</sup>  |
| 0,4 R-ML                      | <br>L=0,077  | <br>L=0,169  | <br>L=0,204  |
|                               | 1600 mm <sup>3</sup>   | 6400 mm <sup>3</sup>   | 11200 mm <sup>3</sup>  |
| 0,8 R-M                       | <br>L=0,061 | <br>L=0,179 | <br>L=0,201 |
|                               | 1600 mm <sup>3</sup>   | 8000 mm <sup>3</sup>   | 14400 mm <sup>3</sup>  |
| 0,8 R-ML                      | <br>L=0,060 | <br>L=0,164 | <br>L=0,206 |



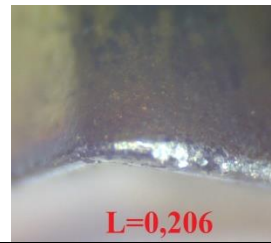
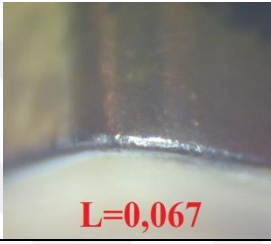
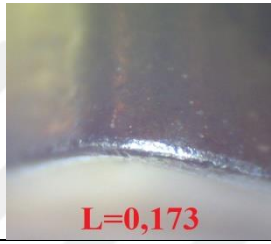
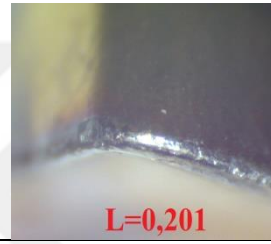
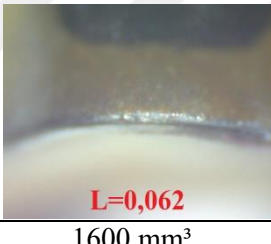
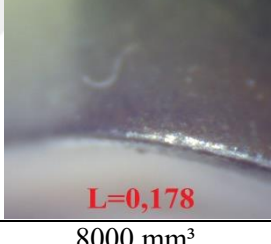
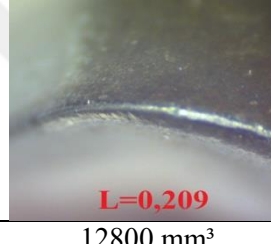
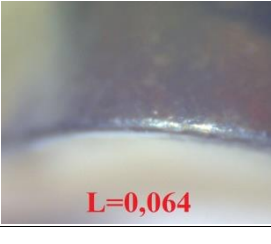
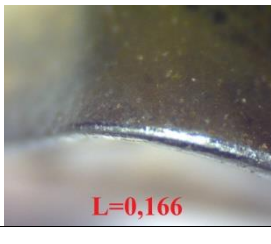
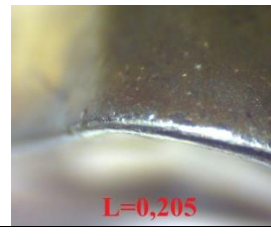
Şekil 6.14'de 70 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme değerinde yapılan takım aşınması deneyinde 0,4 mm ve 0,8 mm uç radyüslü, M ve ML kesme formulu takımlar ile yapılan deneylerde takım aşınması incelenmiştir. Grafiklerde 0,4 R-M ve 0,8 R-M kodlu takımlar ile 11200 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. 0,4 R-ML kodlu takım ile 16000 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. 0,8 R-ML kodlu takım ile 14400 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. Kesme formlarına göre takım aşınmasına bakıldığında

0,4 R-ML kodlu takım 0,4 R-M kodlu takıma göre %30 daha az aşındığı grafik üzerinde görülmektedir. 0,8 R-ML kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %22,4 daha az aşındığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerine göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-M kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %1,5 daha fazla aşındığı görülmektedir. 0,4 R-ML kodlu takım 0,8 R-ML kodlu takıma göre %11 daha az aşındığı görülmektedir.



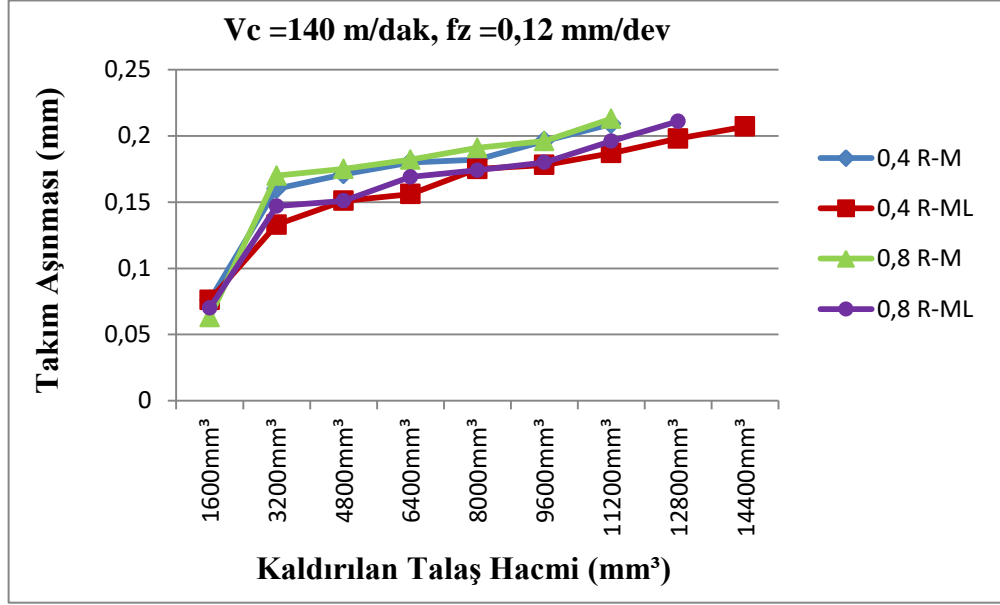
Şekil 6.15. 140 m/dak ve 0,06 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi.

Çizelge 6.6. Kesici takımların 140 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

| Vc =140 m/dak, fz =0,06 mm/dev |  |   |  |
|--------------------------------|--|---|--|
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>   | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>  |
| 0,4 R-M                        | <br>L=0,067   | <br>L=0,172   | <br>L=0,206   |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>   | 8000 mm <sup>3</sup>  | 14400 mm <sup>3</sup>  |
| 0,4 R-ML                       | <br>L=0,067   | <br>L=0,173   | <br>L=0,201   |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>   | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>  |
| 0,8 R-M                        | <br>L=0,062 | <br>L=0,178 | <br>L=0,209 |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>   | 8000 mm <sup>3</sup>  | 12800 mm <sup>3</sup>  |
| 0,8 R-ML                       | <br>L=0,064 | <br>L=0,166 | <br>L=0,205 |

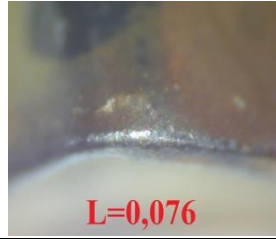
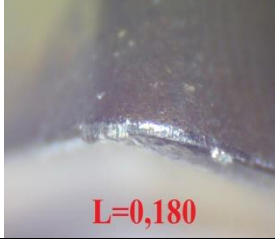




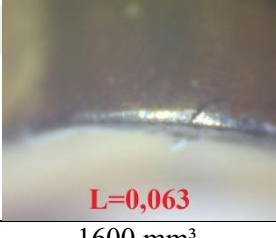
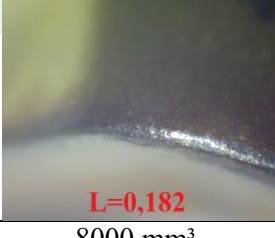

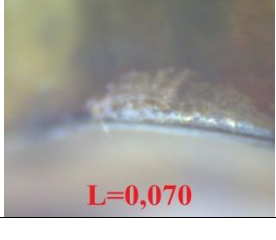
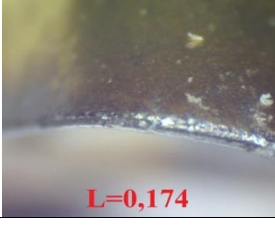

Şekil 6.15'de 140 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme değerinde yapılan takım aşınması deneyinde 0,4 mm ve 0,8 mm uç radyüslü, M ve ML kesme formulu takımlar ile yapılan deneylerde takım aşınması incelenmiştir. Grafiklerde 0,4 R-M ve 0,8 R-M kodlu takımlar ile 11200 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. 0,4 R-ML kodlu takım ile 14400 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. 0,8 R-ML kodlu takım ile 12800 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. Kesme formlarına göre takım aşınmasına bakıldığında

0,4 R-ML kodlu takım 0,4 R-M kodlu takıma göre %22,5 daha az aşındığı grafik üzerinde görülmektedir. 0,8 R-ML kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %12 daha az aşındığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerine göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-M kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %1,5 daha az aşındığı görülmektedir. 0,4 R-ML kodlu takım 0,8 R-ML kodlu takıma göre %12 daha az aşındığı görülmektedir.



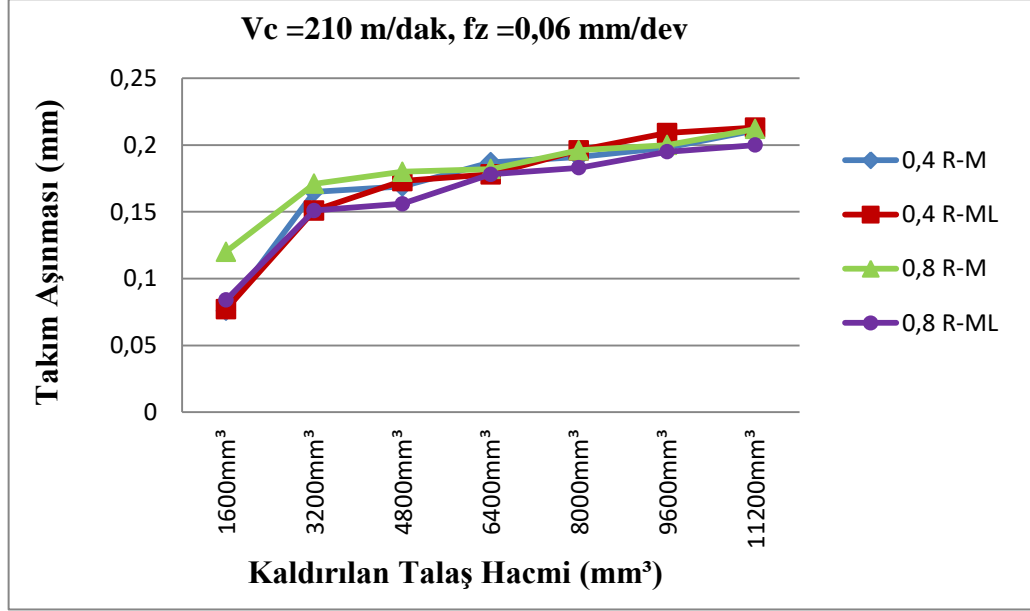
Şekil 6.16. 140 m/dak ve 0,12 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi

Çizelge 6.7. Kesici takımların 140 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

| Vc =140 m/dak, fz =0,12 mm/dev |   |  |   |
|--------------------------------|---|--|---|
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>  | 6400 mm <sup>3</sup>   | 11200 mm <sup>3</sup>   |
| 0,4 R-M                        | <br><b>L=0,076</b>   | <br><b>L=0,180</b>   | <br><b>L=0,209</b>   |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>  | 8000 mm <sup>3</sup>   | 14400 mm <sup>3</sup>   |
| 0,4 R-ML                       | <br><b>L=0,076</b>  | <br><b>L=0,175</b>  | <br><b>L=0,207</b>  |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>  | 6400 mm <sup>3</sup>   | 11200 mm <sup>3</sup>   |
| 0,8 R-M                        | <br><b>L=0,063</b> | <br><b>L=0,182</b> | <br><b>L=0,213</b> |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>  | 8000 mm <sup>3</sup>   | 12800 mm <sup>3</sup>   |
| 0,8 R-ML                       | <br><b>L=0,070</b> | <br><b>L=0,174</b> | <br><b>L=0,211</b> |

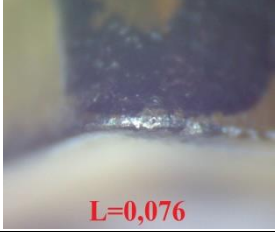



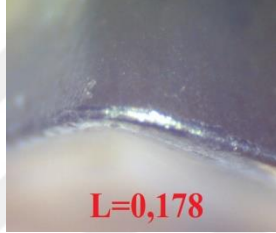
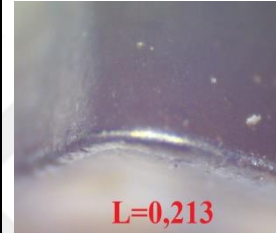
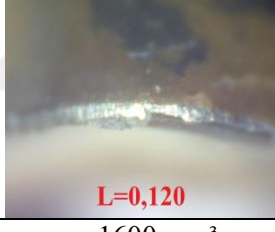
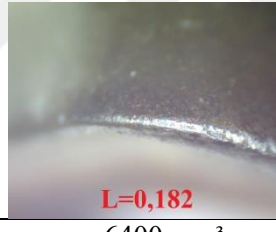
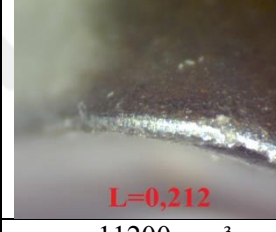
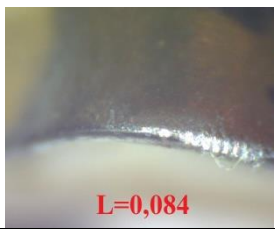
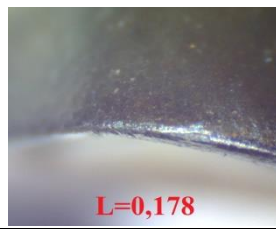
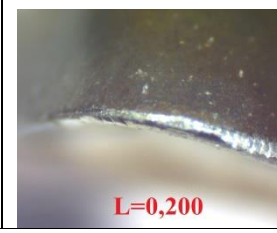
Şekil 6.16'da 140 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme değerinde yapılan takım aşınması deneyinde 0,4 mm ve 0,8 mm uç radyüslü, M ve ML kesme formulu takımlar ile yapılan deneylerde takım aşınması incelenmiştir. Grafiklerde 0,4 R-M ve 0,8 R-M kodlu takımlar ile 11200 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. 0,4 R-ML kodlu takım ile 14400 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. 0,8 R-ML kodlu takım ile 12800 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. Kesme formlarına göre takım aşınmasına bakıldığında

0,4 R-ML kodlu takım 0,4 R-M kodlu takıma göre %21 daha az aşındığı grafik üzerinde görülmektedir. 0,8 R-ML kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %11 daha az aşındığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerine göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-M kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %2 daha az aşındığı görülmektedir. 0,4 R-ML kodlu takım 0,8 R-ML kodlu takıma göre %12 daha az aşındığı görülmektedir.



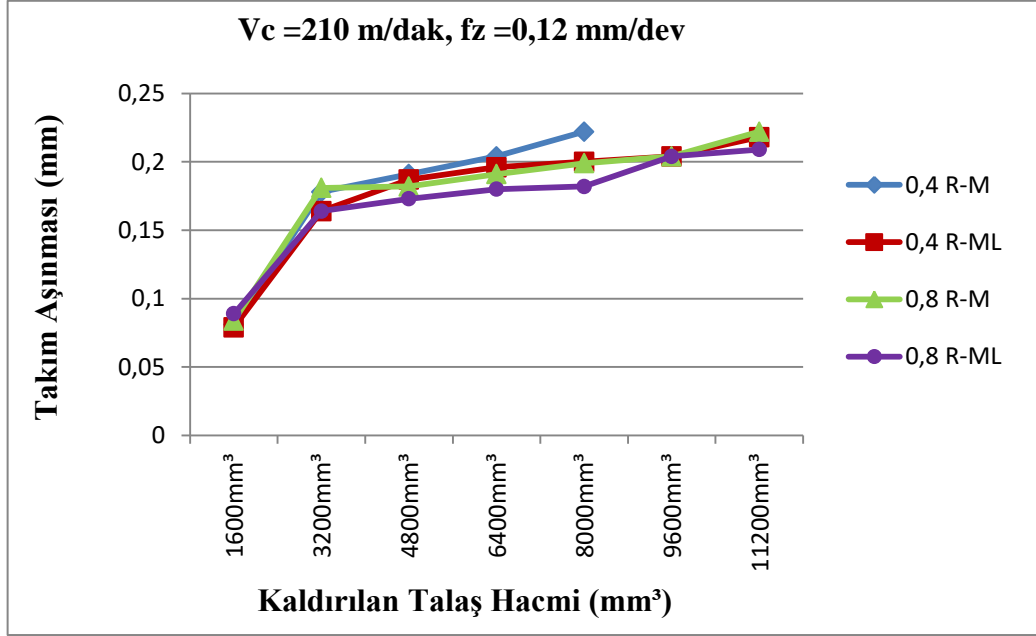
Şekil 6.17. 210 m/dak ve 0,06 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi.

Çizelge 6.8. Kesici takımların 210 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

| Vc =210 m/dak, fz =0,06 mm/dev |   |   |   |
|--------------------------------|---|---|---|
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>  | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>   |
| 0,4 R-M                        |    |    |    |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>  | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>   |
| 0,4 R-ML                       |    |    |    |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>  | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>   |
| 0,8 R-M                        |  |  |  |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>  | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>   |
| 0,8 R-ML                       |  |  |  |


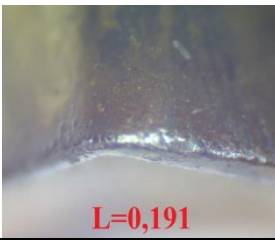
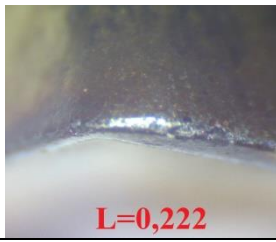

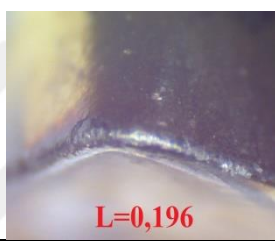
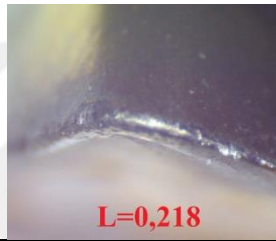
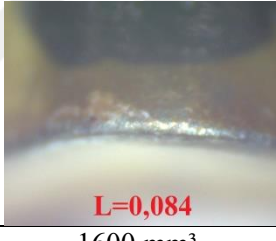
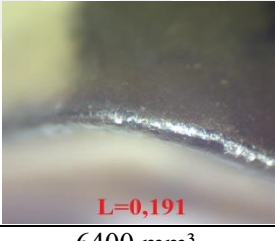
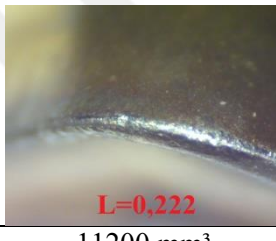
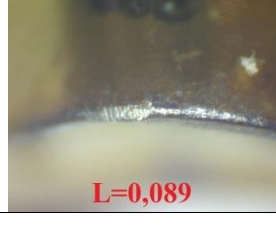
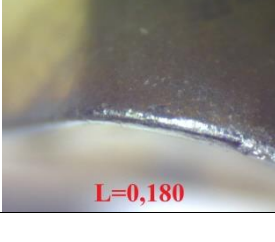

Şekil 6.17'de 210 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme değerinde yapılan takım aşınması deneyinde 0,4 mm ve 0,8 mm uç radyüslü, M ve ML kesme formulu takımlar ile yapılan deneylerde takım aşınması incelenmiştir. Grafiklerde 0,4 R-M, 0,4 R-ML, 0,8 R-M ve 0,8 R-ML kodlu takımlar ile 11200 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. Kesme formlarına göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-ML kodlu takım 0,4 R-M kodlu takıma göre %1 daha fazla aşındığı grafik üzerinde görülmektedir. 0,8 R-ML kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %6 daha az aşındığı

görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerine göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-M kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %0,5 daha az aşındığı görülmektedir. 0,4 R-ML kodlu takım 0,8 R-ML kodlu takıma göre %6 daha fazla aşındığı görülmektedir.



Şekil 6.18. 210 m/dak ve 0,12 mm/dev kesme parametrelerinde talaş hacmine bağlı olarak takım aşınmasının değişimi.

Çizelge 6.9. Kesici takımların 210 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

| Vc =210 m/dak, fz =0,12 mm/dev |  |   |  |
|--------------------------------|--|---|--|
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>   | 4800 mm <sup>3</sup>  | 8000 mm <sup>3</sup>   |
| 0,4 R-M                        | <br>L=0,081   | <br>L=0,191   | <br>L=0,222   |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>   | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>  |
| 0,4 R-ML                       | <br>L=0,079   | <br>L=0,196   | <br>L=0,218   |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>   | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>  |
| 0,8 R-M                        | <br>L=0,084 | <br>L=0,191 | <br>L=0,222 |
|                                | 1600 mm <sup>3</sup>   | 6400 mm <sup>3</sup>  | 11200 mm <sup>3</sup>  |
| 0,8 R-ML                       | <br>L=0,089 | <br>L=0,180 | <br>L=0,209 |

Şekil 6.18'de 210 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme değerinde yapılan takım aşınması deneyinde 0,4 mm ve 0,8 mm uç radyüslü, M ve ML kesme formu takımlar ile yapılan deneylerde takım aşınmaları incelenmiştir. Grafiklerde 0,4 R-M ve kodlu takım ile 8000 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. 0,4 R-ML, 0,8 R-M ve 0,8 R-ML kodlu takım ile 11200 mm<sup>3</sup> miktarında kaldırılan talaş ile aşınma kriterine ulaşılmıştır. Kesme formlarına göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-ML kodlu takım 0,4 R-M kodlu takıma göre %22 daha az aşındığı grafik üzerinde

görülmektedir. 0,8 R-ML kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %6 daha az aşındığı görülmektedir. Kesici takım uç radyüslerine göre takım aşınmasına bakıldığında 0,4 R-M kodlu takım 0,8 R-M kodlu takıma göre %20 daha fazla aşındığı görülmektedir. 0,4 R-ML kodlu takım 0,8 R-ML kodlu takıma göre %4 daha fazla aşındığı görülmektedir.

Takım aşınması grafiklerinin tamamı birlikte değerlendirildiğinde, kesme formlarının talaş kaldırma işlemlerinde önemli parametrelerden biri olduğu görülmektedir. Grafikler incelendiğinde genel olarak ML formulu takımlar M formulu takımlara göre daha az aşınmakta ve daha fazla talaş hacminde aşındığı görülmektedir. Kesme formlarının önemine değinilecek olursa keskin yapıya sahip olan ML formulu kesici takım düşük kesme kuvveti ile kesme işlemi gerçekleştirdiği için daha az sürtünmeye maruz kalacağı ve bu doğrultuda daha az kesme sıcaklığı oluşturacağı için aşınmanın daha geç olduğu kanısına varılmaktadır. Uç radyüslerine göre takım aşınması incelendiğinde genel olarak 0,4 mm uç radyüslü takımların 0,8 mm uç radyüslü kesici takımlara göre daha az aşındığı görülmektedir. Bunun nedenini kesme sıcaklığı ve kesme kuvvetine bağlamak doğru olacaktır. Kesici takım uç radyüsünün artması ile kesme sıcaklığının da artması kesici takımın daha çabuk ve daha az miktardaki talaş hacimlerinde aşınmasına neden olmaktadır. Yine kesici takım uç radyüsünün artması ile sürtünme de artmaktadır. Artan sürtünme, kesme kuvveti ile doğru orantılı olduğundan kesici takıma gelen kuvvet de artmakta ve bu sonucun kesici takımını daha fazla aşındırdığı sonucuna varılmaktadır. Kesme hızı ve ilerleme değerlerine göre aşınma değerlerine bakıldığında kesme hızının artması ile takım aşınmalarının genel olarak bir miktar arttığı grafikler üzerinde görülmektedir. Bunun nedeni kesme hızlarının artması ile kesme sıcaklığının artması, artan sıcaklığın da kesici takımını daha çok aşındığı ve kesme hızının artması ile kesici takımının ömrü azalmaktadır. Yüksek kesme hızında, kesici takım ile iş parçası arasında sürtünme artar, bunun neticesinde aşırı ısı oluşur. Bu durumun takım aşınmasının artmasına neden olduğu söylenebilir [58]. İlerleme değerlerinin kesme hızı kadar olmasa da bir miktar takım aşınmasını etkilediği grafikler üzerinde görülmektedir. İlerlemenin artmasıyla, kesici takımın talaş işleyerek iş parçası üzerinde hareket ettiği mesafenin artmasıyla aşınma miktarı artmıştır [58]. İlerleme değerlerinin artması ile bir devirde kaldırılan talaş miktarı artmakta ve dolayısı ile sürtünme ve kesme kuvveti artacağından, kesici takım daha çok kuvvet çekecektir. Kesici takım bu artan kuvvetler doğrultusunda ömrü azalmaktadır. Artan kesme uzunluğuna bağlı olarak takım aşınmasında da artış görülmüştür.

Kesme uzunluğunun artması, takım aşınmasında olumsuz etki yaratmıştır. Bunun nedeni artan kesme mesafesi sonucu oluşan sıcaklıktır. Kesici takım ve iş parçası yüzeyinin uzun süre etkileşim göstermesi sonucu oluşan sürtünme takım aşınmasında olumsuz etkiye neden olduğu söylenebilir [58].



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin frezelenmesinde kesici takım kesme formları, kesici takım uç radyüsleri ile işleme parametrelerinin kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kesici takım olarak PVD, TiAlN-TiN kaplamalı 0,4-0,8 mm iki farklı uç radyüslü ve M ve ML iki farklı kesme formu karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Frezeleme deneyleri CNC dik işlememe merkezinde kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü deneylerinde, üç farklı kesme hızı (70, 140 ve 210 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,06, 0,09 ve 0,12 mm/dev) işleme parametresi olarak kullanılmıştır. Kesici takım aşınması deneylerinde ise üç farklı kesme hızı (70, 140 ve 210 m/dak) ve iki farklı ilerleme hızı (0,06 ve 0,12 mm/dev) işleme parametresi olarak kullanılmıştır. Deneyler sonucunda ölçülen kuvvetlerin grafikler üzerinde ortalaması alınarak değerlendirmeye alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü bir frezeleme yüzeyinin üç farklı noktasından ölçülerek ortalaması değerlendirmeye alınmıştır. Kesici takım aşınmasının ölçülmesi için kesici takımlar üzerinde aşınma oluşana kadar frezeleme deneyleri devam ettirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Artan kesme hızıyla birlikte tüm kesici takımlarda ölçülen kesme kuvvetlerinde genel olarak %13'lere varan azalmalar görülmüştür. İlerleme miktarının artması ile de tüm takımlarda artan talaş kesitine bağlı olarak kesme kuvvetlerinde %19'lara varan artış görülmüştür. Genel olarak en düşük kesme kuvvetleri 210 m/dak kesme hızında ve 0,06 mm/dev ilerleme değerlerinde ölçülmüştür.

Kesici takım uç radyüslerinin artması ile kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. ML formu kesici takımlar ile M formu takımlara göre genel olarak %18'lerde kesme kuvveti düşük ölçülse de %48'lere varan düşüşler olduğu da görülmüştür. En düşük kesme kuvvetleri 0,8 mm uç radyüslü ve ML formu kesici takımlar ile ölçülmüştür.

Frezeleme işleminde kesme bölgesinde ölçülen kesme sıcaklıkları kesme hızının artmasıyla %24'lere varan bir artış göstermiştir. İlerleme miktarının artması ile de %9'lara varan kesme sıcaklığı artışı görülmüştür. Bunun sonucunda kesme sıcaklığının artmasında kesme hızının daha büyük bir etken olduğu kanısına varılmıştır. Genel olarak en düşük kesme sıcaklığı 70 m/dak kesme hızında ve 0,06 mm/dev ilerleme değerlerinde 143,40 °C olarak ölçülmüştür. En yüksek kesme sıcaklığı 210 m/dak kesme hızında ve 0,12 mm/dev ilerleme değerlerinde 341 °C olarak ölçülmüştür.

Kesici takım uç radyüslerine göre kesme sıcaklığı değerlendirmesi yapıldığında 0,4 mm uç radyüslü takımlar ile 0,8 mm uç radyüslü takımlara göre %50'lere varan düşüşler görülmüştür. Kesme sıcaklıkları ML formulu kesici takımlar ile M formulu kesici takımlara göre %15'lere varan farklarla daha düşük ölçülmüştür. En düşük kesme sıcaklığı 0,4 mm uç radyüslü ve ML formulu kesici takımlar ile ölçülmüştür.

Kesme hızının artması ile ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinde %44'lere varan azalmalar görülmüştür. İlerleme miktarının artması ile ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinde %29'lara varan artışlar görülmüştür. Bunun sonucunda da yüzey pürüzlülüğünün değişiminde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu kanısına varılmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 210 m/dak kesme hızında ve 0,06 mm/dev ilerleme değerlerinde 0,125 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri ise 70 m/dak kesme hızında ve 0,12 mm/dev ilerleme değerinde 0,518 µm olarak elde edilmiştir.

Kesici takım uç radyüslerinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. ML formulu kesici takımlar ile M formulu kesici takımlara göre %11'lere kadar daha düşük yüzey pürüzlülükleri sağlanmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,8 mm uç radyüslü ve ML formulu kesici takımlarda elde edilmiştir.

Kesici takım aşınması artan kesme hızı ve ilerleme miktarı ile arttığı görülmüştür. Yüksek kesme hızlarında ve yüksek ilerleme miktarlarında kesici takımlar daha az kaldırılan talaş hacminde aşınmaya uğramıştır.

ML formulu kesici takımlar M formulu kesici takımlara göre %32,5'lere varan farklarla daha az aşındığı görülmüştür. Genel olarak 0,4 mm uç radyüslü kesici takımların 0,8 mm uç radyüslü takımlara göre %22'lere varan farklarla daha az aşındığı görülmüştür.

## 7.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada tüm deneyler kuru kesme şartları altında gerçekleştirilmiş olup soğutma sıvısı kullanılarak ve MMY (Minimum Miktarda Yağlama) sistemi ile de deneyler gerçekleştirilerek deney sonuçları arasında kıyaslamalar yapılabilir.

Kesici takım kesme formlarının kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerin farklı malzemeler kullanılarak da araştırılabilir.

Farklı kesme formları geliştirilerek kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Kesici takımlara kriyojenik işlem uygulanarak kesici takım aşınması üzerindeki etkisi araştırılabilir.

Farklı kesme parametrelerinde frezeleme deneyleri yapılarak, elde edilen sonuçlar iyileştirilebilir.

Talaş kırma formu kesici takımlar kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilebilir.



## 8. KAYNAKLAR

- [1] P. Bagheri, "Frezleme esnasında oluşan titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün deneysel olarak analizi," Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.
- [2] İ. Çakmak, "Frezeleme işleminde takım talaş kırıcı formunun yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel araştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [3] O. Öndin, "Ph 13-8 mo çeliğinin tornalanmasında mql sisteminde kullanılan bitkisel esaslı kesme yağına çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin işleme çıktıları üzerindeki etkisi," Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [4] N. Şahin, "Kalıp çeliklerinin freze tezgâhında işlenmesinde kesme parametrelerinin, takım talaş ara yüzey sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [5] S. Çakmak, "AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde kesici uç geometrisinin talaş kırmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi," Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2015.
- [6] A. Baran, "Sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin yüksek hızda işlenmesinde uygun kesme parametrelerinin seçimi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [7] M. Ok, "Aısı 304 paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde işlenebilirliğinin incelenmesi ve tahmin modellerinin oluşturulması," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [8] B. Bakır, "Frezelemede talaş oluşumunun ve geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi," Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [9] H. Bakioğlu, "Modeling of cutting forces for precision milling," Yüksek lisans tezi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, 2015.
- [10] K. Dal, "Ansys programı kullanılarak frezeleme yönteminde silindirik kesitli parçaların işlenmesinde kesme kuvvetlerinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2019.
- [11] Y. M. Durmaz, "TiAlSiN, AlCrN ve TiAlN seramik filmleri ile kaplanmış karbür takımların yüksek hızlı frezeleme işleminde aşınma performansının incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri

Enstitüsü, Erzurum Teknik Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2018.

- [12] A. Şah, “Frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme enerjisine etkisinin taguchi metodu ile optimizasyonu,” Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2018.
- [13] H. E. Hopa, “Mikro frezeleme işleminde kesme koşulları ve kaplama malzemesinin Ti6Al4V alaşımının işlenebilirliği üzerine etkilerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2016.
- [14] E. Nas, “Frezeleme işleminde kesici uç sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi,” Bilim uzmanlığı tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2008.
- [15] Gözdem Paslanmaz Çelik. (2020, 3 Mayıs). *Paslanmaz Çelik Nedir* [Online]. Erişim: <http://www.gozdempaslanmaz.com/paslanmaz-celik.asp?ha=1>.
- [16] Gözdem Paslanmaz Çelik. (2020, 3 Mayıs). *Paslanmaz Çelik Nedir* [Online]. Erişim: <http://www.yilmazlarcelik.com/urunlerimiz.php?p=urun&urunid=paslanmaz&adi=PASLANMAZ20%C3%87EL%C4%BOKLER>
- [17] A. A. Yontar, “AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.
- [18] H. D. Ak, “Geleneksel Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen AISI 304I Ve A1S1 316I Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Özelliklerine Sinterleme Koşullarının Etkisi,” Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [19] Karaca Paslanmaz Çelik. (2020, 4 Mayıs). *Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması* [Online]. Erişim: <https://www.karacapaslanmaz.com/paslanmaz-celiklerin-siniflandirilmasi>.
- [20] Karabük Üniversitesi. (2020, 5 Mayıs). *Demir Çelik Mamülleri* [Online]. Erişim: <http://web.karabuk.edu.tr/myasar/demircelik/paslanmaz-celikler.html>.
- [21] O. Baylan. (2020, 5 Mayıs). *Ferritik Paslanmaz Çelikler*. Metal Uzmanı [Online]. Erişim: <https://www.metaluzmani.com/ferritik-paslanmaz-celikler/>.
- [22] Teknik Metal. (2020, 5 Mayıs). *Ferritik Paslanmaz Çelikler* [Online]. Erişim: <https://www.teknikmetal.com/tr/paslanmaz-celik/paslanmaz-celik-cesitleri/ferritik/>.
- [23] STS Paslanmaz Çelik Dikişli Boru. (2020, 6 Mayıs). *Martenzitik Paslanmaz Çelikler* [Online]. Erişim: <https://www.stsboru.com/tr/%C3%BCr%C3%BCnler/paslanmaz-%C3%A7elik-kaliteleri/paslanmaz-%C3%A7elik-t%C3%BCrleri/martenzitik-paslanmaz-%C3%A7elikler>.
- [24] Kayacı Metal. (2020, 8 Mayıs). *Paslanmaz Çelik* [Online]. Erişim: <http://www.kayacimetal.com/kalite-standartlari-dubleks.asp>.
- [25] Karaca Paslanmaz Çelik. (2020, 9 Mayıs). *Paslanmaz Çelik* [Online]. Erişim: <https://www.karacapaslanmaz.com/cokelme-sertlesmeli-paslanmaz-celikler>.

- [26] D. Tali, "Nikel esaslı inconel 718 süper alaşımının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2010.
- [27] Y. Şahin, *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2001, ss. 93-94.
- [28] F. Mihmat, "Farklı çeliklerin testere freze çakılarıyla işlenebilirliklerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2009.
- [29] İ. Nebiler, *İmalat işlemleri*, Yeni Baskı, Manisa, Türkiye: Emek Matbaacılık, 2008, ss. 10-140.
- [30] M. Akkurt, *Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi CNC Takım Tezgaraları ve Üretim Otomasyonu*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2012, ss. 15-17.
- [31] Sandvik Coromant. (2020, 14 Nisan). *Frezeleme*. [Online]. Erişim: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>.
- [32] E. Erdin, Talaşlı imalat, *Ders Notları*, Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum, 2018.
- [33] H. Küçük, "Torna tezgâhında talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilgisayar destekli optimizasyonu," Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [34] Fundamentals of Modern Manufacturing. (2020, 29 Nisan). *Talaşlı İmalat*. [Online]. Erişim: <https://docplayer.biz.tr/4688114-Talasli-imalat-talas-kaldırma-yontemlerinin-siniflandırılması-1-geleneksek-talasli-imalat-1a-tornalama-ve-iliskili-operasyonlar.html>.
- [35] İ. Korkut ve M. A. Dönertaş, "Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri," *Politeknik Dergisi*, c. 6, sayı 1, ss. 385-389, 2003.
- [36] T. Babaoğlu. (2020, 5 Mayıs). *Kesme Kuvvetleri*. [Online]. Erişim: <https://slideplayer.biz.tr/slide/2313290/>.
- [37] M. Günay, "Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [38] A. Kurt, "Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerinin oluşturulması," Doktora Tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [39] H. M. Şahin ve A. Acır, "Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım ve talaş arasında oluşan sıcaklık dağılımının sonlu farklar metodu ile analizi," *Politeknik Dergisi*, c. 6, sayı 3, ss. 541-549, 2003.
- [40] U. Karagüzel, "Ti6Al4V alaşımının talaşlı imalatı sırasında termal kamera ile sıcaklık ölçümü ve sonlu elemanlarla modellenmesi," *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 265-271, 2019.

- [41] İ. Çakmak ve Y. Turgut, "Investigation of the effect of chip breaker form on surface roughness and cutting forces in AISI 1040 steel milling," *Fen Bilimleri Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 482-494, 2019.
- [42] Anonim. (2020, 13 Mayıs). *Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi*. [Online]. Erişim: <https://docplayer.biz.tr/48080984-Deney-2-kesme-hizinin-yuzey-puruzlulugune-etkisinin-incelenmesi.html>.
- [43] M. Yurdakul ve Y. T. İç, *Modern İmalatın Prensipleri*, 4. Basımdan çeviri, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2016, ss. 1-1018.
- [44] E. Hatipoğlu, "Mikro frezeleme işleminde yüzey oluşumunun ve takım aşınmasının deneysel incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [45] M. Kuntoğlu, "Tornalamada akustik emisyon ve kesme kuvveti sinyalleri kullanarak takım kırılması ve ilerleyen takım aşınmasının tahmin edilmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2016.
- [46] R. Kökcan. (2020, 15 Mayıs). *Kesici Takım Teknolojisi*. Hacettepe Üniversitesi. [Online]. Erişim: <https://meryemgokoglu.files.wordpress.com/2016/11/6kesici-takimlardaki-asinmalar.pdf>.
- [47] H. Koçak, "GGG 90 küresel grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirilmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [48] F. Meydaneri, "Torna tezgâhında kanal açma operasyonları için kesme parametrelerinin kesme kuvveti, takım aşınması ve kanal profili üzerindeki etkisinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [49] E. Duman ve Y. Kaynak, "15-5 ph çelik malzemesinin kriyojenik talaşlı imalat sürecinde yüzey bütünlüğü analizi," *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, c. 15, sayı 1, 19-26, 2017.
- [50] H. Başak ve Ş. Baday, "Küreselleştirilmiş orta karbonlu bir çeliğin işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin regresyon analizi ile modellenmesi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, c. 22, sayı 4, 253-258, 2016.
- [51] R. Özmen. (2020, 17 Nisan). *Talaşlı Kaldırma Sırasında Oluşan Isı*. [Online]. Erişim: <https://slideplayer.biz.tr/slide/2022928/>.
- [52] K. Gök, M. Erdem, ve A. Gök, "AISI 1006 çeliğinin tornalama sürecinde kesici takım uç yarıçapının kesme sıcaklığı ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin numerik olarak incelenmesi," *Tübav Bilim Dergisi*, c. 4, sayı 1, 1-8, 2010.
- [53] S. Yağmur, A. Acır, U. Şeker, ve M. Günay, "Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, sayı 1, 1-6, 2013.
- [54] A. Duran, Y. Turgut, ve M. Günay, "Tornalamada oluşan takım-talaş ara yüzey sıcaklığının pirometre ile deneysel olarak ölçülmesi," *Politeknik Dergisi*, c. 14, sayı 4, 297-301, 2011.

- [55] M. Günay, “AISI 316l çeliğinin işlenmesinde takım radyüsü ve kesme parametrelerinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, sayı 3, 437-444, 2013.
- [56] E. Altinkaya ve A. Güllü, “AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde talaş kırıcı formunun takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” *Politeknik Dergisi*, c. 11, sayı 1, 13-17, 2008.
- [57] H. Gürbüz, F. Kafkas, ve U. Şeker, “AISI 316l çeliğinin işlenmesinde kesici takım kesici kenar formu ve talaş kırıcı formlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi,” *Yaşam Bilimleri Dergisi*, c. 1, sayı 2, 173-184, 2012.
- [58] M. Güney, “Ti-6Al-4V’nin tornalanmasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye, 2016.



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nurettin Bulan

Yabancı Dili : İngilizce

## ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan                | Okul/Üniversite                             | Mezuniyet Yılı |
|-----------|---------------------|---|----------------|
| Y. Lisans | İmalat Mühendisliği | Düzce Üniversitesi                          | 2021           |
| Lisans    | İmalat Mühendisliği | Düzce Üniversitesi                          | 2017           |
| Lise      | Cnc Bölümü          | Sakarya Teknik ve Endüstri<br>Meslek Lisesi | 2012           |

## YAYINLAR

N. Bulan ve F. Kara, "Frezeleme işleminde kesme formunun ve kesici takım uç radyüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkisi," 4. Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi, Kocaeli, Türkiye, 2020, ss. 538-543.