



ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ BÖHLER K340 SOĞUK İŐ TAKIM ÇELİĞİNİN  
TORNALANMASINDA İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Fatma KAÇAL

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Temmuz – 2018

ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ BÖHLER K340 SOĞUK İŐ TAKIM ÇELİĞİNİN  
TORNALANMASINDA İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Fatma KAÇAL

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav YönetmeliĐi Uyarınca  
Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Murat KOYUNBAKAN

Temmuz – 2018

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Fatma KAÇAL'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “**Isıl İşlem Görmüş Böhler K340 Soğuk İş Takım Çeliğinin Tornalanmasında İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması**” başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

04/07/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL

**Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Muammer GAVAS

**Anabilim Dalı Başkanı, İleri Teknolojiler**

Dr. Öğretim Üyesi Murat KOYUNBAKAN

**Danışman, Makine Mühendisliği Bölümü**

**Sınav Komitesi Üyeleri**

Dr. Öğretim Üyesi Murat KOYUNBAKAN

Makine Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. İsmet ÇELİK

Makine Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Yusuf ŞAHİN

Makine Mühendisliği Bölümü, Niğde Ömer Halisdemir  
Üniversitesi

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 18 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Dr. Öğretim Üyesi Murat KOYUNBAKAN

Fatma KAÇAL

# ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ BÖHLER K340 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Fatma Kaçal

İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Murat KOYUNBAKAN

## ÖZET

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş BOHLER K340 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliği tornalama operasyonları açısından araştırılmıştır. Tornalama deneyleri öncesinde deney numunesi 59 HRC değerinde sertleştirilmiştir. Deneylerde DNGA 150608 AB30 karma seramik kesici uçlar kullanılmıştır. Dört farklı kesme hızı (80-120-160-200 m/dak), ilerleme (0,05-0,1-0,15-0,2 mm/devir) ve üç farklı kesme derinliği (0.25-0.50-0.75 mm) kuru kesme şartlarında uygulanmıştır. İşlenebilirlik incelenmesinde kesme kuvvetleri, ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra) ve takım aşınması değerlendirme kriteri olarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlarının analitik ve istatistiksel analizleri yapılmıştır. İstatistiksel analizde varyans analizinden (ANOVA) yararlanılmıştır.

İlerleme değerlerindeki artış yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve kesme kuvvetleri üzerinde en etkin parametre olmuştur. En düşük Ra değeri 0,14 µm olarak elde edilmiştir. Kesici uçlarda en fazla görülen aşınma tiplerinin krater aşınması ve plastik deformasyon olduğu görülmüştür. Kesici üzerinde az miktar abrasif, yoğun olarak da adhesif (yapışma) ve difüzyon aşınma mekanizmalarının etkileri tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Böhler K340, İşlenebilirlik, Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Kuvvetleri, Takım Aşınması.

## INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY PROPERTIES AT TURNING OF HEAT TREATED BOHLER K340 COLD WORK TOOL STEEL

Fatma Kaçal

Advanced Technologies, M.S. Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Dr. Lecturer Murat KOYUNBAKAN

### SUMMARY

In this study, machinability of the BOHLER K340 cold work tool steel produced by powder metallurgy method was investigated in terms of turning operations. The test sample was hardened at 59 HRC prior to the turning experiments. DNGA 150608 AB30 composite ceramic cutting inserts were used in the experiments. Four different cutting speeds (80-120-160-200 m / min), feed (0.05-0.1-0.15-0.2 mm / rev) and three different cutting depths (0.25-0.50-0.75 mm) were applied under dry cutting conditions. In the investigation of machinability, cutting forces, average surface roughness (Ra) and tool wear were considered evaluation criteria. Analytical and statistical analyzes of the obtained results were made. Analysis of variance (ANOVA) was used in statistical analysis.

The increase in the feed values is the most effective parameter on the surface roughness (Ra) and cutting forces. The lowest Ra value was obtained as 0.14  $\mu\text{m}$ . It has been observed that the wear types most commonly seen at the cutting edges are crater wear and plastic deformation. The effects of minor abrasive, extensively adhesive and diffusion wear mechanisms on the cutter have been determined.

**Keywords:** Böhler K340, Machinability, Surface Roughness, Cutting Forces, Tool Wear.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımcı olan öncelikle danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Murat KOYUNBAKAN'a, işlenebilirlik deneylerinin yapılmasında destekleri esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Yakup TURGUT'a ve Arş. Gör. Dr. Gültekin UZUN'a teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi ve manevi destekleriyle hep yanımda olan en büyük destekçim, eşime ve beni bu günlere getiren aileme saygı ve şükranlarımı sunuyorum.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
3. ÇALIŞMAYA AİT TEMEL KAVRAMLAR .....	13
3.1. Takım Çelikleri .....	13
3.2. Tornalama İşemi .....	13
3.3. Talaşlı İmalatta İşlenebilirlik .....	14
3.3.1. Kesme kuvvetleri .....	15
3.3.2. Takım aşınması .....	16
3.3.3. Yüzey pürüzlülüğü .....	18
4. MALZEME ve YÖNTEM .....	20
4.1. Kullanılan CNC Torna Tezgahı .....	20
4.2. Deney Numunesi .....	21
4.3. Kullanılan Kesici Takımlar .....	21
4.4. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi .....	22
4.5. Takım Aşınmasının Ölçülmesi .....	23
4.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi .....	24
4.7. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri.....	25
5. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA .....	27
5.1. Yüzey Pürüzlülüğü .....	27
5.2. Kesme Kuvvetleri .....	32
5.3. Takım Aşınması .....	44
5.4. Varyans Analizi (ANOVA) Sonuçları .....	52



**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.4.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ANOVA sonuçları .....	52
5.4.2. Esas kesme kuvveti (F <sub>C</sub> ) ANOVA sonuçları .....	53
6. SONUÇLAR .....	54
7. ÖNERİLER .....	57
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	58
ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tornalama işleminin gösterimi. ....	14
3.2. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri .....	16
3.3. Talaş kaldırmada temel aşınma mekanizmaları .....	17
3.4. Kesme kenarındaki aşınma tipleri .....	18
3.5. Yüzey özellikleri .....	18
3.6. Yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmesi .....	19
4.1. Tornalama deneylerinin yapılışı.....	20
4.2. Dinamometre ve ampliflerin teknik özellikleri .....	23
4.3. a) Elektronik mikroskop, b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM) .....	24
4.4. Tornalama deneyi sonrasında pürüzlülük ölçümü .....	25
5.1. Yüzey pürüzlülüğünün ilerlemeye göre değişimi .....	30
5.2. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimi .....	31
5.3. Ra'nın etkileşim garfıği.....	32
5.4. Esas kesme kuvveti( $F_c$ )'nin ilerlemeye göre değişimi .....	33
5.5. Esas kesme kuvveti( $F_c$ )'nin kesme hızına göre değişimi .....	34
5.6. Esas kesme kuvveti( $F_c$ )'nin ilişki garfıği .....	35
5.7. İlerleme kuvveti ( $F_f$ )'nin ilerlemeye göre değişimi.....	36
5.8. İlerleme kuvveti ( $F_f$ )'nin kesme hızına göre değişimi .....	37
5.9. Pasif (radyal) kuvveti ( $F_p$ )'nin ilerlemeye göre değişimi .....	39
5.10. Pasif (radyal) kuvveti ( $F_p$ )'nin kesme hızına göre değişimi .....	40
5.11. İşleme kuvveti ( $F_m$ )'nin ilerlemeye göre değişimi .....	42
5.12. İşleme kuvveti ( $F_m$ )'nin kesme hızına göre değişimi .....	43
5.13. Kesici uç aşınma fotoğrafları .....	45
5.14. Kesici uç SEM görüntüleri ( $V_c$ : 200 m/dak., $f$ : 0,2 mm/dev., $a_p$ :0,75).....	47
5.15. Şekil 5.14'deki A noktasının EDX analizi .....	47
5.16. Şekil 5.14'deki B noktasının EDX analizi .....	48
5.17. Şekil 5.14'deki C noktasının EDX analizi .....	48
5.18. Kesici uç SEM görüntüleri ( $V_c$ : 200 m/dak, $f$ : 0,2 mm/dev., $a_p$ :0,25).....	49
5.19. Şekil 5.18'deki D noktasının EDX analizi .....	50

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.20. Şekil 5.18'deki E noktasının EDX analizi .....	50
5.21. Şekil 5.18'deki F noktasının EDX analizi.....	51
5.22. Şekil 5.18'deki G noktasının EDX analizi.....	51
5.23. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ana etki grafiği.....	52
5.24. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ana etki grafiği .....	53



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Literatür tablosu .....	12
4.1. Kullanılan CNC torna tezgâhının özellikleri.....	20
4.2. Böhler K340 çeliğinin temel kimyasal bileşimi (ağırlıkça %).....	21
4.3. Kesici uç ve takım tutucu teknik özellikleri.....	22
4.4. Kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri .....	25
4.5. Kesme parametreleri ve seviyeleri .....	26
5.1. Deneysel sonuçlar .....	28
5.2. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için varyans analizi sonuçları .....	52
5.3. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) için varyans analizi sonuçları.....	53

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$F_c$	Esas kesme kuvveti, N.
$F_p$	Pasif (Radyal) kuvvet, N.
$F_f$	İlerleme kuvveti, N.
$F_m$	Bileşke kuvvet, N.
$R_a$	Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, mm.
$f$	İlerleme, mm/dev.
$V_c$	Kesme hızı, m/dak.
$\mu m$	mikronmetre

### Kısaltmalar

### Açıklama

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
DIN	Alman Standardı
SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
CBN	Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrat)
PCD	Polycrystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
PCBN	Kristalize Kübik Bor Nitrat
T\M	Toz Metalurjisi
HRC	Hardnes of Rockwell C (Rockwell Sertlik Birimi)
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
CNC	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol
BUE	Yığıma talaş
ANOVA	Varyans analiz

## 1. GİRİŞ

Takım çelikleri; metaller, plastikler ve ahşap gibi malzemelerin işlenmesinde ve şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Yüksek aşınma ve ısı direnci ile sertlik en fazla tercih edilen özellikleridir. Takım çelikleri diğer malzemelerden parça üretiminde kullanıldıklarından stratejik öneme sahiptirler. Derin çekme kalıpları, deliciler, kesme bıçakları, zımbalar, ekstrüzyon ve kesme kalıpları takım çeliklerinin kullanım alanlarından önde gelenleridir (Onur ve İnem, 2003). Geleneksel yöntemler ile üretildikleri gibi son yıllarda toz metalürjisi yöntemleri ile de üretilmektedirler. Böylece daha üstün özelliklere sahip takım çelikleri elde edilebilmektedir. Bu tip çeliklerin işlenebilirlik değerlendirmelerinde diğer toz metal parçalarda olduğu gibi gözeneklilik dikkate alınmalıdır. Kimyasal bileşimi ve işleme sonucu olarak mikro yüzey özellikleri de farklı derecelerde parçanın işleme özelliklerini etkileyebilir (Salak, vd., 2004, 186, 393-395, 453).

Takım çeliklerinin işlenerek nihai parçaya dönüştürülmesinde geleneksel ve modern imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Talaşlı imalat en fazla uygulanan yöntemlerin başında gelir. Tornalama, frezeleme, taşlama gibi operasyonlar örnek olarak sıralanabilir. Talaşlı imalat işlemlerinde kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği en önemli parametrelerdir (Gezgin, 2007).

Takım çeliklerinin son kullanım yerleri genellikle sertleştirmeyi gerektirmektedir. Isıl işlem sonrası parça geometrisinde ölçü sapmaları olabilmektedir. Bunun giderilmesi için bırakılan işleme payı için taşlama gibi ikinci bir operasyon uygulanır. Taşlama işleminin birçok geometriye uygulanmasındaki sınırlamalar ve gelişen takım teknolojisi sayesinde taşlamaya alternatif olarak sertleştirilmiş çeliklere frezeleme, tornalama vb. talaşlı imalat işlemleri uygulanabilmektedir (Şirin, 2010). Parçaların sertleştirildikten sonra işlenmesi söz konusu olduğunda uygun kesici takımın belirlenmesi çok önemlidir. Isı iletkenliği, aşındırıcı etkileri, yüksek çekme mukavemetleri ve çalışma sertleşmeleri nedeni ile sertleşmiş çeliklerin işlenmesi zordur (Hu ve Huang, 2013). Bu amaçla günümüzün gelişen kesici takım endüstrisi çok çeşitli ve tatmin edici seçenekler sunmaktadır. Sert çeliklerin işlenmesinde, özellikle tornalama operasyonları için seramik ve kübik bor nitrat (CBN) kesiciler ve bunların çeşitli kaplamalı alternatifleri bulunmaktadır (Bingül ve Kaçal, 2015).

Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinin doğası gereği genellikle son bitirme işlemleri uygulanır. Bu da kesme derinliklerinin küçük olması anlamına gelir. Finiş (son bitirme) işlemlerinde ölçü, tolerans ve yüzey pürüzlülüğü ile işleme operasyonunun oluşturduğu yüzeyin tipi ve onun karakteristiklerinin üretimdeki önemi büyüktür. İşleme faktörlerinin tam olarak

optimizasyonu, yüksek üretim kapasitesi, düşük kesme kuvvetleri, iyi bir bitirme yüzeyi, takım ömrü, güç tüketimi ve ölçü tamlığı gibi ideal sonuçlar geleneksel üretim yöntemleri ile elde edilebilmektedir. Çeşitli malzemelerle ve işleme parametreleri kombinasyonunda gerçekleştirilmiş bilimsel çalışmalara rastlamak mümkündür (Kaçal ve Yıldırım, 2013).

Yapılan bu yüksek lisans çalışmasında, toz metalürjisi (T/M) yöntemiyle üretilmiş olan ve 59 HRC değerine sertleştirilmiş BOHLER K340 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmanın başarılı bir şekilde yapılması için aşağıda verilen hedeflere ulaşılması öngörülmüştür;

- Deneilerin sonucunda tormalanmış yüzeylerin yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi.
- Tornalama sırasında ortaya çıkan kesme kuvveti bileşenlerinin dinamometre aracılığı ile belirlenmesi.
- Kullanılacak olan seramik kesici uçların performansının belirlenmesi
- Kesici takım üzerinde meydana gelen aşınma tiplerinin ve mekanizmalarının belirlenmesi.
- İstatistiksel analizlerin yapılması.
- En uygun kesme parametrelerinin ve seviyelerinin belirlenmesi.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Makine imalatçıları dünya genelinde rekabet güçlerini koruyabilmek için sürekli bir maliyet düşürme yarışı içindedirler. Genel olarak imal edilen parça kalitesi kabul edilebilir seviyelerde olmasına rağmen tüketici ve imalatçıların stratejilerine yön veren parça başına maliyetleri düşürme çalışmaları halen daha sürmektedir. Bu noktada yapılan çalışmaların tek amacı en yüksek kaliteye ve düşük maliyete ulaşmak olmuştur. İmalatta yüksek talaş kaldırma oranının ve beraberinde iyi bir yüzey kalitesininin yüksek hızlı işleme ile başarılabilmesi, bu yönetime olan ilgiyi arttırmıştır. Gelişen kesici takım teknolojisi geleneksel yöntemlere oranla daha yüksek kesme hızına imkân sağlamaktadır. Yüksek hızda işleme üretim oranını arttırarak imalat maliyetlerini düşürmektedir. Bununla beraber hızlı işleme, esnasında kesme bölgesinde oluşan yüksek ısı sebebiyle hızlı takım aşınması ve bununda sonucu olarak kesici takım ömrünün azalmasına yol açmaktadır (Fang ve Fu, 2009; Diniz ve Oliveria, 2008; Umer vd., 2008).

İmalat sektöründe yüksek dayanım özelliklerinden dolayı sertleştirilmiş malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin işlenmesi, kesme şartları ve kesici uc açısından popüler araştırma konularındandır (Ucun ve Aslantaş, 2009). 45 HRC 'den daha sert çelik malzemelerin tornalanması, taşlama işlemine göre daha ekonomik, verimli ve çevre ile dost bir imalat yöntemidir. Bu işlemin taşlama işlemine göre en belirgin avantajı, tek bir operasyonda hem şekil hem de iyi bir yüzey kalitesinin elde edilebilmesidir. Ayrıca soğutma sıvısının azaltılması veya ortadan kaldırılması ve üretim verimliliğindeki artış diğer avantajlarından. Sertleştirilmiş çeliklerin işlenebilmesi için CBN, seramik ve PCD gibi sert ve dayanıklı takımlara ihtiyaç vardır. Seramik ve CBN kesici takımların işleme performansı ve işlenen yüzeyin kalitesi kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve takım uç yarıçapı gibi yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkileyen pek çok parametreye bağlıdır (Özel vd., 2007). İstenen yüzey kalitesini ve takım ömrünü elde edebilmek için kesici takım malzemesinin ve kesme parametrelerinin seçimi hayati önem taşımaktadır. Sertleştirilmiş çeliklerin tornalanmasında genellikle CBN kesici takımların kullanıldığı görülse de iş parçası sertliğinin 60 HRC 'ye kadar olduğu durumlarda seramik kesiciler de tercih edilebilmektedir. Sert çeliklerin yüksek hızlı tornalanması esnasında takım ömründe azalmalar görülse de iyi yüzey kalitesi ve yüksek üretim verimliliği sebebiyle bu yöntem daha da tercih edilmektedir. Örneğin; Mahfoudi v.d. çalışmalarında 50 HRC sertliğindeki AISI 4140 çeliğin 400 m/dak. kesme hızı, 0,05 mm/dev. ilerleme ve 0,5 mm kesme derinliğinde oldukça iyi yüzey kalitesi ve takım ömrü değeri sunduğunu söylemişlerdir (Mahfoudi vd., 2008).

Kumar vd. alümina tabanlı seramik kesici takımlarla EN24 sertleştirilmiş çeliğinin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Buna göre 40-45 HRC sertlikli çelik malzeme işlendiğinde, çentik



ve krater aşınmasının, karışık alümina [Ti(C,N)] kesici takımında, zirkon kaplı alümina seramik (ZTA) takımında oluşandan daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir (Kumar vd., 2003).

Şahin, sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin Taguchi yöntemine dayalı işlenmesinde kesme hızı, ilerleme veya kesici takımın sertliği gibi parametreleri kullanarak birinci ve ikinci dereceden lineer ve üstel takım ömrü tahmin denklemleri geliştirmiştir. Kesme karakteristiklerinin incelenmesi için devamında varyans analizi yapılmıştır (Şahin, 2009).

Zeyveli ve Demir'in yapmış olduğu çalışmada AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda; en iyi yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme miktarı 0.5 mm/dev olan deneylerde elde edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin önemli miktarda düştüğünü gözlemlemişlerdir (Zeyveli ve Demir, 2009).

Derakhshan ve Akbari CBN takımla 45-65 HRC sertlikteki AISI 4140 çeliğin tornalanmasında iş parçası sertliğinin ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 45-60 HRC sertlik değerleri arasında Ra 0.323  $\mu\text{m}$  'yi aşmamıştır. Kesme hızındaki artışlar yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilemiştir (Derakhshan ve Akbari, 2009).

Chou vd., sertleştirilmiş AISI 52100 (62 HRC) çelikte CBN kesicilerle yaptıkları deneylerde düşük CBN içerikli takımın yüksek CBN içerikli takıma göre daha iyi performans sergilediğini rapor etmişlerdir (Chou, vd., 2002).

Gaitonde vd., sertleştirilmiş AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin silici uçlu seramik uçlarla işlenmesinde kesme parametrelerinin işleme kuvveti, işleme gücü, özgül kesme direnci, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İlerlemenin artışı ile güç artarken özgül kesme direnci azalmıştır. Düşük pürüzlülük; düşük ilerleme, düşük işleme zamanı ve yüksek kesme hızında elde edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında aşınma artmıştır (Gaitonde, vd., 2009a). Bu araştırmacılar aynı malzemeyi geleneksel ve wiper seramik kesici uçlar kullanarak da incelemişlerdir. Silici ucun daha iyi yüzey pürüzlülüğü değeri ve takım aşınması sağlarken geleneksel seramik ucun işleme kuvveti, güç ve özgül kesme direncini azaltmada daha elverişli olduğunu belirtmişlerdir (Gaitonde, vd., 2009b).

Davim ve Figuera, sertleştirilmiş AISI D2 çeliğinin seramik takımlarla işlenebilirliğini istatistiksel teknikler kullanarak incelemiştir. Uygun kesme parametreleri belirlendiğinde 0,8  $\mu\text{m}$  'den daha düşük Ra değeri elde edilebileceğini rapor etmişlerdir (Davim ve Figuera, 2007).

Aslan vd., çalışmalarında, 63 HRC değerinde sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğini kaplamasız  $Al_2O_3+TiCN$  karma seramik takımlarla tormalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yanak aşınması ve  $R_a$  üzerinde etkilerini Taguchi tekniğini kullanarak incelemişler ve optimum kesme parametrelerini belirlemişlerdir (Aslan vd., 2007).

Lima vd., sertleştirilmiş AISI 4340 ve AISI D2 çeliklerinin tormalanması sonucunda işleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. 40 HRC sertlikteki AISI 4340 malzemede abrasiv aşınma mekanizması etkin olurken 50 HRC sertlikteki AISI 4340 malzemede difüzyon aşınma mekanizmasının daha etkin olduğu görülmüştür. 58 HRC sertlikteki AISI D2 malzeme karma alümina seramik takımlarla işlendiğinde silindirik taşlamaya yakın yüzey kalitesi elde edilmiştir (Lima vd., 2005).

Qian ve Hossan çalışmalarında, AISI H13, AISI 52100 AISI D2 ve AISI 4340 malzemelerini sertleştirmişler ve CBN takımla tormalama deneyleri sonucunda kesme kuvvetleri üzerine iş parçası sertliğinin, kesme hızının, ilerlemenin ve takım geometrisinin etkisini araştırmışlardır. Aynı kesme şartları altında AISI 4340 'ın tormalanmasında daha yüksek kesme kuvveti, AISI 52100 'ün tormalanmasında daha yüksek ilerleme kuvveti ve AISI D2 'nin tormalanmasında daha düşük kesme ve ilerleme kuvveti elde edilmiştir (Qian ve Hossan, 2007).

Çakır vd., tarafından yapılan bir çalışmada, sertleştirilmiş AISI P20 (52-54 HRC) soğuk iş takım çeliğinin farklı kaplama özelliklerine sahip karbür takımlarla işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modellenmesi yapılarak, kaplama malzemesinin ve kesme parametrelerinin etkileri incelenmiştir (Çakır vd., 2009).

Fnides vd., karma seramik takımla işledikleri sertleştirilmiş AISI H11 sıcak iş takım çeliğinin yüzey pürüzlülüğünü modellemişlerdir. Model ile sertleştirilmiş malzemenin tormalanması optimize edilmiştir (Fnides vd., 2009). Sırasıyla diğer iki çalışmada da, bileşke kuvvet ve sıcaklık, kesme kuvveti ve pürüzlülük incelenmiştir (Fnides vd., 2008a; Fnides vd., 2008b).

Özel vd., sertleştirilmiş H13 çeliğinin finiş tormalanmasında kesme kuvvetleri ve pürüzlülük üzerine kenar geometrisinin, iş parçası sertliğinin, ilerlemenin ve kesme hızının etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda iş parçası sertliğinin kenar geometrisinin, ilerleme ve kesme hızının pürüzlülük üzerindeki etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Düşük iş parçası sertliği ve honlanmış kenar geometrisinin düşük teğetsel ve radyal kuvvetler oluşturduğu belirtilmiştir (Özel vd., 2005).

Elbah vd., sertleştirilmiş AISI 4140 (60 HRC) klasik ve silici geometrili uçlarla tormalanması esnasında yüzey pürüzlülüğü kriterlerinin (Ra, Rz ve Rt) karşılaştırılmasını yapmışlardır. Taguchi'nin L27 ortogonal dizisine göre yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, Yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM), varyans analizi (ANOVA) ve regresyon modeli ile değerlendirilmiştir. İlerleme hızının ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Sonuçlar, silici geometrili seramik uçlar ile yüzeyin önemli ölçüde iyileştiği belirtilmiştir. Kabul edilebilir 0,3 mm yan yüzey aşınma değerine ulaşılsa da Ra pürüzlülüğü 0,9  $\mu\text{m}$ 'yi geçmemiştir (Elbah vd., 2013).

Karpuschewski vd., yaptıkları çalışmada; kaplamasız ve TiN kaplamalı karma seramik uçlar mikro geometri, talaş yüzeyi ve kesme kenarı hazırlıklarının işleme üzerindeki etkilerini sert parça tormalama açısından araştırmışlardır. Kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri performans kriteri olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre, kenar hazırlama ve kaplamanın sürtünme kuvvetlerini azalttığı görülmüştür. Kesme kenarı mikrogeometri ve kabul edilebilir yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişki belirlendi (Karpuschewski v.d., 2014). Bir başka çalışmada benzer bir yaklaşım ile CBN uçların performanslarını da araştırmıştır (Karpuschewski vd., 2013).

Bensouilah vd., çalışmalarında, AISI D3 soğuk iş takım çeliğini CC6050 ve CC650 seramik uçlarla tormalanması sırasında ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği gibi işleme parametrelerinin pürüzlülük ve kesme kuvveti bileşenleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deney tasarımı L16 ortogonal Taguchi dizisi kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğüne yol açan kesme parametreleri seviyelerini belirlemek için minimum yüzey pürüzlülüğü ve minimum işleme gücü ile kesme parametreleri arasındaki ilişki kesici faktörler incelenmiş. Kaplamalı CC6050 seramik uçlarda elde edilen yüzey kalitesinin kaplamasız uçlara göre kaplamasız uçlara 1,6 kat daha iyi olurken kesme kuvvetlerinde kaplamasız uçlar daha iyi performans göstermiştir (Bensouilah vd., 2016).

Agrawal vd.'nin yaptıkları çalışmada 69 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin tormalanmasında işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğüne kesme parametrelerinin etkisini incelemek için 39 set deney yapılmıştır. İşleme sonucu, bu malzemedeki ortalama işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek ve geliştirmek için çeşitli regresyon modelleri girdi olarak kullanılmıştır. Önerilen model AISI 4340 çeliğin işlenmesini sırasında yüzey pürüzlülüğünün tahmini için çoklu regresyon modelleri üzerinde üstün bir seçenek olmuştur (Agrawal vd., 2015).

Günümüz metal kesme endüstrisi, işlenmiş parçaların kalite ve üretkenlik sorunlarını ekonomiye dönüştürerek karşılamak zorundadır. Mevcut çalışmada, bir model geliştirmeye ve

kesici takımın yüzey aşınmasını tahmin etmeye yönelik bir girişim yapılmıştır. Kesme hızının, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin etkileri Yanıt Yüzey Metodu (RSM) ile araştırılmıştır. RSM tabanlı Merkezi Kompozit Tasarım (CCD) uygulanmıştır. Uç yarıçapı 0,8 mm olan  $Al_2O_3 / TiC$  karışık seramik kesici uç kullanılmıştır. Geliştirilen modellerin yeterliliği, Varyans Analizi (ANOVA) kullanılarak kontrol edilmiştir. İşlem parametrelerinin çıkış tepkileri üzerindeki etkisini incelemek için ana ve etkileşim haritaları çizilmiştir (Varaprasad vd., 2014).

Mia ve Dhar çalışmalarında, ortalama takım-ış parçası ara yüzey sıcaklığını tahmin için model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Sertleştirilmiş AISI 1060 çeliğinin kaplamalı karbür uçlar ile tormalanmasında yanıt yüzey metodu (RSM) ve Yapay Sinir Ağı (ANN), Kesme hızı, ilerleme hızı ve malzeme sertliği bakımından sıcaklığı tahmin etmek için kullanıldı. Deneyler kuru ve yüksek basınçlı soğutma sıvısı (HPC) ile yapılmıştır (Mia ve Dhar, 2016).

Kaplanmış kesici takımlar, yüksek hızlı işleme ve talaş kaldırma gibi uygulamalarında performansı artırmak için kullanılır. Kesme koşullarının optimizasyonu ve kesme parametrelerinin ayarlanması yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınma tahmini, doğru planlama ve kontrol için talaşlı imalatta önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, çok tabakalı TiN kaplanmış kesici uç ile sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğin yüksek hızlı tormalanmasında araştırılmıştır. Aynı zamanda kaplamasız kesici ile kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Taguchi metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Son olarak, yüzey morfolojisini ve takım aşınmasını tahmin etmek için tarama elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri, incelenmiştir. Sert malzemelerin kaplanmış kesiciler kullanarak daha yüksek hızlarda ve daha düşük ilerlemelerde işlenmesinin yüzey kalitesini geliştirildiği belirtilmiştir (Sahu ve Choudhury, 2015).

Çetinkaya ve Kaçal; çalışmalarında, Böhler K390 soğuk iş takım çeliğinden kaplamalı karbürler ile frezelemede yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvvetlerini incelenmiştir. Üç farklı sıcaklıkta temperlenmiş numunelere dört farklı kesme hızı ve ilerleme hızında frezeleme yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  ve kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Aşınma tipleri ve mekanizmasını belirlemek için kesici uçların elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Freze performansı üzerinde en etkili kesme parametrelerini belirlemek için Varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, düşük kesme kuvveti,  $R_a$  değeri (0.031  $\mu m$ ) ve minimum takım aşınması yüksek sıcaklıkta temperlenmiş numunede elde edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre ilerleme  $R_a$  ve  $F_m$  üzerindeki en etkili parametre olmuştur (Çetinkaya ve Kaçal; 2014).

Ferreira vd., çalışmalarında AISI H13'ün konvansiyonel ve çok yarıçaplı seramik uçlarla tormalanması yüzey kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Seçilen tasarım faktörleri kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici takım türüdür. Elde edilen sonuçlar, varyans analizi (ANOVA) kullanılarak analiz edilmiş ve ilerleme hızı ile kesici takım tipinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi belirlenmiştir. Kesme hızının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulundu. Deneysel ile teorik değerler karşılaştırıldığında, konvansiyonel ve çok-yarıçaplı kesici uçların sonuçları farklı olmuştur. İlerleme hızının deneysel ve kuramsal sonuçlar üzerinde önemli bir etkisinin olduğu vurgulanmıştır (Ferreira vd., 2016a).

Kaçal ve Yıldırım'ın çalışmalarında, sertleştirilmiş (60 HRC) PMD23 toz metal çeliğinin tormalanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirilmiştir. Deneyler üç farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinde kuru şartlarda yapılmıştır. Kesici üzerinde krater aşınması ve az miktarda da serbest yüzey aşınması olduğu görülmüştür. İlerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla Ra değerleri artmıştır. ANOVA sonuçlarına göre ise Ra üzerindeki en etkin parametrenin kesme derinliği olduğu, ikinci dereceden en etkili parametrenin ise ilerleme olduğu tespit edilmiştir (Kaçal ve Yıldırım, 2016). Aynı malzeme için seramik kesicilerle yapılan bir çalışmada, ilerleme en etkin parametre olmuştur (Kaçal, 2014).

Bu çalışma, X40CrMoV5-1 çeliğinin CBN kesici ile yüksek hızlı tormalanmasında Ra için kesme koşullarının optimizasyonunu sağlayan bir model çıkarılmıştır. Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve kaplama koşulu kesme parametreleri olarak düşünülmüştür. Deneyler, Taguchi L32 ortogonal dizisine göre CNC torna tezgâhında gerçekleştirildi. Ra'nın birinci dereceden matematiksel modeli, çoklu regresyon analizi ile geliştirilmiştir. Sinyal-gürültü (S / N) oranlarının analizi ile optimizasyon çalışması, kuru kesme koşullarında, Ra'nın ilerleme hızının negatif olarak en belirgin faktör olduğunu belirtilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü, düşük ilerleme hızı ve kaplanmamış CBN ile sağlanmıştır (Yurtkuran vd., 2016).

Aouici vd. çalışmalarında, sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin wiper ve geleneksel seramik uçlarla kuru olarak tormalamışlardır. Yanıt Yüzey Metodunda (RSM) İşleme kuvveti ve takım aşınması değerlendirme kriteri olarak belirlenmiştir. İşleme kuvveti açısından, kaplamasız seramik (CC650WG wiper ve CC650 konvansiyonel) kaplanmış seramiklerden (CC6050WH Silecek ve CC650 konvansiyonel) daha iyi performans göstermiştir. Takım aşınması açısından wiper seramik uçlar geleneksel seramik uçlardan daha iyi performans göstermiştir (Aouici vd., 2016).

Davoudinejad ve Noordin çalışmalarında sertleştirilmiş DF-3 takım çeliğinin PVD-TiN kaplı karma seramik kesicilerle tormalanmasında kenar geometrisini takım aşınması, takım ömrü,

kesme kuvveti ve işlenmiş yüzeyin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Proses parametrelerinin performans özelliklerine etkisi, ANOVA kullanılarak araştırılmıştır. Krater aşınması seramik kesici takımlarda ana aşınma tipi olarak belirlenmiştir. En uygun kesme hızı 155 m/dk, olmuştur. Artan kesme hızı kesme kuvvetlerinde azalma etkisi göstermiştir (Davoudinejad ve Noordin, 2014).

Das vd., PVD-TiN kaplı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiCN karma seramik uç kullanarak AISI 4140 çeliğinin kuru tornalamışlardır. Kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) yüzey gibi yüzey pürüzlülüğü ve serbest yan yüzey aşınmasına etkilerini tam faktöryel tasarım (FFD) ve varyans analizi (ANOVA) ile araştırılmıştır. Sonuçlar, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen başlıca kesme parametresi, ardından kesme hızı olduğunu göstermiştir. Abrasifv aşınma mekanizması kesici üzerinde etkin olan aşınma mekanizması olmuştur. Deneysel veriler, optimum yüzey pürüzlülüğü aralığını tahmin etmek için yan aşınma analiz edildi. Tepki yüzeyi metodolojisi (RSM) temel alınarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve serbest yan yüzey aşınması (VB) için % 95 güven seviyesiyle matematiksel modeller geliştirildi (Das vd., 2015).

Das vd. çalışmalarında, kaplanmamış karbür ve kaplamasız sermet uçlar ile AISI 4340 çeliğini tornalamışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği ile iş parçası yüzey sıcaklığı, işleme kuvvetleri ve takım aşınması arasındaki ilişki incelenmiştir. Sermetler takım aşınması, kesme kuvveti ve iş parçası yüzey sıcaklığı açısından karbürlerin performansını aşmıştır (Das vd., 2016).

Ferreira vd., çalışmalarında sertleştirilmiş AISI H13 çeliğinin silici geometri ve klasik seramik kesicilerle tornalanması üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Silecek geometrisi asıl amacı kesme işleminden sonra daha pürüzsüz yüzey elde etmektir. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerlendirilmiştir. Silici geometri uçlar takım aşınması açısından iyi performans gösterirken yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir iyileşme göstermemiştir (Ferreira vd.,2016). Bir başka çalışmada aynı malzemenin karma seramiklerle tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri araştırılmıştır. İstatistiksel bir model geliştirilmiş, tahmin ve ölçüm değerlerinin birbirine yakın çıktığı belirtilmiştir (Boy vd., 2016).

Meddour vd., çalışmalarında sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğin karma seramik kesiciler ile tornalanmasında kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğü araştırmışlardır. Deneyslerinde kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı ve takım uç yarıçapı değişkenler olarak belirlenmiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü Yanıt yüzey metodu (RSM) kullanılarak değerlendirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin önemli derece de kesme derinliğinden etkilendiği, bunu takiben ilerleme hızının geldiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde küçük ölçülü deforme

olmamış talaş kalınlığının olumsuz etkisi büyük uç yarıçaplı kesici ile azaltılmıştır (Meddour vd., 2015).

Çalışmalarında sertleştirilmiş AISI H13 malzemenin seramik kesici ile tormalanmasına yönelik sonlu elemanlar yaklaşımı ve Archard aşınma modeli uygulanmıştır. Deform-3D yazılımı ile tormalama simülasyonu yapılmıştır. Gerekli olan Johnson-Cook parametreleri malzeme ve seramik kesici için açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar, sert takım için malzeme seçiminin pratik değerlerini oluşturmuştur (Hu ve Huang, 2013).

Rashid vd., çalışmada çeliklerin sertleştirildikten sonra tormalanması üzerine araştırma yapmışlardır. Bunun için 69 HRC sertliğindeki malzeme CBN kesicilerle tormalanmış, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerlendirilmiştir. Düşük ilerleme değeri pürüzlülüğü iyileştirirken takım aşınması üzerinde olumsuz etki göstermiştir (Rashid vd., 2016).

Kaçal ve Yıldırım çalışmalarında, sertleştirilmiş AISI D6 (60 HRC) soğuk iş takım çeliğinin seramik ile tormalamasının optimizasyonunu Gri ilişkisel analiz kullanarak gerçekleştirmiştir. Seramik ve CBN kesici uç kullanılmış, yüzey pürüzlülüğü, işleme kuvveti ve özgül kesme kuvveti değerlendirilmiştir. Kalite özellikleri üzerinde en etkili işleme parametrelerini gözlemek için varyans analizi kullanılmıştır. İlerleme en etkin parametre olmuştur. Serbest yan yüzey ve krater aşınması baskın aşınma tipleri olarak ortaya çıkmıştır. GRA başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Kaçal ve Yıldırım, 2013).

Bingül ve Kaçal, endüstride kesme, delme, plastik enjeksiyon kalıpları ve soğuk şekillendirme uygulamalarında mükemmel sonuçlar veren PM K390 soğuk iş takım çeliği sertleştirildikten sonra tormalanmasını araştırmışlardır. Farklı sıcaklıklarda temperlenen üç adet iş parçası üzerinde tormalama deneyleri CBN uçlar kullanılarak yapılmış ve performans karakteristikleri araştırılmıştır. Kesme deneylerinde dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme değeri kullanılmıştır. En iyi sonuçlar düşük temperleme sıcaklığındaki numunede elde edilmiştir (Bingül ve Kaçal, 2013).

Kaçal ve Yıldırım çalışmalarında, sertleştirilmiş AISI S1 soğuk iş takım çeliğinin seramik ve CBN kesme aletleri ile yüksek hızda sert tormalamasını deneysel olarak araştırmışlardır. Seramik ve CBN takım performansı, işleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması temel alınarak değerlendirildi. Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve takım türleri işlem parametreleri olarak belirlendi. İstatistiksel olarak kalite özelliklerine en etkin işleme parametrelerinin gözlemlenmesi için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. CBN kesici, seramik kesiciden daha iyi bir performans sergiledi. CBN ve seramik kesiciler için, kesme

hızındaki artış, serbest yan yüzey aşınmasını artırmıştır. Uygun kesme parametrelerinin seçilmesiyle, taşlama işleminin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerinin bu tür işlemler için düşürülmesi öngörülmüştür (Kaçal ve Yıldırım, 2013).

Çizelge 2.1’de verilen tabloya bakıldığında; çeliklerin sertleştirildikten sonra tornalanması üzerinde birçok çalışmanın yapıldığı ve bunların. 2000’li yıllarda ivme kazandığı görülmektedir. Her geçen gün kesici takım ve malzeme alanındaki yeni gelişmelerle bu alana olan ilgi devam etmektedir. Geleneksel tornalama operasyonlarının daha çok tercih edildiği ve ayrıca AISI D2, AISI H13, AISI 4140 ve AISI 52100 gibi malzemenin en fazla incelenen malzemeler olduğu göze çarpmaktadır. Çalışmaların birçok açıdan sertleştirilmiş malzemelerin tornalanmasını ele aldıkları görülmektedir.

Bu çalışmada ise yukarıda bahsedilen çalışmalardan farklı olarak, makine imalat endüstrisinde özellikle otomotiv sanayisi kalıp uygulamalarında artan ilgiyle kullanılan T/M yöntemiyle üretilmiş BOHLER K340 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliği tornalama operasyonları açısından araştırılmıştır. Tornalama deneyleri öncesinde deney malzemesi vakum ortamında 59 HRC değerine sertleştirilmiştir. Kesici takım olarak seramik kesiciler kullanılmıştır.



Çizelge 2.1.Literatür tablosu.

<b>Kesme Parametreleri</b>		<b>Değerlendirme kriterleri:</b>	
Kesme Hızı:Vc Kesme derinliği:ap İlerleme:f Kesici takım tipi:KT Kaplama özellikleri:KÖ Isıl işlem: HT Soğutma: S		Kesme kuvvetleri: KK Takım aşınması:TA Takım ömrü:TÖ Yüzey pürüzlülüğü:YP Artık gerilme:AG Talaş oluşumu:TO Kesme bölgesi sıcaklığı:KS Matematik ve İstatistiksel Yöntemler: Mİ	
<b>Kaynak</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Deney Param.</b>	<b>Değ. Kriterleri</b>
Mahfoudi vd., 2008	AISI 4140	Vc, ap, f, KT, HT	YP, TÖ
Kumar vd., 2003	EN24	Vc, ap, f, KT, HT	TA
Zeyveli ve Demir, 2009	AISI H13	Vc, ap, f, HT	YP
Şahin, 2009	AISI 52100	Vc, f, HT	Mİ
Derakhshan ve Akbari, 2009	AISI 4140	Vc, f, HT	YP
Chou, vd., 2002	AISI 52100	Vc, ap, f, KT, HT	TA
Gaitonde, vd., 2009 a ve b	AISI D2	Vc, ap, f, KT, HT	KK, YP, TA
Davim ve Figuera, 2007	AISI D2	Vc, ap, f, HT	YP, Mİ
Aslan vd., 2007	AISI 4140	Vc, ap, f, KÖ, HT	YP, TA, Mİ
Lima vd., 2005	AISI 4340 AISI D2	Vc, ap, f, KT, HT	KK, YP, TÖ
Qian ve Hossan, 2007	AISI H13, AISI 52100, AISI D2, AISI 4340	Vc, ap, f, KT, HT	KK
Çakır vd., 2009	AISI P20	Vc, ap, f, KÖ, HT	YP, Mİ
Fnides vd., 2008 a,b ; 2009	AISI H11	Vc, ap, f, KT, HT	KK, YP, TA, Mİ
Özel vd., 2005	AISI H13	Vc, ap, f, KÖ, HT	KK, YP
Elbah vd., 2013	AISI 4140	Vc, ap, f, KÖ, HT	YP, Mİ
Karpuschewski vd.,2013; 2014	X123CrMoV12	Vc, ap, f, KÖ, KT, HT	KK, YP, TA,
Bensouilah vd., 2016	AISI D3	Vc, ap, f, KÖ, HT	KK, YP, Mİ
Agrawal vd., 2015	AISI 4340	Vc, ap, f, KT, HT	YP, Mİ
Varaprasad vd., 2014	AISI D3	Vc, ap, f, KÖ, HT	TA, Mİ
Mia ve Dhar, 2016	AISI 1060	Vc, f, S, HT	KS, Mİ
Çetinkaya ve Kaçal; 2014	Böhler K390	Vc, ap, f, KT, HT	KK, YP, TA, Mİ
Ferreira vd., 2016 a	AISI H13	Vc, f, KT, HT	YP, Mİ
Kaçal ve Yıldırım, 2016, 2014	PMD23	Vc, ap, f, KT, HT	YP, TA,
Yurtkuran vd., 2016	X40CrMoV5-1	Vc, ap, f, KÖ, HT	YP, Mİ
Aouici vd., 2016	AISI 4140	Vc, ap, f, KT, HT	KK, TA, Mİ
Davoudinejad ve Noordin, 2014	DF-3	Vc, ap, f, KÖ, HT	KK, YP, TA, TÖ
Das vd., 2015	AISI 4140	Vc, ap, f, KÖ, HT	YP, TA, Mİ
Das vd., 2016	AISI 4340	Vc, ap, f, KÖ, HT	KK, TA, Mİ
Ferreira vd.,2016 b	AISI H13	Vc, f, KT, HT	YP, TA
Boy vd., 2016	AISI H13	Vc, f, KT, HT	KK, YP, Mİ
Meddour vd., 2015	AISI 52100	Vc, ap, f, KT, HT	KK, YP, Mİ
Hu ve Huang, 2013	AISI H13	Vc, ap, f, KT, HT	Mİ
Rashid vd., 2016	AISI 4340	Vc, ap, f, KT, HT	YP, TA
Kaçal ve Yıldırım, 2013	AISI D6	Vc, ap, f, KT, HT	KK, YP, TA,Mİ
Bingül ve Kaçal, 2013	Böhler K390	Vc, ap, f, KT, HT	KK, YP, TA
Kaçal ve Yıldırım, 2013	AISI S1	Vc, ap, f, KT, HT	KK, YP, TA, Mİ
Huang ve Lian, 2003	AISI 52100	Vc, ap, f, KT, HT	Mİ
Zhou, 2008	10Cr6	Vc, ap, f, KT, HT	KK,TA, TÖ
Kundrak, 2008	AISI 5115	Vc, ap, f, KT, HT	YP
Motorcu, 2010	AISI 52100	Vc, ap, f, KT, HT	TÖ, TA, Mİ

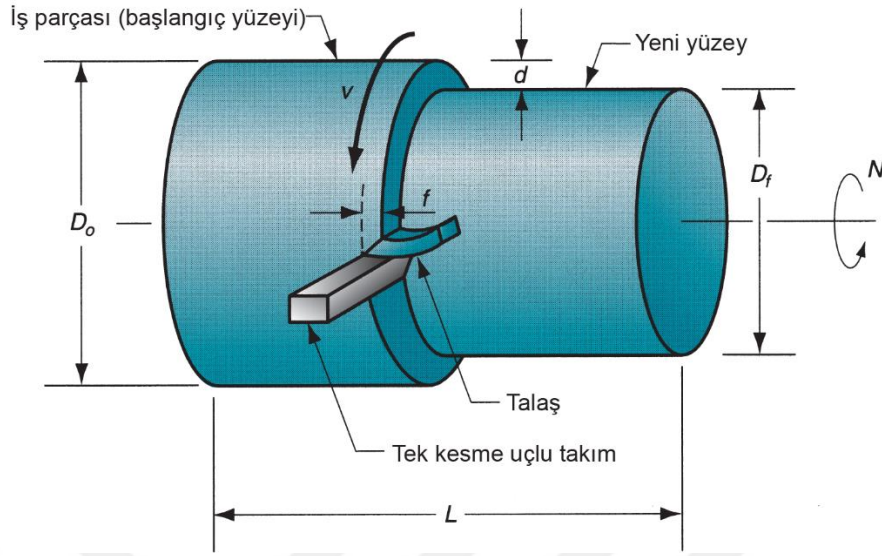
## 3. ÇALIŞMAYA AİT TEMEL KAVRAMLAR

### 3.1. Takım Çelikleri

Takım çeliklerinin pek çoğu su verme ve temperleme ısıl işlemi ile yüksek sertlik elde edilebilen yüksek karbonlu çeliklerdir. Endüstriyel alanda kullanılan takım çelikleri, soğuk iş takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri, yüksek hız takım çelikleri ve plastik kalıp çelikleri olmak üzere dörde ayrılabilir. Plastik kalıp çelikleri hem sıcak hemde soğuk iş takım çeliklerini içerebilir. Soğuk iş takım çelikleri, oda sıcaklığında çalışan kalıp ve takımlarda, yüksek sıcaklıklara dayanım gerekemediğinden, aşınma dayanımı ve tokluğu sağlayacak şekilde olmalıdır. Sac metal kalıpları, bıçaklar, baskı makaraları, zımbalar, pres takımları, soğuk ekstrüzyon takımları vb. soğuk iş takımları çeliklerinden üretilir (Erdoğan, 2000; Demirok, 2008)). Sıcak iş takım çelikleri, oda sıcaklığında şekillendirilmeyen demir, çelik ve diğer metallerin ısıtılarak şekillendirilmesi için kullanılır. Sıcak iş takım çeliklerinde; yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini koruyabilmesi, yüksek sıcaklıkta aşınma dayanımlarının yüksek olması ve ısı iletkenliklerinin yüksek olması gibi özellikler aranır. Enjeksiyon döküm kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, dövme kalıpları, kalıp ve boru presleri ve aksamaları, delici zımbalar ve kalıpları vb. sıcak iş takım çeliklerinden yapılır. Yüksek hız çeliklerinin en genel uygulama alanı talaş kaldırma takımlarıdır. Yüksek sıcaklıklarda göstermiş oldukları yüksek mukavemetlerinden dolayı, yüksek hız çelikleri, sıcak iş takım çelikleri olarak da kullanılırlar (Özgün, 2007). Takım çeliklerinde son yıllarda alaşımlama ve üretim aşamaları açısından toz metalürjisi yönteminin öne çıktığı görülmektedir. Yeniden ergitme yöntemi ile mikro ve makro segrasyon sağlanarak homojen bir yapı elde edilebilmektedir (Osmanlı, 2017).

### 3.2. Tortalama İşlemi

Tortalama tek nokta temaslı kesici takım ile silindirik biçimli parça yüzeylerini oluşturulması işlemidir. İş parçası dönerken kesici doğrusal hareket yapar (Şekil 3.1). İş parçasının işlenmemiş çapı ( $D_o$ ) Tortalama; iş parçasına istenilen şekil verilirken bunun kesme derinliği ( $d$ ) kadar bir parça kesici ile kaldırılarak son çapa ( $D_f$ ) ulaşılır. Tortalama işleminde ana parametreler çap ve devir sayısının sonucu olan kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğidir. Alın, boyuna, konik tornalama, kanal açma, vida çekme, delik delme ve büyütme, tırtıl çekme tornalama operasyonları olarak karşımıza çıkmaktadır (Groover, 2011/2015, 476).



Şekil 3.1. Tornalama işleminin gösterimi (Groover, 2011/2015, 501).

### 3.3. Talaşlı İmalatta İşlenebilirlik

İşlenen malzemenin kesici bir takım ile şekillendirilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu işlenebilirlik olarak adlandırılır. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzeyi kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik karakteristikleri ile iş parçasının işlenebilirliği belirlenebilir. İş parçası malzemelerinin metalürjisi, kimyası, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar gibi özellikler işlenebilirliği etkilerler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde işleme yöntemi ve işleme parametrelerinin etkisi büyüktür (Şirin, 2010; Özçatalbaş, 2008).

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Sertlik arttıkça kesici takımın aşınma hızı artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmaktadır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığma talaş (Built-Up-Edge-BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmaktadır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracak için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır (Özçatalbaş, 2008).

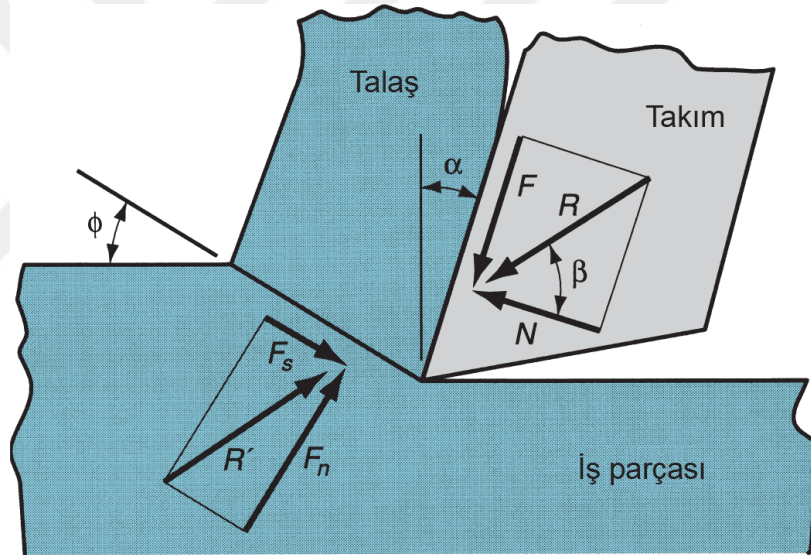
Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısı işlem ve malzeme dökülürken var olan çevresel ve kimyasal şartlar işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler. Bazı durumlarda kimyasal bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler (Demirok, 2008). Bir malzemenin işlenebilirliği, işlemeli ve işlenmesiz deneyler ile aşağıda verilen kriterler ile değerlendirilebilir (Özçatalbaş, 2008).

- Takım Ömrü: Takımdaki standart bir aşınma miktarına kadar veya takım kullanılamaz duruma gelmeden önce standart kesme şartlarında kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma süresidir.
- Kesme Hızı: Standart kesme şartları ve takımın, belirlenen bir zaman aralığında talaş kaldırma işleminin başarı ile sürdürüldüğü maksimum kesme hızı veya işlenen parça sayısıdır (Otomat tezgahlarda).
- Kesme Kuvvetleri veya Güç Tüketimi: Takım üzerine etkileyen kesme kuvvetleri (belirli şartlarda dinamometre ile ölçülür) veya kesme işlemi için gerekli güçtür.
- Yüzey kalitesi: Belirli işleme şartları altında işlenen parçanın yüzeyindeki pürüzlülük derecesidir.
- Talaş Biçimi: Standart kesme şartları altında, takımın kesme etkisine göre oluşan talaş biçimidir.
- Mikroyapı deneyleri, Whittman, Woldman, Robbins ve Lawless yaptıkları çalışmalarda, tornalama ve frezeleme işlemleri için düzenli dağılmış lamelli kaba perlitin, işlenebilirlik açısından optimum mikroyapı olduğunu belirtmişleridir.
- Fiziksel özellik deneyi, Henkin ve Datsko, boyutsal analiz tekniklerini kullanarak genel bir işlenebilirlik değeri geliştirmek için, malzemenin fiziksel özelliklerine dayalı basit bir kriter oluşturmuşlardır (Özçatalbaş, 2008).

### 3.3.1. Kesme kuvvetleri

Talaş kaldırma olayını gerçekleştirmek için kesme düzleminde meydana gelen dirençleri karşılayacak kuvvet talaş kaldırma kuvveti olarak belirtilmektedir. Talaş kaldırma sırasında (ortogonal kesme) oluşan kuvvetlerin gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir. Burada parçaya gelen ve kesici takıma gelen kuvvet bileşenleri görülmektedir. Kesme düzlemindeki kuvvetler; kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile iş parçası arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Düzlem boyunca yayılmış durumda olan bu kuvvetler, kesme düzleminin ortasında veya takımın ucuna uygulanan tek bir kuvvet olarak gösterilebilir. Takım tarafından talaşa uygulanan kuvvetler sürtünme kuvveti ( $F$ ) ve buna dik olan kuvvet ( $F_n$ )’dir. Yine burada yer alan Kesme kuvveti ( $F_s$ )

ve bu kuvvete dik olan normal kuvvet ( $F_n$ ) yer almaktadır. Kesici takıma gelen kuvvetler ölçülebilmektedir. Bu kuvvetlerin ölçülmesinde dinamometre adı verilen cihazlar ve tamamlayıcı donanımları kullanılmaktadır. Bu alanda günümüz akademik çalışmalarına bakıldığında piezoelektirik prensiple çalışan dinamometrelerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu tip dinamometrelerde kesici uç dinamometre üzerindedir. Kesiciye gelen kuvvet dinamometrede colomb cinsinden bir elektrik yükü oluşturur. Bu yüke ait sinyaller bir amlifierden geçtikten sonra DAC (Data Acquisition Card) tarafından dönüştürülerek yazılım aracılığıyla kesme kuvveti bileşenlerine dönüştürülür. Silindirik boyuna tornalama işleminde dinamometre ile ölçülen kuvvet bileşenleri; esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), ilerleme kuvveti ( $F_f$ ), pasif kuvvet ( $F_p$ )'dir.  $F_c$  kuvveti dinamometrenin z eksenine,  $F_f$  kuvveti "x", pasif kuvvet "y" yönündedir.



Şekil 3.2. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri (Groover, 2011/2015, 484).

### 3.3.2. Takım aşınması

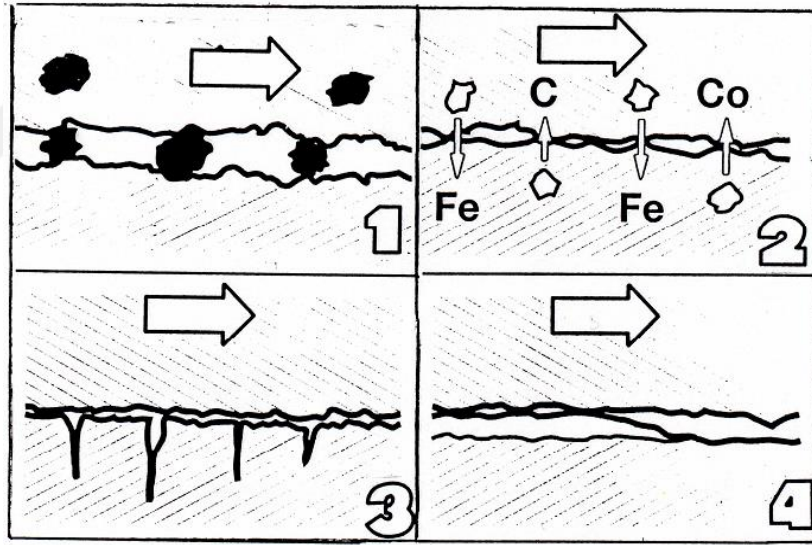
Aşınma, kesici takımın malzeme kaybından ileri gelen ve ilk şekline göre oluşan farklılıktır. Yâda kesme süresi boyunca devam eden şekilde kesici takımda oluşan kütle kaybı olarak da tanımlanabilir. Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma sırasında ömürlerinin sonuna kadar aşınırlar. Takım aşınması, kesici kenar üzerine uygulanan yük faktörleri kombinasyonunun bir etkisidir. Kesici kenarın ömrü, kenar geometrisini değiştirmeye çalışan bu faktörler sayesinde belirlenir (Özçatalbaş, 2008).

Aşınmaya sebep olan esas yük faktörleri;

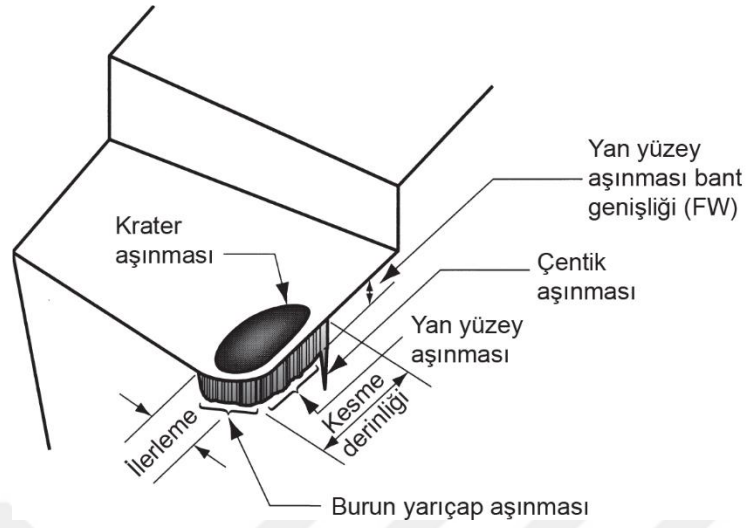
- Mekanik
- Isıl
- Kimyasal
- Sürtünme faktörleridir.

Yukarıda verilen bu faktörler talaş kaldırma sırasında birkaç temel aşınma mekanizması oluştururlar (Şekil 3.3).

- Sürtünme ile Aşınma
- Difüzyon ile Aşınma
- Yorulma ile Aşınma
- Yapışma ile Aşınma
- Oksidasyon ile Aşınma



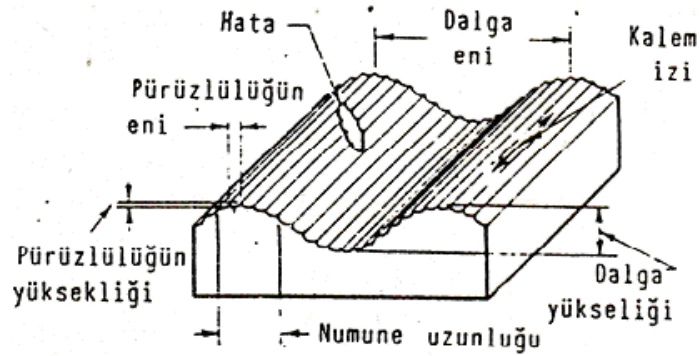
Şekil 3.3. Talaş kaldırmada temel aşınma mekanizmaları (Özçatalbaş, 2008).



Şekil 3.4. Kesme kenarındaki aşınma tipleri (Groover, 2011/2015, 543).

### 3.3.3. Yüzey pürüzlülüğü

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü sapma oluşur. Dalga, geometrik sapmalar grubuna girdiğinden yüzey kalitesini, yüzey pürüzlülüğü tayin eder. Şekil 3.5'te yüzey pürüzlülüğünü tayin eden faktörler belirtilmiştir.



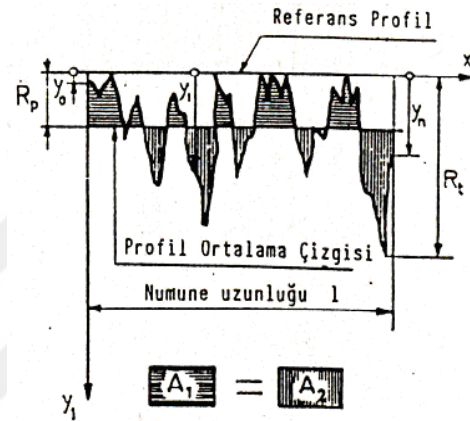
Şekil 3.5. Yüzey özellikleri (Özçatalbaş, 2008).

Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir (Şekil 3.6). belli başlı pürüzlülük parametreleri aşağıda verilmiştir;

- Maksimum profil tepe yüksekliği, ( $R_p$ ): Seçilmiş uzunluk sınırları içinde, ortalama çizgi ve profilin en yüksek noktası arasındaki mesafedir.



- Profilin maksimum yüksekliği, ( $R_p$ ): Seçilmiş örnek uzunluk sınırları içinde, profil çukurları çizgisi ve profil tepeleri arasındaki mesafedir.
- Düzensizliklerin 10 nokta yüksekliği, ( $R_z$ ): Seçilmiş örnek uzunluk sınırları içinde beş en yüksek profil tepe yükseklikleri ve beş en derin profil çukur derinliklerinin mutlak değerlerinin ortalamasıdır.
- Profil sapsmalarının aritmetik ortalaması, ( $R_a$ ): Seçilmiş örnek uzunluktaki profil sapsmalarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.



Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmesi (Özçatalbaş, 2008).

- İdeal yüzey pürüzlülüğü; kesici takımın geometrisi, ilerleme veya ilerleme hızının sonucudur.
- Tabii yüzey pürüzlülüğü; talaş kaldırma işlemindeki düzensizliklerin sonucudur.

Kesici takımdaki hatalar, vuruntular, yığıntı talaş yığılması gibi faktörler azaltıldığında, kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı oluşturulan en iyi bitirme değerlerini gösterir. Sayısal karşılaştırmalar ve analizler için, bir dizi veya tek bir faktöre göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek çok kullanışlı bir yöntem olabilir. Bu amaçla en genel kullanılan dizi ( $R_a$ ) aritmetik ortalama değeri olarak bilinir (Özçatalbaş, 2008). Genellikle, pratik kesme işlemlerinde kullanılan takımların ucu yuvarlatılmıştır. İdeal şartlarda bu tür takımla işlenen yüzeyin güzgülmesi beklenir. Bu yüzey için matematiksel ortalama pürüzlülük değeri veren teorik eşitlik ideal pürüzlülük değerini verir. Ancak talaş kaldırma sürecinde yer alan faktörler bu değeri elde edilmesini güçleştirir.

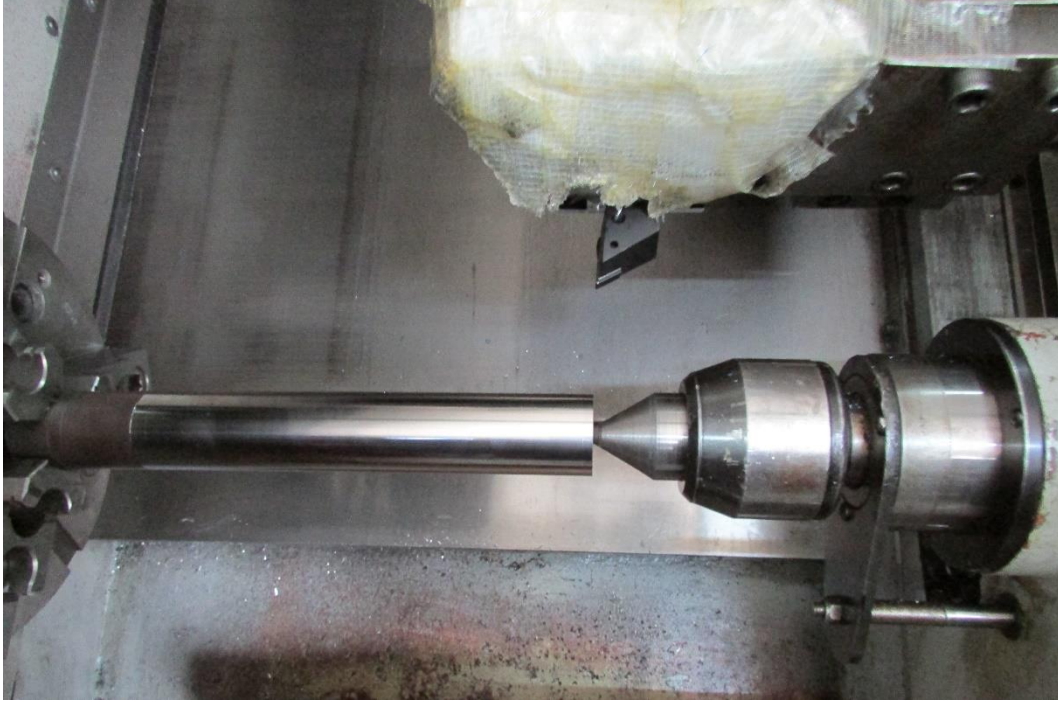
Uç kavis yarıçapı  $r_c$  olduğunda;

$$R_a = \frac{0.0321 f^2}{r_c} \times 1000 (\mu m) \quad \text{Eşitlik (3.1)}$$



## 4. MALZEME ve YÖNTEM

Tornalama deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1 'de tornalama deneyleri esnasında çekilen fotoğraf verilmiştir. Tüm deneyler kuru kesme şartlarında yapılmıştır.



Şekil 4.1. Tornalama deneylerinin yapılışı.

### 4.1. Kullanılan CNC Torna Tezgâhı

Çalışma planında yer alan deneyler Çizelge 4.1 'de özellikleri verilen CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan CNC torna tezgâhının özellikleri.

JOHNFORD T35 CNC TORNA		
X eksen	(mm)	250
Z eksen	(mm)	600
Tezgâh gücü	(kw)	10
Devir sayısı	(dev./dak.)	4000
Hidrolik ayna çapı	(mm)	250
Hassasiyet	(mm)	0.001
Taret, takım bağlama kapasitesi		12
Kontrol paneli		Fanuc

## 4.2. Deney Numunesi

BÖHLER K340 ISODUR, çok geniş kullanım alanına sahip, universal soğuk iş takım çeliğidir. Yüksek aşınma direnci ve basınç direncinin mükemmel sertlikle birleşmesi istenen durumlardaki uygulamalarda, BÖHLER K340 ISODUR™ tüm takım çelikleri arasında bu özelliklerin hepsine sahip olduğunu kanıtlamıştır. Bu çelik şekillendirme ve delme takımları, kalıplar ve zimbalar soğuk iş takımları, çekme, derin çekme ve ekstrüzyon takımları, madeni para takımları, bükme takımları, vida ovalama takımları, endüstriyel bıçaklar, makine parçaları (örn. kılavuz çubuğu) imalatında kullanılmaktadır (Osmanlı, 2017). Çizelge 4.2’de Böhler K340 çeliğinin temel kimyasal bileşimi verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Böhler K340 çeliğinin temel kimyasal bileşimi (ağırlıkça %) (Osmanlı, 2017).



C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Diğer ilaveler
1.10	0.90	0.40	8.30	2.10	0.50	Kalan

K340 malzeme Böhler Uddeholm Çelik Sayı ve Tic. A.Ş./ Kocaeli firmasından Ø 43x304 mm ölçülerinde temin edilmiştir. Malzeme sertliği 180 HRB’dir. Deney numunesi Ø 41,5x300 mm boyutunda tornalandıktan ve punta delikleri açıldıktan sonra Bodycote/Bursa firmasına gönderilmiş, burada, vakum ortamında 59 HRC’ye sertleştirilmiştir. Sertlik değeri, fakültemizde yer alan sertlik ölçüm cihazı ile ayrıca kontrol edilmiştir. Deney numunesi deneylerin yapılacağı CNC torna tezgahı ayna-punta rasına bağlandıktan sonra Ø 41 mm ölçüsünde tornalarak çap ve yüzey bütünlüğü sağlanmıştır.

## 4.3. Kullanılan Kesici Takımlar

Kesme deneylerinde TaeguTec firmasından temin edilen seramik kesici uç kullanılmıştır. Seçilen kesici ucun AB30 kalitesi iyi derecede tokluk ve aşınma direncine sahip olan karma seramiktir. Sertleştirilmiş çelikler, dökme demirler ve sert malzemeler için önerilmektedir. Kesikli kesme koşullarında da kullanılabilir. Mekanik sıkımalık değiştirilebilir bu uçlar ISO 3685 ’de önerildiği şekilde, ISO 1832 (Kesici takımlar için değiştirilebilir uçlar) ’ye uygun olup takım tutucu biçimi ise ISO 5608 ’e göre DDJNR-2525-M15 olarak seçilmiştir. Kullanılacak kesici ucun kalitesi (grade), sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliklerinin özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Çizelge 4.3 ’te kullanılan kesici uca ve takım tutucuya ait bilgiler verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Kesici uç ve takım tutucu teknik özellikleri.

<i>Kesici uç</i>	<b>DNGA 150608 AB30</b>	
Uç yarıçapı, mm	0,8	
Kenar geometrisi	Pahlı ve honlanmış	
Pah genişliği, mm	0,15	
Pah açısı	25°	
Kalite	AB30 (Tageutech)	
Kompozisyon	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiC	
<i>Takım tutucu</i>	DDJNR-2525-M15	
Yanaşma açısı ( $K_r$ )	93°	

#### 4.4. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Kesme kuvvetli bileşenlerinin ölçümü için KISTLER 9257B 3 bileşenli dinamometre CNC torna tezgâhına uygun şekilde yerleştirilmiştir. Dinamometreden gelen sinyallerin veri okuma kartına (Type 2855A3 A/D Board CIO-DAS 1602/12 veri alma kartı) aktarılmasında KISTLER 5070A çok kanallı amplifier kullanılmaktadır. Veri aktarımında 1677A5 veri kablosu, 1500 B15 kablo, RS232 kablo kullanılmıştır. Verilerin işlenmesi ve grafiklerin elde edilmesi için Windows işletim sistemi ile uyumlu KISTLER Dynoware 2825A-02-01 yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4.2 'de kullanılan dinamometrenin ve amplifierin özellikleri verilmiştir.



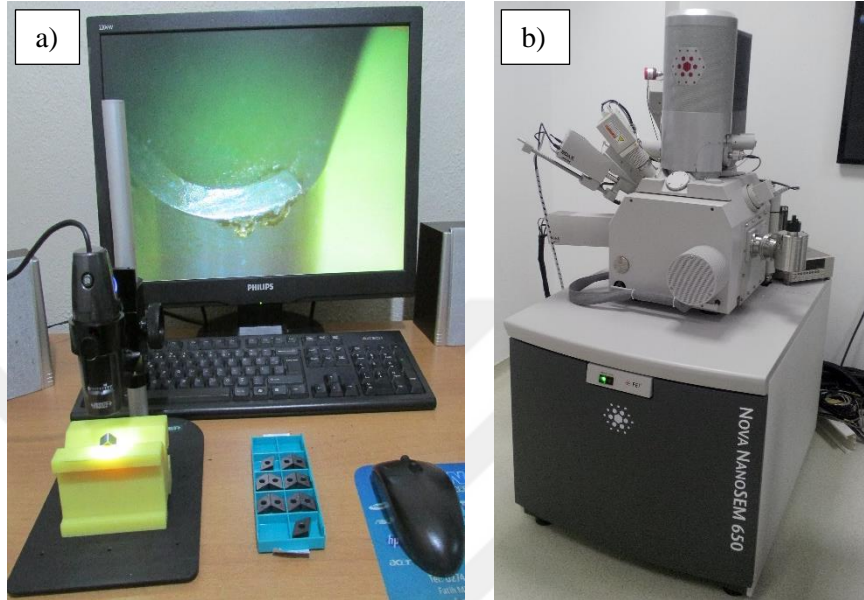
<b>Dinamometre Teknik özellikler (KISTLER Tip 9257 B)</b>			
Özellikler		Birim	Değerler
Kalibrasyon			Kalibre edilmiştir.
Ölçme aralığı	Fx, Fy, Fz	kN	-5...10
Duyarlılık	Fx, Fy, Fz	pC/N	≈ -7,5
Doğal Frekans	fn (x, y, z)	kHz	≈ 3,5
Çalışma sıcaklık aralığı		°C	0...70
Bağlantı			Fischerflange 9 pole neg.
Sızdırmazlık			IP67
Kütle		kg	7,3
<b>Amplifier Teknik Özellikleri (KISTLER Tip 5070A01100)</b>			
Kanal sayısı			8
Açıklama			19" rack
Bağlantı			Fischer 9 pol. Neg.
Ölçüm aralığı		pC	±200...200000
Frekans aralığı		kHz	≈0...>45
Çıktı sinyali		V	±10
Güç		V	100...240
Arayüz			RS-232C

Şekil 4.2. Dinamometre ve amplifierin teknik özellikleri.

#### 4.5. Takım Aşınmasının Ölçülmesi

Çalışmanın planı gereği kesme derinliği değeri düşüktür. Dolayısıyla talaş hacmi düşük olduğundan kesici uçlar üzerinde orta ya da kaba tornalama operasyonlarındaki gibi aşınma miktarı beklenmemektedir. Ancak, kullanılan deney malzemesinin alaşım ve sertleştirilmiş olması kesici takımlarda beklenmedik aşınma oluşmasına neden olabilmektedir. Bu amaçla tornalama deneyi sonrasında kesici uçların görüntüleri INSIZE elektronik mikroskop (Şekil 4.3. a) kullanılarak çekilmiştir. Bu görüntülerin ışığında aşınma mekanizmalarının ve takım aşınması türlerinin tespit edilmesi amacıyla gerekli görülen kesici uçların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Dumlupınar Üniversitesi İLTEM'de bulunan SEM cihazı (Şekil 4.3.b)

kullanılarak alınmıştır. Tüm bu görüntüler aracılığı ile meydana gelen aşınma tipleri ve mekanizmaları değerlendirilmiştir. Ayrıca kesici uçların SEM görüntüleri çekilerek değerlendirilmiştir.



Şekil 4.3. a) Elektronik mikroskop, b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

#### 4.6. Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi

Her bir deneyden sonra yüzey pürüzlülükleri işleme kalitesinin tespiti ve etkilendiği parametrelerin tespiti için ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü için fakültemiz TIME TR 200 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmış. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.4 'te verilmiştir. Deneylerin yapımı aşamasında pürüzlülük ölçümü sırasında çekilen fotoğraf Şekil 4.4 'te verilmiştir.



**Çizelge 4.4.** Kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.

<b>Model</b>	TIME TR 200
<b>Tarama hızı</b>	1 mm/sn
<b>Standartlar</b>	ISO/DIN/JIS/ANSI
<b>İğne uç yarıçapı</b>	5 $\mu\text{m}$
<b>Ölçüm aralıkları</b>	0,02-160 $\mu\text{m}$
<b>Filtre</b>	RC, PC-RC, GAUSSIAN, D-P
<b>Örnekleme uzunluğu (Cut-off length) (<math>\lambda</math>)</b>	0,25 – 0,8 – 2,5 (mm)
<b>Ölçülebilen parametreler</b>	Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rm, R3z, S, Sm, Sk,
<b>Dil</b>	Seçilebilir farklı dil
<b>Güç kaynağı</b>	Entegre, Li-Ion şarj edilebilir pil
<b>Prob</b>	TS100 Elmas, radyüs:5 $\mu\text{m}$



**Şekil 4.4.** Tornalama deneyi sonrasında pürüzlülük ölçümü.

#### 4.7. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri

İncelenen literatür ve kesici takım firmasının tavsiyelerine göre deney malzemesi için kesme parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler ışığında en yüksek parametrelerde deneme deneyleri yapılmıştır. Bu duruma bağlı olarak belirlenen kesme hızlarında değişiklik yapılmıştır. Tornalama deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 4.5 'te verilmiştir.

Ayrıca bu malzemenin istatistiksel analizleri için ANOVA 'nın istatistiksel yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Literatür incelemesi bölümünde açıklanan bu yöntemle, kesici takım tipi, kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

**Çizelge 4.5.** Kesme parametreleri ve seviyeleri.

Sembol	İşleme Parametreleri	Seviyeler			
		1	2	3	4
A	Kesme Hızı, $V_c$ (m/dak.)	80	120	160	200
B	İlerleme, $f$ (mm/dev.)	0,05	0,1	0,15	0,2
C	Kesme Derinliği (mm)	0,25	0,50	0,75	----
D	Kesici Takım	Seramik	----	----	----

Tornalama deneyleri yukarıda verilen parametreler dikkate alınarak tam faktöriyel deney tasarımında yapılmıştır. Kesme kuvveti bileşenleri, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve aşınma mekanizmaları Sertleştirilmiş Böhler K340 malzemenin tornalanmasında işlenebilirlik değerlendirmeleri için ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlarının analitik ve istatistiksel analizleri yapılmıştır. İstatistiksel analizde varyans analizinden (ANOVA) yararlanılmıştır.

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde hem grafiksel hem de istatistiksel yaklaşım ele alınmıştır. İstatistiksel değerlendirme kapsamında varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Bununla birlikte ana etki grafikleri de hazırlanarak değişkenlik değerlendirmelerine geniş açıdan yaklaşmıştır. Ayrıca kesici takım aşınma mekanizmalarını belirlemek için kesici uçların tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve EDX görüntüleri alınmıştır.

Malzeme ve metod bölümünde verilenlere göre yapılan deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ve kesme kuvvetler ( $F_f$ ,  $F_p$ ,  $F_c$ ,  $F_m$ ) sayısal sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.

### 5.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Deney parametreleri doğrultusunda yapılan her bir kesme deneyinden sonra, işlenen yüzeyler üzerinden üçer adet  $R_a$  pürüzlülük değeri ölçülmüştür. Bu üç değer in ortalaması alınarak Çizelge 5.1’deki değerler elde edilmiştir.  $R_a$  değerleri ile kesme parametreleri arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 5.1 ve 5.2’de verilmiştir. Grafiklerde eğriler kesme derinliklerine göre yerleştirilmiştir. Ayrıca tüm kesme parametrelerinin etkilerini doğrudan görebilmek için özellikle de kesme derinliğinin ( $a_p$ ) etkisini görmek için Şekil 5.3’te verilen grafik hazırlanmıştır.

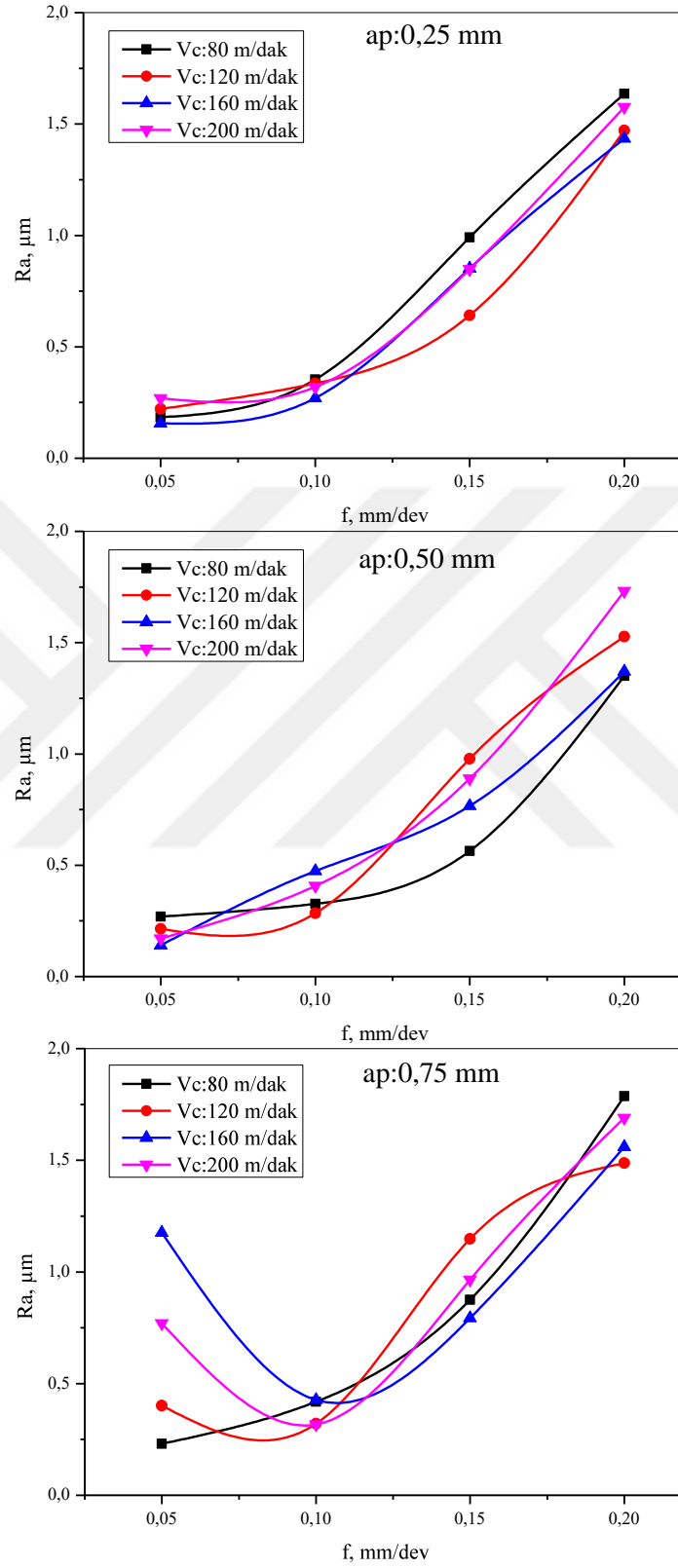


Çizelge 5.1. Deneysel sonuçlar.

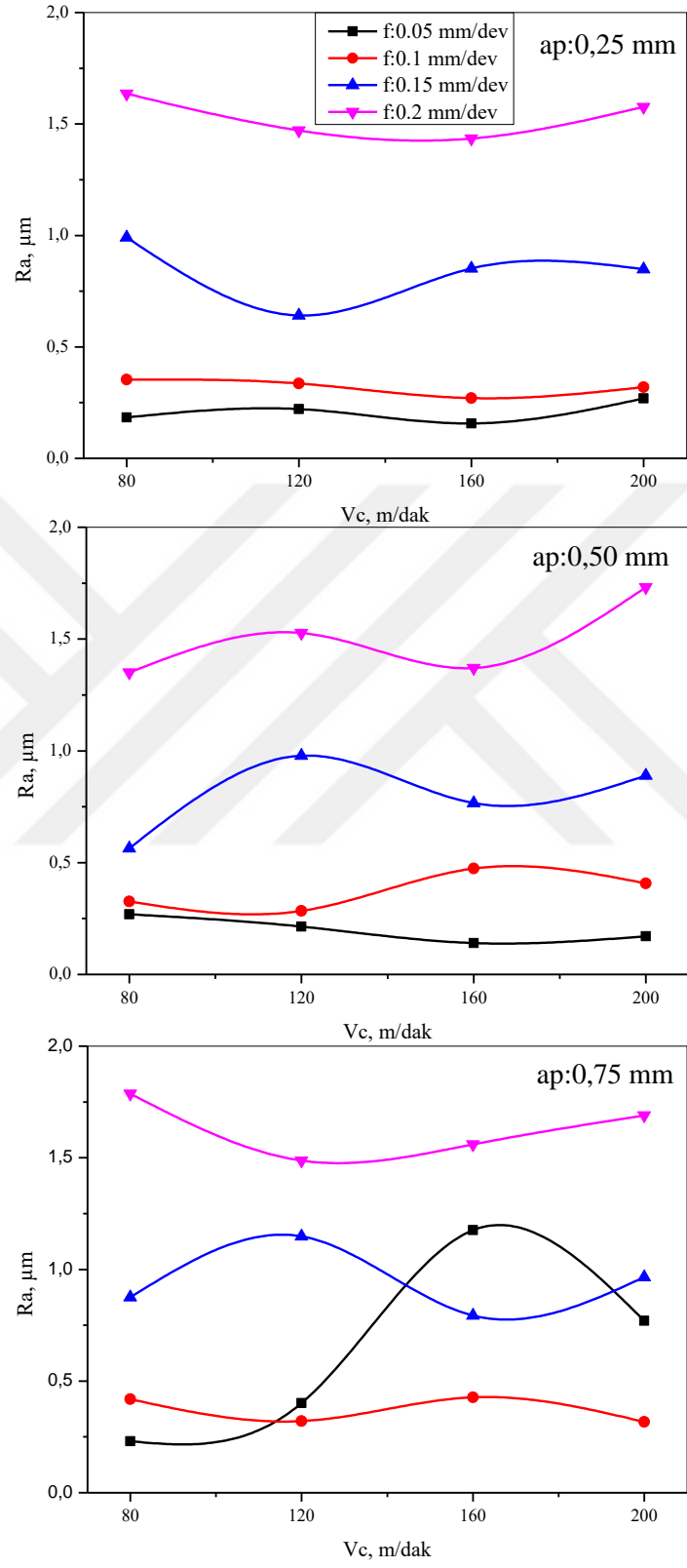
Deneysel No	Kesme Derinliği, $a_p$ (mm)	Kesme Hızı, $V_c$ (m/dak)	İlerleme, $f$ (mm/devir)	Yüzey pürüzlülüğü, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Kesme Kuvvetleri (N)			
					$F_r$	$F_p$	$F_c$	$F_m$
1	0,25	200	0,05	0,27	55,11	106,76	92,75	151,78
2	0,25	200	0,1	0,32	71,56	141,71	136,87	209,61
3	0,25	200	0,15	0,85	84,33	173,31	178,84	262,93
4	0,25	200	0,2	1,58	100,02	210,96	221,95	322,13
5	0,25	160	0,05	0,16	50,83	97,06	93,88	144,28
6	0,25	160	0,1	0,27	66,64	131,62	136,57	201,04
7	0,25	160	0,15	0,85	82,17	166,68	180,33	258,95
8	0,25	160	0,2	1,43	94,91	201,94	242,20	329,32
9	0,25	120	0,05	0,22	53,78	100,28	96,67	149,31
10	0,25	120	0,1	0,34	72,08	138,92	143,98	212,66
11	0,25	120	0,15	0,64	89,20	177,29	190,07	274,80
12	0,25	120	0,2	1,47	99,01	213,60	231,82	330,41
13	0,25	80	0,05	0,18	53,59	102,98	100,43	153,50
14	0,25	80	0,1	0,35	75,08	143,61	150,36	221,06
15	0,25	80	0,15	0,99	85,88	205,80	205,61	303,32
16	0,25	80	0,2	1,64	99,36	216,39	234,62	334,28
17	0,50	200	0,05	0,17	115,83	145,41	145,89	236,31
18	0,50	200	0,1	0,41	163,15	207,81	226,66	348,11
19	0,50	200	0,15	0,89	265,67	341,48	311,08	532,88
20	0,50	200	0,2	1,73	311,86	413,14	386,48	645,99
21	0,50	160	0,05	0,14	116,13	148,83	150,12	241,19
22	0,50	160	0,1	0,47	161,28	204,23	235,74	351,13
23	0,50	160	0,15	0,77	262,81	326,98	322,41	529,09
24	0,50	160	0,2	1,37	319,85	422,86	396,49	662,06
25	0,50	120	0,05	0,21	113,71	138,76	155,03	237,10
26	0,50	120	0,1	0,28	168,12	210,18	247,83	365,87
27	0,50	120	0,15	0,98	254,02	298,82	347,06	523,71
28	0,50	120	0,2	1,53	342,22	391,46	435,89	678,50
29	0,50	80	0,05	0,27	122,11	150,31	163,19	253,25
30	0,50	80	0,1	0,33	168,85	207,81	252,68	368,16
31	0,50	80	0,15	0,56	213,43	278,15	345,57	492,28
32	0,50	80	0,2	1,35	243,66	337,31	422,27	592,84
33	0,75	200	0,05	0,77	126,37	174,40	157,55	250,04
34	0,75	200	0,1	0,32	184,43	237,12	242,48	386,05
35	0,75	200	0,15	0,96	232,82	307,68	316,55	499,08
36	0,75	200	0,2	1,69	362,74	498,21	388,38	728,45
37	0,75	160	0,05	1,18	124,47	150,17	160,90	252,85
38	0,75	160	0,1	0,43	167,54	206,17	247,32	362,96
39	0,75	160	0,15	0,79	263,48	324,68	333,68	534,96
40	0,75	160	0,2	1,56	321,14	422,51	399,65	664,35
41	0,75	120	0,05	0,40	172,68	154,05	208,87	311,73
42	0,75	120	0,1	0,32	271,46	243,74	346,13	502,90
43	0,75	120	0,15	1,15	464,91	393,85	487,38	780,26
44	0,75	120	0,2	1,49	615,95	508,71	618,97	1010,60
45	0,75	80	0,05	0,23	175,31	152,99	220,24	320,38
46	0,75	80	0,1	0,42	261,40	230,68	355,32	497,79
47	0,75	80	0,15	0,88	324,24	313,51	481,03	659,40
48	0,75	80	0,2	1,79	381,76	389,02	585,71	800,08

Şekil 5.1 'te görüldüğü gibi 0,25 ve 0,5 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde ilerleme değerlerindeki artışa paralel olarak Ra değerlerinin de arttığı görülmektedir. 0,05 – 0,1 mm/dev. arasında belirgin bir değişim olmazken 0,15 mm/dev ve üzerinde Ra değerinde hızlı bir artış görülmektedir. Ra değerinin ilerleme artışına bağlı olarak artması literatürde de görüldüğü gibi beklenen bir durumdur. Artan ilerleme talaş kesitini arttırarak kesmeyi zorlaştırır. Aynı zamanda da yüzeydeki ilerleme iz aralıkları da artar (Bingül ve Kaçal, 2013). 0,5 mm kesme derinliğinde diğerlerinden farklı olarak 120, 160 ve 200 m/dak kesme hızlarında ilerleme 0,05 mm/dev'den 0,1 mm/dev değerine çıktığında Ra azalma eğilimi göstermiştir. Bunun sebebinin kesme derinliği ve kesme hızı değerleri yüksek iken ilerlemenin düşük olması çıkan mikro talaşların tekrar kesme bölgesine katılmasıyla ilişkilendirilebilir. Ardından tekrar artmıştır.

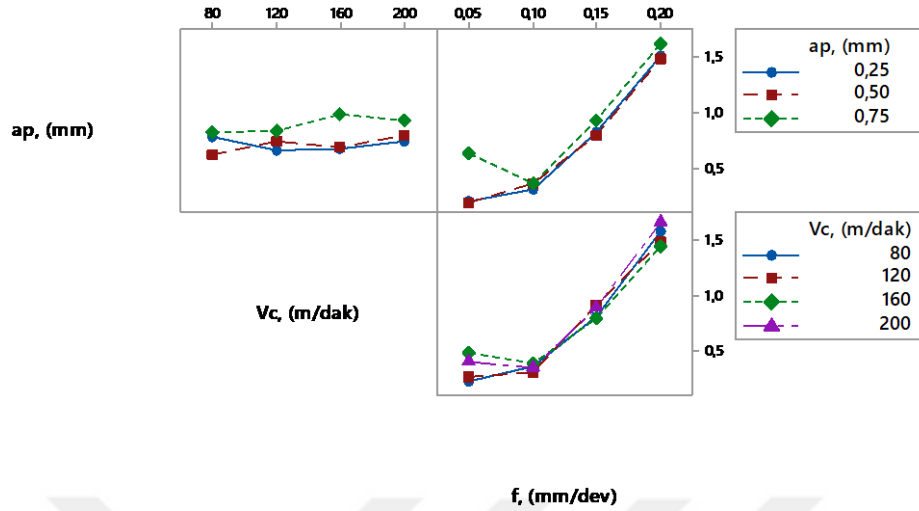
Şekil 5.2'de kesme hızlar açısından hazırlanan grafikler değerlendirildiğinde, kesme hızı artarken Ra değerinin bazen azaldığı bazen de arttığı görülmektedir. Genel olarak kesme hızının Ra üzerindeki etkisinin tutarlı olmayışı (Ferreira vd., 2014)'nin açıkladıkları ile örtüşmektedir. Artan kesme hızıyla kesme bölgesinde artan sıcaklık talaş oluşumunu nispeten daha kolaylaştıracağından pürüzlülükte bir miktar iyileşme görülebilir. Fakat kesme hızındaki artışın fazla olması Ra üzerindeki küçük etkisinden çok aşınma artışı problemi ile sonuçlanması muhtemeldir. Deney malzemesinin sertleştirilmiş olması bu olumsuz durumu arttırabilir. Şekil 5.3'de verilen etkileşim grafiğinde yukarıda açıklanan çıkarımları yapmak mümkündür. Ayrıca burada ap değerlerindeki değişime göre Ra'nın fazla bir değişim göstermediği söylenebilir. Genel olarak Ra değerleri en çok ilerleme ve kesici takım uç yarıçapından ardından kesme derinliği ve az miktarda kesme hızından etkilenir. Uç yarıçapı bu çalışmada sabit alındığından ilerleme ön planda olmuştur. Yukarıda bahsedilen açıklamalara ANOVA değerlendirmelerinde daha geniş bir bakış açısı getirilecektir. En düşük Ra değeri 0,5 mm kesme derinliği, 0,05 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızı şartlarında 0,14 µm olarak elde edilmiştir. Bu değer tornalama operasyonları açısından taşlama kalitesine yakın olması da dikkate alındığında oldukça iyi bir değerdir. En yüksek Ra değeri ise 0,75 mm kesme derinliği, 0,2 mm/dev ilerleme ve 80 m/dak kesme hızı parametrelerinde 1,79 µm olarak ölçülmüştür. 80 m/dak kesme hızında 0,05 mm/dev 'den 0,2 mm/dev değerine 4 kat artarken Ra değeri 7,78 kat (% 780) artmıştır. Malzemenin ısı ile sertleştirilmiş olması ve talaş kesitinin belirgin olarak artması bu sonucun kaynağı olarak gösterilebilir.



Şekil 5.1. Yüzey pürüzlülüğünün ilerlemeye göre değişimi.



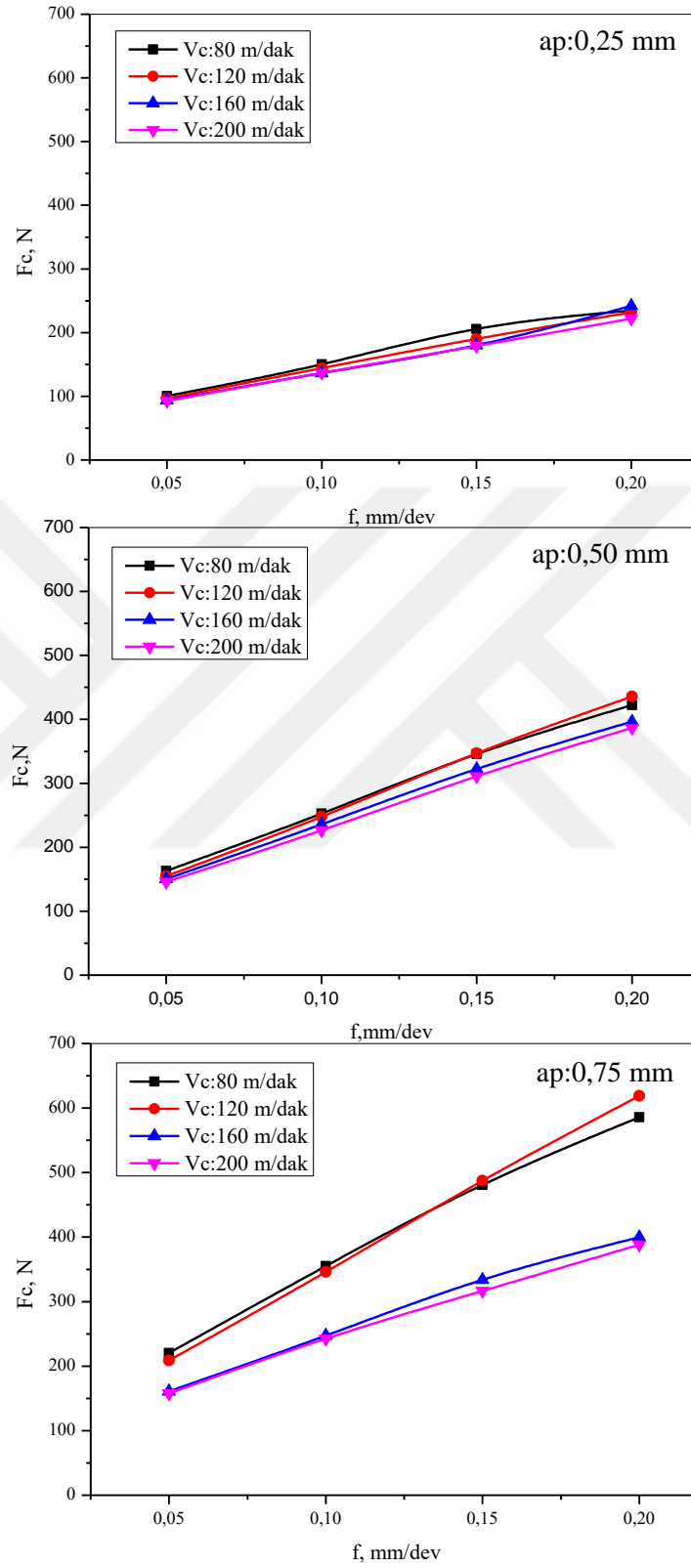
Şekil 5.2. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimi.



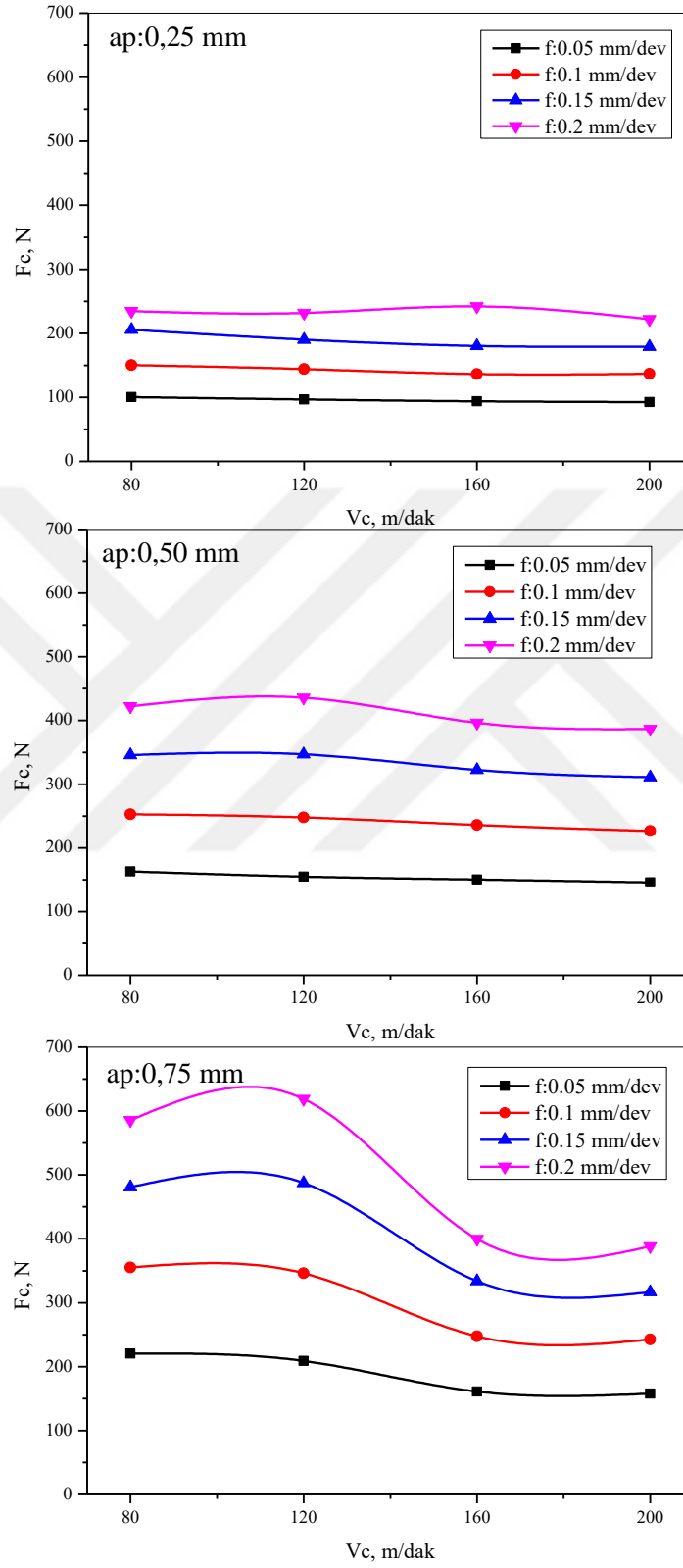
Şekil 5.3. Ra'nın etkileşim grafiği.

## 5.2. Kesme Kuvvetleri

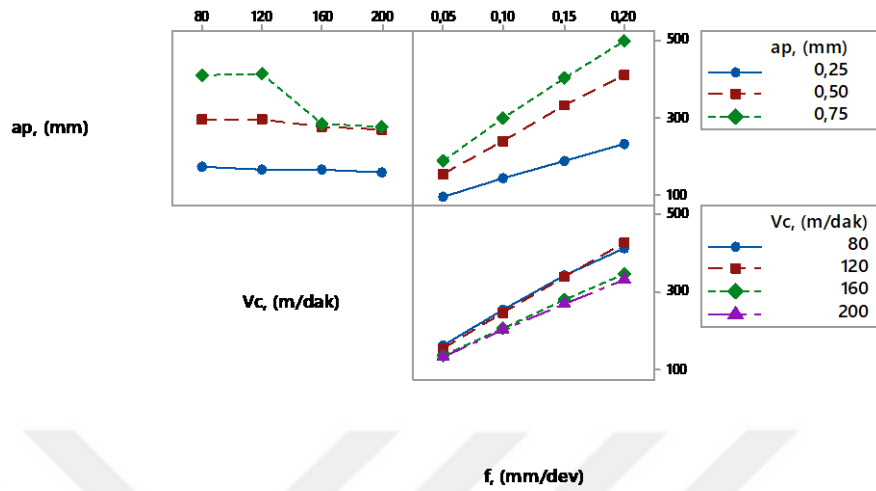
Kesme kuvvetleri bileşenleri esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), ilerleme kuvveti ( $F_f$ ), pasif kuvvet ( $F_p$ ) ve bileşke kuvvet/işleme kuvvetinin ( $F_m$ ) değerlendirilmesi için ilerleme ve kesme hızına göre grafikler hazırlanmıştır. Ayrıca Şekil 5.6'da verilen etkileşim grafiği ile de  $a_p$  açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 5.4'de esas kesme kuvvetinin ilerlemeye bağlı, Şekil 5.5'te ise kesme hızına bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde üç kesme derinliğinde de ilerleme hızındaki artışa paralel olarak esas kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür. İlerleme miktarlarındaki artışın deforme edilmemiş talaş kesitini arttırmasından dolayı artan enerji gerekliliği esas kesme kuvvetini arttırmıştır. Artan takım-talaş temas uzunluğu da kuvvetin artışına katkı sağlamaktadır. Şekil 5.5'te esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi verilmiştir. Elde edilen esas kesme kuvveti sonuçları kesme hızları açısından değerlendirildiğinde; 0,25 ve 0,5 mm kesme derinliğinde kesme hızının artışına göre belirgin bir azalma görülmemiştir. Ancak 0,75 mm kesme derinliğinde kayda değer bir azalma eğilimi görülmektedir. Nispeten yüksek olan talaş kesitini deforme edilmesinde artan kesme hızıyla yükselen kesme bölgesi sıcaklığı kesme bölgesinde akma sınırını düşürdüğünden belirgin kuvvet azalması beklenebilir (Trent ve Wright, 2000). En düşük esas kesme kuvveti 200 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,25 mm kesme derinliğinde 92,75 N ölçülmüştür. En yüksek değer ise 120 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,75 mm kesme derinliğinde 618,97 N çıkmıştır. Bu kesme hızında ilerlemenin 0,05 mm/dev'den 0,2 mm/dev değerine artışıyla kesme kuvveti 208,87 N'dan 618,97 N'a % 296 artmıştır. 0,5 mm kesme derinliğinde artış oranı % 10 ve 0,25 mm'de ise % 239 olmuştur. Diğer kesme hızları için de yaklaşık sonuçlar söz konusudur.



Şekil 5.4. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ )'nin ilerlemeye göre değişimi.



Şekil 5.5. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ )'nin kesme hızına göre değişimi.

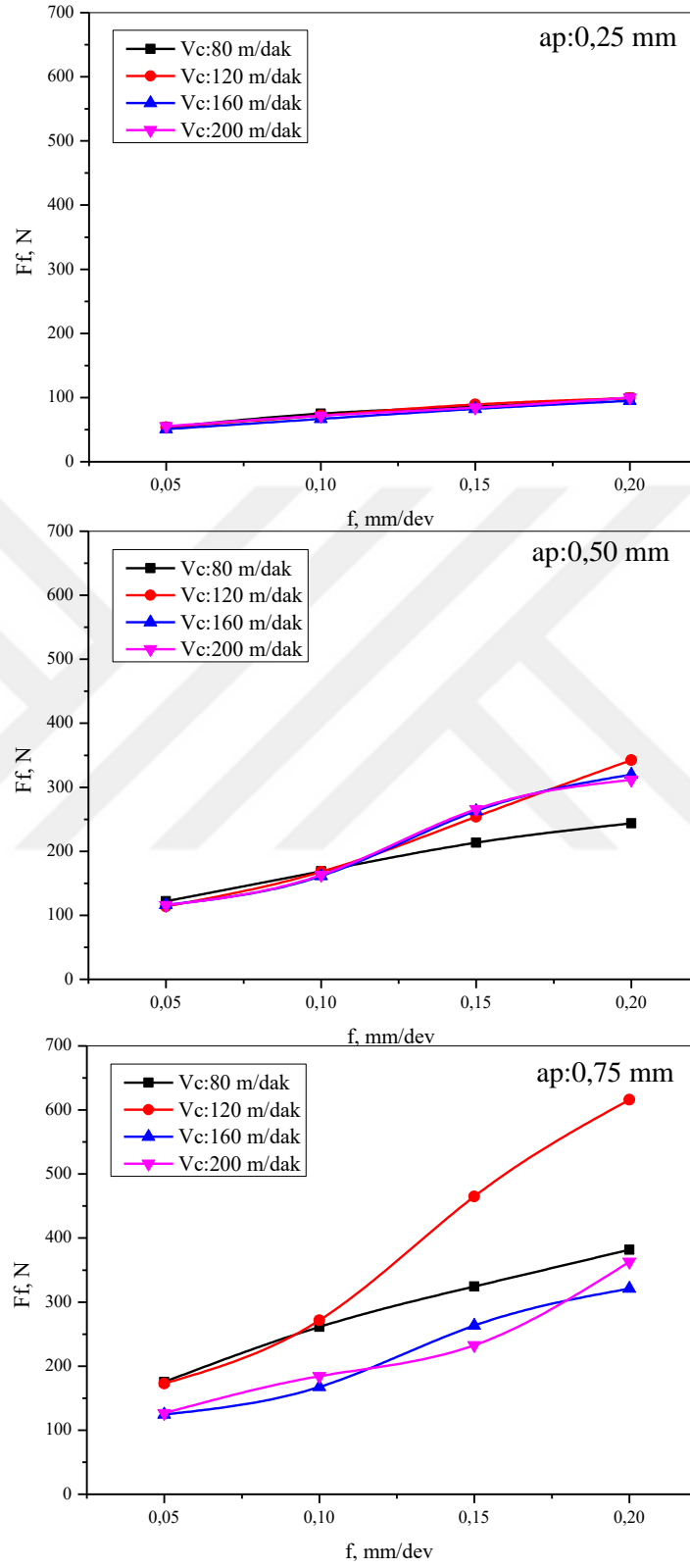


Şekil 5.6. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ )'nin ilişki grafiği

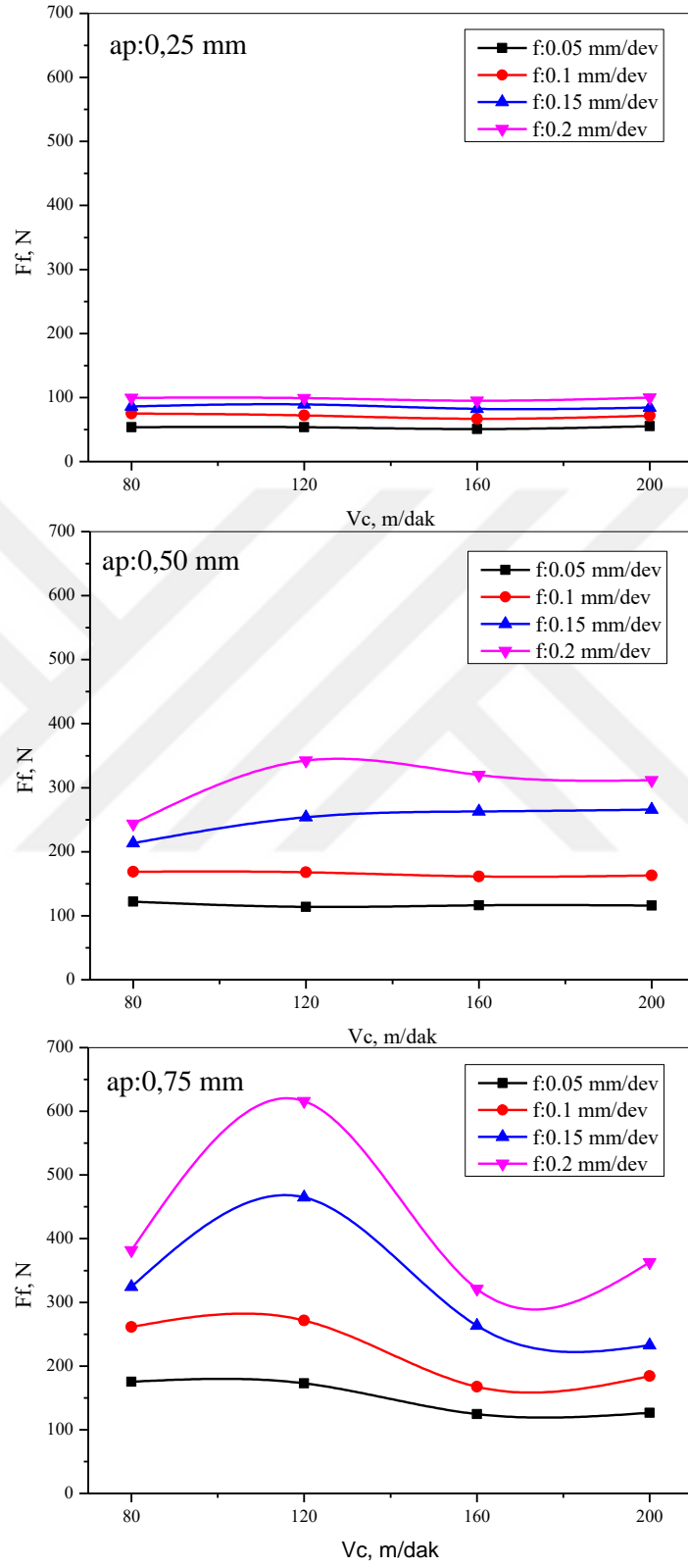
Şekil 5.6'da verilen etkileşim grafiği incelendiğinde kesme derinliğinin artmasıyla esas kesme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Artan  $a_p$  değeri deforme olmamış talaş kesitini arttırdığından bu beklenen bir sonuçtur.

İlerleme kuvvetinin ( $F_f$ ), ilerlemeye göre değişimi Şekil 5.7'de verilmiştir. Üç kesme derinliği için de ilerleme hızındaki artışla birlikte  $F_f$ 'nin arttığı görülmektedir. İlerleme miktarlarındaki artışın doğrudan ilerleme kuvveti ile ilişki olması bu sonucu belirlemiştir. Şekil 5.8'de  $F_f$ 'nin kesme hızına bağlı değişimi verilmiştir. 0,25 mm kesme derinliğinde neredeyse hiç değişim görülmemektedir. Ayrıca tüm ilerleme değerleri açısından da sonuçlar birbirine çok yakındır. 0,5 mm derinlikte değişimin belirginleştiği görülmektedir. 0,75 mm  $a_p$  değerinde ise  $F_f$  değerindeki azalmanın tüm ilerlemeler için kayda değer olduğu görülmektedir. Ölçülen en düşük  $F_f$  kuvveti 160 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,25 mm kesme derinliğinde 50,83 N'dur. En yüksek değer ise 120 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,75 mm kesme derinliğinde 615,95 N çıkmıştır. Bu kesme hızında ilerlemenin 0,05 mm/dev'den 0,2 mm/dev değerine artışıyla kesme kuvveti % 356 artmıştır. 0,5 mm kesme derinliğinde artış oranı % 300 ve 0,25 mm'de ise % 184 olmuştur. Benzer bir eğilim diğer kesme hızlarında da gözlemlenmiştir.





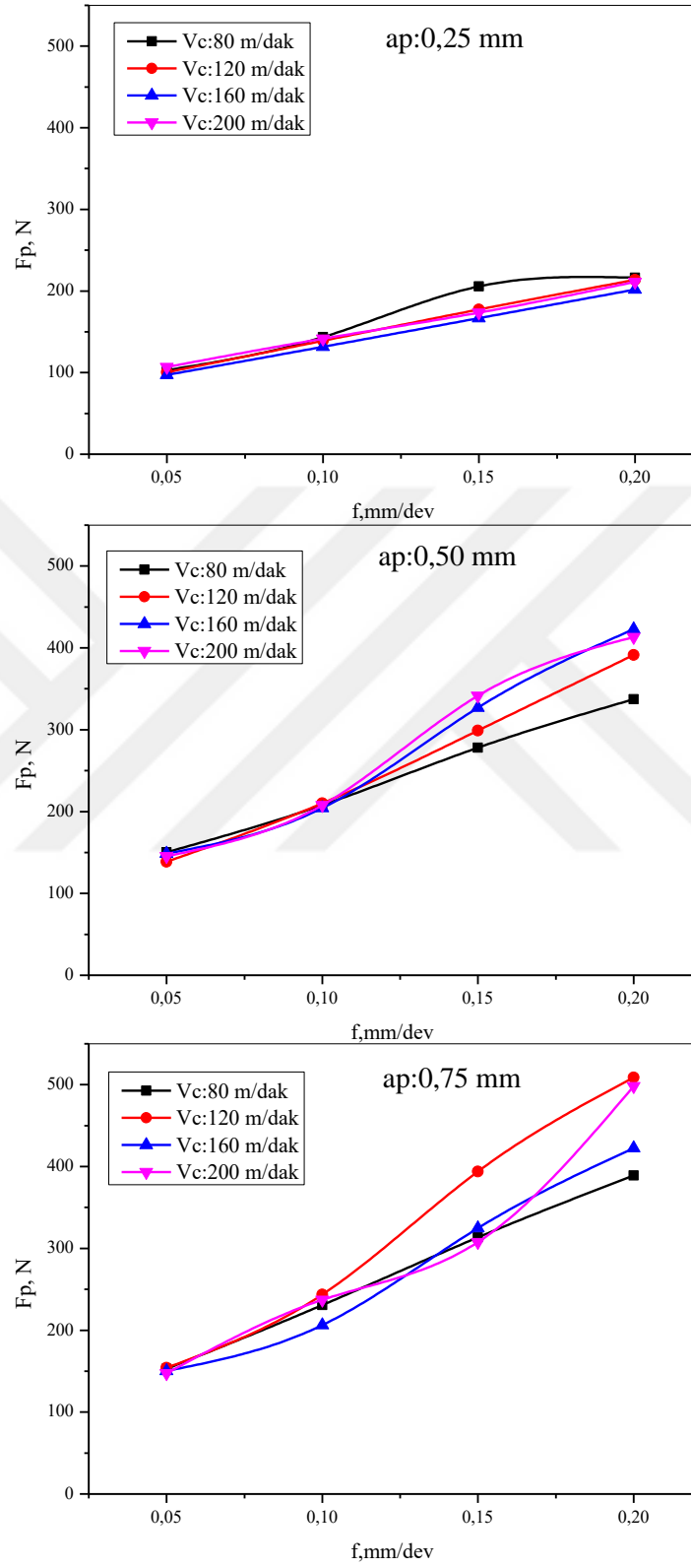
Şekil 5.7. İlerleme kuvveti ( $F_f$ )'nin ilerlemeye göre değişimi.



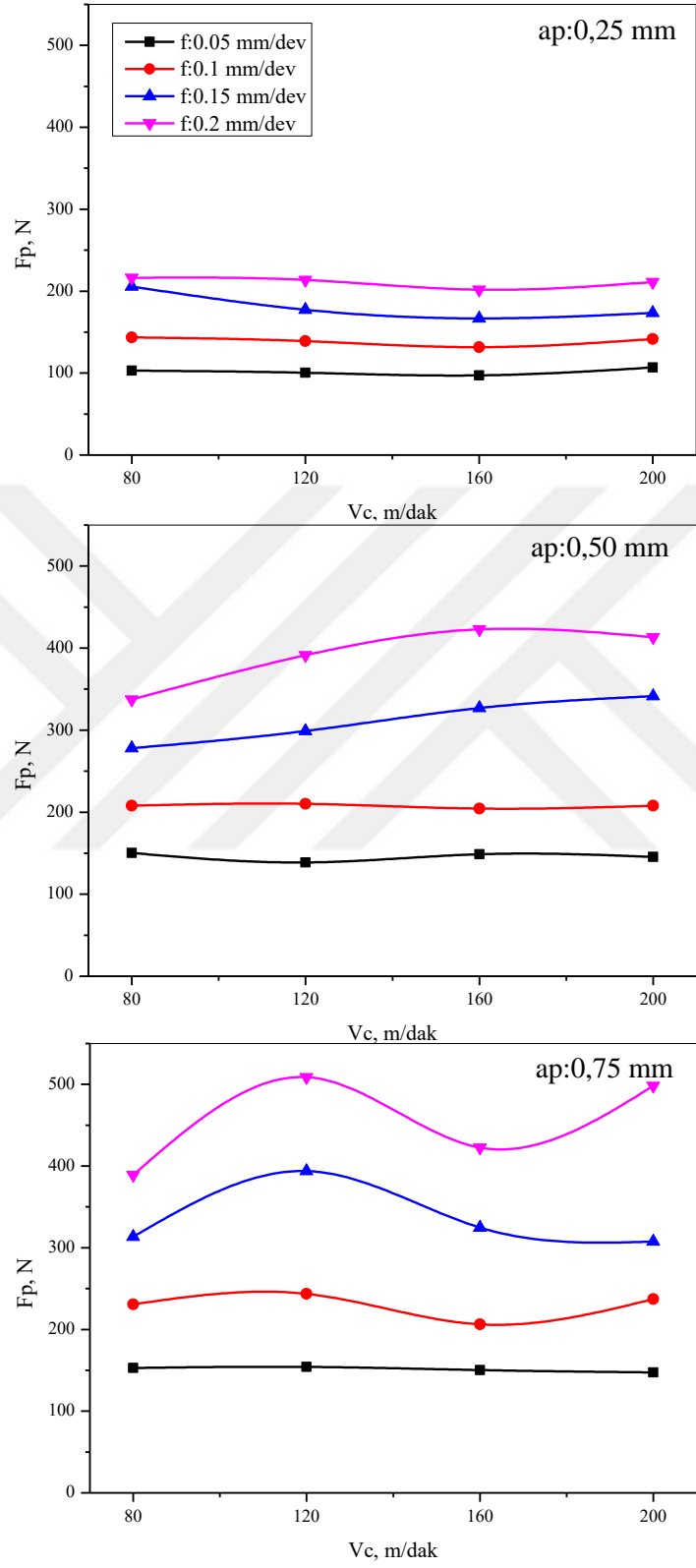
Şekil 5.8. İlerleme kuvveti ( $F_f$ )'nin kesme hızına göre değişimi.

Pasif (radyal) kuvvetinin ( $F_p$ ), ilerlemeye göre değişimi Şekil 5.9'da verilmiştir. Bu kuvvet kesiciyi tarete doğru itmeye çalışan kuvvettir. Bu kuvvetin artması tornalama işlemi için artan titreşim ve tırlama etkisidir. Dolayısıyla  $F_p$  kuvvetinin yüzey pürüzlülüğü ve bütünlüğü üzerinde etkisinin olduğu söylenebilir. Üç kesme derinliğinin için de ilerleme hızındaki artışla birlikte  $F_p$ 'nin arttığı görülmektedir. Grafiklerdeki değişim eğiliminin  $F_f$  grafikleri ile benzer olduğu görülmektedir. Şekil 5.10'da  $F_p$ 'nin kesme hızına bağlı değişimi verilmiştir. 0,25 mm kesme derinliğinde neredeyse hiç değişim görülmemektedir. Ayrıca tüm ilerleme değerleri açısından da sonuçlar birbirine çok yakındır. Ancak 0,5 mm kesme derinliğinde önceki kuvvet grafiklerinden farklı bir durum ortaya çıkmıştır. Başta 0,15 ve 0,2 mm/dev ilerleme değerleri olmak üzere artan kesme hızıyla kesme kuvvetleri azalmak yerine artış göstermiştir. Şekil 5.2'de verilen  $R_a$  eğrileri ile bu sonucun örtüştüğü dikkate alınarak artan  $F_p$ 'nin  $R_a$ 'yı olumsuz etkilediği doğrulanmaktadır. Bu durum artan kesme hızının parçanın sertliğine de bağlı olarak kesmenin zorlaşması ve titreşim eğiliminin artmasıyla ilişkilendirilebilir. 0,75 mm ap değerinde de yaklaşık sonuçlar çıkarılabilir. Ayrıca sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde, kesme derinliğinin kesici uç radyüsünden düşük olduğu durumlarda pasif kesme kuvveti artma eğilimindedir. Zaman zaman esas kesme kuvvetinin üzerinde bir değer alabilir. Bu deneysel çalışmada, düşük kesme derinliklerinde bu durum açıkça görülmektedir. Derinlik değeri uç yarıçapı değerine yaklaştıkça  $F_c$  ve  $F_p$  ilişkisi olağan halini almıştır. Normal şartlarda  $F_c$  en büyük kuvvet bileşenidir (Özçatalbaş, 2008; Çakır, 2006).

En düşük  $F_p$  kuvveti 160 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,25 mm kesme derinliğinde 97,06 N ölçülmüştür. En yüksek değer ise 120 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,75 mm kesme derinliğinde 508,71 N çıkmıştır. Bu kesme hızında ilerlemenin 0,05 mm/dev'den 0,2 mm/dev değerine artışıyla kesme kuvveti % 330 artmıştır. 0,5 mm kesme derinliğinde artış oranı % 282 ve 0,25 mm'de ise % 213 olmuştur.



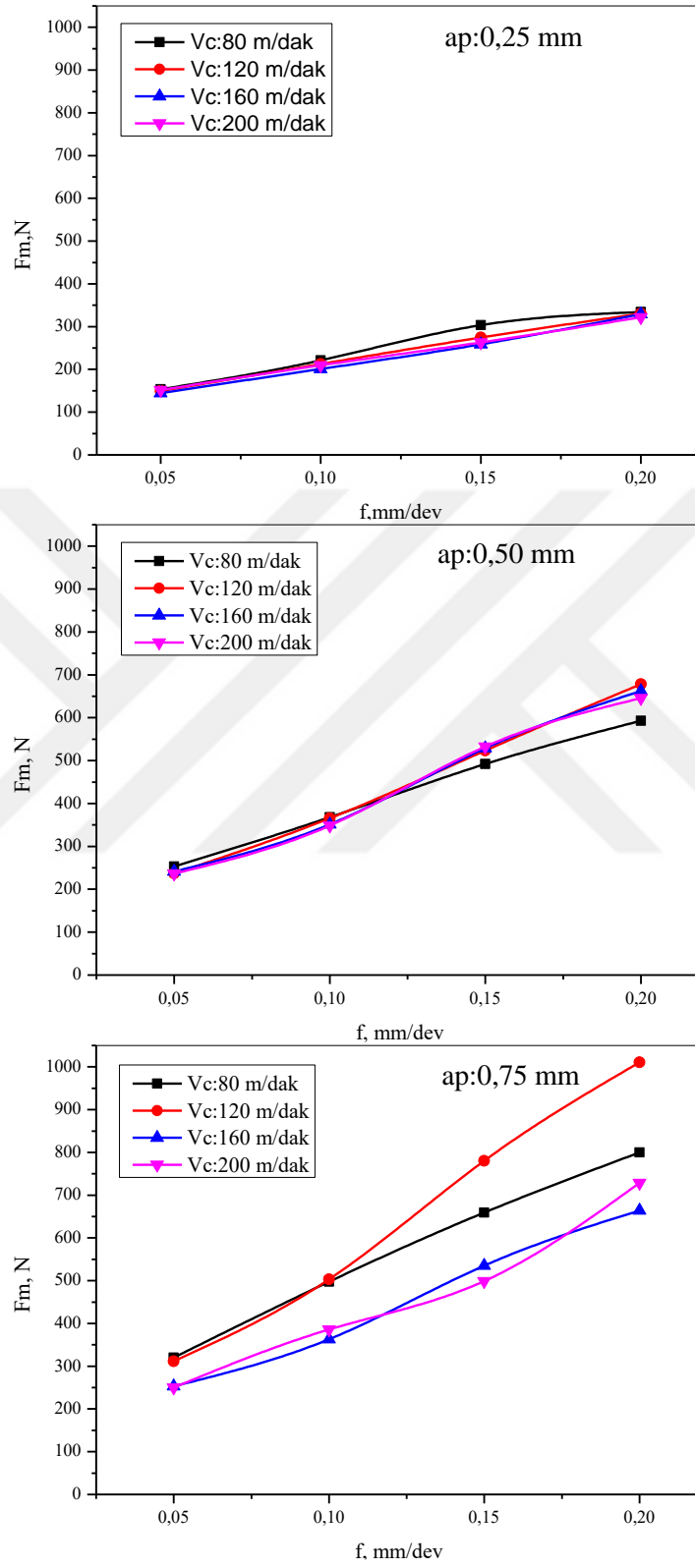
Şekil 5.9. Pasif (radyal) kuvveti ( $F_p$ )'nin ilerlemeye göre değişimi.



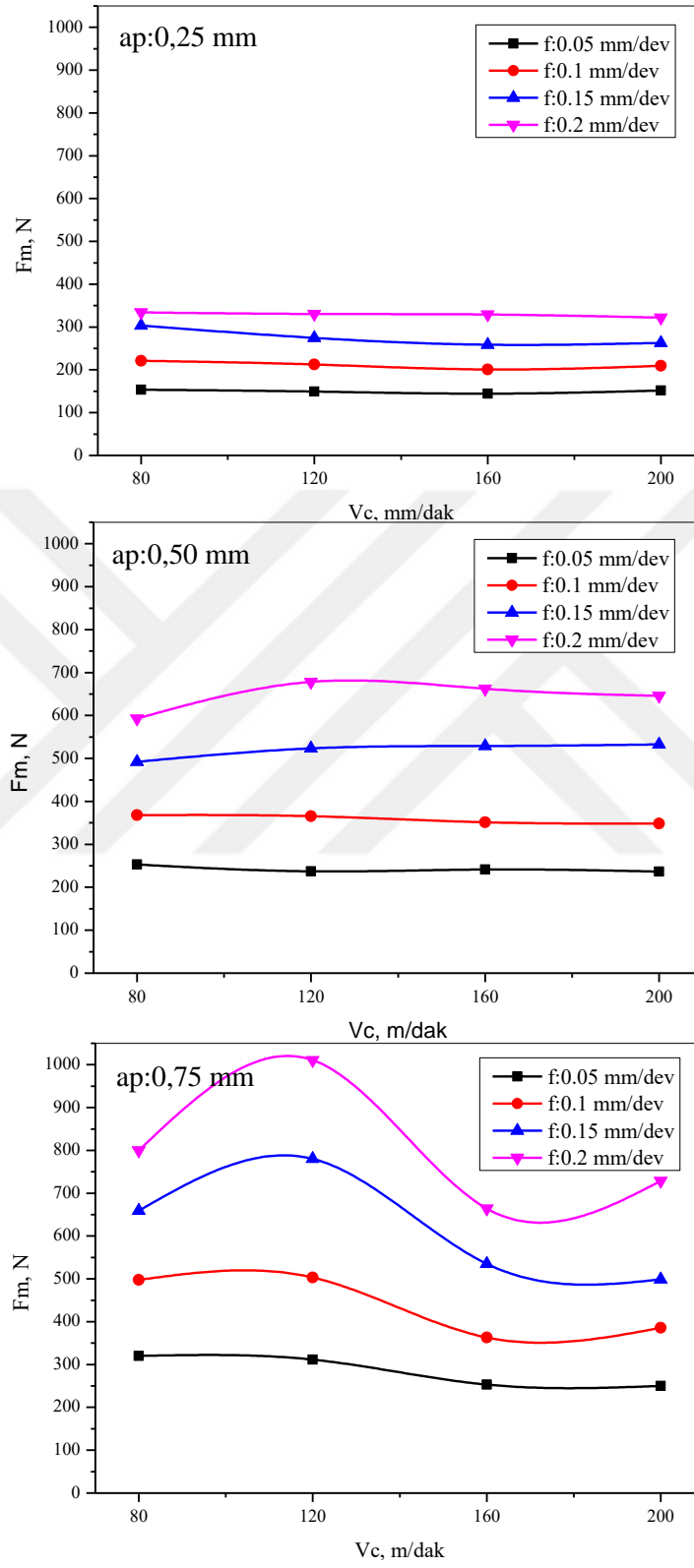
Şekil 5.10. Pasif (radyal) kuvveti ( $F_p$ )'nin kesme hızına göre değişimi.

Bazı işlenebilirlik çalışmalarında (Davim ve Figuera, 2007) kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesinde işleme (bileşke) kuvvetinin de incelendiği görülmektedir. İşleme kuvveti diğer üç kuvvetin kareleri toplamının kareköküdür.

Şekil 5.11’de işleme kesme kuvvetinin ilerlemeye bağlı, Şekil 5.12’de ise kesme hızına bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde üç kesme derinliğinde de ilerleme hızındaki artış  $F_m$  değerlerini arttırmıştır.  $F_m$  değerinde gerek ilerleme gerekse kesme hızı açısından 0,25 ve 0,5 mm kesme derinliğinde belirgin bir değişim görülmemiştir. Bu durum önceki grafiklerde de görülmüştür. Ancak 0,75 mm kesme derinliğinde kayda değer bir değişim vardır. En düşük işleme kuvveti 160 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,25 mm kesme derinliğinde 144,28 N ölçülmüştür. En yüksek değer ise 120 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,75 mm kesme derinliğinde 1010,60 N çıkmıştır. 120 m/dak kesme hızında 0,75 mm kesme derinliğinde ilerlemenin 0,05 mm/dev’den 0,2 mm/dev değerine artışıyla kesme kuvveti % 324 artmıştır. 0,5 mm kesme derinliğinde artış oranı % 286 ve 0,25 mm’de ise % 221 olmuştur.



Şekil 5.11. İşleme kuvveti ( $F_m$ )'nin ilerlemeye göre değişimi.

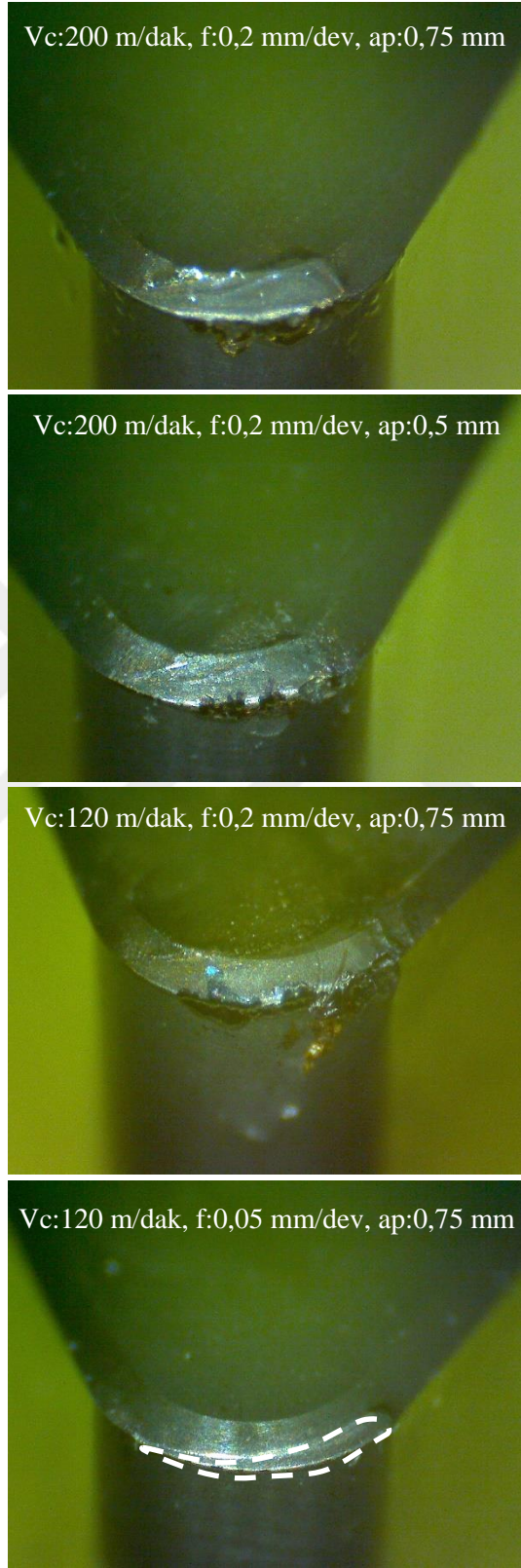


Şekil 5.12. İşleme kuvveti ( $F_m$ )'nin kesme hızına göre değişimi.



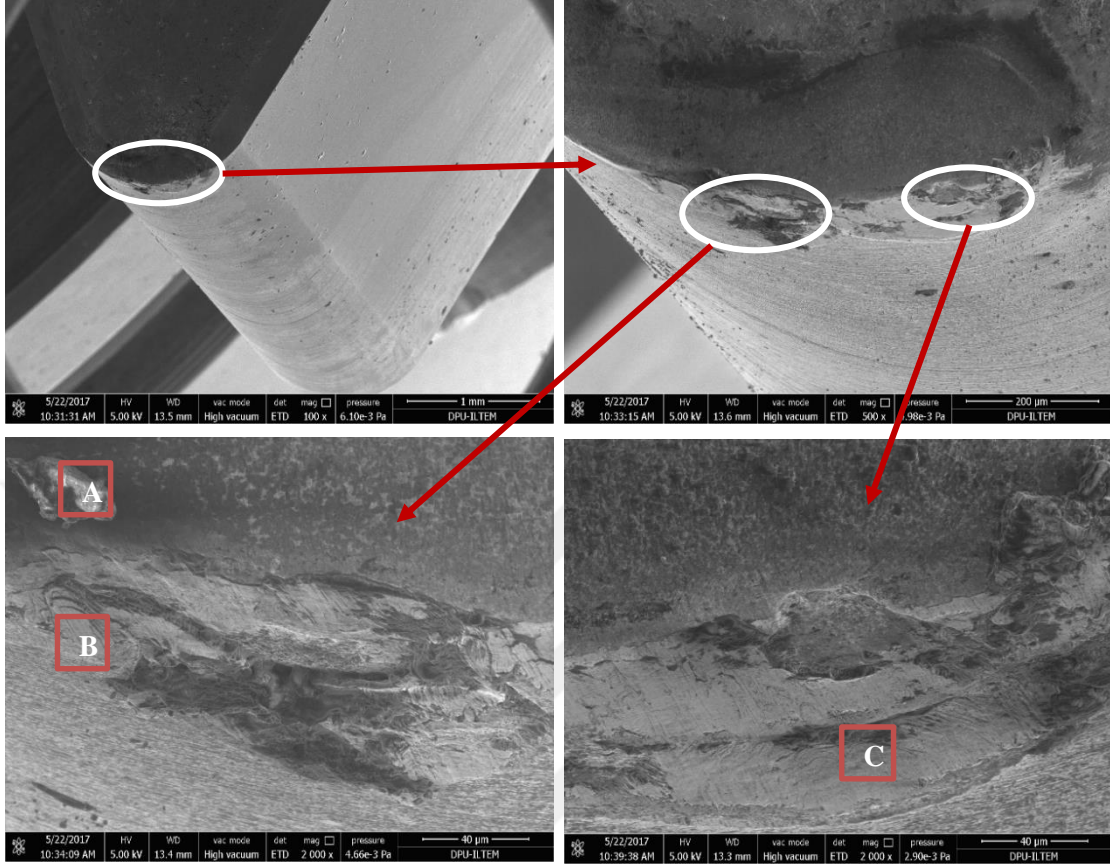
### 5.3. Takım Aşınması

Takım ömrü tayini çalışma kapsamında ele alınan değerlendirme kriterleri arasında yer almamaktadır. Ancak deney malzemesini 58 HRC sertliğinde soğuk iş takım çeliği olması kullanılan kesici uçların yüksek aşınma riskleriyle karşı karşıya kalmasına sebep olabilecektir. Muhtemel aşınma tiplerini ve aşınma mekanizmalarının tespit edilebilmesi için kullanılan her bir kesici için 25 mm kesme yapılmıştır. Yapılan deneylerden sonra ilk olarak kesici uçların elektronik mikroskopta incelemeleri yapılmış ve fotoğrafları alınmıştır. Her uca ait aşınma görüntüleri incelenmiş ve tüm uçları temsilen öne çıkanlar Şekil 5.13'te verilmiştir. Şekilde yer alan fotoğraflar aşınma açısından yüksek risk oluşturan kesme parametrelerine ait deneylerden alınmıştır. Tüm fotoğraflarda öne çıkan aşınma tiplerinin krater aşınması (kesik çizgili alan gibi) ve plastik deformasyon (kırılma) olmaktadır. Deney numunesinin sertliğinin yüksek olması kesme bölgesindeki şartları kesici takım aleyhine ağırlaştırmaktadır. İş parçası mikro yapısında yer alması muhtemel sert parçacıklar (karbürler vb.), deformasyonla ortaya çıkan kesme bölgesi sıcaklığının artması krater aşınmasının gelişmesine uygun olan kesme ortamını hazırlamaktadır. Kesme hızının artması ile takım-talaş ara yüzeyinde yüksek hızlı deformasyon ve sürtünme kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı arttırmaktadır (Çakır, 2006). Plastik deformasyon açısından bakıldığında artan deforme edilmemiş talaş kesiti kesici uç üzerindeki termal ve mekanik yüklerin olumsuz etkisini arttırmaktadır. 120 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,75 mm kesme derinliğinde kullanılan kesici uca ait fotoğrafa bakıldığında plastik deformasyonun etkisinin fazla olduğu görülmektedir. Ra ve kesme kuvveti grafiklerinde bu parametreye ait sonuçlar dikkate alındığında plastik deformasyonun hem pürüzlülük hem de kesme kuvvetleri üzerinde olumsuz etki oluşturduğu söylenebilir. Genel olarak tornalama ve frezeleme operasyonlarında; takım aşınmasını faktörler önem sırasına göre kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği şeklinde sıralanmaktadır (Çakır, 2006). Elektronik mikroskop fotoğraflarına göre Şekil 5.14 ve 5.18'deki SEM görüntüleri alınmıştır. Ayrıca bu görüntüler üzerinden EDX görüntüleri alınarak detaylı bir inceleme olanağı sağlanmıştır.

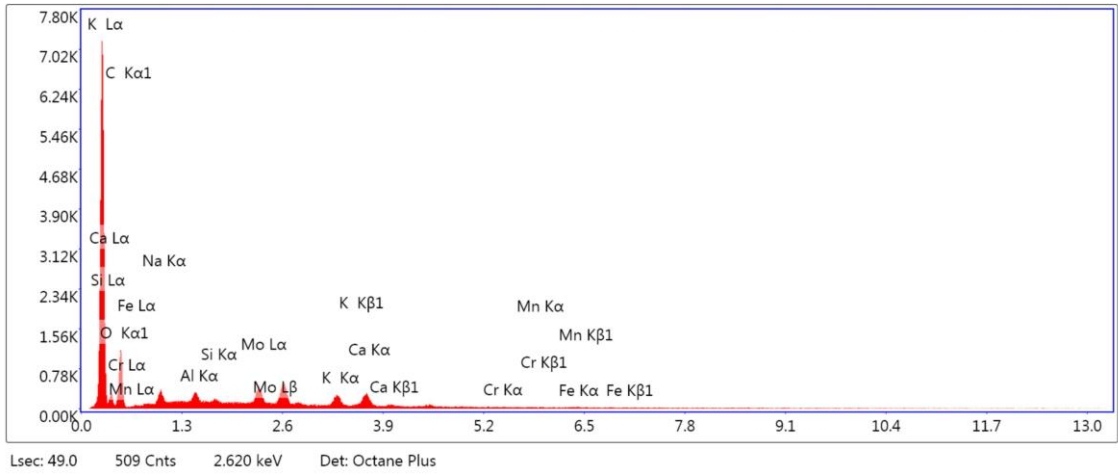


Şekil 5.13. Kesici uç aşınma fotoğrafları.

Geleneksel tornalamaya kıyasla hızlı işlemede kesme derinliği ve ilerleme, oldukça düşüktür. O yüzden tüm kesme bölgesi, pah bölgesinde veya kesme kenarının ön ucunda nispeten küçük bir alanda oluşur (Zhou vd., 2003). CBN ve seramik kesici takımların kesme kenarındaki pah, özellikle krater aşınması gibi büyük hasar oluşumlarına karşın her zaman yeterli korumayı sağlamaz. Dahası yüksek kesme hızlarında, takım ile talaş arasında oluşan çok ağır tribolojik şartlardan dolayı takım kaplaması etkisizleşir ve uç kaplamasız takımlar gibi davranır. Krater aşınması, yoğun plastik deformasyon, az miktarda serbest yüzey aşınması eriyik talaş ve krater yüzeyine yapışmış talaş Şekil 5.14'te gösterilmektedir. Az miktardaki serbest yan yüzey aşınması bölgesi (C harfinin olduğu resim) incelenecek olursa kesme yönü doğrultusunda form kazanmış abrasyon aşınması izleri görülmektedir. Bu izler abrasiv aşınma mekanizmasının oluştuğunu ortaya koymaktadır. Büyük olasılıkla iş parçası malzemesi içindeki yüksek sertlikli martenzit parçacıklar bu izlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Kesme bölgesinin küçük bir alan olmasından dolayı, krater aşınması kesici ucun pah bölgesinde oluşmuştur. Özellikle takımın talaş yüzeyinde oluşan yüksek basınç ve sıcaklık aşınma şekli oluşumunda önemli bir etkidir (Çakır vd., 2009). Krater aşınması kesme bölgesinin geometrisini ani biçimde değiştirebilmektedir (Gaitonde vd., 2009). Krater yüzeyine daha yakından bakıldığında talaş akış yönündeki belirginleşme eğilimindeki abrasyon aşınması izleri de görülebilmektedir. Bunun yanında krater yüzeyine yapışmış olan bazı talaş parçacıklarının üzerinde de abrasyon aşınması izleri görülmektedir. Bu yapışmış talaş parçacıkları o bölgeden uzaklaştırılmaz ve takımın eğik yüzeyinden kaldırılamazlar. Bu olumsuzluğun sonucu olarak da aşınma süreci hız kazanır. Hızlı işlemede en büyük faktör sıcaklıktır. Çünkü iş parçalarının yüksek sertlikte oluşu ve yüksek kesme hızlarının kullanılması yüksek sıcaklık oluşumunu kaçınılmaz kılmaktadır. Şekil 15.15'e bakıldığında A bölgesine yapışan parçacığın yüksek oranda (ağırlıkça %72,10) karbon içerdiği görülmektedir. Çok az demir içerdiği de göz önüne alınırsa bu parçacığın kesme bölgesinden kırılma sonucu kopan bir parçacık olduğu söylenebilir. Şekil 5.16'da B bölgesinin ağırlıkça % 80.81 oranında demir içerdiğinden yola çıkarak talaş yapışmasının olduğu belirtilebilir. Şekil 5.17'deki C bölgesi ağırlıkça % 86,42 değerinde demir içerdiğinden burada da talaş yapışmasından bahsedilebilir. Bu yapışmalarda kesme bölgesindeki yüksek basıncın etkisi olduğu söylenebilir.

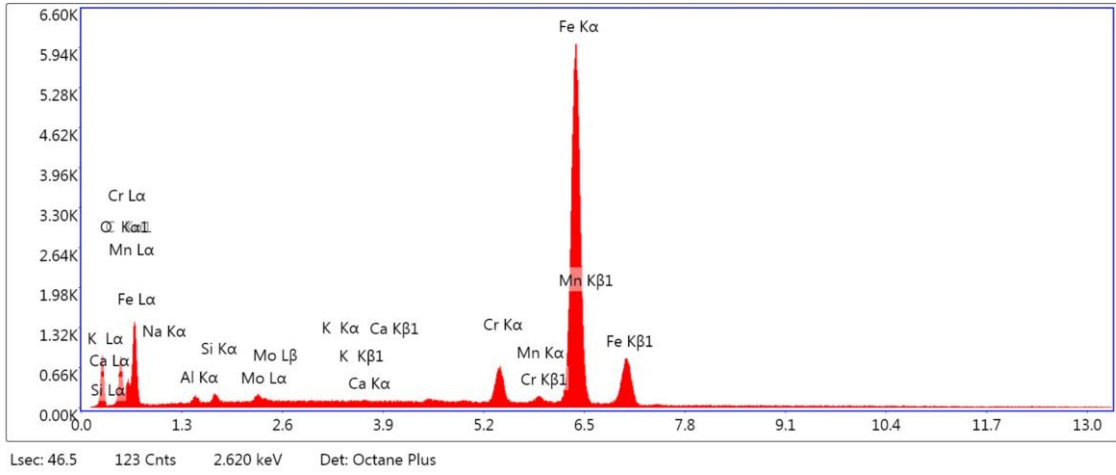


Şekil 5.14. Kesici uç SEM görüntüleri ( $V_c$ : 200 m/dak.,  $f$ : 0,2 mm/dev.,  $a_p$ :0,75).



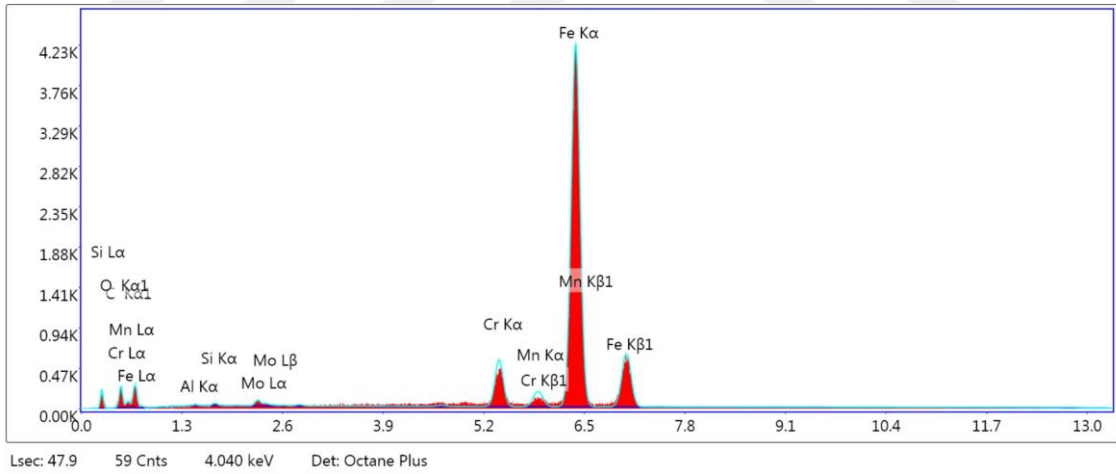
Element	C	Fe	O	Cr	Al	Si	Ti
Ağırlık %	72,10	0,36	17,35	0,17	0,82	0,24	--
Atomik%	81,79	0,09	14,78	0,05	0,41	0,12	--

Şekil 5.15. Şekil 5.14'deki A noktasının EDX analizi.



Element	C	Fe	O	Cr	Al	Si	Ti
Ağırlık %	9,35	80,81	2,49	5,60	0,07	0,12	--
Atomik%	30,85	57,36	6,17	4,27	0,10	0,16	--

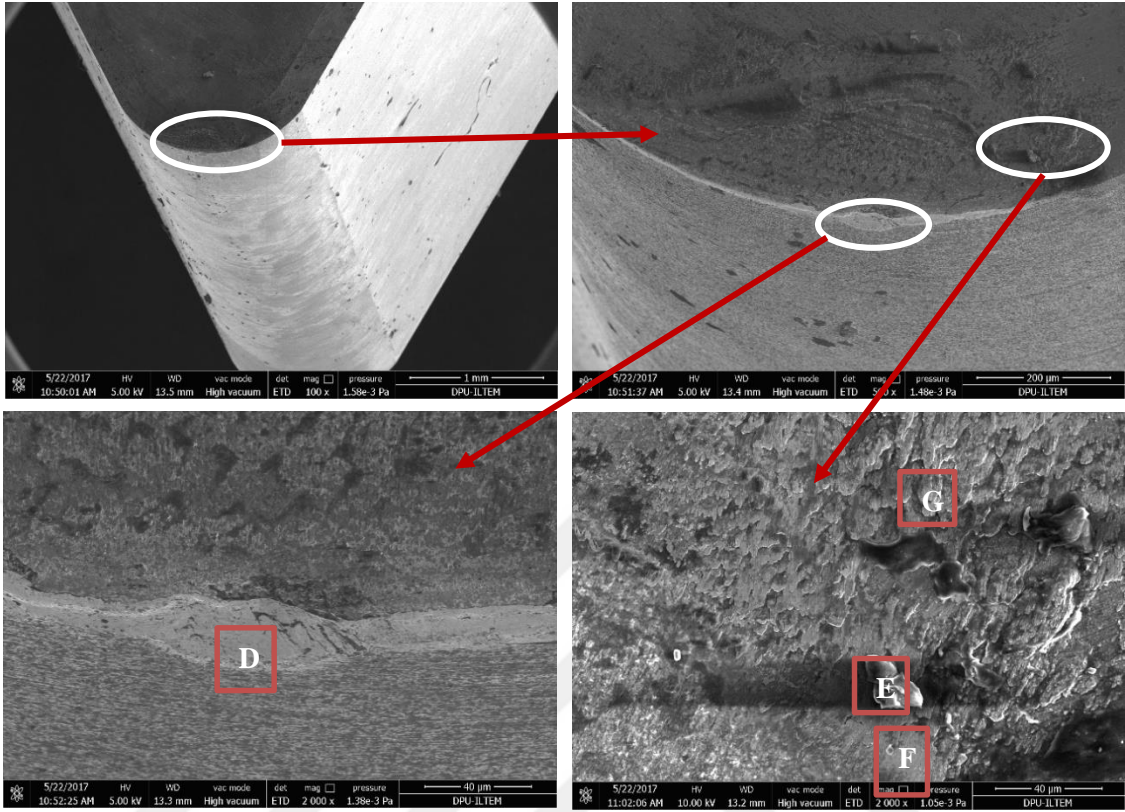
Şekil 5.16. Şekil 5.14'deki B noktasının EDX analizi.



Element	C	Fe	O	Cr	Al	Si	Ti
Ağırlık %	3,00	86,42	1,06	6,90	0,06	0,12	--
Atomik%	12,22	75,76	3,24	6,49	0,11	0,20	--

Şekil 5.17. Şekil 5.14'deki C noktasının EDX analizi.

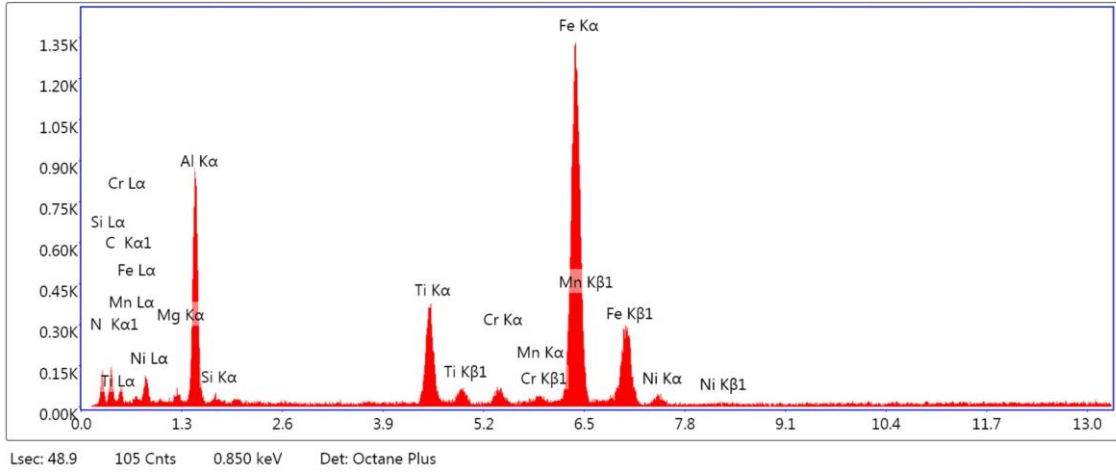




Şekil 5.18. Kesici uç SEM görüntüleri ( $V_c$ : 200 m/dak,  $f$ : 0,2 mm/dev.,  $a_p$ :0,25).

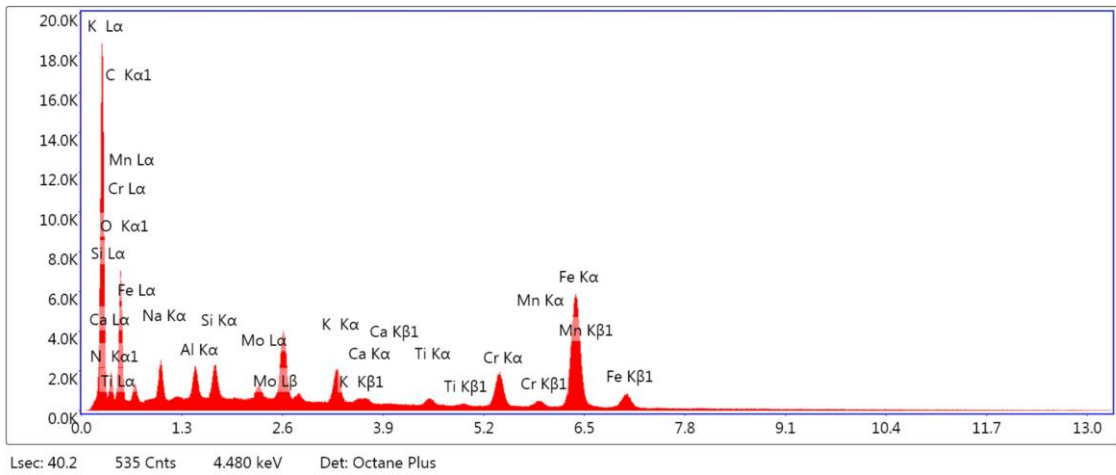
Şekil 5.18 'de kesme parametreleri  $V_c$ : 200 m/dak.,  $f$ : 0,2 mm/dev.,  $a_p$ :0,25 olan seramik kesici ucun aşınma durumu gösterilmektedir. Şekilde, gelişme aşamasında serbest yan yüzey aşınması, krater aşınması, pahlı yüzeyde eriyik talaş ve krater yüzeyine yapışmış talaş açıkça görülmektedir. Şekil 5.15'deki plastik deformasyon burada görülmemektedir. Bunun sebebi olarak kesme derinliğinin düşük olması gösterilebilir. Şekil 5.18 ve 5.19'a bakıldığında D bölgesinde yapışma ve serbest yan yüzey aşınması başlangıcı ile bunu destekleyen mikro abrasyon izleri görülmektedir. Yapışma benzeri bölgenin yüksek oranda (ağırlıkça % 65,50) demir içerdiği görülmektedir. Bu bölgenin iş parçası malzemesi yapışmasıyla oluştuğu söylenebilir. Şekil 5.20'de E bölgesinin EDX analizinde ağırlıkça % 40,14 oranında carbon içermesi bu parçacığın kesici uçtan kopan mikro parçacık olma ihtimalini güçlendirmektedir. Şekil 5.21'deki F bölgesi ağırlıkça % 72,52 değerinde demir içerdiğinden burada deney malzemesi yapışmasından bahsedilebilir. Şekil 5.22'deki G bölgesi ağırlıkça % 53,55 değerinde demir, % 14,03 alüminyum ve % 8,61 karbon miktarları öne çıkmaktadır. Bu bölgede deney malzemesi yapışmasının yanı sıra kesici ucun  $Al_2O_3 + TiC$  içeriğinden dolayı bu bölgede tespit edilen karbon ve alüminyum kesiciden parçacık kopmasının olduğu söylenebilir. Bu kopmaya yüksek sıcaklık ve basınç nedeniyle ortaya çıkan difüzyon aşınma mekanizması ve abrasiv aşınma

mekanizması yol açmış olabilir. Kesme işleminin devamıyla bu kopmalar artarak krater aşınmasını büyütür. Şekil 5.14 ve 5.18'e genel olarak bakıldığında seramik kesicide az miktar abrasiv, yoğun olarak da adhesiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının etkilerinin görüldüğü söylenebilir.



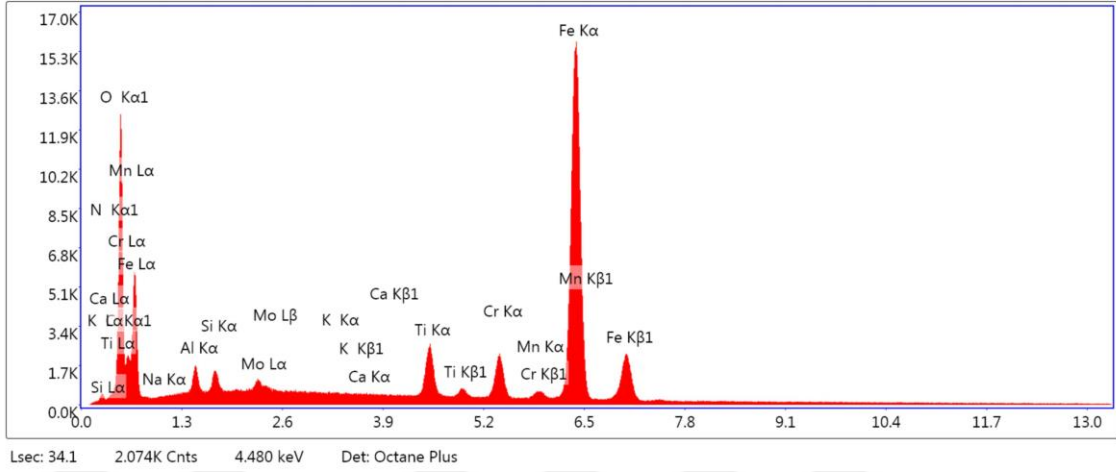
Element	C	Fe	O	Cr	Al	Si	Ti	N
Ağırlık %	6,14	65,50	--	1,83	9,78	0,21	8,20	4,65
Atomik%	19,12	43,87	--	1,32	13,55	0,28	6,40	12,42

Şekil 5.19. Şekil 5.18'deki D noktasının EDX analizi.



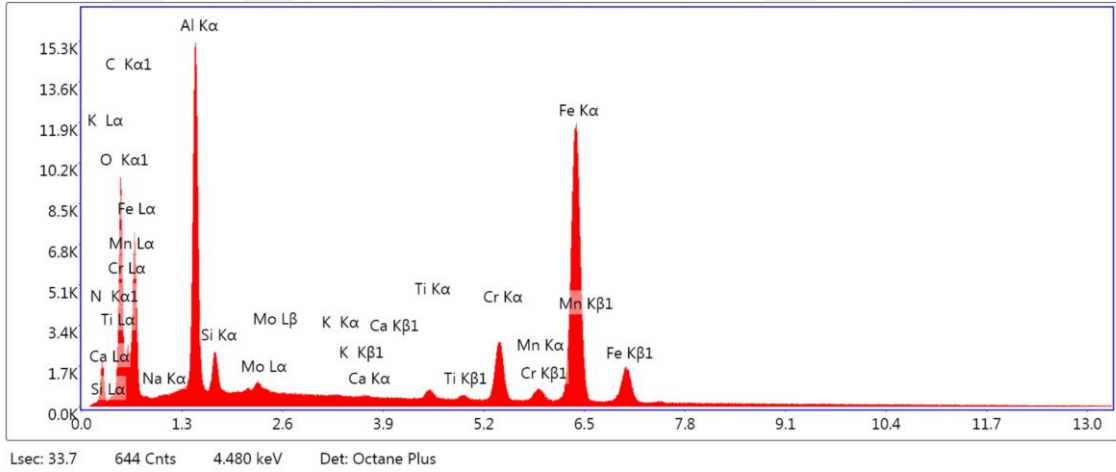
Element	C	Fe	O	Cr	Al	Si	Ti	N
Ağırlık %	40,14	23,02	13,66	4,43	1,11	1,09	0,69	8,88
Atomik%	59,38	7,32	15,17	1,51	0,73	0,69	0,25	11,26

Şekil 5.20. Şekil 5.18'deki E noktasının EDX analizi.



Element	C	Fe	O	Cr	Al	Si	Ti	N
Ağırlık %	1,85	72,52	13,41	5,54	0,89	0,62	4,66	--
Atomik%	6,03	50,13	32,81	4,17	1,30	0,87	3,81	--

Şekil 5.21. Şekil 5.18'deki F noktasının EDX analizi.



Element	C	Fe	O	Cr	Al	Si	Ti	N
Ağırlık %	8,61	53,55	10,91	7,43	14,03	1,46	0,85	0,83
Atomik%	22,50	30,09	21,40	4,48	16,32	1,63	0,55	1,87

Şekil 5.22. Şekil 5.18'deki G noktasının EDX analizi.



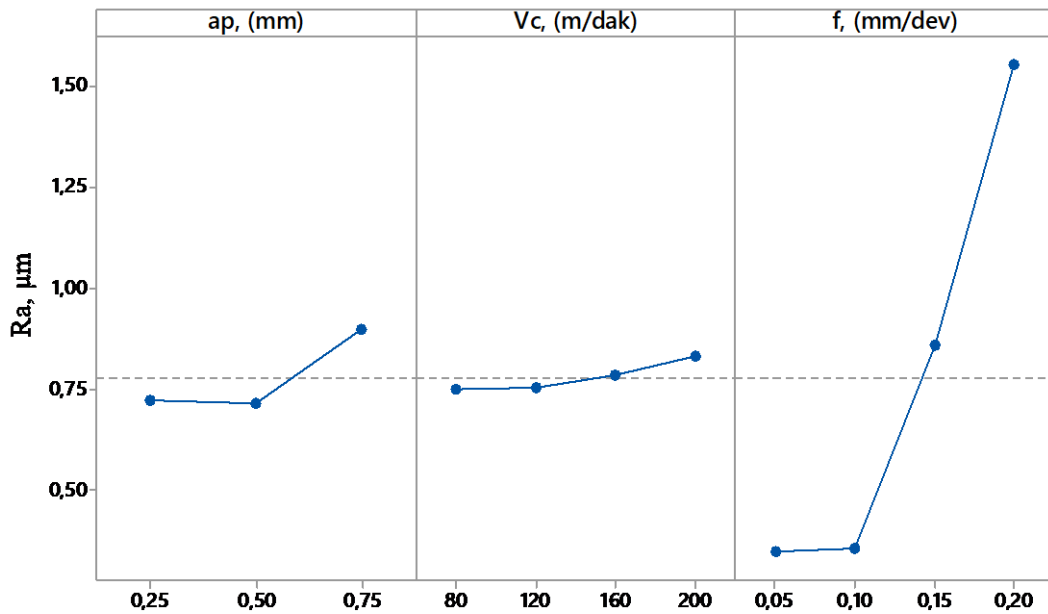
## 5.4. ANOVA Sonuçları

### 5.4.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ANOVA sonuçları

Ra değerleri için varyans analizi sonuçları Çizelge 5.2’de ve ana etki grafiği de Şekil 5.23’te verilmiştir. Burada; KT: kareler toplamı; KO: kareler ortalaması, F: test istatistiği değeri ve P: kabul edilebilir hata düzeyi Çizelgeden anlaşılacağı gibi, P değerlerine göre, ilerleme ve kesme derinliğinin Ra üzerindeki etkisinin önemli olduğu ve kesme hızının ( $0,656 > 0,05$  olduğundan) etkisinin önemsiz olduğu görülmektedir.  $F=124,22$  değeri ile ilerleme seviyelerindeki değişimin Ra üzerinde en etkin parametre olduğu görülmüştür. Şekil 5.23’te verilen ana etki grafiğinde de bunlar açıkça görülmektedir. Grafikteki eğrilere bakıldığında eğimi çok keskin olarak değişen parametrenin diğerlerine göre daha etkin olacağı göz önüne alınırsa ilerlemenin etkin olduğu kaçınılmazdır.

Çizelge 5.2. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Serbestlik derecesi	KT	KO	F	P
Kesme hızı $V_c$ , (m/dak)	3	0,0507	0,01692	0,54	0,656
İlerleme $f$ , (mm/dev)	3	11,6225	3,87418	124,22	0,000
Kesme derinliği $a_p$ , (mm)	2	0,3435	0,17176	5,51	0,008
Hata	39	1,2164	0,03119		
Toplam	47	13.2332			



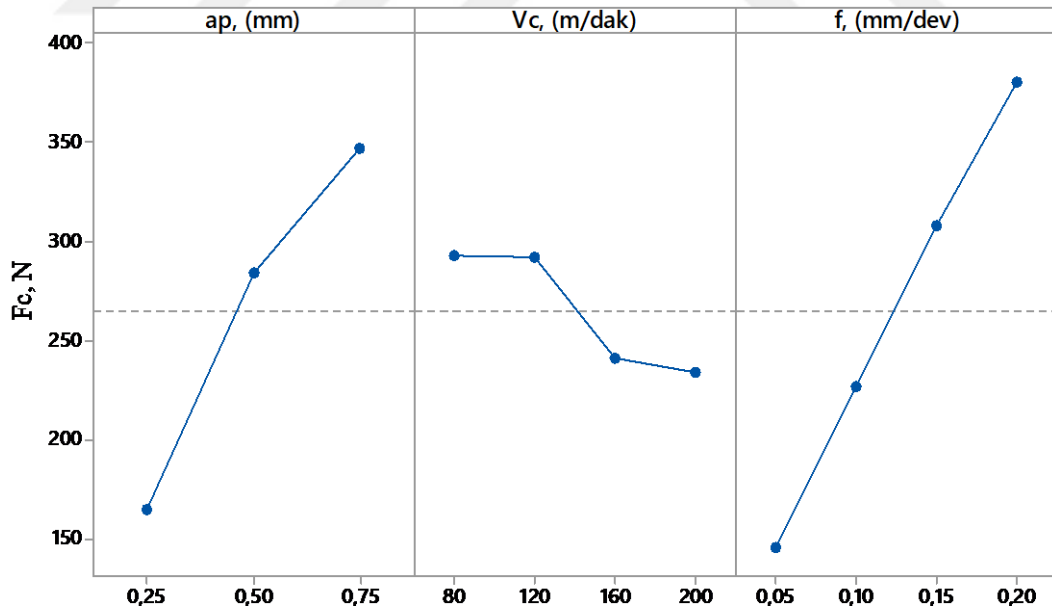
Şekil 5.23. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ana etki grafiği.

#### 5.4.2. Esas Kesme kuvveti ( $F_c$ ) ANOVA sonuçları

Çizelge 5.3'te esas kesme kuvvetine ( $F_c$ ) ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgede verilen P değerlerine göre istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde tüm parametrelerin  $F_c$  üzerindeki etkisinin önemli olduğu görülmektedir.  $F=61,41$  değeri ile kesme derinliği seviyelerindeki değişimin  $F_c$  üzerinde en etkin parametre olduğu görülmüştür. İlerleme ise 55,53 F değeri ile ikinci önemli parametre olmuştur. Şekil 5.24'te verilen ana etki grafiğinde parametrelerin esas kesme kuvveti üzerindeki etkileri görülebilmektedir. Eğrilerin eğimine bakıldığında ilerleme ve kesme derinliğinin etkinliği açıkça görülebilmektedir.

Çizelge 5.3. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	Serbestlik derecesi	KT	KO	F	P
Kesme hızı $V_c$ , (m/dak)	3	36777	12259	5,50	0,000
İlerleme $f$ , (mm/dev)	3	371180	123727	55,53	0,003
Kesme derinliği $a_p$ , (mm)	2	273681	136841	61,41	0,000
Hata	39	86901			
Toplam	47	768538			



Şekil 5.24. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ana etki grafiği.

## 6. SONUÇLAR

“Isıl İşlem Görmüş Böhler K340 Soğuk İş Takım Çeliğinin Tornalanmasında İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmada işlenebilirlik değerlendirmesinde kesme hızı ilerleme ve kesme derinliği değişkenleri kullanılarak kesme kuvvetleri, ortalama yüzey pürüzlülükleri ve takım aşınması değerlendirme kriteri olarak ele alınmıştır. Çalışmanın tamamlanmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- İlerleme değerlerindeki artışa paralel olarak Ra değerlerinin de arttığı görülmektedir.
- Genel olarak kesme hızının Ra üzerindeki etkisinin tutarlı olmamıştır. Bu durum  $F_p$  kuvveti için de ortaya çıkmıştır.  $F_p$ 'deki bu durum titreşimlerle birlikte Ra değerini de etkilemiştir.
- Kesme derinliği ap değerlerindeki değişime göre Ra'nın fazla bir değişim göstermemiştir.
- En düşük Ra değeri 0,5 mm kesme derinliği, 0,05 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızı şartlarında 0,14  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değer tornalama operasyonları açısından taşlama kalitesine yakın olması da dikkate alındığında oldukça iyi bir değerdir.
- $F_f$ ,  $F_p$ ,  $F_c$  ve  $F_m$  kesme kuvvetleri en çok ilerlemeden etkilenmiştir. Artan ilerleme değeri kuvvet değerlerini de artmıştır.
- Kesme derinliğinin artması da kuvvetleri arttırmıştır. Özellikle 0,75 mm kesme derinliğine çıkıldığında belirgin bir artış gözlenmiştir.
- Kesme hızının kesme kuvvetleri üzerinde diğer parametreler kadar etkin olmadığı görülmüştür. Ancak tüm kuvvetler için 0,75 mm kesme derinliğinde artan kesme hızı kesme kuvvetlerinde belirgin bir azalmaya yol açmıştır.
- En düşük esas kesme kuvveti 200 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,25 mm kesme derinliğinde 92,75 N ölçülmüştür.
- Ölçülen en düşük  $F_f$  kuvveti 160 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,25 mm kesme derinliğinde 50,83 N'dur.

- Tüm kuvvetler için en yüksek kuvvet değeri 120 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,75 mm şartlarında ölçülmüştür.
- En düşük  $F_p$  kuvveti 160 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,25 mm kesme derinliğinde 97,06 N ölçülmüştür.
- En düşük işleme kuvveti 160 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,25 mm değerinde 144,28 N olmuştur.
- Kesici uçlarda en fazla görülen aşınma tiplerinin krater aşınması ve plastik deformasyon (kırılma) olduğu gözlemlenmiştir.
- 120 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,75 mm kesme derinliğinde kullanılan kesici uça yoğun plastik deformasyon olmuştur. Bu olumsuzluk  $R_a$  ve kesme kuvveti grafiklerinde de etkisini göstermiştir.
- SEM ve EDX görüntülerine genel olarak bakıldığında seramik kesicide az miktar abrasif, yoğun olarak da adhesif (yapışma) ve difüzyon aşınma mekanizmalarının etkilerinin görüldüğü söylenebilir. Yüksek iş parçası sertliği ve artan biçimlenmemiş talaş kesiti bu alınma mekanizmalarının etkisini arttırmıştır.
- $R_a$ 'nın varyans analizi sonuçlarına ve ana etki grafiklerine göre ilerleme ve kesme derinliğinin  $R_a$  üzerindeki etkisinin önemli olduğu ve kesme hızının ( $0,656 > 0,05$  olduğundan) etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür.
- $F = 124,22$  değeri ile ilerleme seviyelerindeki değişimin  $R_a$  üzerinde en etkin parametre olduğu görülmüştür.
- Kesme kuvvetleri ANOVA sonuçlarına göre istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde tüm parametrelerin  $F_c$  üzerindeki etkisinin önemli olduğu görülmektedir.

- $F=61,41$  değeri ile kesme derinliği seviyelerindeki değişimin  $F_c$  üzerinde en etkin parametre olduğu görölmüştür. İlerleme ise  $55,53 F$  değeri ile ikinci önemli parametre olmuştur.



## 7. ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan sonra, aşağıda verilen bazı çalışmalar önerilebilir;

- Bundan sonra, benzer deneysel kurgu ile farklı kesici takımlar ile işlenebilirlik çalışılabilir.
- İşleme performansının maliyetle ilişkisi araştırılabilir.
- Taguchi ve Gri ilişkisel analiz gibi deney tasarım yöntemi ile çok sayıda deney değişkeniyle sonuçlar iyileştirilebilir.
- Ayrıca çalışmalar yapay zekâ uygulamaları ile desteklenebilir.
- Her bir kesme deneyinden sonra işlenen yüzeyin sertliği ölçülerek yüzey sertliğinin değişip değişmediği incelenebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Agrawal, A., Goel, S., Rashid, W.B., Priceb, M., (2015), Prediction of surface roughness during hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC), *Applied Soft Computing*, 30, s. 279-286.
- Aouici, H., Elbah, M., Yallese, M. A., Fnides, B., Meddour, I., Benlahmidi, S., (2016), Performance comparison of wiper and conventional ceramic inserts in hard turning of AISI 4140 steel: analysis of machining forces and flank wear, *Int J Adv Manuf Technol*, 87, s. 2221–2244.
- Aslan E., Camuşcu N. ve Birgören B., (2007), Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiCN mixed ceramic tool, *Materials and Design*, 28, s. 1618-1622.
- Bensouilah, H., Aouici, H., Meddour, I., Yallese, M.A., Mabrouki, T., Girardin, F., (2016), Performance of coated and uncoated mixed ceramic tools in hard turning process, *Measurement*, 82, 1–18.
- Bingül, E., Kacal, A., (2013), Hard Turning of Powder Metallurgical Cold Work Tool Steel Tempered in Different Tempering Temperature, *Journal of Scientific & Industria Research*, 72, s.498-505.
- Boy, M., Yaşar, N., Çiftçi, İ., (2016), Experimental investigation and modelling of surface roughness and resultant cutting force in hard turning of AISI H13 Steel, *Materials Science and Engineering*, 161, s.1-10.
- Cetinkaya,S., Kacal, A., (2014), Investigation of the heat treatment effect in milling of K390 powder metallurgical steel, *Kovove Mater.*, 52, s. 209-218.
- Chou Y. K., Evans C.J. ve Barash M.M., (2002), Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 124, s. 274-283.
- Çakır, M.C., (2006), *Modern Talaşlı İmalatın Esasları 1. Baskı*, Nobel Yayıncılık, Çankaya-Ankara 67-69.
- Çakır M. C., Ensarioglu C. ve Demirayak İ., (2009), Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, s. 102-109.
- Das, S.R., Dhupal, D., Kumar, A., (2015), Study of surface roughness and flank wear in hard turning of AISI 4140 steel with coated ceramic inserts, *Journal of Mechanical Science and Technology* 29 (10), s. 4329-4340.
- Das, A., Mukhopadhyay, A., Patel, S.K., Biswal, B.B., (2016), Comparative Assessment on Machinability Aspects of AISI 4340 Alloy Steel Using Uncoated Carbide and Coated Cermet Inserts During Hard Turning, *Arab J Sci Eng*, 41, s. 4531–4552.
- Davim J. P. ve Figuera L., (2007), Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramics tools using statistical techniques, *Materials and Design*, 28, s. 1186-1191.
- Davoudinejad, A., Noordin, M.Y., (2014), Effect of cutting edge preparation on tool performance in hard-turning of DF-3 tool steel with ceramic tools, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28 (11), s. 4727-4736.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demirok, S., 2008, “Çeliklerin Farklı Sertlik Oranlarında İşlenebilirliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Derekhshan E.D. ve Akbari A.A., (2009), Experimental investigation on the effect of workpiece hardness and cutting speed on surface roughness in hard turning with CBN tools, Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol II , London U.K.
- Diniz, A.E. ve Oliveria, A.J., (2008), Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools, Journal of Materials Processing Technology, Cilt 195, s. 275–281.
- Elbah, M., Yallese, M.A., Hamdi Aouici, Mabrouki, T., Rigal, J.F., (2013), Comparative assessment of wiper and conventional ceramic tools on surface roughness in hard turning AISI 4140 steel, Measurement ,46, s.3041–3056.
- Erdoğan, M., 2000, “Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri 1.Cilt”, Nobel Yayın Dağıtım, 265-274.
- Fang N. ve Wu Q., (2009), A comparative study of the cutting forces in high speed machining of Ti-6Al-4V and Inconel 718 with a round cutting edge tool, Journal of Materials Processing Technology, 209, s. 4385-4389.
- Ferreira, R., Carou, D., Lauro, C. H., Davim, J. P., (2016), Surface Roughness Investigation in the Hard Turning of Steel Using Ceramic Tools, Materials and Manufacturing Processes, 31, s. 648–652.
- Ferreira, R., Řehor, J., Lauro, C.H., Carou, D., Davim, J.P., (2016), Analysis of the hard turning of AISI H13 steel with ceramic tools based on tool geometry: surface roughness, tool wear and their relation, J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng., 38, s. 2413–2420.
- Fnides B., Yallese M. A., Mabrouki T. ve Rigal J-F., (2009), Surface roughness model in hardened hot work steel using mixed ceramic tool, Mechanika, Nr.3 (77), s. 68-73.
- Fnides B., Yallese M. A. ve Aouici H., (2008), Hard turning of hot work steel AISI H11: Evaluation of cutting pressure, resulting force and temperature, Mechanika, Nr.4 (72), s. 59-63.
- Fnides B., Aouici H. ve Yallese M. A., (2008), Cutting forces and surface roughness in hard turning of hot work steel X38CrMoV5-1 using mixed ceramic, Mechanika, Nr.2 (70), s. 73-78.
- Gaitonde V.N., Karnik S.R., Figuera L. ve Davim J. P., (2009), Analysis of machinability during hard turning of cold work steel (Type:AISI D2), Materials and Manufacturing Processes, 24, s. 1373-1382.
- Gaitonde V.N., Karnik S.R., Figuera L. ve Davim J. P., (2009), Machinability investigation in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 27, s. 754-763.
- Gezgin, A., (2007), Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,1-87.
- Groover, M.P., (Çev. Mustafa Yurdakul, Yusuf Tansel İç), (2015), Modern İmalatın Prensipleri, Nobel Yayınları, Ankara.



### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hu, H.J., Huang, W.J., (2013), Studies on wears of ultrafine-grained ceramic tool and common ceramic tool during hard turning using Archard wear model, *Int J Adv Manuf Technol* 69, s. 31–39.
- Huang Y., Liang S. Y., (2003), Force modeling in shallow cuts with large negative rake angle and large nose radius tools-application to hard turning, *Int. J. Adv. Manuf. Technology*, 22, s. 626-632.
- Kaçal, A., Yıldırım, F., (2013), Application of grey relational analysis in high-speed machining of hardened AISI D6 steel, *Proc IMechE Part C: J Mechanical Engineering Science*, 227(7), s. 1566–1576.
- Kaçal, A., Yıldırım, F., (2013), High Speed Hard Turning of AISI S1 (60WCrV8) Cold Work Tool Steel, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 10, No. 8, s. 169-186.
- Kaçal, A., (2014), Investigation of Cutting Performance of the Ceramic Inserts in Terms of the Surface Roughness and Tool Wear at Turning of PMD 23 Steel, *Applied Mechanics and Materials*, 686, s.10-16.
- Kaçal, A., Yıldırım, F., (2016), PMD23 Çeliğinin Tornalanmasında CBN kesici Uçların Kesme Performansının Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Aşınması Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 31, No 1, s.181-189.
- Karpuschewski, B., Schmidt, K., Prilukova, J., Beňno, J., Maňnkova, I., Hieu, N.T., (2013), Influence of tool edge preparation on performance of ceramic tool inserts when hard turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 213, s. 1978– 1988.
- Kundrak J., Karpuschewski B., Gyani K. ve Bana V., (2008), Accuracy of hard turning, *J. Mater. Process. Technol.*, 202, s. 328-338.
- Karpuschewski, B., Schmidt, K., Beno, J., Manková, I., Prilukovac, J., (2014), Measuring procedures of cutting edge preparation when hard turning with coated ceramics tool inserts, *Measurement*, 55, s.627–640.
- Kumar,A.S., Durai,A.R. ve Sornakumar,T., (2003), Machinability of hardened steel using alumina based ceramic cutting tools, *Internatioanal Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 21, s. 109–117.
- Lima J. G., Avila R.F., Abrao A.M., Faustino M. ve Davim J. P., (2005), Hard turning: AISI 4340 high strength low alloy steel and AISI D2 cold work steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 169, s. 388-395.
- Mahfoudi F., List G., Moufki A., Molinari A. ve Boulanouar L., (2008), High speed turning for hard material with PCBN inserts: tool wear analysis, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, Cilt 3, No:1/2, s. 62-79.
- Meddour, I., Yallese, M.A., Khattabi, R., Elbah, M., Boulanouar, L., (2015), Investigation and modeling of cutting forces and surface roughness when hard turning of AISI 52100 steel with mixed ceramic tool: cutting conditions optimization, *Int J Adv Manuf Technol*, 77, s. 1387–1399.
- Motorcu, A.R., (2010), The Investigation of Tool Life and Wear in The Machining of Non-Heat Treated and Spheroidized AISI52100 Bearing Steel with Different Cutting Tools, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Cilt 25, 1, s. 65-76.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mozammel Mia, M., Nikhil R Dhar, N.R., (2016), Response surface and neural network based predictive models of cutting temperature in hard turning, *Journal of Advanced Research*, 7, s.1035-1044.
- Onur C., İnem, B., (2003), AISI W1 ve L2 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Düşük Sıcaklıklarda (120 °C) Menevişlenmesi İle Optimum Tokluğun Geliştirilmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 18, No 1, s.109-124.
- Osmanlı Çelik, (2017), Böhler K340 Soğuk iş takım çeliği kataloğu.
- Özçatalbaş, Y., 2008, Mühendislik Malzemelerinin İşlenebilirliği, *Ders Notları*, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Ankara.
- Özel T., Hsu T-K. And Zeren E., (2005), Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, s. 262-269.
- Özel T., Karpat Y., Figuera L. ve Davim J. P., (2007), Modeling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper inserts, *Journal of Materials Processing Technology*, 189, s. 192-198.
- Özgün, Ö., 2007, Toz Metalürjisi ile Üretilen Alaşımli Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Qian L. ve Hossan M. R., (2007), Effect on cutting force in turning hardened tool steel with cubic boron nitride inserts, *Journal of Materials Processing Technology*, 191, s. 274-278.
- Rashid, W.B., Goel, S., Davim, J.P., Joshi, S.N., (2016), Parametric design optimization of hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC), *Int J Adv Manuf Technol*, 82, s. 451–462.
- Sahu, S., Choudhury, B.B., (2015), Optimization of Surface Roughness using Taguchi Methodology & Prediction of Tool Wear in Hard Turning Tools, *Materials Today: Proceedings*, 2, s. 2615 – 2623.
- Salak A., Selecka M., ve Danninger H., (2004), *Machinability of powder metallurgy steels*, Cambridge, 186, s. 393-395,453.
- Şahin Y, (2009), Comparison of tool life between ceramic and cubic boron nitride (CBN) cutting tools when hardened steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, s. 3478-3489.
- Şirin, E., (2010), AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Trent E.M., Wright P.K., (2000), *Metal Cutting 4 th Edition*, Butterworth-Heinemann, Boston.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., (2009), Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürli kesici takımın performansının araştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu,.
- Umer U., Butt S. I., Askari S. J., Danish S.N. ve Xie L., (2008), Comparative analyses for different modeling methods in high speed turning operations for hardened steel, *Strojiniski vestnik- Journal of Mechanical Engineering*, 54, 12, s. 850-854.
- Varaprasad, B., Srinivasa R.C., Vinay, P.V., (2014), Effect of Machining Parameters on Tool Wear in Hard Turning of AISI D3 Steel, *Procedia Engineering*, 97, s. 338-345.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Yurtkuran, H., Korkmaz, M.E., Günay, M., (2016), Modelling and Optimization of the Surface Roughness in High Speed Hard Turning with Coated and Uncoated CBN Insert, Gazi University Journal of Science, 29(4), s. 987-995.

Zeyveli, M., Demir, H., (2009), AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25: (1-2), s. 251 – 261.

Zhou J. M., Walter H., Andersson M. ve Stahl J. E., (2003), Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43, s. 301-305.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Fatma KAÇAL  
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.12.1979 - Kepsut  
e-mail : fkacal@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	-----	-----
Yüksek Lisans	-----	-----
Lisans	Dumlupınar Üni. Simav Tek. Eğt. .Fak. Talaşlı İmalat Öğretmenliği KÜTAHYA	2001
Lise	Balıkesir Meslek Lisesi BALIKESİR	1996

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-----	-----	-----

Yabancı Dil : İngilizce

### Yayınlar