

**CAMELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN PARMAK
FREZELENMESİNDE YÜZEY KALİTESİNİN İNCELENMESİ**

Ömer ERKAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK
Haziran 2009**

Ömer ERKAN tarafından hazırlanan " CAMELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN PARMAK FREZELENMESİNDE YÜZEY KALİTESİNİN İNCELENMESİ " başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK

.....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19 /06 /2009

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Servet GÜLMEZ (KOÜ)

.....

...../...../2009

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ömer ERKAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CAMELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN PARMAK FREZELENMESİNDE YÜZEY KALİTESİNİN İNCELENMESİ

Ömer ERKAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK

Haziran 2009, 84 sayfa

İstenen ölçü ve toleranslarda ürün meydana getirmek için talaşlı imalatta en çok kullanılan işlem olan frezeleme, yapılan bu çalışmada SMC ile üretilmiş CTP plakalar üzerinde deneysel olarak uygulanmıştır. Deneyler farklı kesme parametreleri (0.04, 0.08, 0.12 mm/dev İlerleme, 1, 2, 3 mm Kesme Derinliği, 62, 88, 113 m/dak Kesme Hızı ve 2, 3, 4 Ağız Sayısı) altında gerçekleştirilmiştir. Frezelenmiş kanal yüzeyleri Hasar Faktörü ve Yüzey Pürüzlülüğü olarak iki grupta incelenmiştir. Varılan sonuçta i. İlerleme ve Kesme Hızı arttıkça Hasar Faktörünün arttığı, ii. Kesme Derinliği ve Ağız Sayısının artışının Hasar Faktörünü azalttığı, iii. İlerleme, Kesme Hızı ve Ağız Sayısının artışının Yüzey Pürüzlülüğünü azalttığı, iv. Kesme Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne herhangi bir etkide bulunmadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : İşlenebilirlik, camelyaf takviyeli polimer kompozit, yüzey kalitesi, parmak frezeleme.

Bilim Kodu : 626.12.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATIONS OF SURFACE QUALITY IN END MILLING OF GLASS FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES

Ömer ERKAN

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine

Thesis Advisor:

Assist Prof. Dr. Birhan IŞIK

June 2009, 84 pages

End milling is mostly used machining process in which the required dimensions and tolerances on product realised. In this study, end milling was applied to for composite laminates which were manufactured by SMC. Experiments were performed with different cutting parameters (0.04, 0.08 and 0.12 mm/rev of feeds; 1, 2 and 3 mm of cutting depths; 62, 88 and 113 m/min of cutting speeds; 2, 3 and 4 of flute numbers). Milled surfaces were investigated in two categories of surface roughness and damage factor. As the results observed that i. increasing cutting speed and feed increase the damage factor, i. increasing cutting depth and flute number decrease the damage factor, ii. increasing feed, cutting speed and flute number decrease the surface roughness, iii. Changing of cutting depth does not affect surface roughness seriously.

Key Words : Machinability, glass fiber reinforced plastic, surface quality, end milling.

Science Code : 626.12.01

TEŞEKKÜR

Yaptığım alışmada tm bilgi, beceri ve tecrbesini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd.Do.Dr Birhan IŞIK' a, kesici takım teminindeki katkılarından dolayı saygı değer hocam Do.Dr. İbrahim İFTİ' ye, yüzey pürüzlülük cihazı teminindeki katkılarından dolayı Ana Bilim Dalı Başkanımız değerli hocam Yrd.Do.Dr Halil DEMİR' e, yine engin tecrübesinden faydalandığım kıymetli hocam Yrd.Do.Dr. Cevdet GÖLOğLU' na, atölyedeki alışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen hocam Arř.Gör. Ahmet MEYVECİ' ye, tüm yardımlarından dolayı arkadaşım Ergün EKİCİ' ye, yine kesici takım teminindeki katkılarından dolayı SECO TOOLS A.Ő. Satış Müdürü Sayın Ümit GÜRBÜZ' e ve benimle aynı sıkıntılarını paylaşan ev arkadaşım Serkan BüYüKDOęAN' a teőekkürü bir bor bilirim.

Ayrıca bana maddi, manevi tüm desteklerini sınırsız olarak sağlayan aileme teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI	3
BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMA	13
3.1 MALZEME VE EKİPMANLAR.....	13
3.1.1 Malzemenin Teknik Özellikleri	13
3.1.2. Kesici Takımlar.....	15
3.1.3. CNC Dik İşlem Merkezi.....	16
3.2. KALİBRASYON VE KONTROL	16
3.2.1. İş Mili Diklik Kontrolü.....	17
3.2.2. Takım Tutucunun Salgı Kontrolü	18
3.2.3. Kesici Takımın Salgı Kontrolü	19

3.2.4. İş Mili Devir Sayısı Kontrolü	20
3.2.5. Yüzey Pürüzlülük Cihazı Kalibrasyonu	21
3.3. DENEYİN YAPILIŞI	22
3.3.1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Ölçülmesi.....	27
3.3.2. Hasar Faktörünün Belirlenmesi	28
BÖLÜM 4 SONUÇLAR.....	29
4.1. İlerleme – Hasar Faktörü Karşılaştırma Grafikleri.....	30
4.2. Kesme Hızı – Hasar Faktörü Karşılaştırma Grafikleri.	37
4.3. Kesme Derinliği – Hasar Faktörü Karşılaştırma Grafikleri.	41
4.4. Ağız Sayısı – Hasar Faktörü Karşılaştırma Grafikleri.....	45
4.5. İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırma Grafikleri.....	49
4.6. Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırma Grafikleri.	56
4.7. Kesme Derinliği – Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırma Grafikleri.	60
4.8. Ağız Sayısı – Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırma Grafikleri.	64
BÖLÜM 5 DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMALAR	68
5.1. DENEYSEL SONUÇLARIN HASAR FAKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİSİ.....	68
5.2.DENEYSEL SONUÇLARIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNE ETKİSİ.....	76
5.3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yapraklanma Faktörü.....	9
Şekil 2.2 Yapraklanma Faktörü.....	10
Şekil 2.3 Tespit edilen hasar biçimleri.....	12
Şekil 3.1. İki ağızlı kesici takım geometrisi. a) Fotoğraf, b) Şema.	15
Şekil 3.2. Üç ağızlı kesici takım geometrisi. a) Fotoğraf, b) Şema.	15
Şekil 3.3. Dört ağızlı kesici takım geometrisi. a) Fotoğraf, b) Şema.	16
Şekil 3.4. Tezgah iş mili diklik kontrolü. a) Fotoğraf, b) Şema.	17
Şekil 3.5. Takım tutucunun salgı kontrolü. a) Fotoğraf, b) Şema.	18
Şekil 3.6. Kesici takım salgı kontrolü. a) Fotoğraf, b) Şema.	19
Şekil 3.7. İş mili devrinin ölçümü.	20
Şekil 3.8. MarSurf PS1 yüzey pürüzlülük cihazı.	22
Şekil 3.9. Deney düzeneği.	23
Şekil 3.10. Frezelenen kanalların yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi.	27
Şekil 3.11. Frezelenmiş kanalda yapılan Yüzey Pürüzlülüğü ölçümleri.	27
Şekil 3.12. Hasar tespiti.	28
Şekil 4.1. İki ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	30
Şekil 4.2. Üç ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	31
Şekil 4.3. Dört ağızlı kesici takımında İlerleme–Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	32
Şekil 4.4. İki ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $a = 1$ mm için b) $a = 2$ mm için c) $a = 3$ mm için.	33
Şekil 4.5. Üç ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri.a) $a = 1$ mm için b) $a = 2$ mm için c) $a = 3$ mm için.	34
Şekil 4.6. Dört ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $a = 1$ mm için b) $a = 2$ mm için c) $a = 3$ mm için.	35

Şekil 4.7. İki ağızlı kesici takımında Kesme Hızı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri a) a = 1 mm için b) a = 2 mm için c) a = 3 mm için.	37
Şekil 4.8. Üç ağızlı kesici takımında Kesme Hızı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için b) a = 2 mm için c) a = 3 mm için.	38
Şekil 4.9. Dört ağızlı kesici takımında Kesme Hızı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için b) a = 2 mm için c) a = 3 mm için.	39
Şekil 4.10. İki ağızlı kesici takımında Kesme Derinliği – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.....	41
Şekil 4.11. Üç ağızlı kesici takımında Kesme Derinliği – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	42
Şekil 4.12. Dört ağızlı kesici takımında kesme derinliği – hasar faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için	43
Şekil 4.13. 1 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için b) $f = 0,08$ mm/dev için c) $f = 0,12$ mm/dev için.	45
Şekil 4.14. 2 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için b) $f = 0,08$ mm/dev için c) $f = 0,12$ mm/dev için.	46
Şekil 4.15. 3 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için b) $f = 0,08$ mm/dev için c) $f = 0,12$ mm/dev için.	47
Şekil 4.16. İki ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	49
Şekil 4.17. Üç ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	50
Şekil 4.18. Dört ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	51
Şekil 4.19. İki ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için b) a = 2 mm için c) a = 3 mm için.....	52
Şekil 4.20. Üç ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için b) a = 2 mm için c) a = 3 mm için.....	53
Şekil 4.21. Dört ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için b) a = 2 mm için c) a = 3 mm için.	54
Şekil 4.22. İki ağızlı takımında Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için b) a = 2 mm için c) a = 3 mm için.	56

Şekil 4.23. Üç ağızlı takımında Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $a = 1$ mm için b) $a = 2$ mm için c) $a = 3$ mm için.	57
Şekil 4.24. Dört ağızlı takımında Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $a = 1$ mm için b) $a = 2$ mm için c) $a = 3$ mm için.	58
Şekil 4.25. İki ağızlı takımında Kesme Derinliği – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	60
Şekil 4.26. Üç ağızlı takımında Kesme Derinliği – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	61
Şekil 4.27. Dört ağızlı takımında Kesme Derinliği – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için b) $V_c = 88$ m/dak için c) $V_c = 113$ m/dak için.	62
Şekil 4.28. 1 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için b) $f = 0,08$ mm/dev için c) $f = 0,12$ mm/dev için.....	64
Şekil 4.29. 2 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için b) $f = 0,08$ mm/dev için c) $f = 0,12$ mm/dev için.	65
Şekil 4.30. 3 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için b) $f = 0,08$ mm/dev için c) $f = 0,12$ mm/dev için.	66
Şekil 5.1. Frezeleme işlemi esnasında oluşan kuvvetler	68
Şekil 5.2. Farklı İlerlemelerde görülen azami hasarlar. a) 0,04 mm/dev İlerleme, b) 0,08 mm/dev İlerleme, c) 0,12 mm/dev İlerleme.	69
Şekil 5.3. CTP plakada meydana gelen gerilmeler.....	70
Şekil 5.4. Farklı kesme derinliklerinde oluşan azami hasar. a) 1 mm b) 2 mm c) 3 mm.....	71
Şekil 5.5. Talaş oluşumunda kayma bölgesi	72
Şekil 5.6. Frezeleme esnasında elyafların durumu	72
Şekil 5.7. Frezelenen kanalın alt ve üst kenarlarında meydana gelen kesme biçimleri	73
Şekil 5.8. Frezeleme yönleri. a) Zıt yönlü frezeleme, b) Eş yönlü frezeleme	74
Şekil 5.9. Frezelenmiş kanalın alt ve üst kenar hasarları	74
Şekil 5.10. Parmak frezenin kesici temas alanı	75
Şekil 5.11. Ağız Sayısının elyaf hasarına etkisi	75
Şekil 5.12. Farklı ağız sayılarının Hasar Faktörüne etkisi. a) 2 ağızlı takım, b) 3 ağızlı takım, c) 4 ağızlı takım.....	76

Şekil 5.13. İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğün etkisi	77
Şekil 5.14. Frezelenmiş kanalın yüzey morfolojisi	78
Şekil 5.15. Dört ağızlı parmak freze temas noktaları ve kenarları	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. CTP kompozit malzemenin fiziksel özellikleri.....	13
Çizelge 3.2. E camının fiziksel özellikleri	14
Çizelge 3.3 Polyester reçinenin kimyasal ve fiziksel özellikleri	14
Çizelge 3.4. TMC 500V tezgahının teknik özellikleri.....	16
Çizelge 3.5. Komparatörün teknik özellikleri	17
Çizelge 3.6. Diklik kontrolü sonuçları.....	18
Çizelge 3.7. Takım tutucuda ölçülen sapma miktarları	19
Çizelge 3.8. Kesici takımın salgı kontrolü sonuçları	20
Çizelge 3.9. Takometrenin teknik özellikleri	20
Çizelge 3.10. Tespit edilen sapma değerleri	21
Çizelge 3.11. MarSurf PS1 yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri.....	21
Çizelge 3.12. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.....	24

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

R_z	:	Azami Yüzey Pürüzlülük değeri
R_a	:	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü değeri
W_{max}	:	Azami Hasar Faktörü
W	:	Kanal genişliği
t_1	:	Kanalın bir tarafına düşen azami hasar
t_2	:	Kanalın diğer tarafına düşen azami hasar
f	:	İlerleme
Z	:	Kesici Ağız Sayısı
V_c	:	Kesme Hızı
a	:	Kesme Derinliği
F_x	:	İlerme kuvveti
σ_x	:	X yönündeki çekme gerilmesi
σ_y	:	Y yönündeki çekme gerilmesi
τ_{xy}	:	Kayma gerilmesi
S_z	:	Kayma alanı
\emptyset	:	Kayma açısı
t_c	:	Talaş derinliği
b	:	Talaş genişliği
A	:	Talaş kesiti

KISALTMALAR

CTP	:	Camelyaf takviyeli polimer kompozit
HF	:	Hasar Faktörü
SMC	:	Pres kalıplama (Sheet molding compound)
KTP	:	Karbonelyaf takviyeli polimer kompozit
HSM	:	Yüksek hızda işleme (High Speed Machining)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Özellikle 20. Yüzyılın ikinci yarısında bilim ve teknolojinin ilerlemesine paralel olarak, malzeme biliminin gelişimine duyulan ihtiyaç had safhaya ulaşmıştır. Yeryüzündeki elementlerin sınırlı olması, malzeme bilimini, talep edilen ihtiyacı karşılamakta yetersiz kılmıştır. Malzeme biliminin, gelişen teknolojiye ayak uydurabilmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkan kompozit malzemelerle birlikte hafiflik, dayanım gibi özellikler geliştirilmiş, maliyet azaltılmıştır. Bilimsel alanda varlıkları 1930'da kabul edilen polimerler, 1950'lerin başında polimer esaslı kompozit malzemeler olarak üretilmeye başlanmıştır. Son yıllarda polimer kompozit malzemeler, malzeme bilim ve teknolojisinin gereksinime yönelik olarak en uygun malzeme tasarımı ve üretilebilmesi nedeniyle çok önemli bir boşluğu doldurmuştur. Elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin günümüzde kullanım alanları;

- Havacılık ve uzay sanayi,
- Savunma sanayi,
- Yapı sektörü,
- Spor / Eğlence tüketim ürünleri,
- Denizcilik ve yat sanayisi,
- Otomotiv sanayi,
- Tarım ve gıda sektörü,

olarak sıralanabilir. Takviye malzemeleri içinde, tüketim ve satış miktarları açısından, en geniş ölçüde kullanılan takviye malzemesi cam elyafıdır. Camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin (CTP) üretim yöntemlerinden pultrüzyon, el yatırması, pres kalıplama (SMC), vakumlama ve infüzyon yöntemleri imalat aşamasında en çok kullanılan yöntemler olup diğer yöntemlere de temel teşkil

etmektedir. Üretimi yapılan CTP malzemelerin istenilen ölçü ve Yüzey Pürüzlülüğü toleranslarına getirilmesi için uygun talaşlı imalat işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinden olan frezeleme, düzlemsel parçalar için sıklıkla kullanılıp, istenilen ölçü ve toleransların sağlanabildiği bir son işlemdir. Ancak CTP malzemenin iç yapısından kaynaklanan ve frezeleme esnasında elyafların işlenen bölgelerde oluşturduğu hasar ve pürüzlülük istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca CTP malzeme, içersindeki matris elamanını takviye eden camelyafların hacimsel orandaki fazlalığı yüzünden sert bir yapı kazanıp, takım aşınmalarını artırmaktadır. Bu yüzden uygun kesme parametrelerini belirlemek takım aşınmasının en aza indirgenmesi ve yüzey hasarlarının ortadan kaldırılması için çok önemlidir. Bu çalışmada SMC yöntemi ile üretilmiş CTP plakaların karbür kesici takımlar ile farklı kesme parametreleri altında frezelenerek, Yüzey Pürüzlülüğü ve Hasar Faktörüne ilişkin etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde optimum kesme parametreleri ve takım geometrileri belirlenerek tavsiyelerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Lin et al. , yüksek kesme hızlarında camelyaf takviyeli hasır örgülü kompozit malzemelerin işlenmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada, Kesme Hızının artışına paralel olarak takım aşınmasının da arttığı sonucuna varmışlardır [1].

Enemuoh et al. , KTP epoksi malzemelerin işlenmesinde kesme parametrelerine ve kesici takım geometrisi değerleri bağlı olarak tabakalara ayırma (D_a), hasar genişliği (D_w), yüzey kalitesi (R_a) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kesme parametrelerinin seçiminde İlerlemeleri 63,5 - 88,9 - 114,3 - 139,7 - 165,1 mm/dev; devir sayılarını 1250, 1750, 2250, 3250 dev/dak olarak belirlemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda elyaf takviyeli polimer malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan hasarın kesme parametrelerin yardımı ile azaltılabileceği, KTP epoksi kompozit parçaların işlenmesinde ise yüksek hız ve düşük İlerleme değerleri ile düşük hasar miktarları ve iyi yüzey kalitesine sahip yüzeylerin elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır [2].

Santhanakrishnan et. al. ve Ramulu et. al. polimerik kompozitlerin işlenmesi üzerine bir çalışma ortaya koydular. Ve bir Kesme Hızının artışının iyi bir yüzey oluşmasına öncülük ettiğini sonucuna vardılar [3,4].

Hirogaki et al. , elyaf takviyeli polimerik kompozit malzemelerin işlenmesinde elyaf açılmasına bağlı olarak oluşan hasarlarının yüzey pürüzlüğü ve hasar genişliğine olan etkisini incelemişlerdir. Araştırmaları sonucunda hasar oluşumunda elyaf yönlerinin arasındaki ters açılmanın önemli bir faktör olduğunu sonucuna varmışlardır [5].

Khashaba, camelyaf takviyeli termoset kompozitlerin işlenmesinde İlerlemenin tabakalara ayırma faktörü üzerine etkilerini araştırmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak kesici takımın talaş kaldırma işlemi esnasında oluşturduğu Hasar Faktörünü incelemiştir. Polyester içerikli kompozitlerin işlenmesi esnasında oluşan tabakalara ayırma faktörünün Kesme Hızına bağlı olarak zıtlık gösterdiği sonucuna ulaşmıştır. Hasır oryantasyonlu polimer kompozitlerde ise oluşan tabakalara ayrılma olayının Kesme Hızının artışı ile azalma gösterdiğini gözlemlemiştir. İlerlemenin artışı ile tabakalara ayırma oranı artmıştır [6].

Capello, İnce kompozit katmanların işlenmesinde tabakalara ayırma hasarının iş parçası üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kompozit katmanların işlenmesi esnasında destekli ve desteksiz olmak üzere iki farklı deney düzeneği oluşturmuş, İlerleme, iş parçasının genişliği ve kesici takım geometrisini dikkate alarak tabakalara ayırma mekanizmalarını incelemiştir. Destekli ve desteksiz olarak kompozit katmanların işlenmesinde desteğin temel etkisi mekaniksel gerilimleri sağlamaktır. Tabakalara ayırma faktörünün azalmasında desteğin etkisi genel olarak düşük katmanlarda oluşan mekaniksel gerilimlerdir. İş parçasında oluşan dinamik etkilerin tabakalara ayırma faktörünün azalmasında önemli bir etken olduğunu belirlemişlerdir [7].

El-Sonbaty et al. , El yatırması yöntemi ile üretilen camelyaf takviyeli epoksi kompozit parçaların işlenmesi esnasında Kesme Hızı, İlerleme, ve elyaf katmanlarının dağılım oranının Yüzey Pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında İlerleme oranı 0,05 - 0,1 ve 0,23 mm/dev olarak kullanılmış epoksi reçinenin Yüzey Pürüzlülüğü üzerinde Kesme Hızı ve İlerleme miktarının önemsiz etkisi olduğu görülmüştür. Diğer yandan camelyaf takviyeli epoksi kompozit parçaları için Kesme Hızı ve elyaf katmanları oranının artması ile Yüzey Pürüzlülüğünün iyileştiği görülmüştür. Düşük Kesme Hızı ve düşük İlerleme ile işlenen parçalar yüksek İlerleme ile işlenen parçalara göre daha iyi Yüzey Pürüzlülüğü sonucu vermiştir [8].

Ramkumar et al. , Üç farklı geometriye sahip kesici takımlar ile cam epoksi katmanların işlenmesi esnasında oluşan titreşimlerin iş parçası üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları esnasında camelyaf takviyeli plastik katmanların düşük

sıklıktaki titreşimler üzerinde işlenmesi ile en iyi sonuca ulaşmışlardır. Küçük genişlikteki iş parçasının, düşük sıklıktaki titreşim değerlerinde yüzey kalitesinin düzeldiği ve tabakalara ayırma oranının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [9].

Ramkumar et al. , Camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan titreşimlerin neden olduğu hasar miktarının azaltılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında 4 katmanlı tek yönlü camelyaf takviyeli kompozit malzeme 4 farklı geometriye sahip kesici takımlar ile işlenmiştir [10].

Koplev et al., Kaneeda, Puw ve Hocheng, Elyaf dizilişinin ve takım geometrisinin belli başlı kesme mekanizmalarıyla bağlantılı olduğu kanısına vardılar [11, 12, 13].

Singh and Bhatnagar, Eş yönlü camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemenin eş yönlü gerilimlere karşı koyabileceği üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında eş yönlü kompozit katmanlarda artan gerilim mukavemetinin, delme işleminin neden olduğu hasara etkileri ve delme parametrelerine bağlı olarak artan gerilim üzerindeki matematiksel ilişkiyi incelemişlerdir. Kompozit katmaların işlenmesinin yol açtığı hasar üzerine bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir [14].

Velayudham ve Krishnamurt, Polimer kompozitlerin işlenmesinde kesici takım geometrisi ve tabakalara ayırma faktörünün etkilerini araştırmışlardır. Camelyaf takviyeli plastik kompozitlerin işlenmesinde üç farklı geometriye sahip kesici takım kullanılmış ve kesme parametreleri için Kesme Hızı 52, 64, 80 m/dak; İlerleme 0,08 - 0,1 - 0,13 mm/dev olarak belirlenmiştir [15].

Shing et al. , Elyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin işlenmesinde kritik itme kuvvetlerinin teorik modellenmesi, kesici takım geometrisi ve işleme operasyonları değişkenlerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Elyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin işlenmesi sonlu elemanlar analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda kesici takım geometrisi, İlerleme oranı ve kesme kuvvetleri üzerindeki belirgin etkisi ANOVA analiz programı kullanımı ile istatistiksel olarak ispatlanmıştır. Eş yönlü elyaf takviyeli kompozit katmanların işlenmesinde kesici takım geometrisi talaş kaldırmanın neden olduğu hasar üzerine etkileri sonlu

elemanlar ile belirlenmiş ve optimum bir kesici takım geometrisi geliştirilerek lifli kompozit katmanların işlenmesinde fayda sağlanmıştır [16].

Rubio et al. , Camelyaf takviyeli plastik kompozitlerin yüksek hızla işlenmesinin tabakalara ayırma faktörü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında farklı geometrilere sahip üç kesici takım kullanarak yüksek devir ve takım geometrisinin tabakalara ayırma faktörü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda İlerlemenin artışı ile Hasar Faktörünün arttığını, yüksek kesme hızlarında ise Hasar Faktörünün azaldığını belirlemişlerdir [17].

Masaki et al. , KTP malzemelerin frezeleme operasyonları esnasındaki X, Y ve Z eksenleri boyunca oluşan kesme kuvvetlerinin, diş başına İlerlemenin artışıyla kararlı biçimde arttığını gözlemlemişlerdir. Buna ilaveten kesme kuvvetlerinin malzeme bünyesindeki elyaf kusurları ile de artabileceği yönünde görüş bildirmişlerdir [18].

Melkote et al. , Parçacık takviyeli kompozit plakanın değişken kesme parametreleri (diş başına İlerleme, kesme hız ve Kesme Derinliği) altında düz parmak freze ile işlenebilirliğinin Yüzey Pürüzlülüğü, takım çıkış hasarı ve kesme kuvvetleri üzerine olan etkilerinin incelemişlerdir. İşlenen kompozit malzeme % 51 hacim oranında parçacık içermekle beraber matris bünyesinde karışık olarak konumlandırılmıştır. 2 ağızlı ve 30° helis açısına sahip kaplamalı bir parmak freze deneylerde kullanılmıştır. Varılan sonuçta ise takım çıkış hasarına en büyük etkide bulunan parametrenin Kesme Derinliği olduğu sonrasında ise İlerlemenin geldiği yönünde görüş bildirmişlerdir. Yüzey Pürüzlülüğünde ise başlıca etken parametrenin İlerleme olduğunu belirterek çıkan sonuçların, metallerin işlenebilirliğinde görülen sonuçlarla benzerlik gösterdiğine dikkat çekmişlerdir [19].

Rummenhöller, KTP malzemeleri işlemek için tasarlanan kesici takımların bir aşınma mekanizmasıyla ilişkili olması gerektiğini belirtmekle beraber esas olarak ana elamanın içersinde bulunan takviye edici elyafların aşındırma özelliğinin dikkate alınmasını öngörmüştür. Özellikle kesici kenar boyunda birikip yuvarlanan karbon elyafların oryantasyon açısına bağlı olduğunu ifade etmiştir. Farklı takımlarla yaptığı deneysel çalışmalar neticesinde elmas taneli takımların karbür takımlar ile

karşılaştırıldığında iş parçası ve kesici takım arasında meydana gelen sürtünmenin yok olmasına daha fazla katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur [20].

Noh et al. , CTP malzemenin işlenebilirliği, takım malzemeleri ve geometrisi ile ilgili deneysel araştırmalar yapmışlardır. Farklı kesme parametreleri kombinasyonları kullanılarak Yüzey Pürüzlülüğü ve kesme kuvveti hakkında yorum yapmaya çalışmışlardır. Deneyler neticesinde iyi bir yüzey elde etmek için tek noktadan kesme yapan takımların kullanılması gerektiğini düz uçlu takımların radyüslü takımlara oranla daha iyi yüzey verdiğini, İlerlemenin azalışının yüzey kalitesini arttırdığı ve Kesme Derinliğinin yüzey kalitesi üzerinde etkili olmadığını belirtmişlerdir [21].

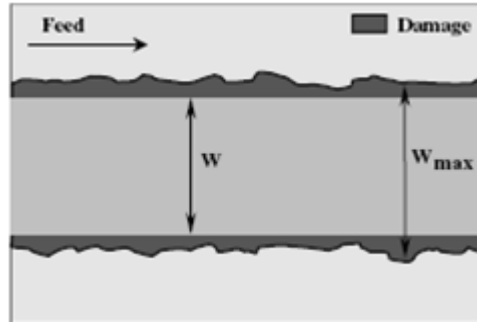
Zhang ve Wang, dik kesmelere bağlı olarak tek taraflı karbon elyaflarla desteklenmiş epoksi kompozitlerin işlenebilirliğinden bahsederek talaşlı imalatı yapılmış bir parçanın mekanizmalarının büyük oranda elyaf oryantasyon açısından etkilendiğini ortaya koymuşlardır. Farklı elyaf oryantasyon açılarındaki numuneler, farklı kesme derinliklerinde, sabit kesme hızlarıyla işlenerek deneysel işlem gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonucunda 90° elyaf oryantasyon açısı kritik bir değer olarak değerlendirilmiş ve bunun üzerindeki bir açıda yüzey hasarının yüksek olacağı belirtilmiştir. İlave olarak, kesici takım talaş açısının Yüzey Pürüzlülüğüne etkisinin olmadığı ifade edilmiştir [22].

Klocke ve Würtz yaptıkları çalışmada frezeleme esnasında termoplastik matrisli cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin yüzey kalitesini incelediler. Bu durumda yüzey kalitesini etkileyen faktörlerin başında matrisin termal özellikleri geldi. Yapılan deneyler neticesinde düşük İlerlemelerle yüksek Kesme Hızı kombinasyonlarında matris elamanının eriyip yüzeyde kalan talaşlara yapışmasıyla kötü bir yüzey oluşurken, yüksek İlerleme ve düşük Kesme Hızı kombinasyonlarında ise düzgün bir yüzey elde edildiğini belirtmişlerdir [23].

Köing ve Rummenhöller, kompozit malzemelerde kullanılan matris elamanı tipinin işlenebilirlik açısından önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Matris elamanı olarak termoset ve termoplastiklerin arasındaki farkı, işlenebilirlik açısından değerlendirmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda termoset matrisli elyaf takviyeli

kompozitlerde frezeleme esnasında en iyi işleme kalitesine, elyafların 0° deki oryantasyonunda rastlamışlardır. 30 ve 45 ° elyaf oryantasyonlarında ise basılma ve eğilme gerilmeleri nedeni ile yüksek kesme kuvvetleri ve düşük yüzeyler meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Elyaf takviyeli termoplastik polimer kompozitler frezelenirken ise daha farklı davranışlar gözlemlenmiştir. Çeşitli elyaf tiplerinde ve oryantasyon açılarında yapılan deneyler sonucunda 90° elyaf oryantasyonunda en iyi yüzey kalitesini gözlemlenmiştir [24].

İki farklı matrisli ve %65 camelyaf içeren plastik kompozit malzemenin frezelenmesi J.Paulo Davim et al. tarafından yapıldı. Her iki camelyaf takviyeli kompozit malzemenin karbür kesici takımla frezelenerek, Yüzey Pürüzlülüğü ve yapraklanma faktörünün değişik kesme parametreleri altında değişimi gözlemlendi ve yorumlandı. Yapraklanma faktörü değerlendirme sürecinde her iki CTP malzeme üzerinde meydana gelen hasar, İlerleme miktarına dik bir atölye mikroskobunda ölçüldü. Ölçüm sonrası malzemede zarar görmüş maksimum hasar ve saptanan normal hasar yapraklanma faktörü olarak belirtildi. Bu faktör azami hasarın standart genişliğe bölünmesi ile Şekil 2.1’de gösterildiği gibi tanımlandı.



Şekil 2.1. Yapraklanma faktörü.

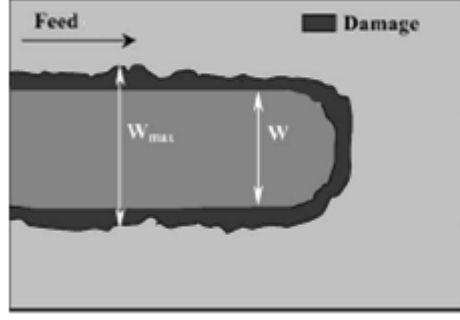
İlerleme miktarı ve Kesme Hızının artışı ile yapraklanma faktörünün arttığı gözlemlendi. Daha iyi bir son yüzey elde etmek için yüksek Kesme Hızı ve düşük İlerleme miktarı gerekli olduğu kanısına varıldı. Farklı kesme parametrelerine bir etmen olarak malzeme boşaltma miktarı ile uluslararası ölçü tamlığı değeri değerlendirilmiştir. Uluslararası ölçü tamlığı değerinin artışı ile malzeme boşaltma miktarının arttığı

gözlendi. Kesme Hızının azalışı ile uluslar arası ölçü tamlığı değerinin azaldığı belirtildi.

Varılan sonuçta,

- Yapraklanma faktörü, her iki malzeme için, yüksek Kesme Hızı ve İlerleme miktarında daha büyüktür.
- Her iki Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme için yapraklanma faktörü üzerinde İlerleme miktarı en büyük fiziksel (%63,5) ve istatistiksel (%62) etkiye sahip kesme parametresidir.
- Yüzey Pürüzlülüğü ve uluslararası ölçü tamlığı değeri, İlerleme miktarı ile artmıştır. Kesme Hızının azalışı ile azalmıştır [25].

Davim ve Reis yaptıkları çalışmada Yüzey Pürüzlülüğü, kesme parametreleri (Kesme Hızı ve İlerleme miktarı), yapraklanma faktörü ve uluslar arası ölçü tamlığı değeri ile Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerinde sementit karbür parmak frezeler kullanılarak, kesme parametreleri, Yüzey Pürüzlülüğü ve yapraklanma faktörü arasında bir ilişki saptamayı amaç edindiler. Deneyleerde kullanılan karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme %55 karbon elyaf içermektedir. Elyaf oryantasyonu 0/90° olup hasır biçiminde imal edilmiştir. Bu malzeme Kesici Ağız Sayısı 2 ve 6 olan iki karbür parmak freze kullanılarak frezelenmiştir. Frezelenen yüzeyler için 5 ayrı Yüzey Pürüzlülüğü ölçümü yapıldı ve sonuçlar bilgisayara aktarıldı. Çıkış verileri olarak Yüzey Pürüzlülüğü ve yapraklanma faktörü üzerinde çalışıldı. Deney sonuçlarının işleyişi (ANOVA) değişim analizi ve ortalama analizi esasına dayandırıldı. Yüzey Pürüzlülüğünün İlerleme miktarı ile arttığı ve Kesme Hızının azalışı ile azaldığı gözlenmiştir. Yüksek bir Kesme Hızı ve düşük bir İlerleme ile daha iyi bir son yüzey elde etmenin mümkün olacağı kanısına varıldı. 2 ağızlı parmak frezenin 6 ağızlı parmak frezeden daha iyi yüzey verdiği gözlendi. Yapraklanma faktörü maksimum hasarın standart genişliğe bölünmesi ile tanımlandı ve Şekil 2.2 'de gösterildi.



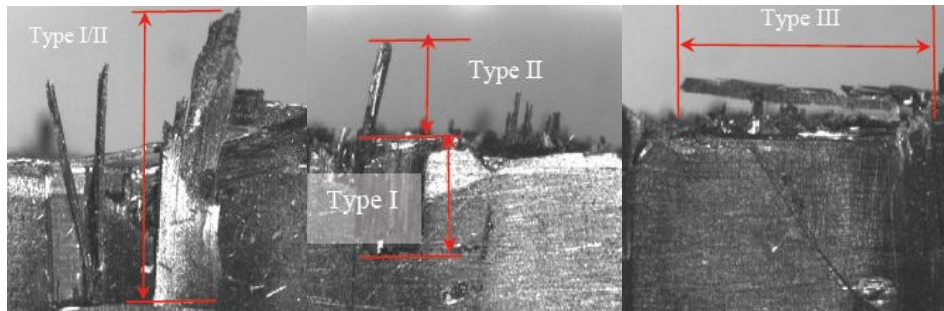
Şekil 2.2. Yapraklanma faktörü.

Yapraklanma faktörünün İlerleme miktarının artışı ile arttığı gözlemlendi. 6 ağızlı parmak freze için, Kesme Hızının artışı ile yapraklanma faktörü üzerinde önemli bir değişiklik gözlemlendi. Sonuç olarak 2 ağızlı parmak frezenin 6 ağızlı parmak frezeden daha düşük bir yapraklanma faktörü ortaya çıkardığı anlaşıldı. 2 ağızlı parmak freze Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerinde daha küçük bir hasar meydana getirdi. Ortaya çıkan deneysel sonuçlar baz alınarak karbon elyaf takviyeli plastiklerin sementit karbür parmak frezeler kullanılarak frezelenmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkarıldı;

- Her iki parmak freze için, 1 ve 3 μm arası Yüzey Pürüzlülüğü elde edilmesinin mümkün olduğu belirlendi.
- Yüzey Pürüzlülüğü ve uluslar arası ölçü tamlığı değerinin İlerleme miktarının artışı ile arttığı, Kesme Hızının azalması ile azaldığı saptandı.
- Yapraklanma faktörü her iki parmak freze için İlerleme miktarı ile az bir miktar artış gösterdi.
- Altı kesici ağızlı parmak freze için Kesme Hızının artışı yapraklanma faktörü üzerinde iyi bir artışa neden oldu.
- İki kesici ağızlı parmak freze KTP malzeme üzerinde 6 ağızlı parmak frezeden daha az hasar meydana getirdi [26].

Jonardhan KTP plakasının işlenebilirliğini çalıştı. Değişik kesme parametreleri altında gerçekleştirilen deneylerde kesici takım olarak tıtırılı (Elyaf takviyeli kompozitlerin işlenebilirliği için özgün bir tasarıma sahip) ve 4 ağızlı helis kanallı takım kullanıldı.

Kullanılan bu iki takım eş yönlü ve zıt yönlü frezeleme operasyonlarının her ikisinde de yer aldı ve mukayese edildi. Bunun yanında Yüzey Pürüzlülüğü ve Hasar Faktörü sonuçları da mukayese edilerek incelendi. Çalışmanın asıl amacı ise doğrudan takım aşınması ölçüm tekniklerinin dört metodu olan kırılma aşınması, maksimum yanak aşınması, uç çekilmesi ve aşınma alanı kapsamında takım aşınmalarını tespit ederek, takım ömrünün belirlenmesidir. ANOVA istatistiksel analizi ile takım ömrü ve etkenleri incelenmiştir. Tabakalı ve hasır karbon elyaf örgülü kompozit malzeme deney düzeneğinde yerini alarak iki farklı takım geometrisine sahip (tırtıllı ve 4 ağızlı helisel) kesici takımlar ile sabit Kesme Derinliği (0,063"), farklı devirler (5000, 10000, 15000 dev/dak) ve farklı İlerlemeler (100, 200, 400 mm/dak) altında frezelenmiştir. Frezelenen bölgede oluşan Hasar Faktörü 4 şekilde ele alınmıştır. Bunlardan birincisi (Type 1) kesici takıma dik yöndeki elyafların frezelenmemiş yüzeyde oluşturduğu hasar, Type 2 yine kesici takıma dik elyafların frezelenmiş yüzey üzerinde oluşturduğu hasar, Type 1/2 frezelenmemiş yüzeyden başlayan ve frezelenmiş yüzey üzerinde de görülen kesici takıma dik elyafların oluşturduğu Type 1 ve Type 2' nin toplamı şeklindeki hasar, Type 3 ise kesici takıma paralel yönde olan elyafların frezelenen yüzeyde oluşturduğu hasar olarak tespit edilmiştir. Bu dört tip hasar Şekil 2.3' te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Tespit edilen hasar biçimleri.

Yapılan deneyler neticesinde kesici takımda meydana gelen aşınmalar değişik yöntemlerle ölçülmüştür. Bilhassa tırtıllı takım üzerindeki elmas piramit uçlarda görülen aşınma biçimleri farklı yönlerden ele alınmıştır. Dört ağızlı helisel kanallı kesici takımda oluşan aşınma diğer yapılan çalışmalardaki gibi yanak aşınmasından ibaret olduğu belirtilmiştir.

Sonuç olarak;

- Geleneksel işleme ile tırtıllı takımında hasar ve Yüzey Pürüzlülüğü daha iyi çıkmıştır.
- Piramit uçtaki kırılma aşınması genel olarak yüksek İlerleme ve düşük devirlerde gerçekleşmiştir.
- Kesme kuvvetlerini etkileyen başlıca parametre İlerleme olmuştur.
- ANOVA analizi neticesinde takım ömrünü belirleme de Kesme Hızından çok İlerlemenin etkisi olduğu anlaşılmıştır.
- Tırmanarak frezeleme operasyonlarında yüzey hasarı ve pürüzlülüğü geleneksel frezelemeye göre daha iyi sonuç vermiştir.
- Geleneksel frezeleme operasyonunda daha düşük kesme kuvvetleri elde edilmiştir [27].

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 MALZEME VE EKİPMANLAR

3.1.1 Malzemenin Teknik Özellikleri

Yapılan deneylerde ARMAPLAST A.Ş.'nin ürettiği camelyaf takviyeli polimer kompozit plaka kullanılmıştır. Plakalar presleme yöntemiyle (SMC) üretilmiştir. Kompozit plaka hacimsel olarak %74 camelyaf ve %26 polyester reçine barındırmaktadır. Plaka içerisinde kullanılan camelyafı 90° hasır oryantasyonlu yapıda üretilmiştir. Plakalar 10 mm kalınlığında olup, 14 tabaka hasırdan oluşmaktadır. Camelyaf takviyeli polimer kompozit (CTP) malzemenin fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CTP malzemenin fiziksel özellikleri [28].

Elyaf çapı	22 µm
Kopma uzaması	% 4,9
Elastisite modülü	94 GPa
Çekme dayanımı	1800 N/mm ²
Özgül ısı	1,45 kJ/kg°C

Kompozit plakalarda kullanılan E camının fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. E camının fiziksel özellikleri [29].

Özgül ağırlık	2,6 gr/cm ³
Kopma Uzaması	% 4,8
Elastisite modülü	81,3 GPa (1 elyaf için)
Çekme dayanımı	2,4 kN/mm ² (1 elyaf için)
Gerilim noktası	617 °C
Gerilim giderme noktası	840 °C
Isıl iletkenlik katsayısı	1,0 W/m.°K

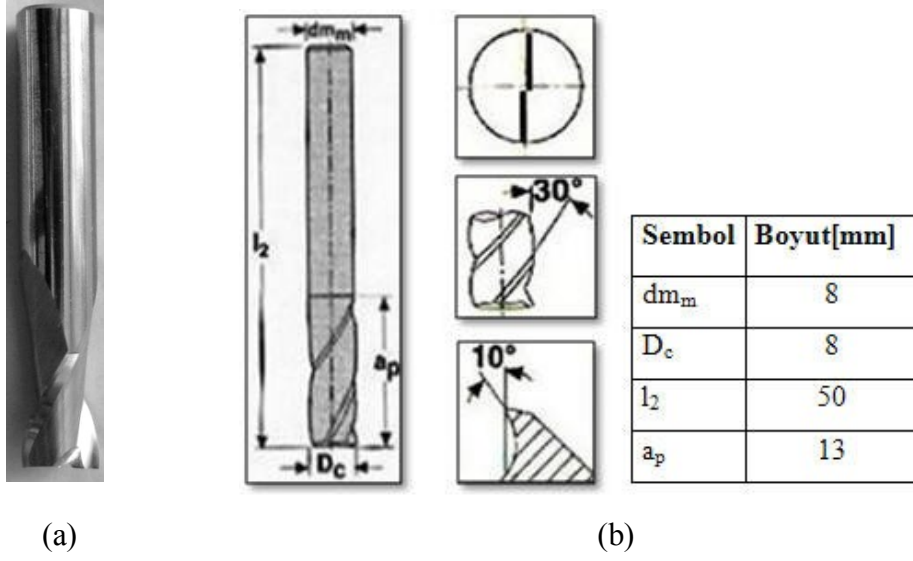
Kompozit plakalardaki polyester reçinenin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3 Polyester reçinenin kimyasal ve fiziksel özellikleri [30].

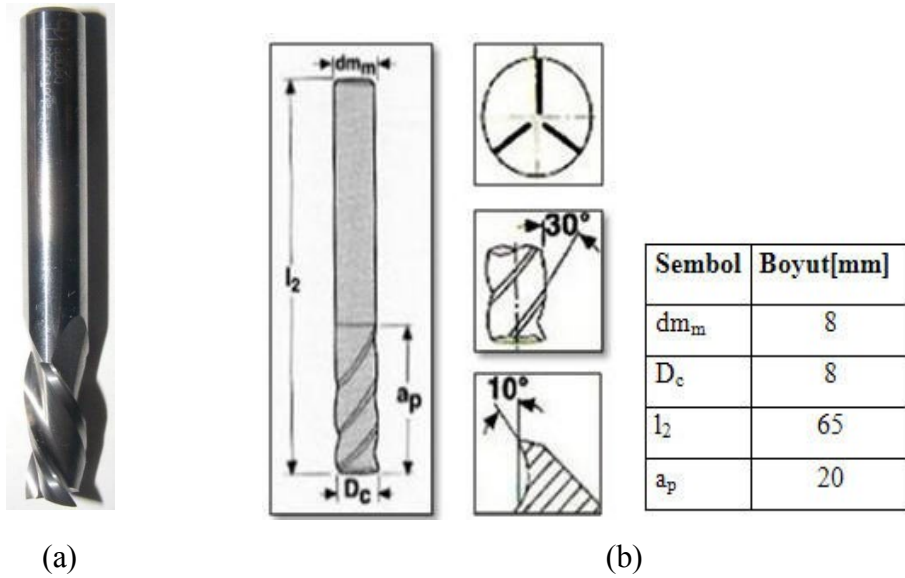
Vizkozite	850±100 cps
Asit Sayısı	Max.26 mgKOH
Katı Madde Miktarı	Min. % 60
Reovaktivite Sıcaklığı	230±10 °C
Çekme Dayanımı	1000 MPa
Kayma Modülü	1,0-2,0 GPa
Basma Dayanımı	140 MPa
Çekme Dayanımı	42-90 MPa
Uzama Katsayısı	% 1,6-2,8
Özgül Ağırlık	1,38 gr/cm ³

3.1.2. Kesici Takımlar

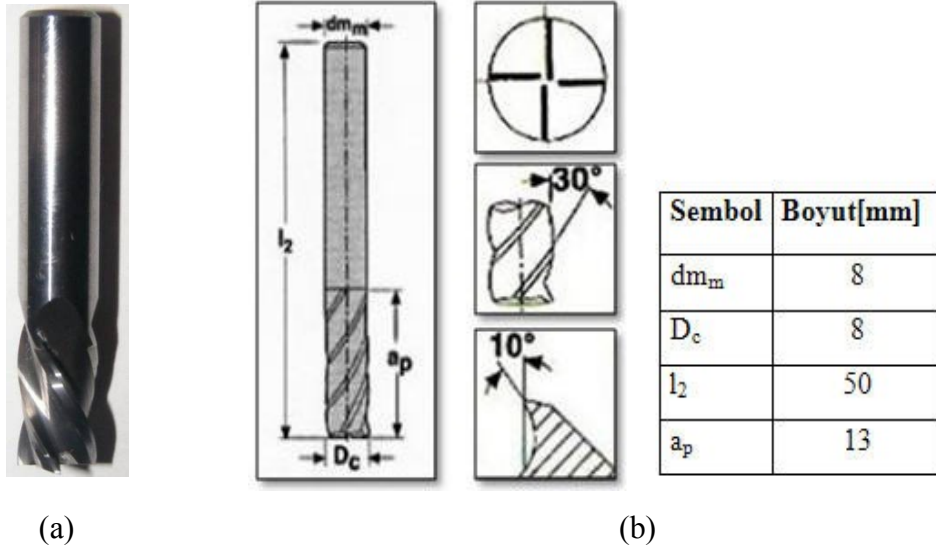
SECO firmasının VHM sementit karbür serisinden 99080, 39080, 90080 katalog numaralı ve farklı ağız sayılarına (iki, üç ve dört) sahip kesici takımlar deneylerde kullanılmıştır. Kesici takımlar düz uçlu olup 30° helis açısına sahiptirler. Kesici takımlar Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İki ağızlı kesici takım geometrisi. a) Fotoğraf, b) Şema [31].



Şekil 3.2. Üç ağızlı kesici takım geometrisi. a) Fotoğraf, b) Şema [31].



Şekil 3.3. Dört ağızlı kesici takım geometrisi. a) Fotoğraf, b) Şema [31].

3.1.3. Frezeleme Tezgahı

Deneysel çalışmalarda Taksan TMC 500V CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Kurulum aşamasında şartnameye bağlı olarak gerekli rijitlik, titreşim ve balans ayarları yapılan tezgahın teknik özellikleri Çizelge 3.4’ te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Tezgahın teknik özellikleri [32].

X/Y/Z Eksen Hareket Mesafeleri	500/410/400 mm
Tabla Ebatı	750x400 mm
Tabla Çalışma Alanı	650x400 mm
İş Mili Devir Aralığı	60-6000 dev/dak
İş Mili Azami Tork	7,2 N/m
İş Mili Motor Gücü	5 kW

3.2. KALİBRASYON VE KONTROL

Deneysel çalışmalara başlamadan önce, tezgah ve kesici takımın diklik, salgı ve devir kalibrasyonu yapılmıştır.

3.2.1. İş Mili Diklik Kontrolü

Kalibrasyon işlemi sırasında Çizelge 3.5’ te teknik özellikleri verilen MITUTOYO 1044F analog komparatör kullanılmıştır.

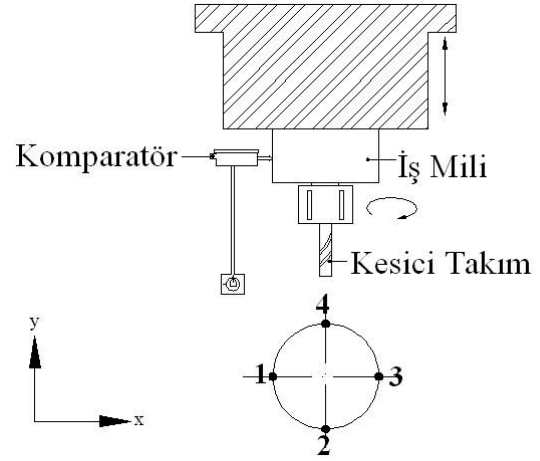
Çizelge 3.5. Komparatörün teknik özellikleri [33].

Ölçüm hassasiyeti	0,001 mm.
Ölçü ve kontrol alanı	0-10 mm.
Gösterge	Analog
Sabitleme düzeneği	Manyetik

Diklik kontrolü tabla üzerine sabitlenen komparatör yardımı ile birbirlerine 90°’lik açıda duran dört farklı nokta üzerinde yapılmıştır. Komparatör iş mili üzerinde y eksenini doğrultusunda 50 mm’lik mesafe içerisinde hareket ettirilmiş ve sapma oranları belirlenmiştir. Kalibrasyon işlemi Şekil 3.4’te görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.4. Tezgah iş mili diklik kontrolü. a) Fotoğraf, b) Şema.

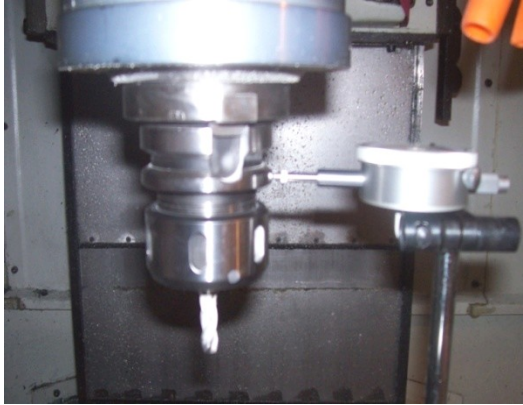
İş mili üzerindeki 50 mm’lik mesafede sapma oranları ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 3.6’ da verilmiştir. Tespit edilen sapma oranları tezgahın genel çalışma şartlarına uygun değerler içerisinde ve deneylerin yapılmasında olumsuzluk oluşturmamaktadır.

Çizelge 3.6. Diklik kontrolü sonuçları.

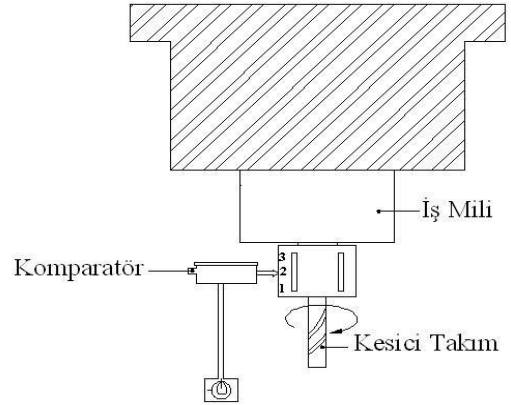
1.Noktadaki Sapma Oranı	2/1000
2.Noktadaki Sapma Oranı	3/1000
3.Noktadaki Sapma Oranı	3/1000
4.Noktadaki Sapma Oranı	2/1000

3.2.2. Takım Tutucunun Salgı Kontrolü

CNC dik işleme merkezi iş milinin dönmesi esnasında, takım tutucusunda oluşan salgının belirlenmesi için takım tutucu kendi ekseninde farklı devirlerde döndürülerek salgı miktarları belirlenmiştir. Yapılan işlem Şekil 3.5.a 'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.5. Takım tutucunun salgı kontrolü. a) Fotoğraf, b) Şema.

Kontrol işlemi sırasında takım tutucu üzerinde 10 mm aralıklarla belirlenen üç farklı noktadan üç farklı devir (1000, 2000, 3000 dev/dak) kullanılarak takım tutucuda oluşan sapma miktarları belirlenmiştir. Şekil 3.5.b' de görüldüğü üzere ölçülen sapma miktarları Çizelge 3.7' de verilmiştir.

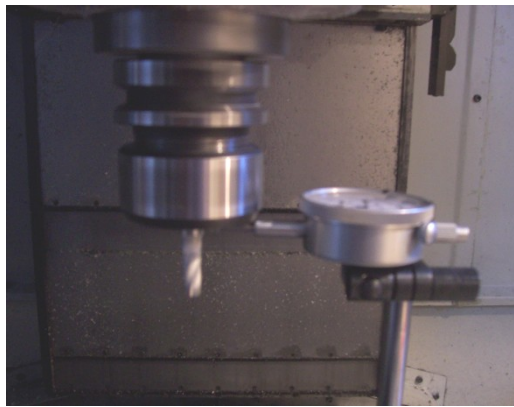
Çizelge 3.7. Takım tutucuda ölçülen sapma miktarları.

Ölçüm Noktası	İş Mili Devir Sayısı [dev/dak]	Sapma Miktarı [mm]
1	1000	$\pm 0,005$
	2000	$\pm 0,001$
	3000	$\pm 0,015$
2	1000	$\pm 0,006$
	2000	$\pm 0,001$
	3000	$\pm 0,015$
3	1000	$\pm 0,004$
	2000	$\pm 0,001$
	3000	$\pm 0,010$

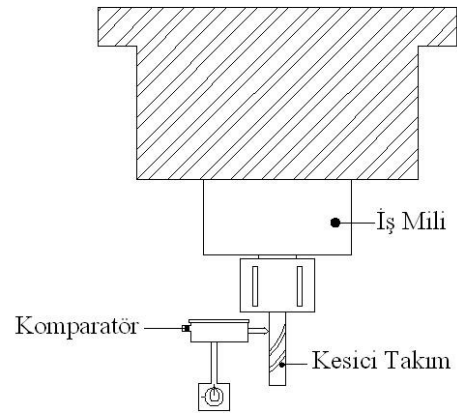
Çizelge 3.7’ de belirtilen sapma miktarları ihmal edilebilir değerlerdir ve deneyin yapılmasında bir olumsuzluk göstermez.

3.2.3. Kesici Takımın Salgı Kontrolü

Takım tutucuya sabitlenen kesici takımın, değişik devirlerde (1000, 2000 ve 3000 dev/dak) döndürülmesi ile birlikte sapma miktarlarının belirlenmesi Şekil 3.6’ da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.6. Kesici takım salgı kontrolü. a) Fotoğraf, b) Şema.

Çizelge 3.8’ de verilen sonuçlara göre kontrolü işleminde ortalama 0,001 sapma miktarı belirlenmiştir ve bu değer deneylerin yapılması için ihmal edilebilir niteliktedir.

Çizelge 3.8. Kesici takımın salgı kontrolü sonuçları.

İş Mili Devir Sayısı [dev/dak]	Sapma Miktarı [mm]
1000	±0,006
2000	±0,010
3000	±0,014

3.2.4. İş Mili Devir Sayısı Kontrolü

Devir sayısı kontrolünde, teknik özellikleri Çizelge 3.9’ da verilen PROVA RM-1500 dijital takometre kullanılmıştır. Bu işlem esnasında iş mili üzerine yansıtıcı bant yapıştırılmış ve 150 mm’lik uzaklıkta takometre banta dik konumda tutularak iş milinin devir değerlerinin kontrolü Şekil 3.7’ de gösterildiği gibi yapılmıştır.

Çizelge 3.9. Takometrenin teknik özellikleri [34].

Ölçüm Aralığı	10000 – 99999 dev/dak
Çözünürlük	0,001/0,01/0,1/1 r/s (Hz)
Hassaslık	%0,04 ±2 basamak



Şekil 3.7. İş mili devrinin ölçümü.

Kalibrasyon işleminde tezgâha girilen devir ile takometrede ölçülen değerler Çizelge 3.10’ da karşılaştırılmıştır. Gözlemlenen sapma değerleri çok küçük miktarlarda olduğu için ihmal edilebilir düzeydedir.

Çizelge 3.10. Tespit edilen sapma değerleri.

Girilen devir [dev/dak]	Ölçülen devir [dev/dak]	Sapma Miktarı [%]
1000	1000,025	0,0025
2000	1999	0,05
3000	2999	0,04
4000	3998	0,05

3.2.5. Yüzey Pürüzlülük Cihazı Kalibrasyonu

Yüzey Pürüzlülüğü ölçümü için Çizelge 3.11’ de teknik özellikleri verilen iğne metotlu ölçüm yapan MarSurf PS1 Yüzey Pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Çizelge 3.11. MarSurf PS1 yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri [35].

Ölçüm Aralığı	350 , 180 , 90 μm
Ölçüm Adımı (Cut-off)	0.25 , 0.8 , 2.5 mm
Ölçüm Kuvveti	0.7 mN

MarSurf PS1 kalibre edilirken, cihazın alt kısmında bulunan R_z parametresinin nominal değeri okundu ve okunan değer yön tuşları kullanılarak cihaza girildi. Değerin doğrulanmasının ardından cihaz, otomatik olarak üç ölçüm gerçekleştirdi. Ölçülen her R_z parametresi ekranda görüntülendi. Üçüncü ölçümden sonra üç ölçümün R_z değeri ortalaması tanımlandı. Bu ortalama, doğrulama değerinin hesaplanmasında kullanıldı. Doğrulama değeri $\pm\%15$ ’lik bir aralıkta uzandığı görüldüğü için cihaz ayarlarında kabul edildi. Ölçümlerde kullanılan yüzey pürüzlülük cihazı Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.

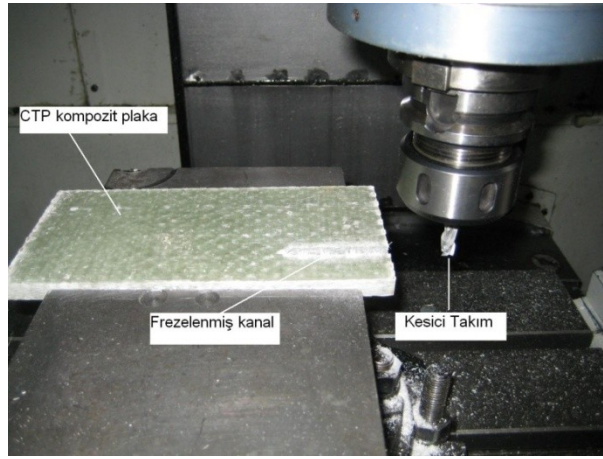


Şekil 3.8. MarSurf PS1 yüzey pürüzlülük cihazı.

3.3. DENEYİN YAPILIŞI

Deneyler, 200x100x10 mm boyutlarında hazırlanan CTP plakalar üzerinde gerçekleştirildi. Tezgah mengenesine bağlanan CTP plaka, farklı Ağız Sayısına (2, 3 ve 4) sahip olan kesici takımlar ile 50 mm boyunda ve 8 mm genişliğinde kanallar açılmak suretiyle frezelenmiştir. Olası hataların doğuracağı yanlış sonuçları en aza indirmek için deneyler 3 kez tekrar edilmiştir. Net sonuçlar elde etmek için her 9 deneyde bir takım değiştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri daha önce yapılmış çalışmalar göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Yüzey Pürüzlülüğünün kabul edilebilir değerler çerçevesinde incelenebilmesi için Davim ve ekibinin yaptıkları çalışma dikkate alınmıştır [27]. Aynı şekilde Davim ve Reis'in çalışmalarında, Kesme Hızının artışının Hasar Faktörü üzerinde çok önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir [28]. Bu yüzden tercih edilen Kesme Hızı değerleri HSM (High Speed Machining) uygulamalarındaki kesme değerlerinden daha düşük alınarak, Hasar Faktörünü incelenebilir değerler seviyesine çekilmiştir. İncelenen literatürler ışığında tercih edilen kesme hızları 62, 88 ve 113 m/dak, İlerleme değerleri 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev. olarak belirlenmiştir. Buna ilaveten 1, 2 ve 3 mm kesme derinlikleri bir kesme parametresi olarak, hasar oranı ve Yüzey Pürüzlülüğü üzerine etkisinin olup olmayacağı hususunda deneyde yer almıştır. Takım geometrisinden, Ağız Sayısının etken parametre olarak kabul edilmesi diğer çalışmalarla beraber önemli şekilde Teti'nin yapmış olduğu çalışmaya dayanmaktadır. Teti, kompozit malzemelerin temiz bir biçimde işlenebilmesinin karbon veya cam elyaflarının birbirinden koparılmasını sağlamakla mümkün olabileceğini belirtip, takım seçiminde uç radyüsünün ve kesici kenar sayısının

mümkün olabildiğince küçük seçilmesini öngörmüştür [36]. Bu çalışmada da Ağız Sayısı 2, 3 ve 4 olarak seçilmiştir. Seçilen takımların tabana temas eden yüzeylerinde ve kenarlarında radyüs bulunmamaktadır. Deneilerin gerçekleştirilebilmesi için cihazların kalibrasyonu ve tezgahın rijitliği sağlandıktan sonra CTP plaka mengene yardımı ile tezgaha bağlanmıştır. Oluşturulan deney düzeneği Şekil 3.9' da görülmektedir.



Şekil 3.9. Deney düzeneği.

Deneyeler, içeriğini Ağız Sayısı, Kesme Hızı, İlerleme, Kesme Derinliğinin oluşturduğu kesme parametreleri ve kombinasyonları kapsamında Çizelge 3.12' de belirtilen deney föyüne göre yapılmıştır. 62, 88, 113 m/dak kesme hızlarına tekabül eden devir sayıları sırasıyla 2500, 3500 ve 4500 dev/dak olup, 0.04, 0.08, ve 0.12 mm/dev ilerlemelere tekabül eden tabla ilerlemeleri ise 62 m/dak (2500 dev/dak) için sırasıyla 100, 200, 300 mm/dak, 88m/dak için (3500 dev/dak) 140, 280, 420 mm/dak ve 113 m/dak (4500 dev/dak) için 180, 360, 540 mm/dak olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 3.12. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri.

Deney no	Kesici Ağız Sayısı, Z	Kesme Hızı, Vc [m/dak]	Kesme Derinliği, a [mm]	İlerleme, f [mm/dev]
1	2	62	1	0,04
2				0,08
3				0,12
4			2	0,04
5				0,08
6				0,12
7			3	0,04
8				0,08
9				0,12
10		88	1	0,04
11				0,08
12				0,12
13			2	0,04
14				0,08
15				0,12
16			3	0,04
17				0,08
18				0,12
19		113	1	0,04
20				0,08
21				0,12
22			2	0,04
23				0,08
24				0,12
25			3	0,04
26				0,08
27				0,12

Çizelge 3.12. (Devam ediyor)

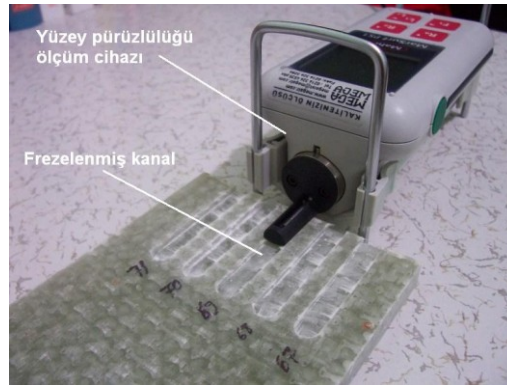
Deney no	Kesici Ağız Sayısı, Z	Kesme Hızı, Vc [m/dak]	Kesme Derinliği, a [mm]	İlerleme, f [mm/dev]
28	3	62	1	0,04
29				0,08
30				0,12
31			2	0,04
32				0,08
33				0,12
34			3	0,04
35				0,08
36				0,12
37		88	1	0,04
38				0,08
39				0,12
40			2	0,04
41				0,08
42				0,12
43			3	0,04
44				0,08
45				0,12
46	113	1	0,04	
47			0,08	
48			0,12	
49		2	0,04	
50			0,08	
51			0,12	
52		3	0,04	
53			0,08	
54			0,12	

Çizelge 3.12. (Devam ediyor)

Deney no	Kesici Ağız Sayısı, Z	Kesme Hızı, Vc [m/dak]	Kesme Derinliği, a [mm]	İlerleme, f [mm/dev]
55	4	62	1	0,04
56				0,08
57				0,12
58			2	0,04
59				0,08
60				0,12
61			3	0,04
62				0,08
63				0,12
64		88	1	0,04
65				0,08
66				0,12
67			2	0,04
68				0,08
69				0,12
70			3	0,04
71				0,08
72				0,12
73		113	1	0,04
74				0,08
75				0,12
76	2		0,04	
77			0,08	
78			0,12	
79	3		0,04	
80			0,08	
81			0,12	

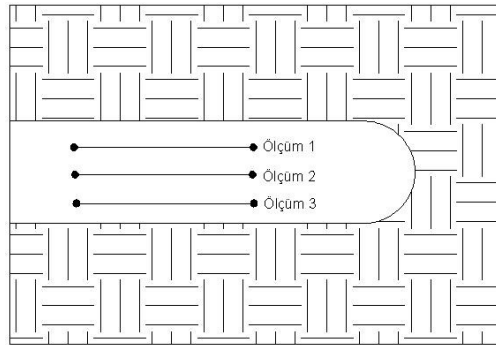
3.3.1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Ölçülmesi

Çizelge 3.12’ deki kesme parametreleri kullanılarak CTP plakalar üzerine karbür parmak kesici takımlar ile kanallar açılmış ve Şekil 3.8’ de gösterilen yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçümleri yapılmıştır. R_a değerinin tespiti için ISO 4287/1 baz alınarak ölçümler yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında her ölçüm için, 0,8 mm ölçüm adımı (cut off) ile altı ölçüm yaptırılarak, toplam 4,8 mm ölçüm boyunda ortalama pürüzlülük değeri (R_a) ölçülmüştür. Şekil 3.10’ da Yüzey Pürüzlülüğü ölçümü gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Frezelenen kanalların yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi.

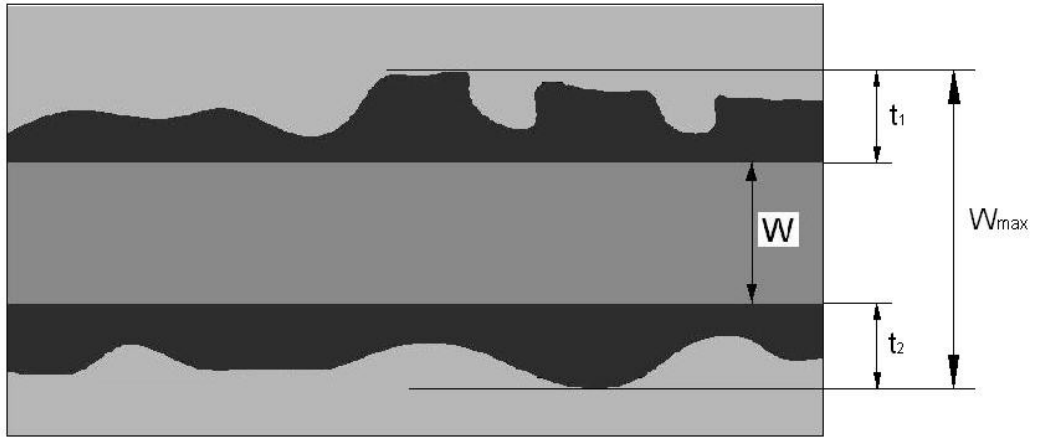
Her kanal için Şekil 3.11’ de görüldüğü gibi kanalın birbirine paralel üç farklı bölgeden ölçüm yapılmıştır. En uygun değerler esas alınarak karşılaştırma grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.11. Frezelenmiş kanalda yapılan Yüzey Pürüzlülüğü ölçümleri.

3.3.2. Hasar Faktörünün Belirlenmesi

Frezelenen kanalların Hasar Faktörü (HF)'nin belirlenmesi için Davim ve ekibinin yapmış olduğu çalışması esas alınmıştır [25]. HF, Denklem 3.1 ve 3.2' de belirtildiği gibi kanalın dışına çıkan elyafların azami değerlerinin kanal boyutuna bölünmesi ile elde edilmiştir. Şekil 3.12' de HF' nin tespiti gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Hasar tespiti.

Azami hasarı tespit etmek için;

$$W_{\max} = t_1 + t_2 + W \quad (3.1)$$

Denklemini kullanılmıştır. Burada t_1 , kanalın bir tarafına düşen azami hasar, t_2 ise kanalın diğer tarafına düşen azami hasardır. Bu iki azami hasarın ve kanal genişliğinin toplamı bize toplam azami hasar (W_{\max})' ı verir.

Buradan, HF' yi bulmak için;

$$HF = \frac{W_{\max}}{W} \quad (3.2)$$

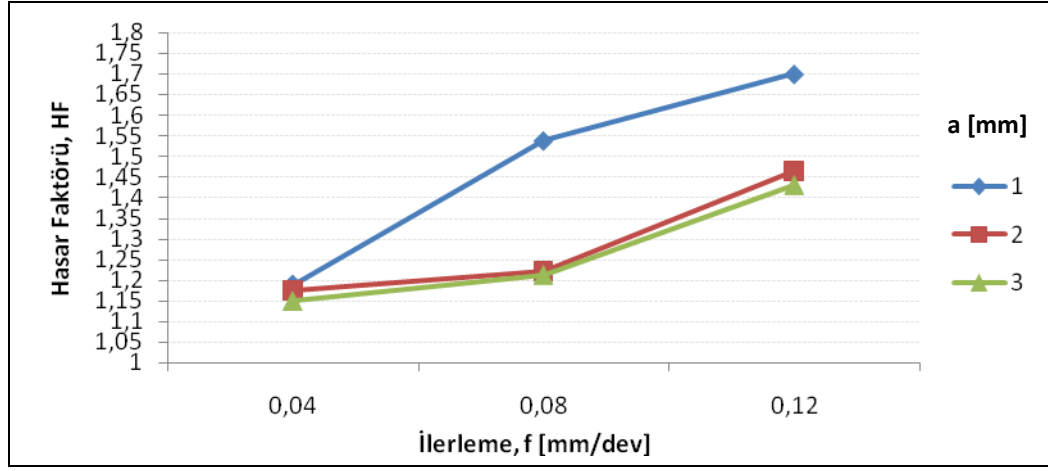
denklemini kullanılmıştır. Burada W_{\max} azami hasarı, W ise kanal genişliğini simgeler. Her bir kanalın W_{\max} ve W değerleri Denklem 3.2'nin yardımı ile HF oranına dönüştürülmüştür.

BÖLÜM 4

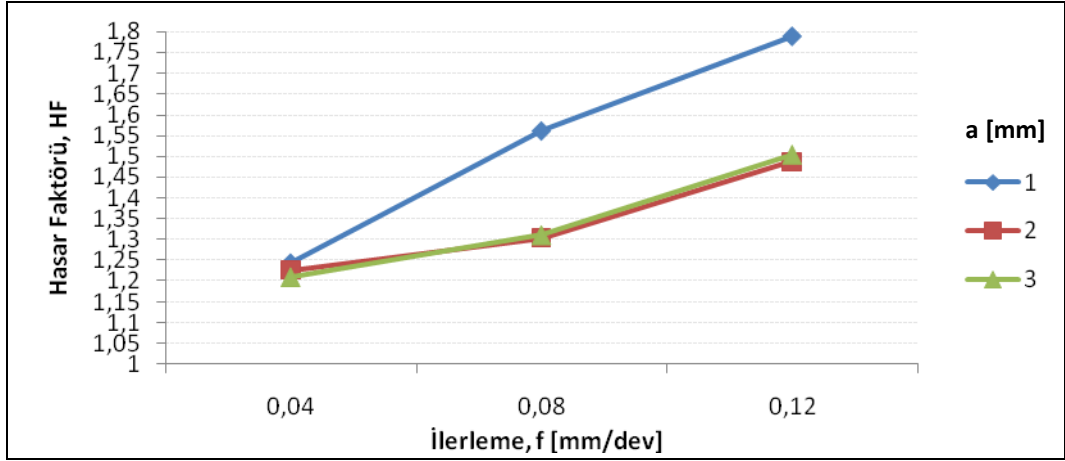
DENEYSEL SONUÇLAR

Frezelenen kanalların sırasıyla Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri, ardından Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri hazırlanarak sunulmuştur. Hasar Faktörü (HF) ve Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) grafikleri oluşturulurken İlerleme, Kesme Hızı, Kesme Derinliği ve Ağız Sayısı kombinasyonlarından faydalanılmıştır. Hasar Faktörü ve Yüzey Pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğu düşünülen kesme parametreleri ilk önce ele alınmıştır. Sırasıyla İlerleme, Kesme Hızı, Kesme Derinliği ve Kesici Ağız Sayısı parametreleri takip etmektedir. Hazırlanan grafikler Şekil 5.1 – 5.30 arasında olmak üzere verilmiştir.

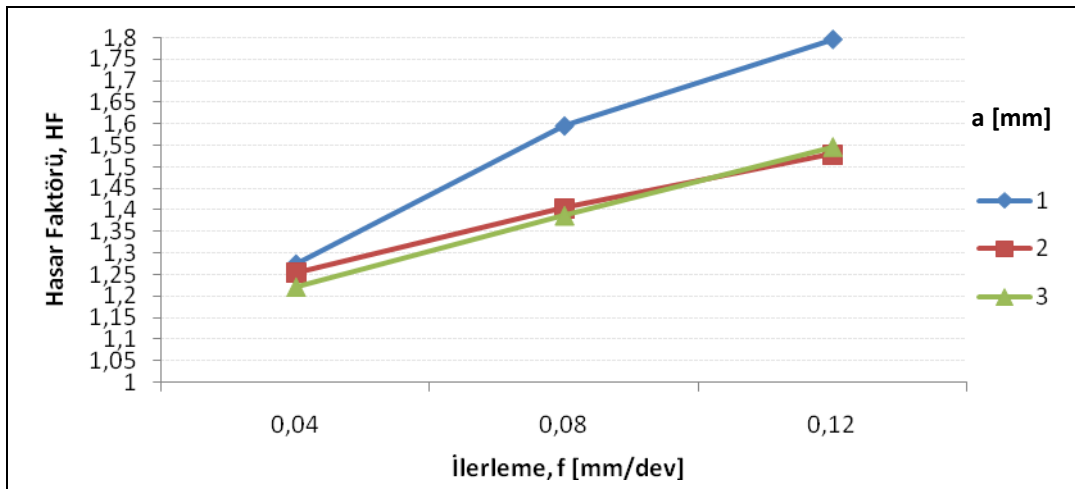
4.1. İlerleme – Hasar Faktörü Karşılaştırma Grafikleri.



(a)

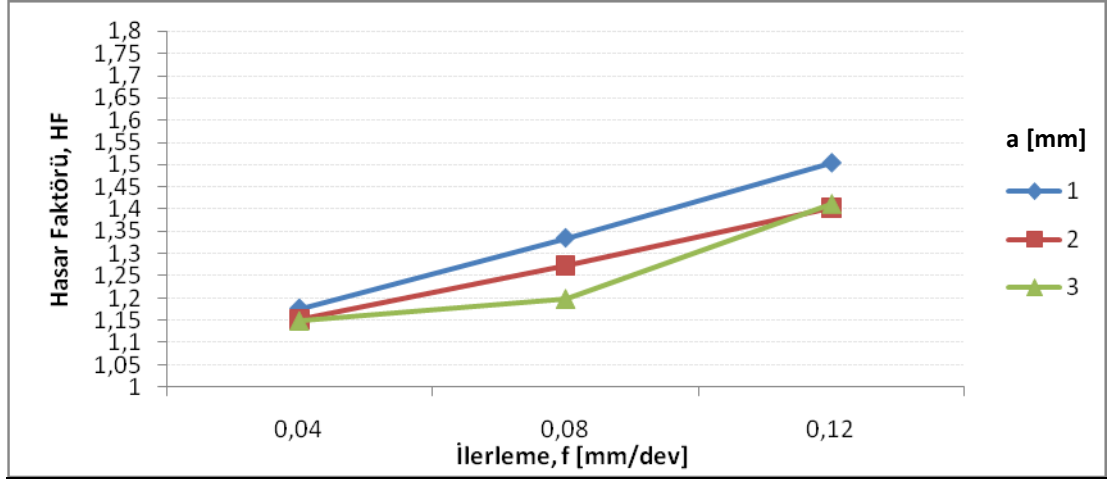


(b)

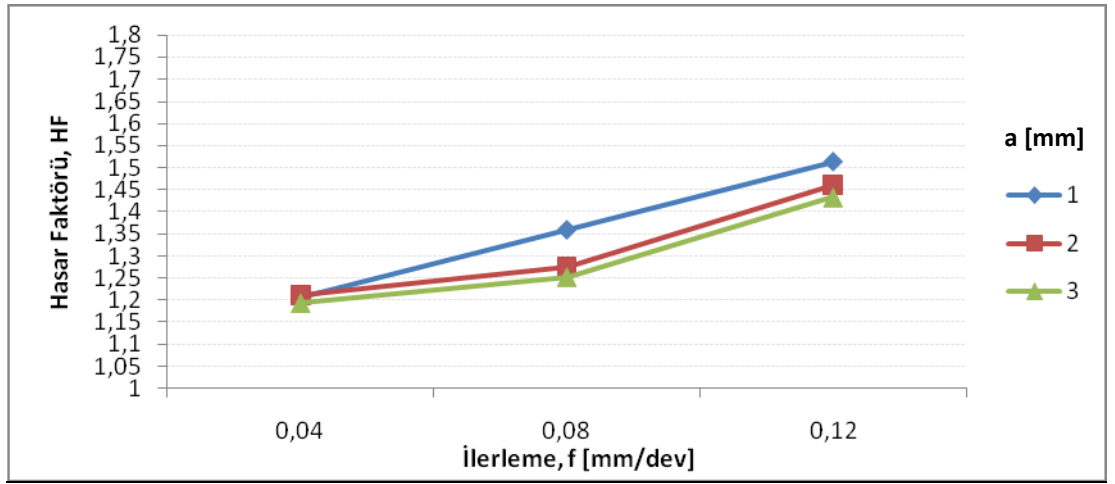


(c)

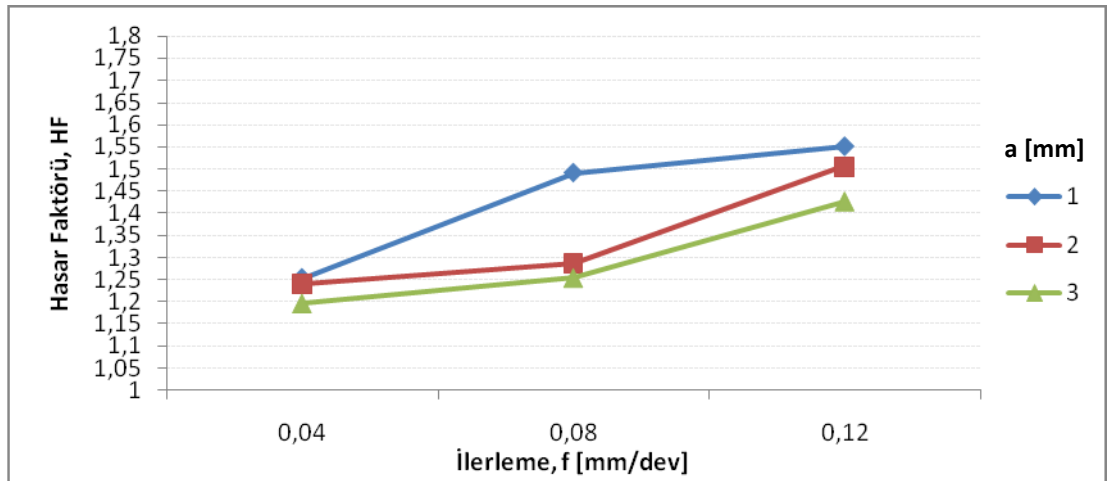
Şekil 4.1. İki ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri.
a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)

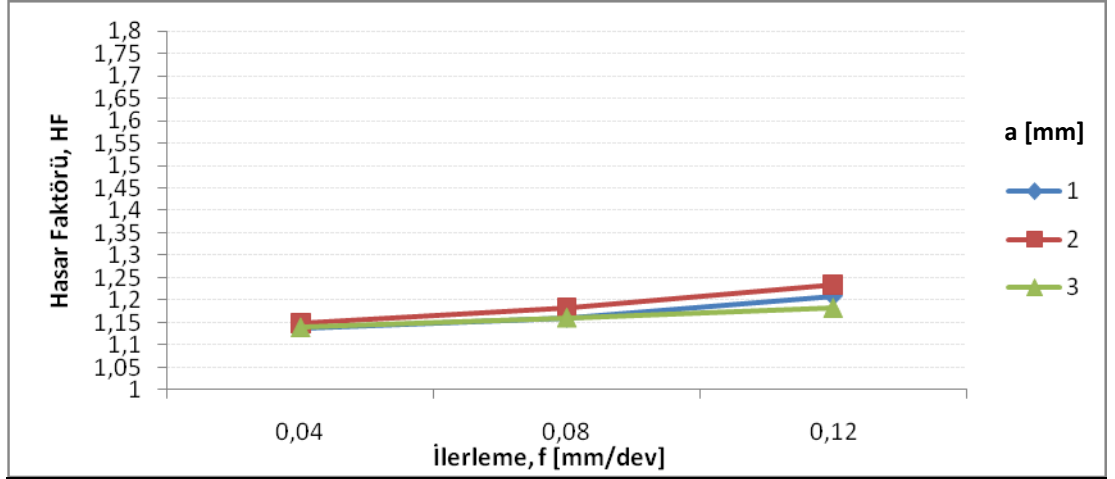


(b)

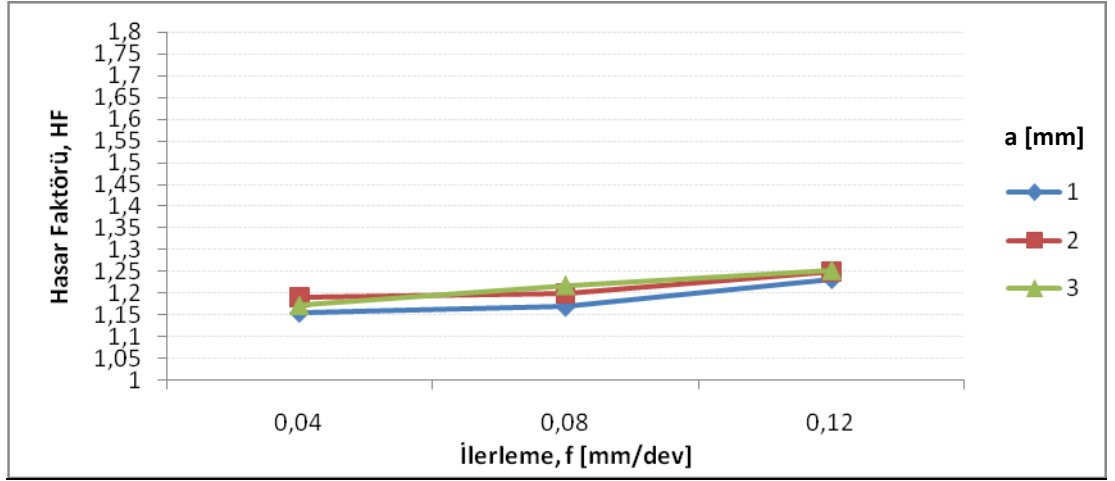


(c)

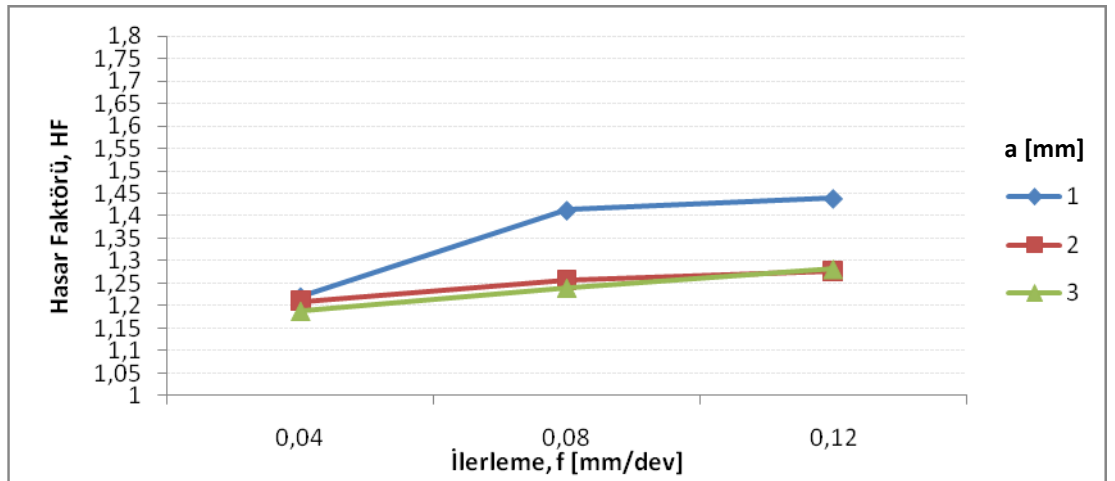
Şekil 4.2. Üç ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri
a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)

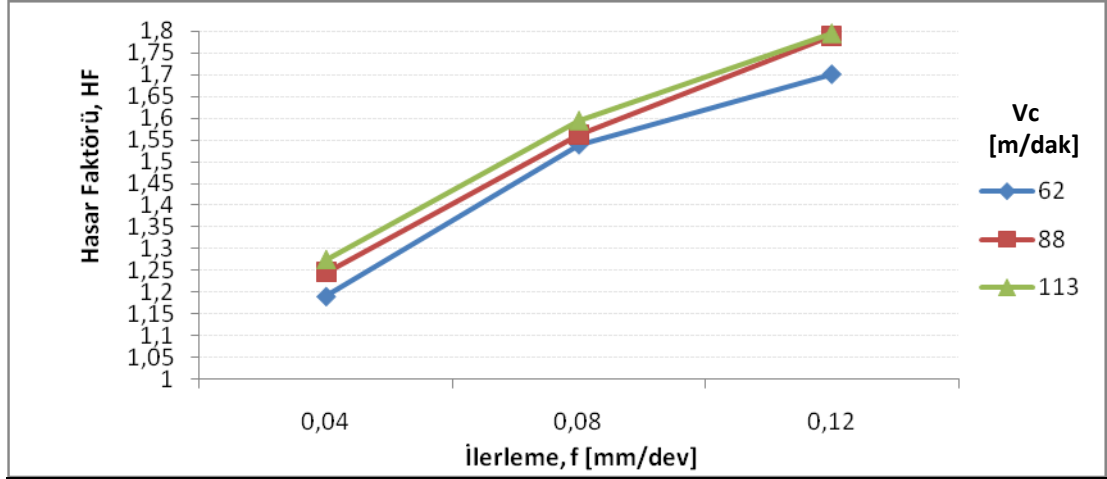


(b)

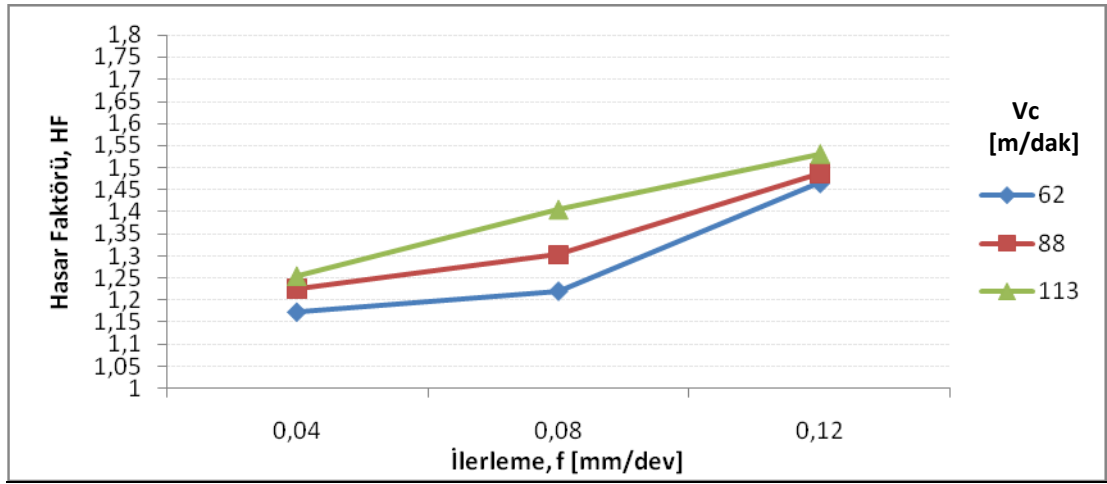


(c)

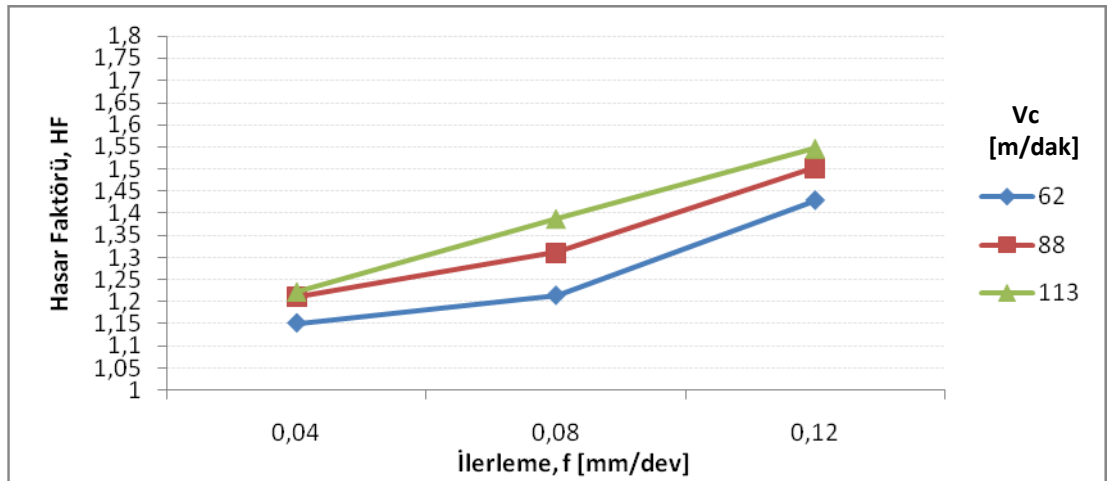
Şekil 4.3. Dört ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri.
a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)

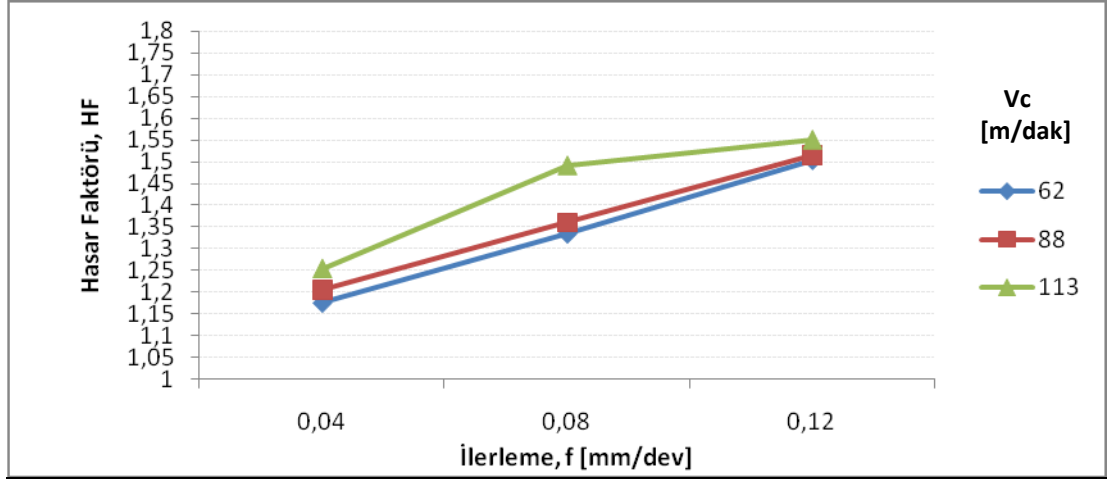


(b)

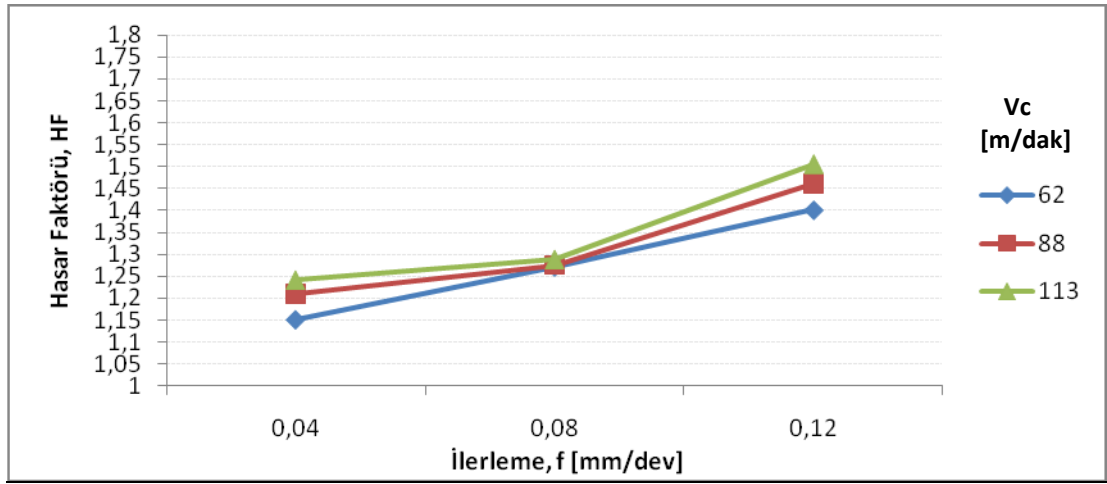


(c)

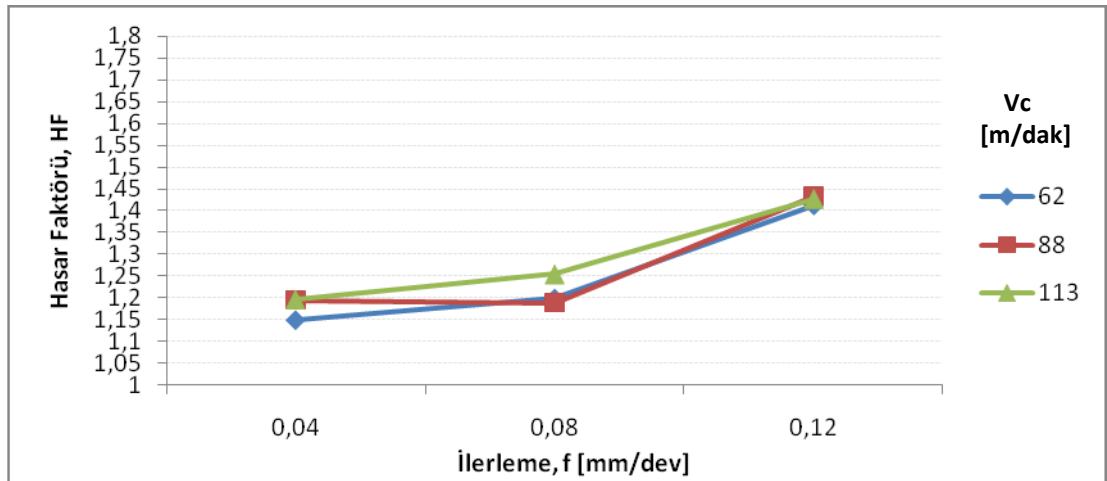
Şekil 4.4. İki ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri.
a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.



(a)

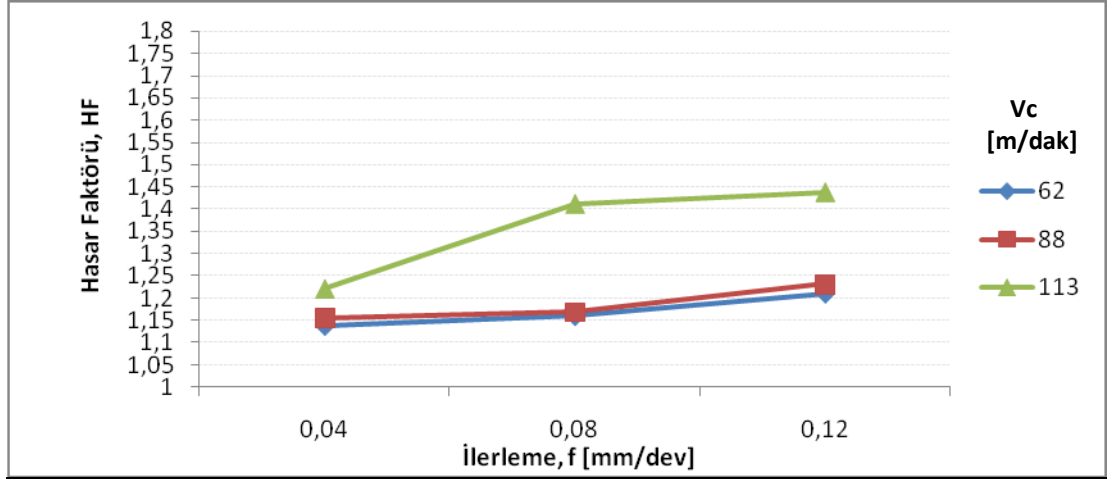


(b)

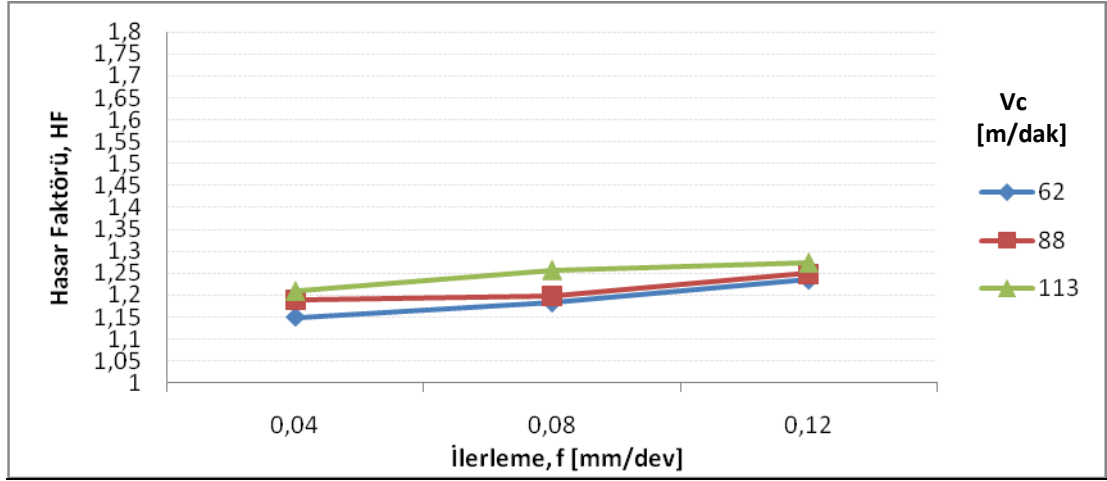


(c)

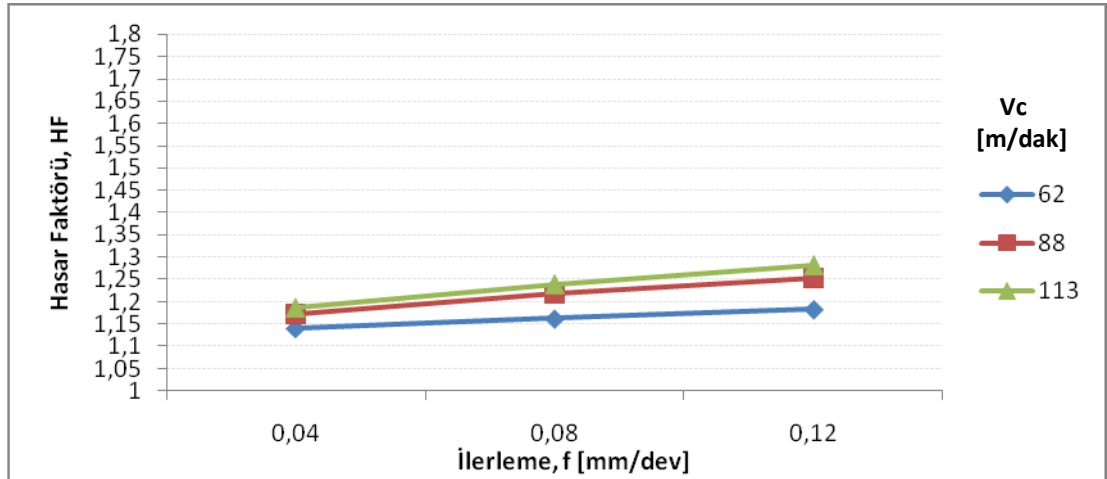
Şekil 4.5. Üç ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri.
a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6. Dört ağızlı kesici takımında İlerleme – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.

Şekil 4.1’de tüm İlerlemelerde, Hasar Faktörünün farklı kesme hızlarında değişim göstermediği ancak İlerlemenin artışıyla, belirgin biçimde arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.2’ de genel kesme prensibine paralel olarak İlerlemenin artışı Hasar Faktörünü artırmıştır. Özellikle 1 mm Kesme Derinliğindeki Hasar Faktörü 2 ve 3 mm kesme derinliklerine göre daha fazla gerçekleşmiştir.

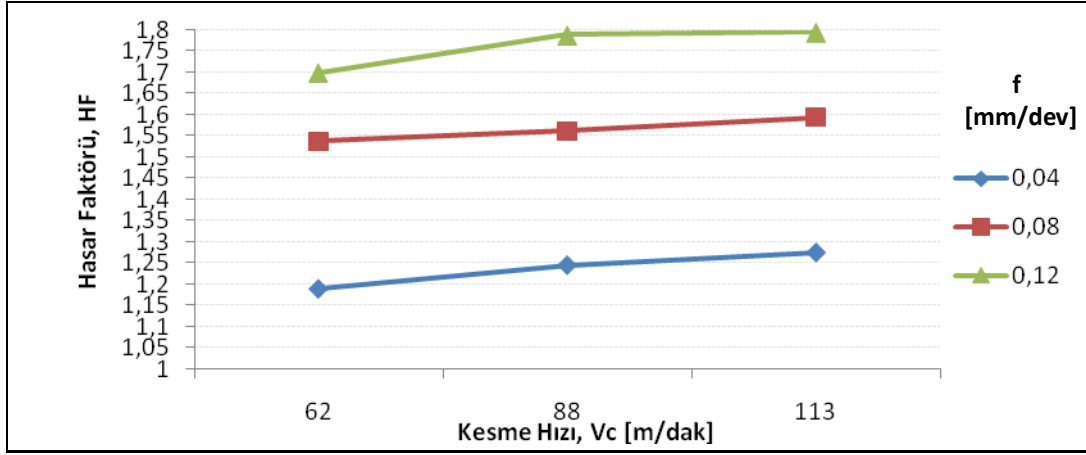
Şekil 4.3’ te 62 m/dak ve 88 m/dak kesme hızlarında İlerlemenin artışına bağlı olarak Hasar Faktörü az miktarda artma eğilimi gösterirken, 113 m/dak Kesme Hızında 1 mm Kesme Derinliği için Hasar Faktörü değerleri diğer kesme derinliklerine nazaran daha büyük bir biçimde artış göstermiştir.

Şekil 4.4’ te İlerlemenin artışıyla Hasar Faktörünün arttığı açıkça gözlemlenebilmektedir. 1 mm Kesme Derinliğinde İlerlemenin artışına bağlı olarak Hasar Faktörü belirgin bir artış eğiliminde olmasına rağmen 2 ve 3 mm Kesme Derinliğinde artış eğilimi daha düşük olarak gözlenmektedir.

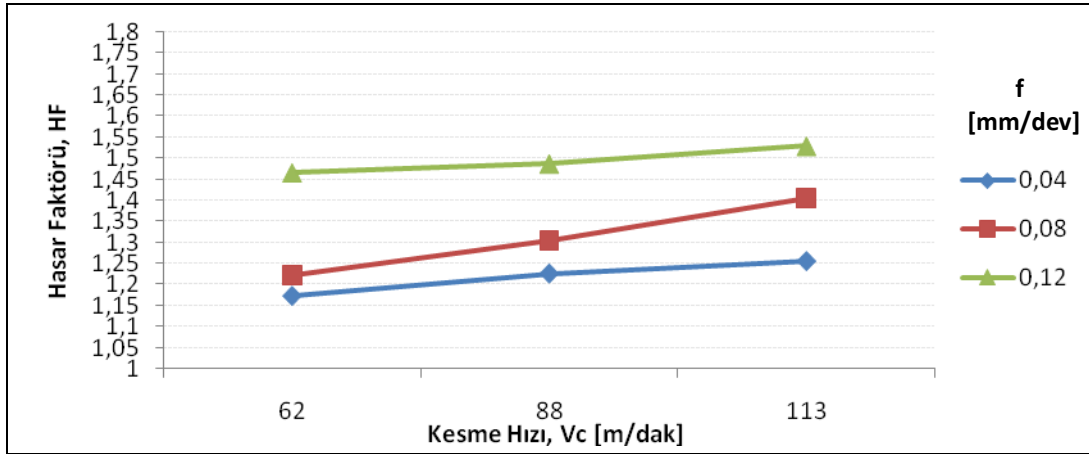
Şekil 4.5’ te İlerlemenin artışıyla Hasar Faktörü artmış ve en yüksek Hasar Faktörünün 113 m/dak Kesme Hızında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. 1 ve 3 mm kesme derinlikleri için bu durum benzerlik gösterirken 2 mm Kesme Derinliğinde 0,08 mm/dev İlerlemede tüm kesme hızlarının aynı Hasar Faktörü değerini verdiği görülmektedir.

Şekil 4.6’ da tüm kesme derinliklerinde İlerlemenin artışına bağlı olarak Hasar Faktörü değerleri bir miktar artış göstermekle beraber 1 mm Kesme Derinliğinde, 113 m/dak Kesme Hızının 0,08 ve 0,12 mm/dev İlerlemelerinde belirgin bir artış göstermektedir.

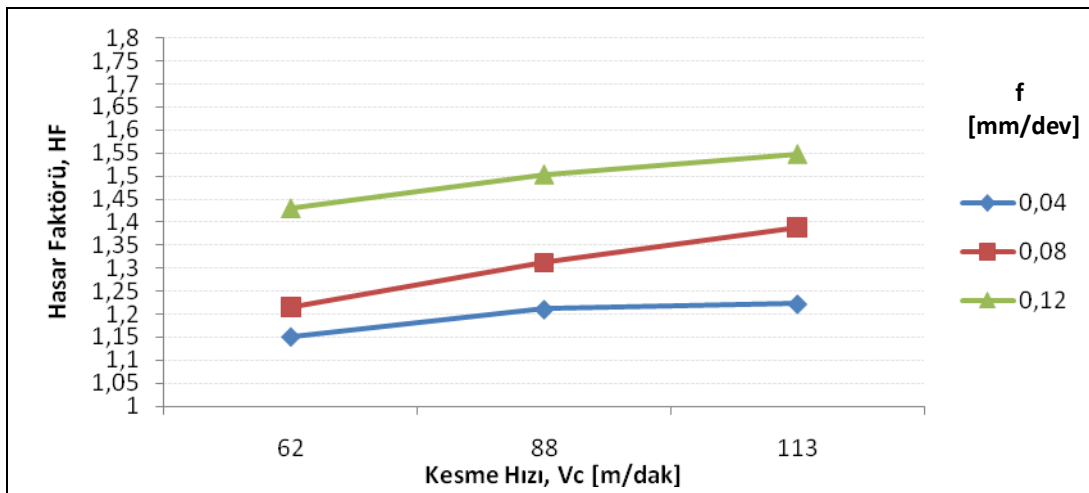
4.2. Kesme Hızı – Hasar Faktörü Karşılaştırma Grafikleri.



(a)

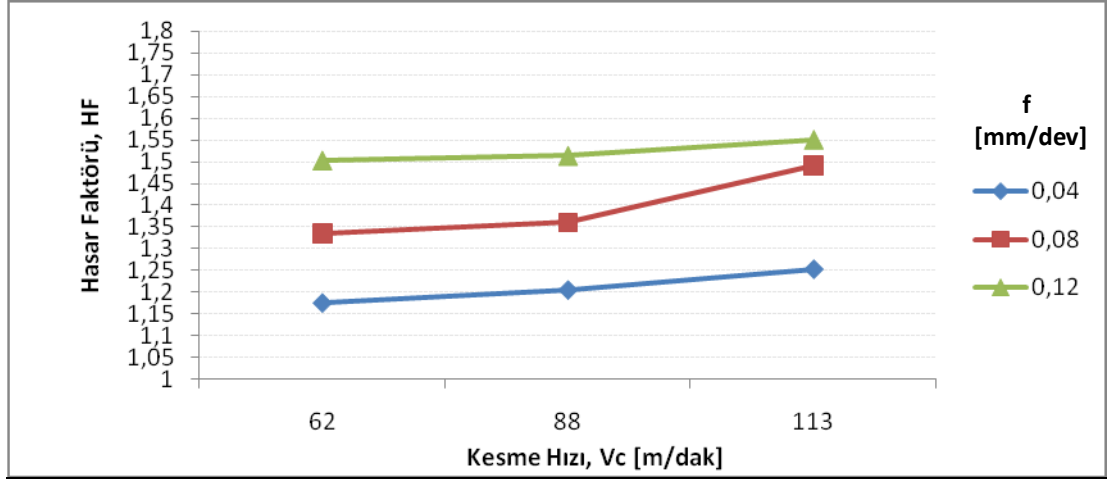


(b)

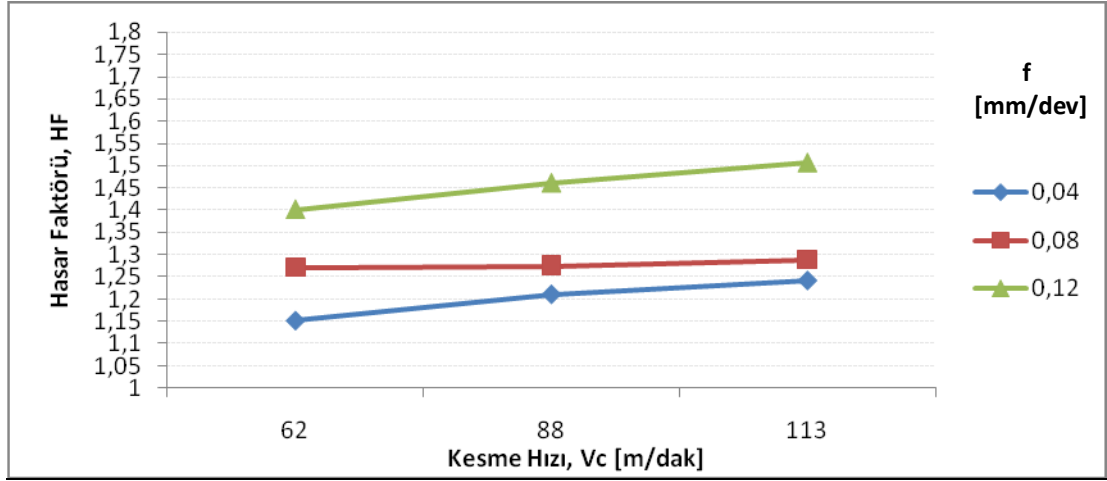


(c)

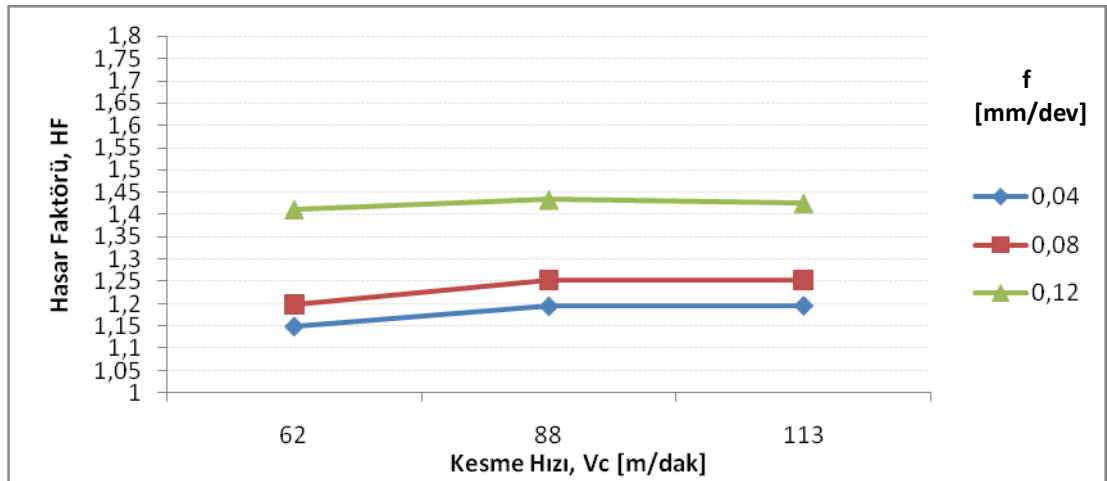
Şekil 4.7. İki ağızlı kesici takımında Kesme Hızı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.



(a)

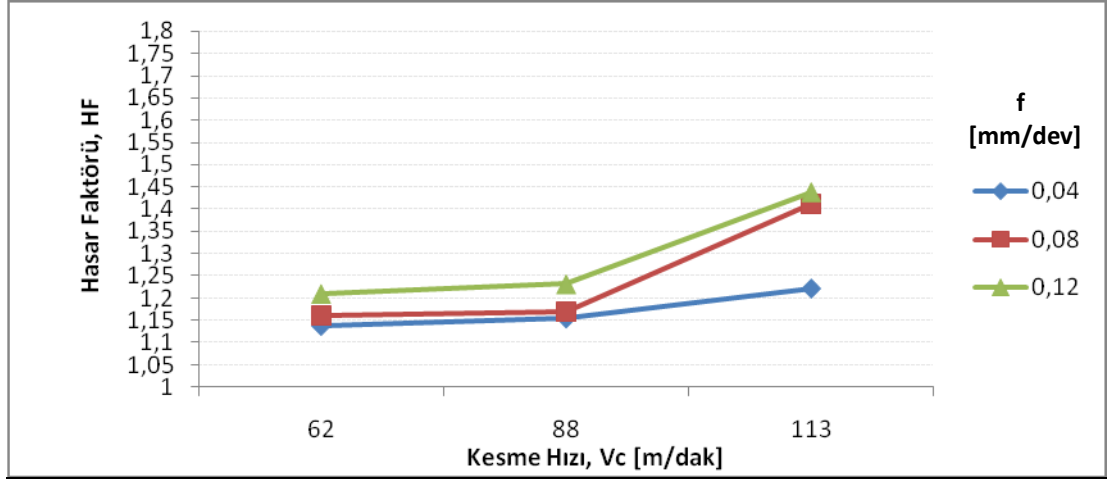


(b)

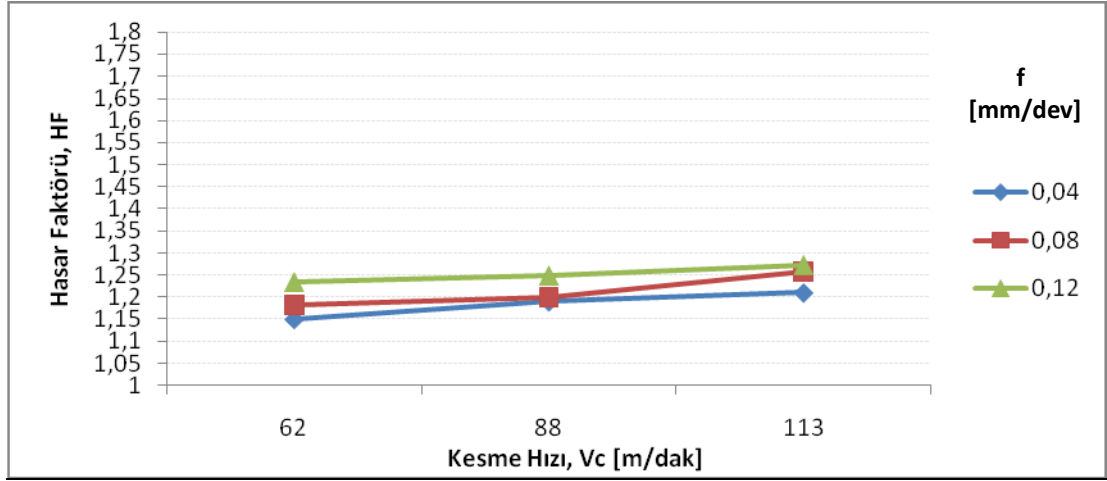


(c)

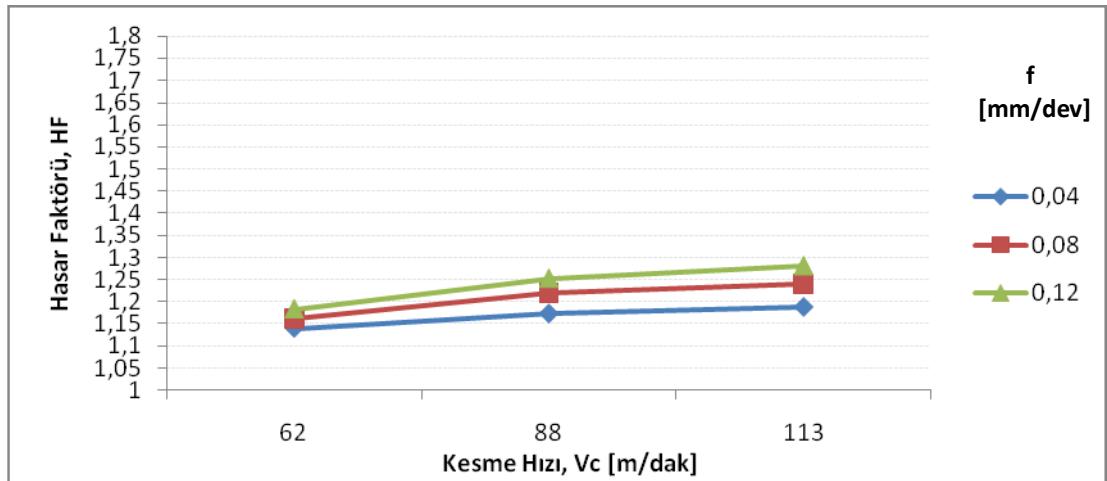
Şekil 4.8. Üç ağızlı kesici takımında Kesme Hızı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.



(a)



(b)



(c)

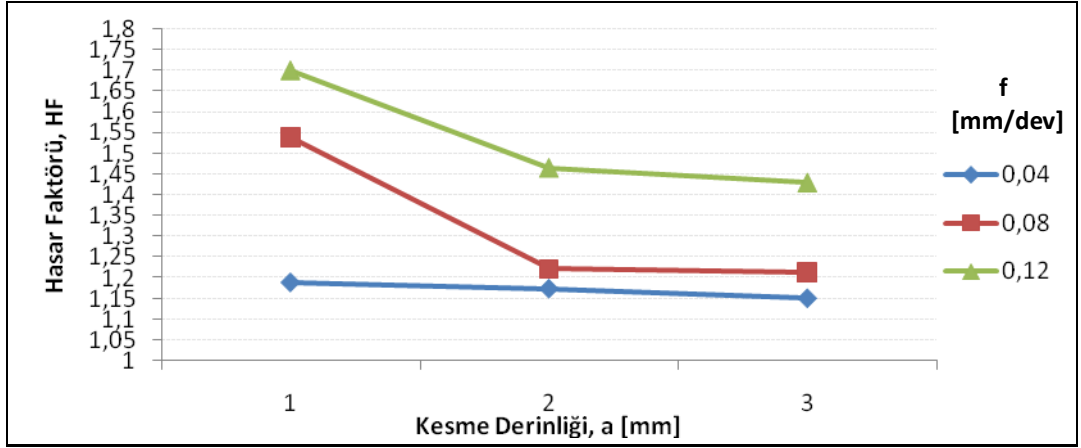
Şekil 4.9. Dört ağızlı kesici takımında Kesme Hızı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.

Şekil 4.7' de tüm kesme derinliklerinde en büyük Hasar Faktörünün 0,12 mm/dev' de gerçekleştiği gözlenirken, 1 mm Kesme Derinliğinde Hasar Faktörü 2 ve 3 mm kesme derinliklerine göre daha fazla gerçekleşmiştir.

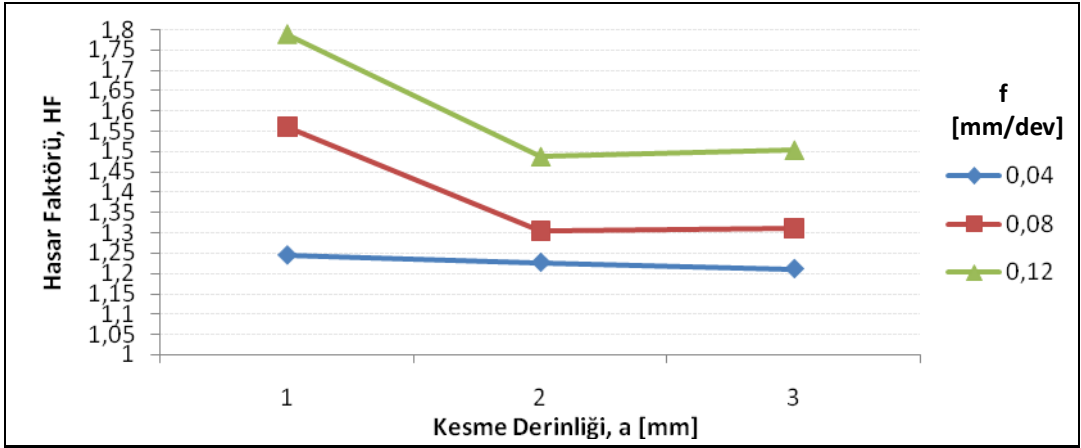
Şekil 4.8' de yine en yüksek hasar faktörleri yüksek kesme hızlarında (88 ve 113 m/dak) ve yüksek İlerlemelerde (0,08 ve 0,12 mm/dev) gerçekleşmiştir. Her Kesme Derinliğinde genel olarak Hasar Faktörünün düşük oranlarda değişim gösterdiği gözlenirken, 1 mm Kesme Derinliğinde İlerleme 0,08 mm/dev iken, Kesme Hızı arttığında Hasar Faktörü değişimi diğer İlerlemelere (0,04 ve 0,12 mm/dev) oranla belirgin biçimde artış göstermiştir.

Şekil 4.9' da 2 ve 3 mm kesme derinliklerinde tüm kesme hızlarının göstermiş olduğu Hasar Faktörü değerleri bir miktar artış eğilimi içindedirler. 1 mm Kesme Derinliğinde ise 113 m/dak Kesme Hızındaki Hasar Faktörü değerleri belirgin nispette artış göstermiştir.

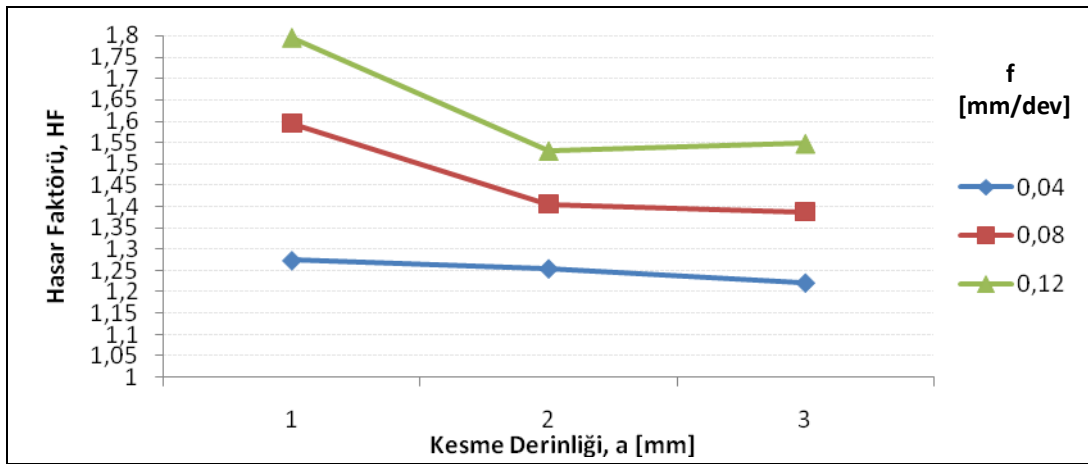
4.3. Kesme Derinliği – Hasar Faktörü Karşılaştırma Grafikleri.



(a)

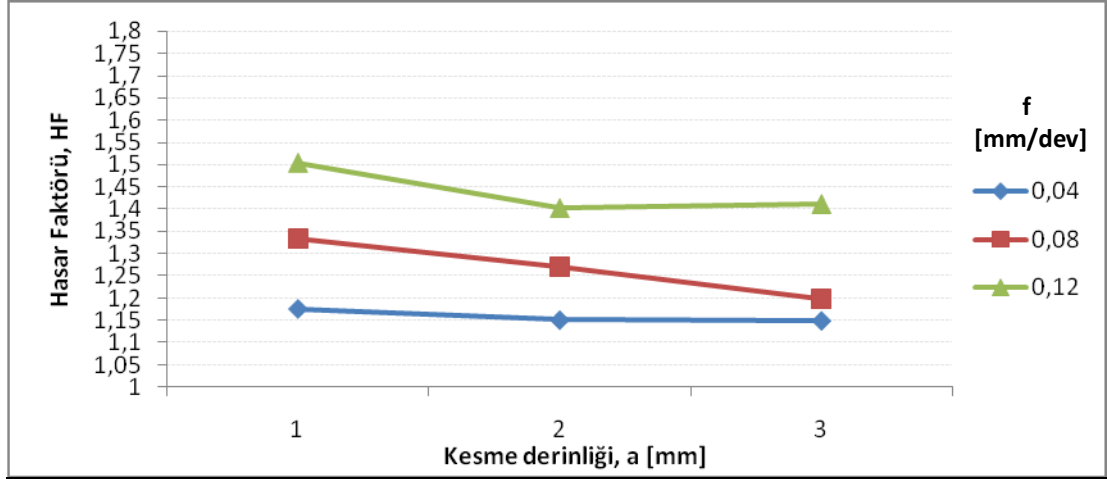


(b)

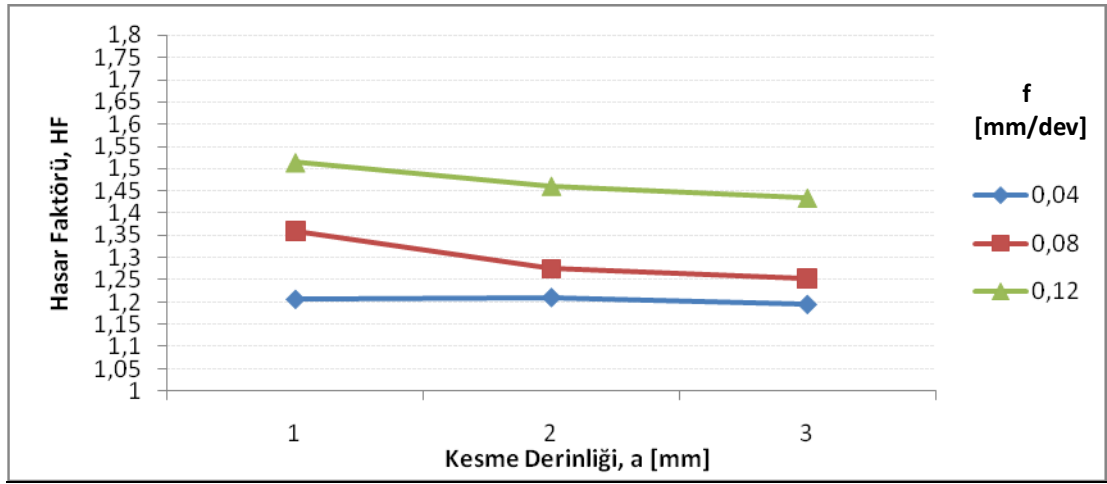


(c)

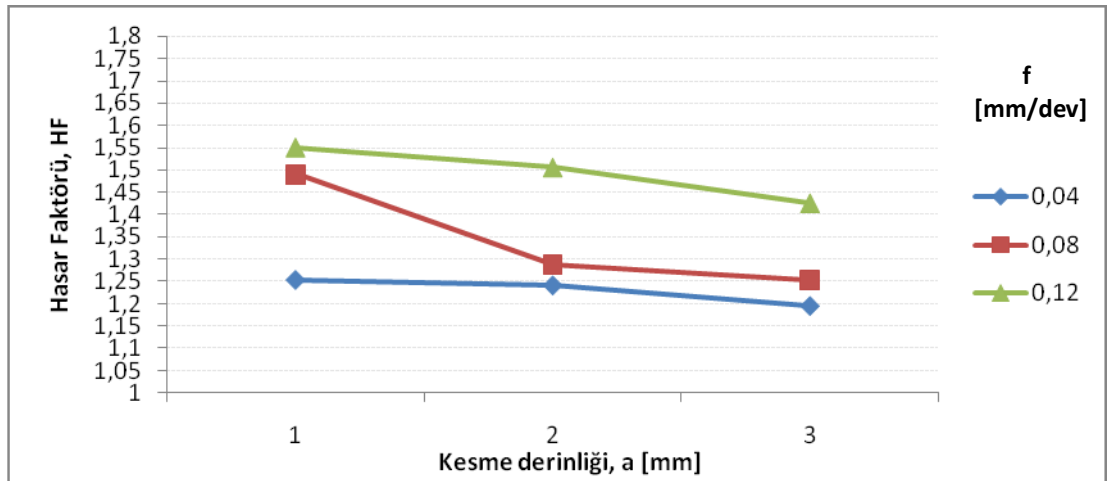
Şekil 4.10. İki ağızlı kesici takımında Kesme Derinliği – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)

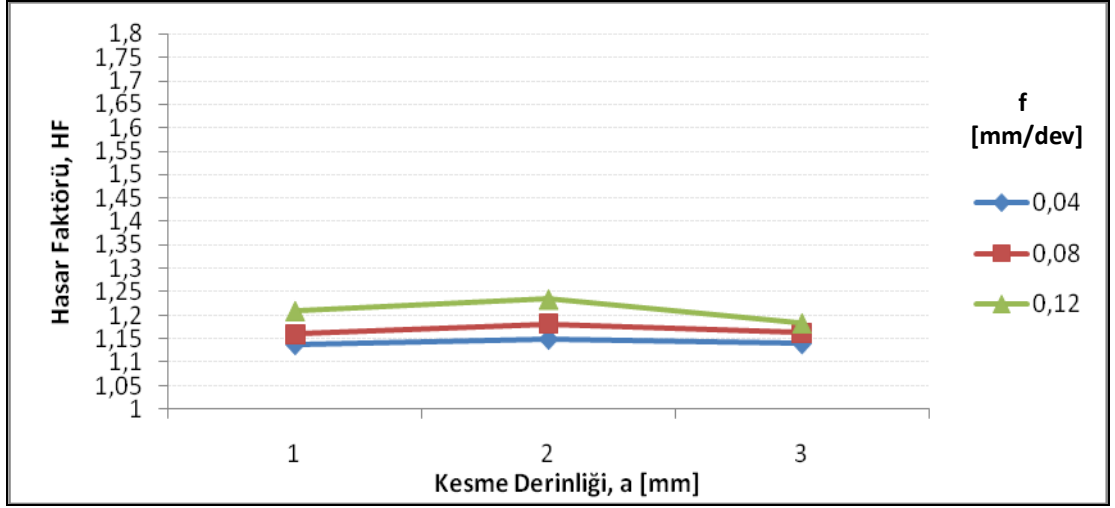


(b)

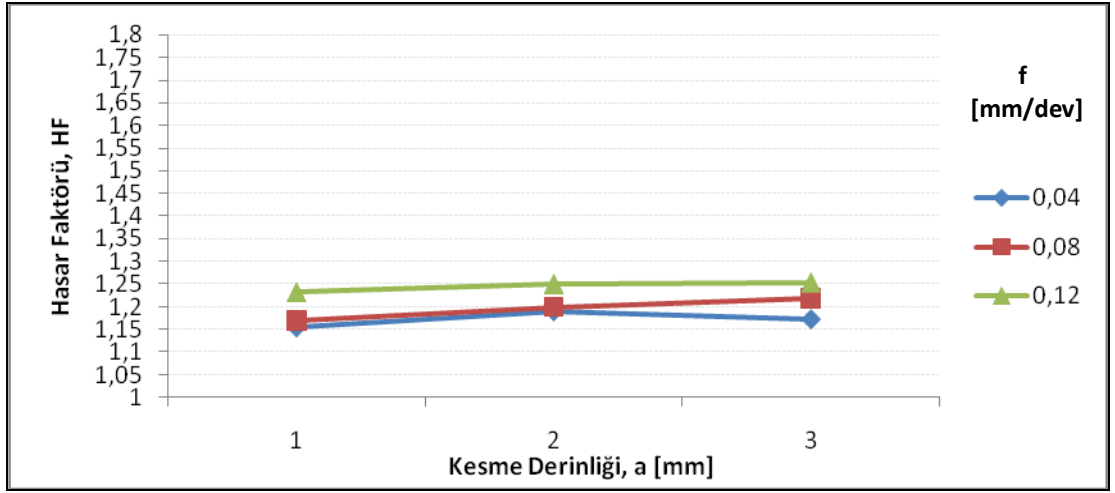


(c)

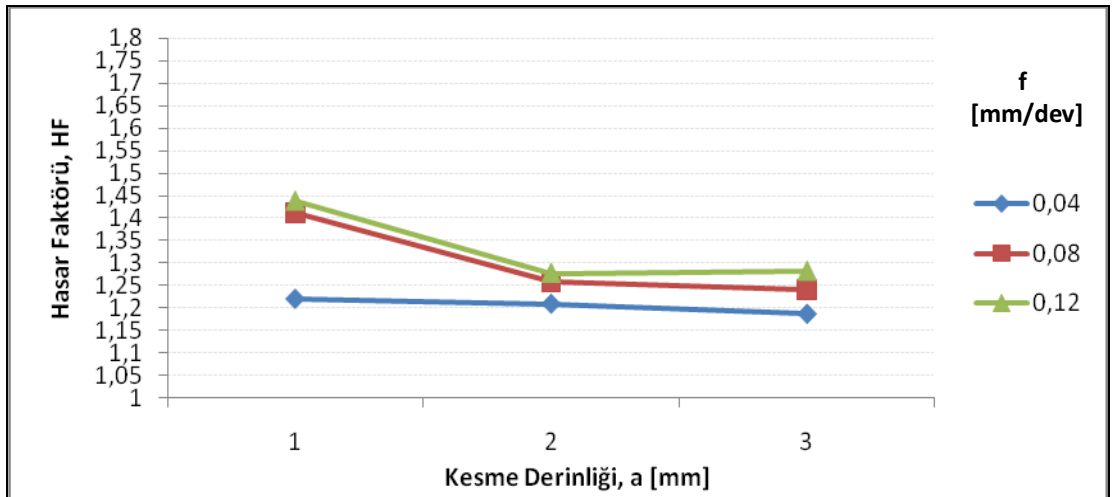
Şekil 4.11. Üç ağızlı kesici takımında Kesme Derinliği – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)



(b)



(c)

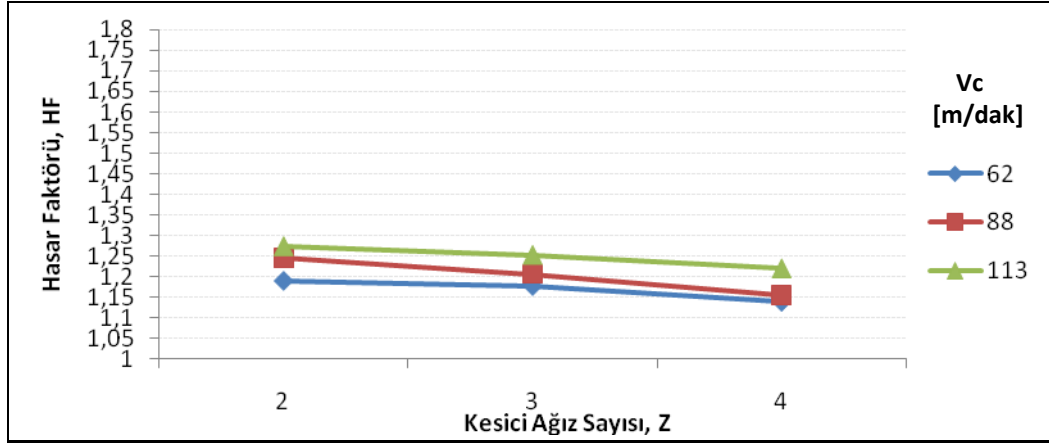
Şekil 4.12. Dört ağızlı kesici takımında Kesme Derinliği – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.

Şekil 4.10' da farklı kesme hızlarındaki Kesme Derinliği ile Hasar Faktörü arasındaki ilişki azalma eğilimi göstermektedir. 0,04 ve 0,08 mm/dev İlerlemeler için Kesme Derinliği 1mm' den 2 mm' ye geçişte belirgin oranda, 0,12 mm/dev İlerlemede ise dikkate alınmayacak oranda düşüş gözlenmiştir.

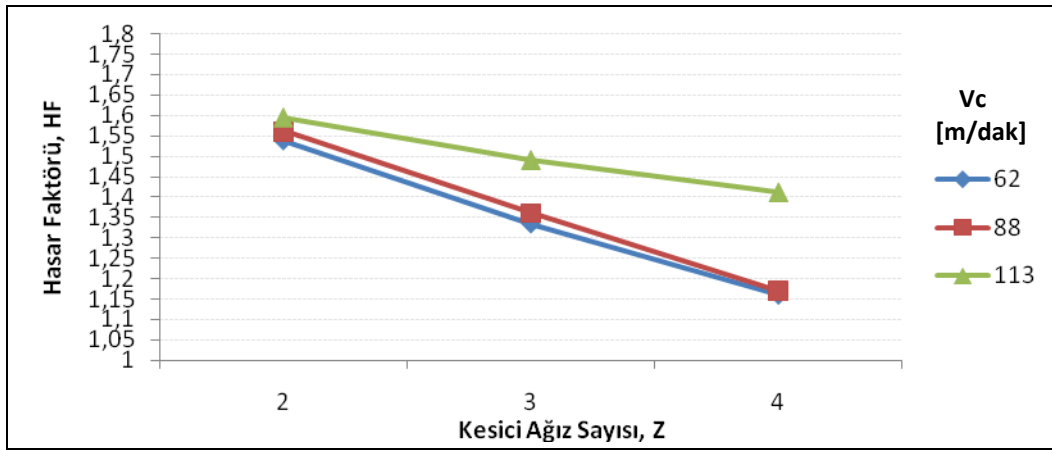
Şekil 4.11' de genel olarak İlerlemenin artışıyla Hasar Faktörünün arttığı gözlenmektedir. 0,08 mm/dev İlerlemede Kesme Derinliği 1 mm' den 2 mm' ye geçişte Hasar Faktöründe belirgin bir azalma gözlenirken 0,04 ve 0,12 mm/dev İlerlemelerde bir miktar azalış gerçekleşmiştir.

Şekil 4.12' de dört ağızlı kesici takımında 62 ve 88 m/dak kesme hızlarında Kesme Derinliğinin artışıyla Hasar Faktöründe önemli bir değişim meydana gelmemiştir. Bununla birlikte 113 m/dak Kesme Hızının 0,04 mm/dev İlerlemesinde, diğer İlerleme değerlerine (0,08 ve 0,12 mm/dev) mukayeseye Hasar Faktörü değerlerinde değişim gözlenmemiştir.

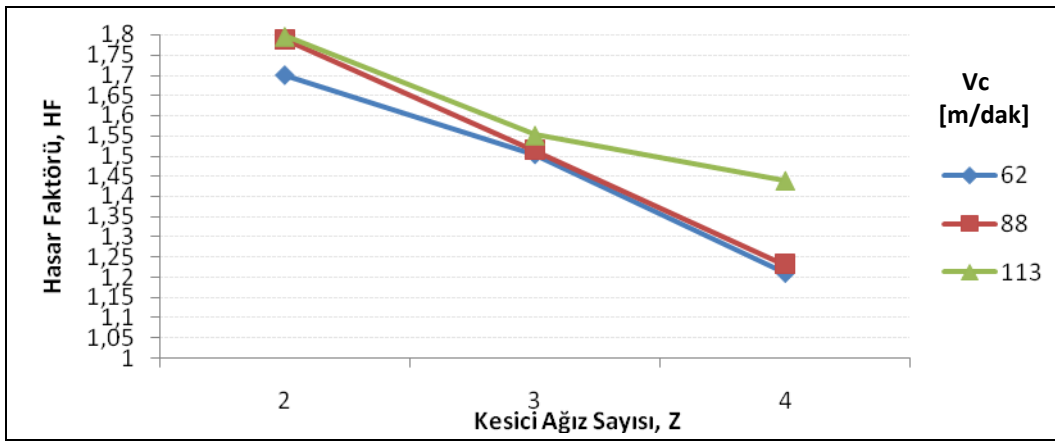
4.4. Ağız Sayısı – Hasar Faktörü Karşılaştırma Grafikleri.



(a)

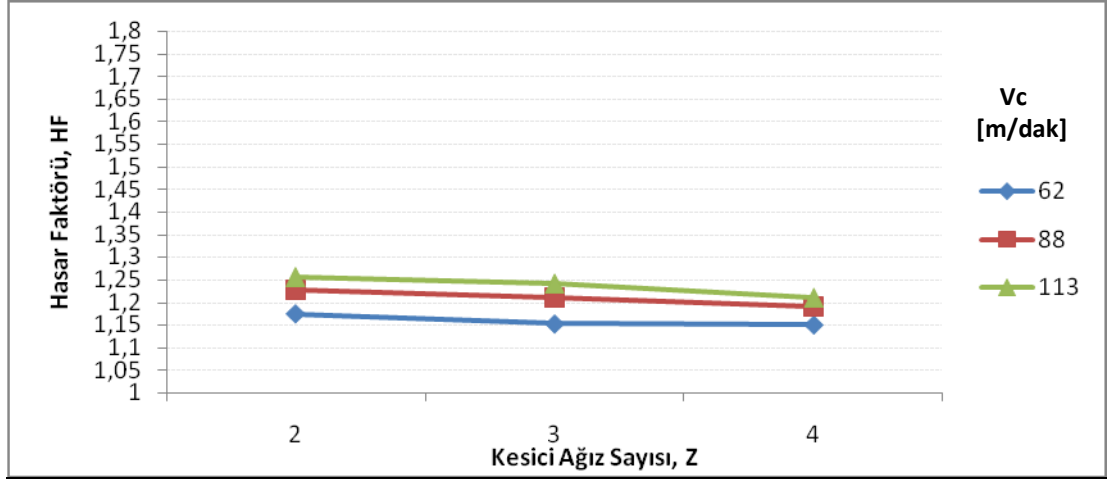


(b)

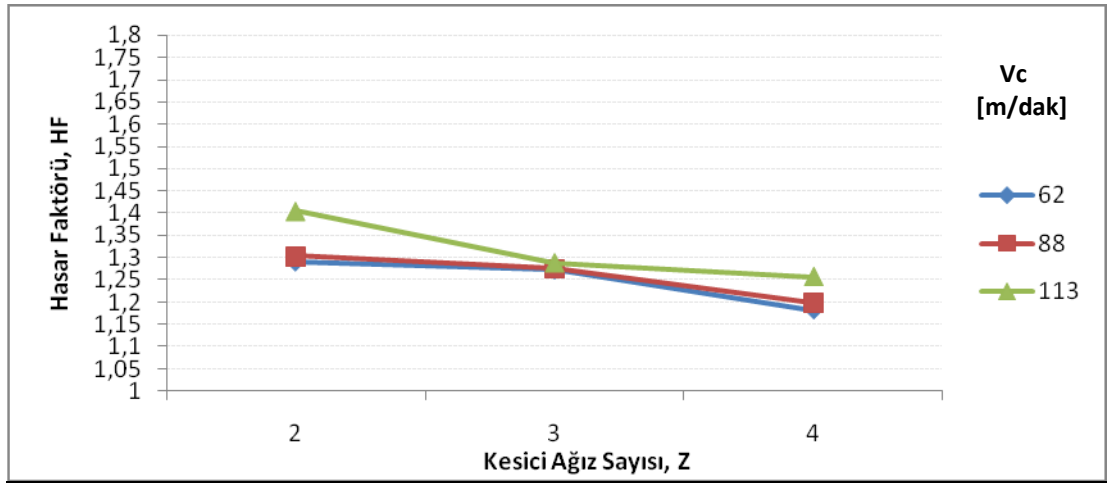


(c)

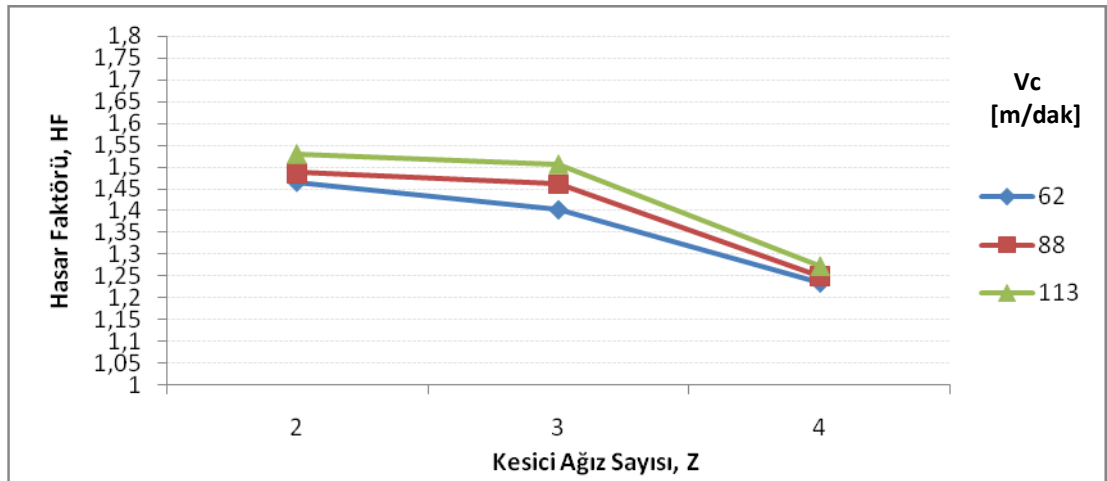
Şekil 4.13. 1 mm Kesme Derinliğinde Kesici Ağız Sayısı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için, b) $f = 0,08$ mm/dev için, c) $f = 0,12$ mm/dev için.



(a)

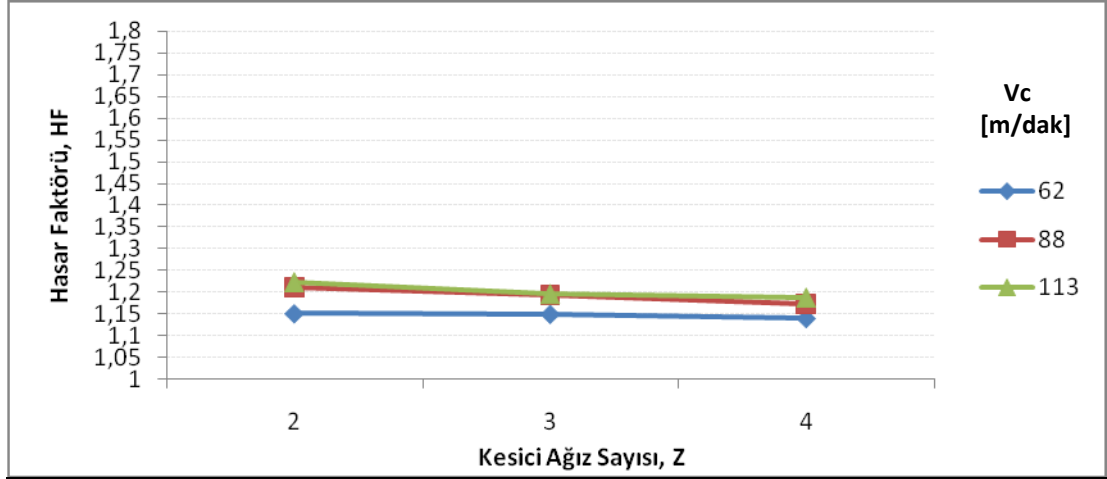


(b)

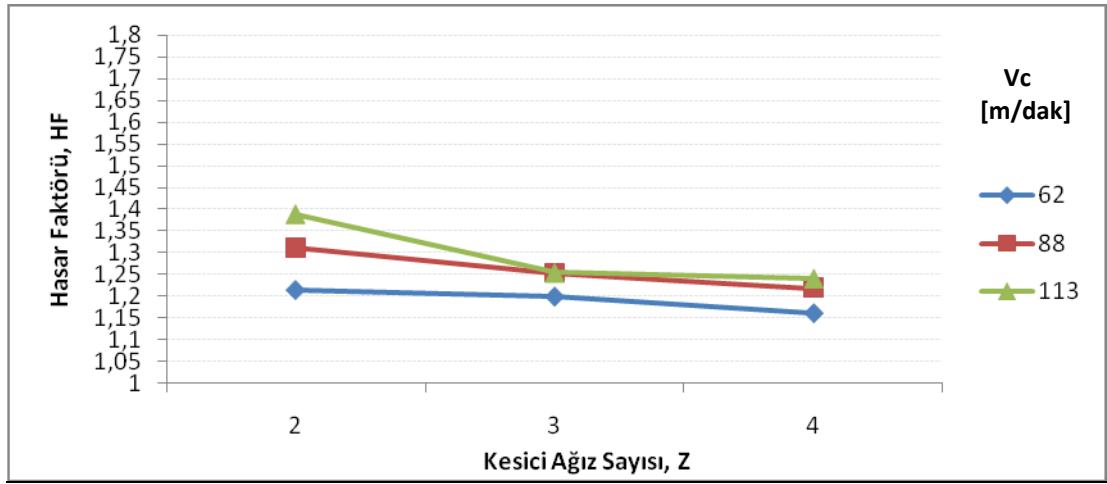


(c)

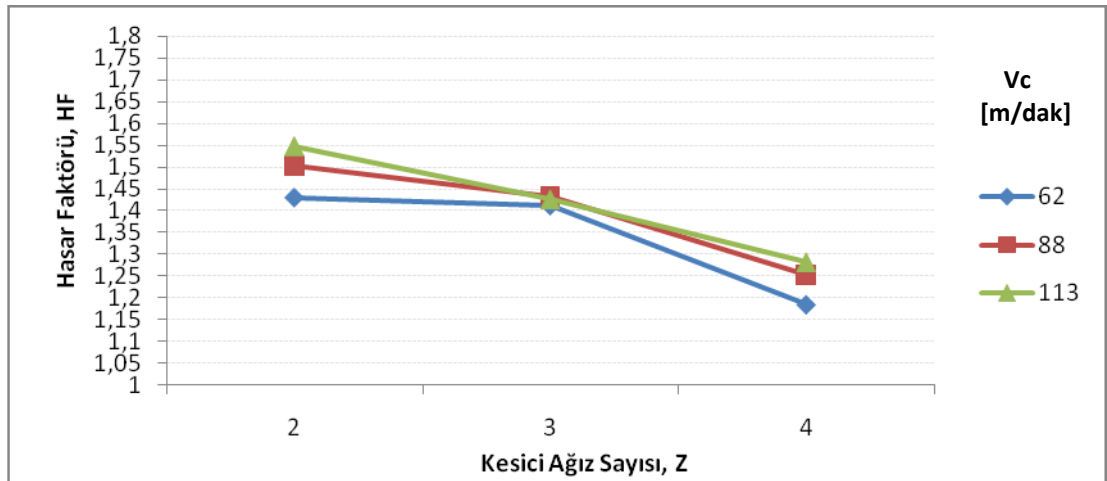
Şekil 4.14. 2 mm Kesme Derinliğinde Kesici Ağız Sayısı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için, b) $f = 0,08$ mm/dev için, c) $f = 0,12$ mm/dev için.



(a)



(b)



(c)

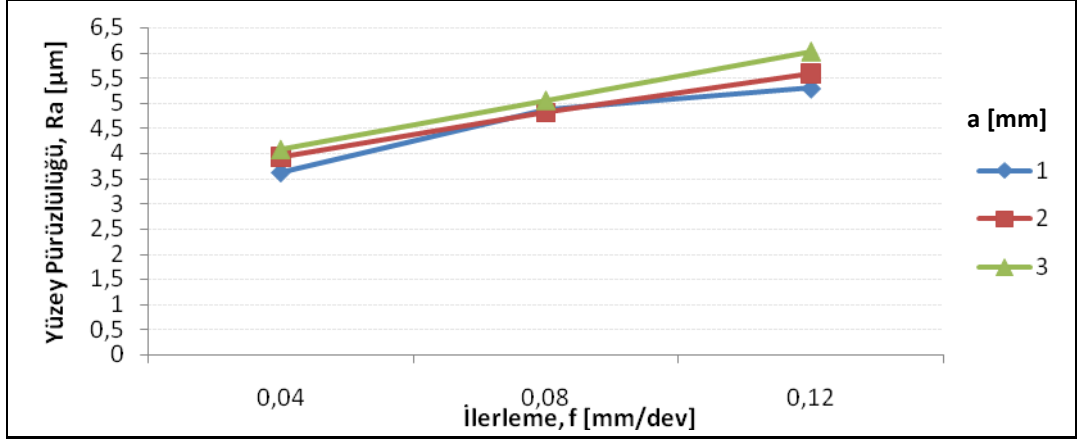
Şekil 4.15. 3 mm Kesme Derinliğinde Kesici Ağız Sayısı – Hasar Faktörü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için, b) $f = 0,08$ mm/dev için, c) $f = 0,12$ mm/dev için.

Şekil 4.13' de 0,04 mm/dev İlerlemede Ağız Sayısının artışına bağlı olarak Hasar Faktörü bir miktar azalmaktadır. 0,08 ve 0,12 mm/dev İlerlemelerde ise Kesici Ağız Sayısının artışa bağlı olarak Hasar Faktörü belirgin biçimde azalma göstermiştir. Hasar Faktöründeki bu değişimler, 1 mm Kesme Derinliği altında gerçekleşen değerlerdir.

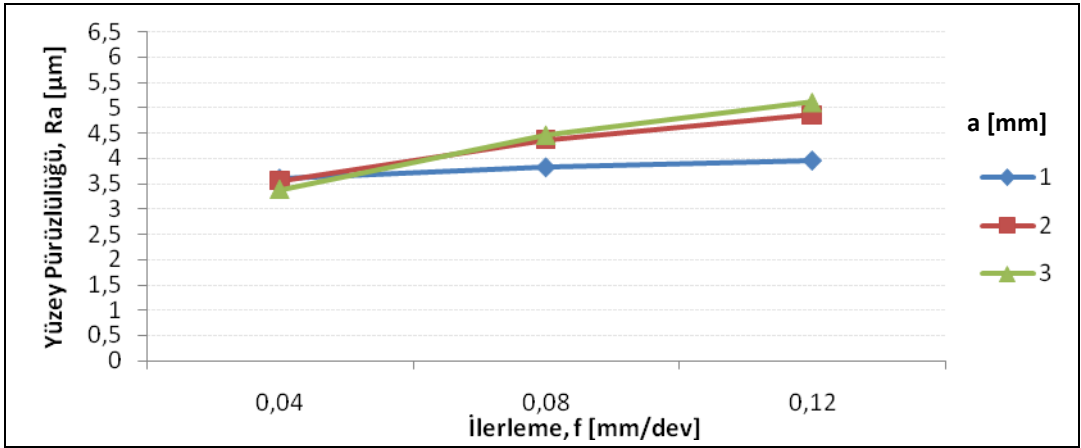
Şekil 4.14' te 2 mm Kesme Derinliğinde tüm İlerlemelerde yüksek kesme hızlarının (88 ve 113 m/dak) daha büyük hasar faktörlerine neden olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte Kesici Ağız Sayısının artışı Hasar Faktörünü azaltmıştır. 0,12 mm/dev İlerlemede ise Kesici Ağız Sayısı artışının, Hasar Faktörünün azalmasında belirgin biçimde etkisinin olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.15' te İlerlemenin artışıyla Hasar Faktöründe artış gözlenirken, Kesici Ağız Sayısının artışı Hasar Faktörünü genel olarak azalttığı gözlemlenmiştir. Buna rağmen 0,04 mm/dev İlerlemede Kesici Ağız Sayısının artışıyla dikkate alınabilecek değerlerde Hasar Faktörü azalışı gözlemlenmemiştir.

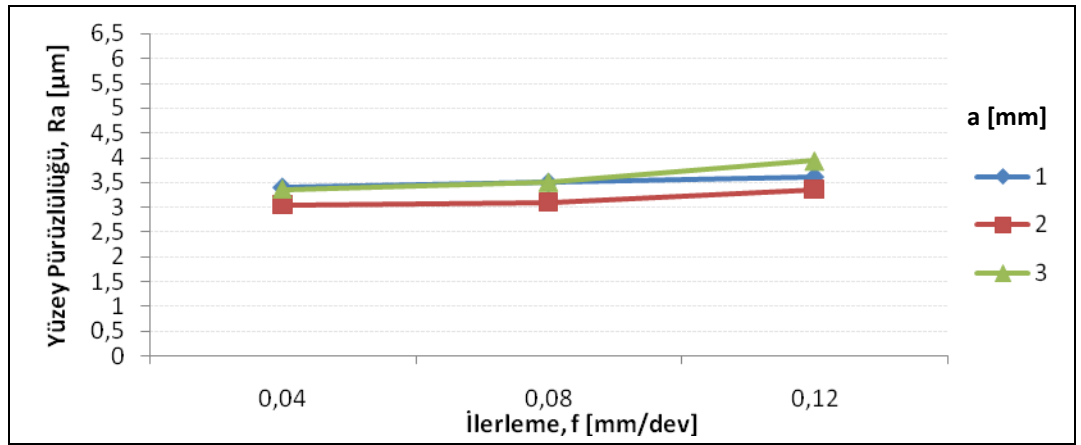
4.5. İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırma Grafikleri.



(a)

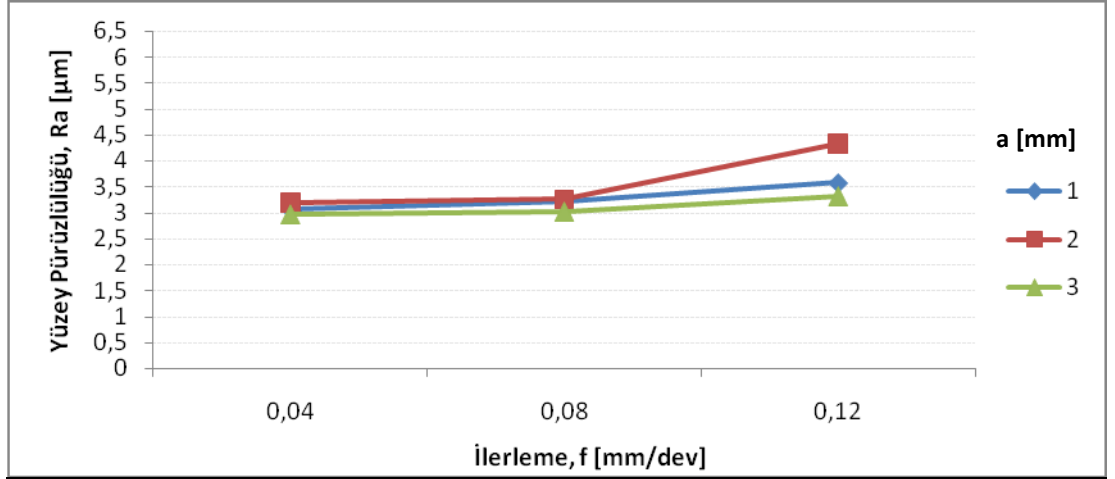


(b)

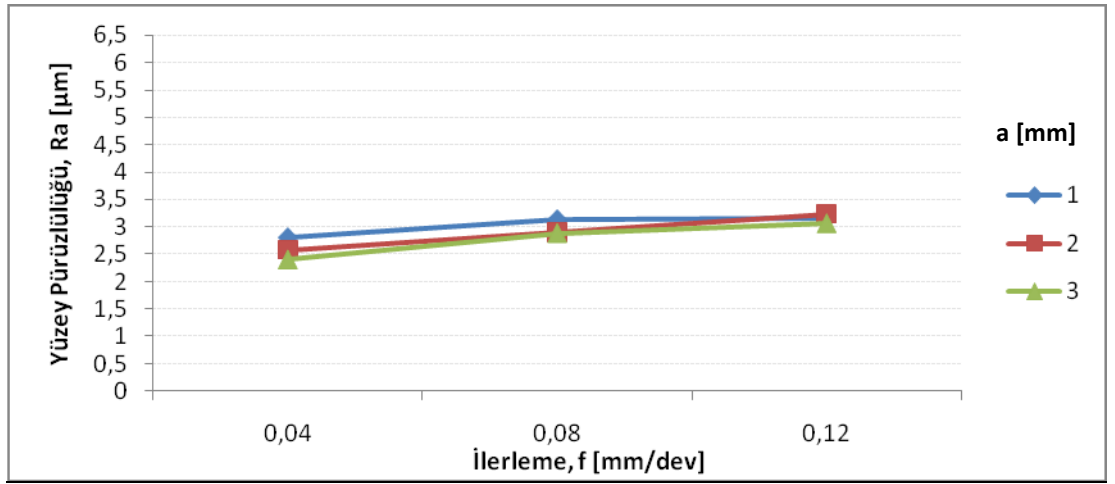


(c)

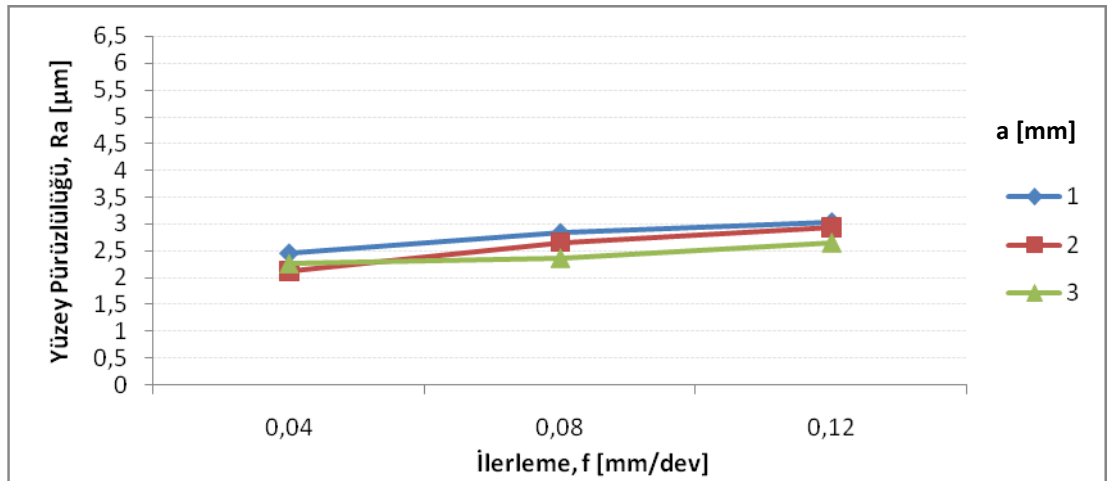
Şekil 4.16. İki ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri.
a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)

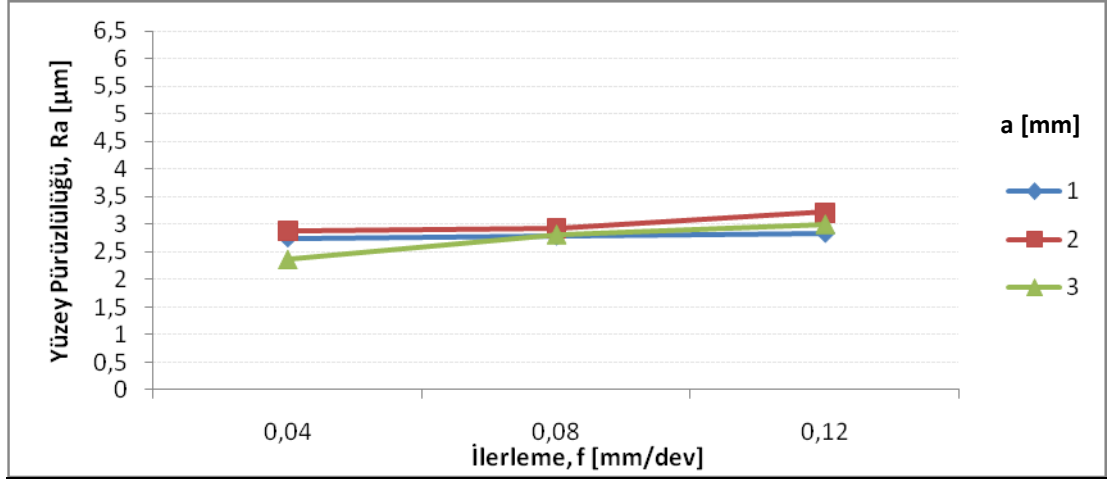


(b)

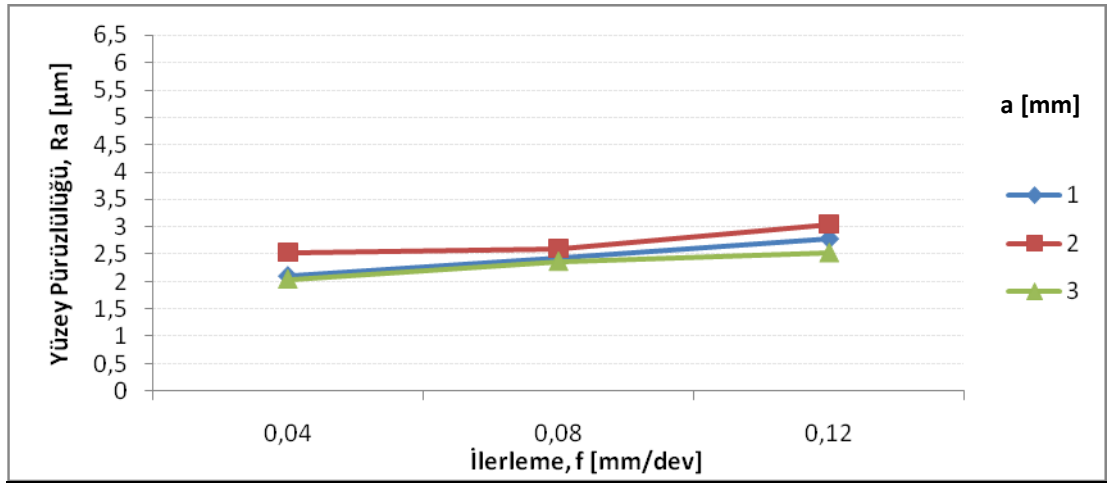


(c)

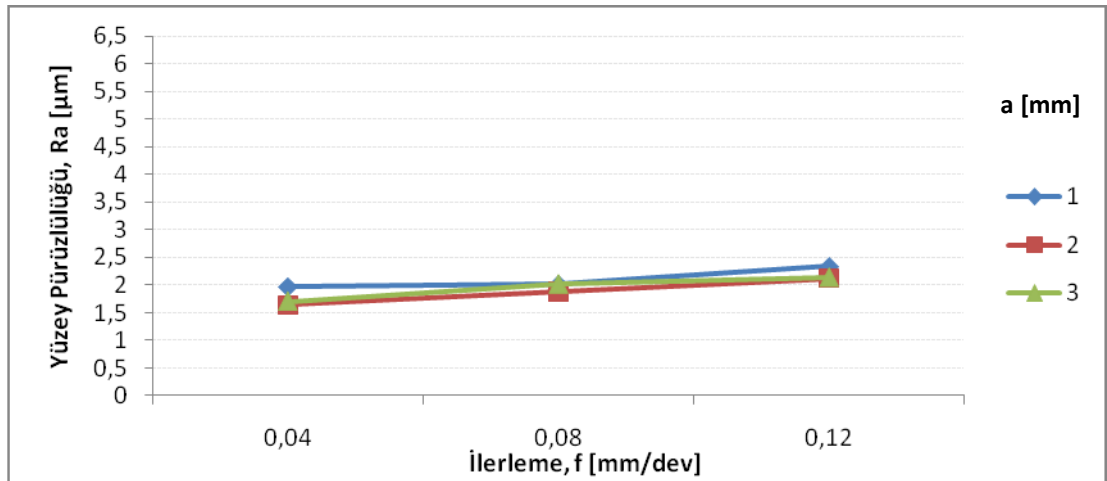
Şekil 4.17. Üç ağızlı takımda İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri.
a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)

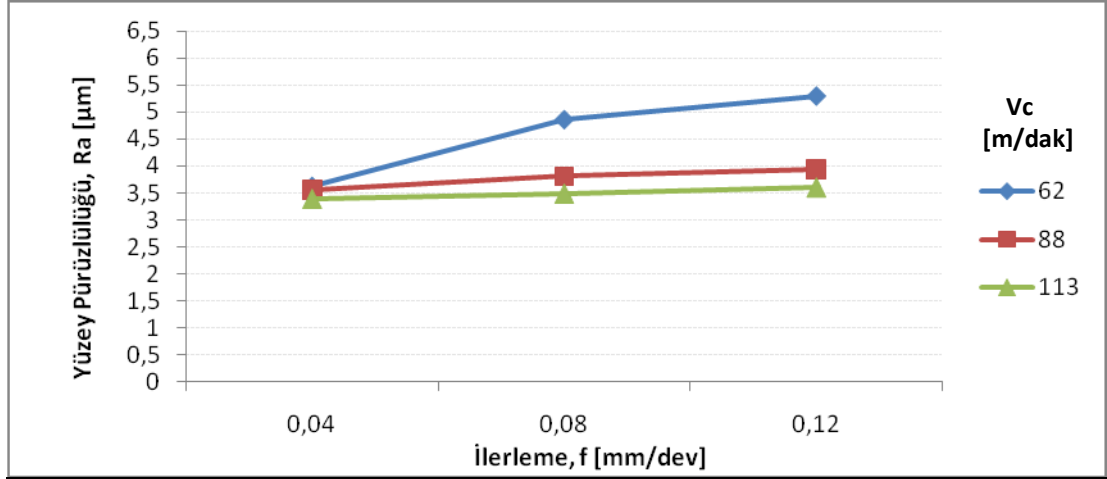


(b)

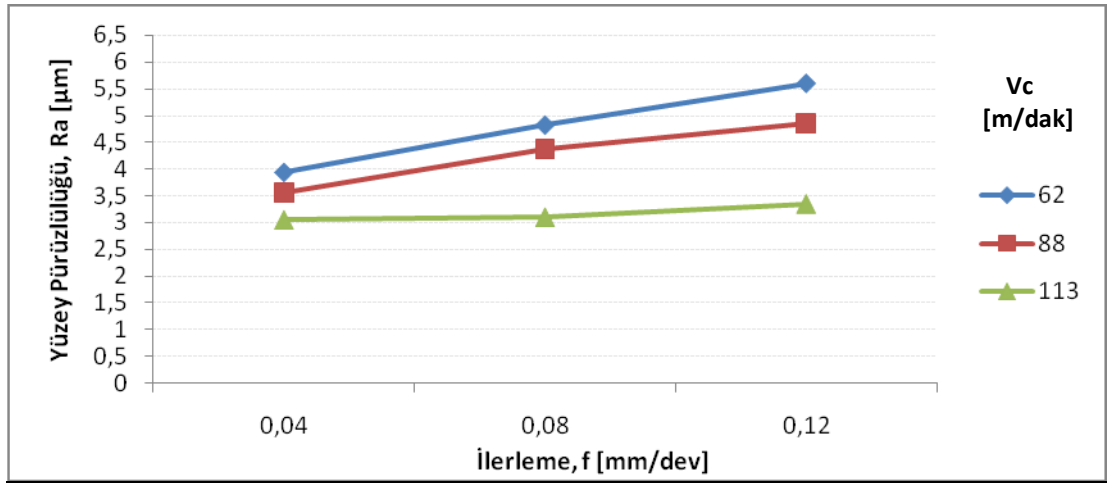


(c)

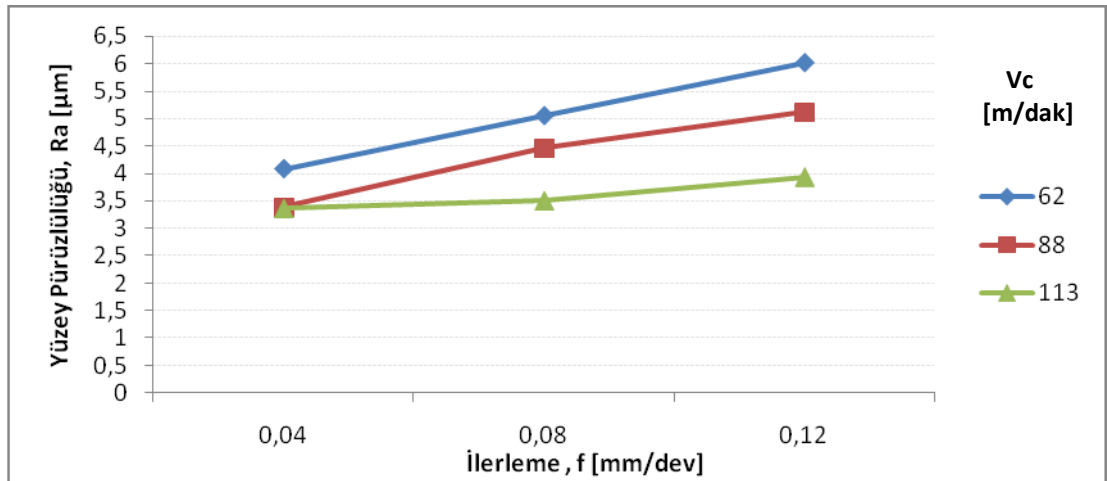
Şekil 4.18. Dört ağızlı takımda İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)

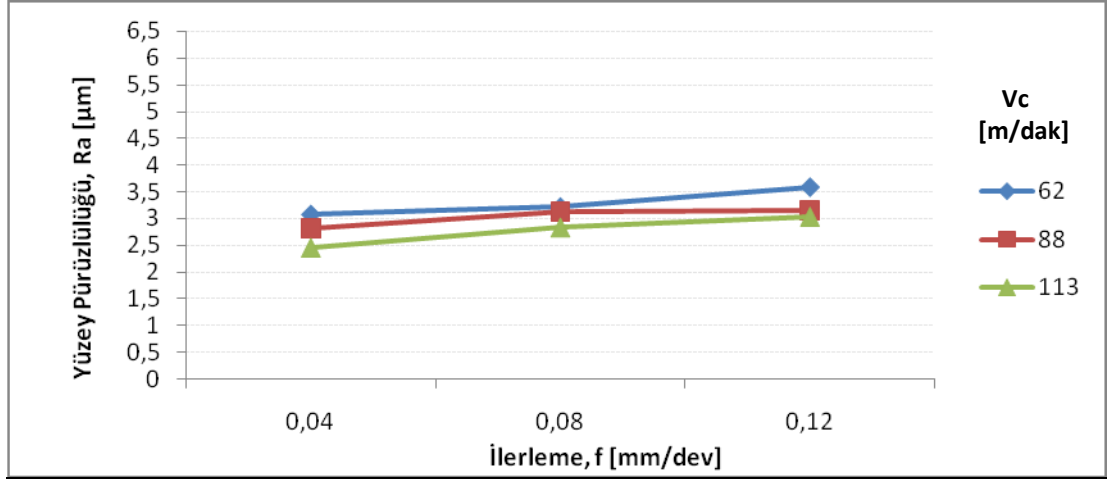


(b)

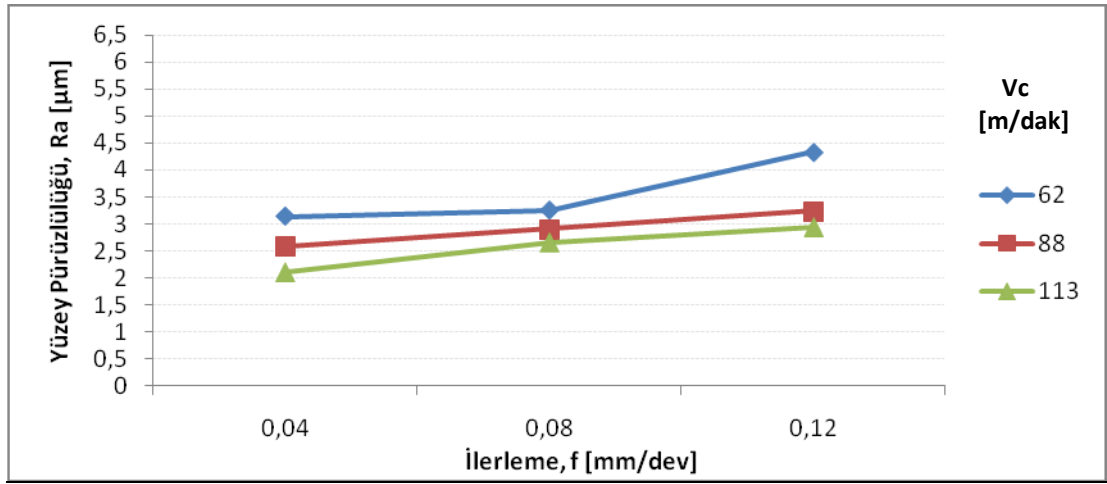


(c)

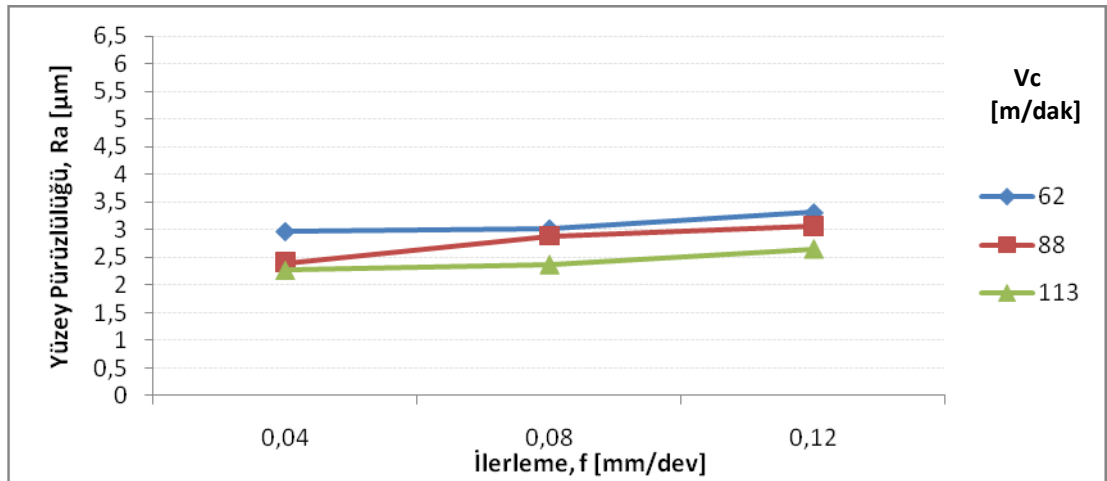
Şekil 4.19. İki ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri.
a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.



(a)

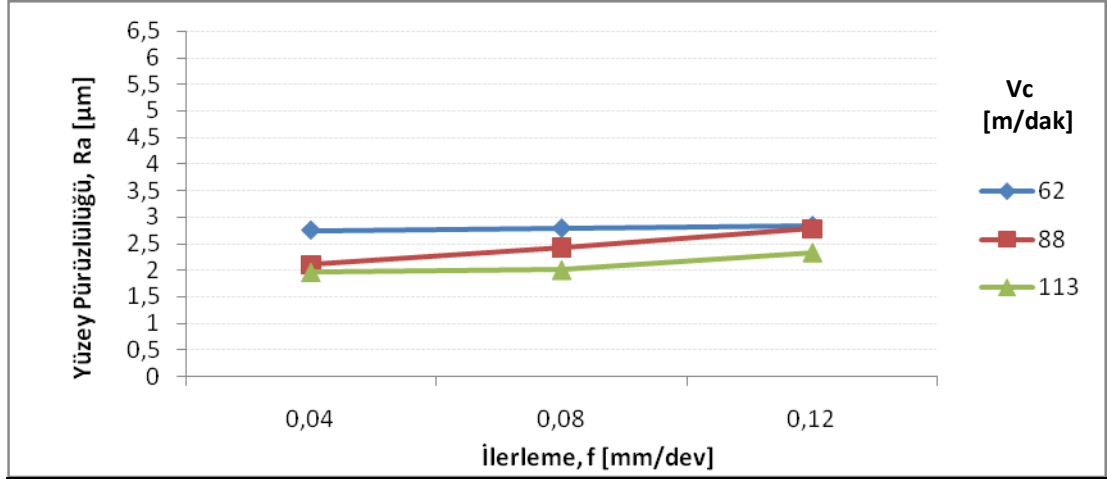


(b)

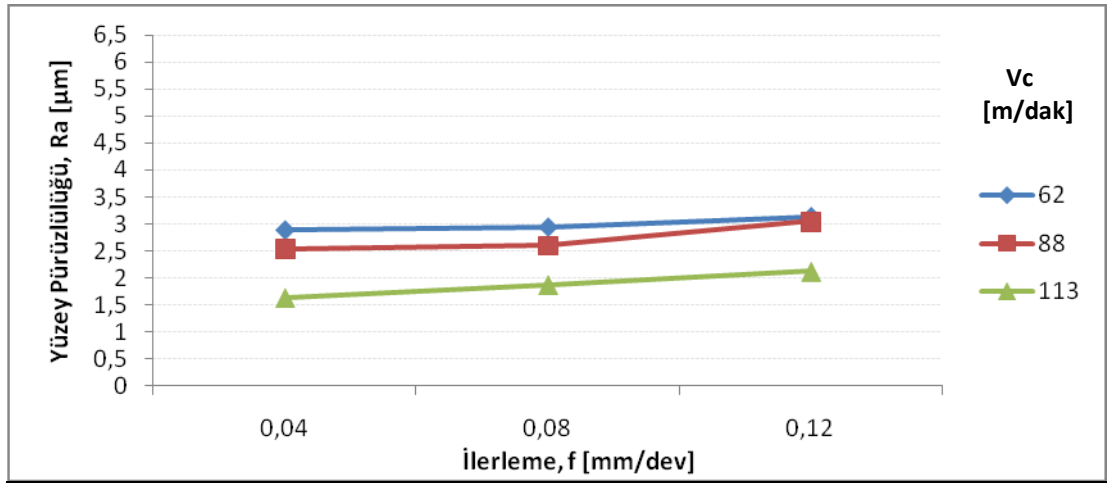


(c)

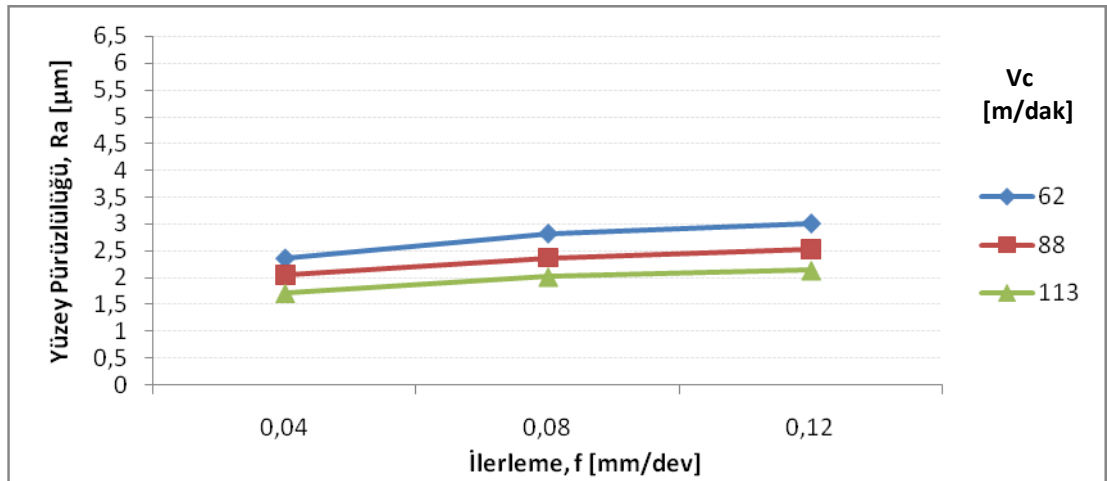
Şekil 4.20. Üç ağızlı takımında İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri.
a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.21. Dört ağızlı takımda İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için b) a = 2 mm için c) a = 3 mm için.

Şekil 4.16’da iki ağızlı takımın İlerlemenin artışı Yüzey Pürüzlülüğünü arttırmıştır. Bunun yanında Kesme Derinliğinin artışı Yüzey Pürüzlülüğünü arttırmasına rağmen, 113 m/dak Kesme Hızında istisnai bir durum oluşmuş ve en düşük pürüzlülük değerini 2 mm Kesme Derinliği vermiştir.

Şekil 4.17’ de üç ağızlı takımın genel olarak İlerlemenin artışı Yüzey Pürüzlülüğünü arttırmıştır. 62 m/dak Kesme Hızında 0,08 mm/dev İlerleme ile 0,12 mm/dev İlerlemeye geçişte Yüzey Pürüzlülüğü belirgin nispette artış göstermiştir.

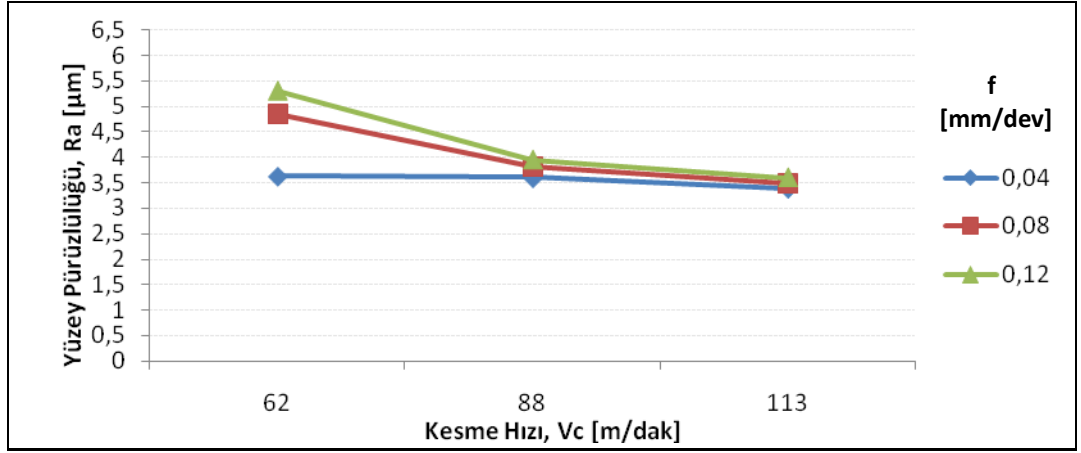
Şekil 4.18’ de dört ağızlı takımın, tüm kesme hızlarında İlerlemenin artışına bağlı olarak Yüzey Pürüzlülüğü değerlerinde bir miktar artış gözlenmektedir. Kesme Derinliğinin artışı ise Yüzey Pürüzlülüğünü bir miktar azaltmıştır.

Şekil 4.19’ da iki ağızlı takımın tüm kesme derinliklerinde, genel anlamda İlerlemenin artışı Yüzey Pürüzlülüğü artırırken, Kesme Hızının artışı Yüzey Pürüzlülüğünü azaltmıştır. 62 ve 88 m/dak kesme hızlarının 113 m/dak Kesme Hızına göre belirgin biçimde Yüzey Pürüzlülüğünün artışına etkisi olduğu gözlenebilmektedir. 113 m/dak Kesme Hızında ise Yüzey Pürüzlülüğü değerinin doğrusal bir seyir izlediği gözlenebilmektedir.

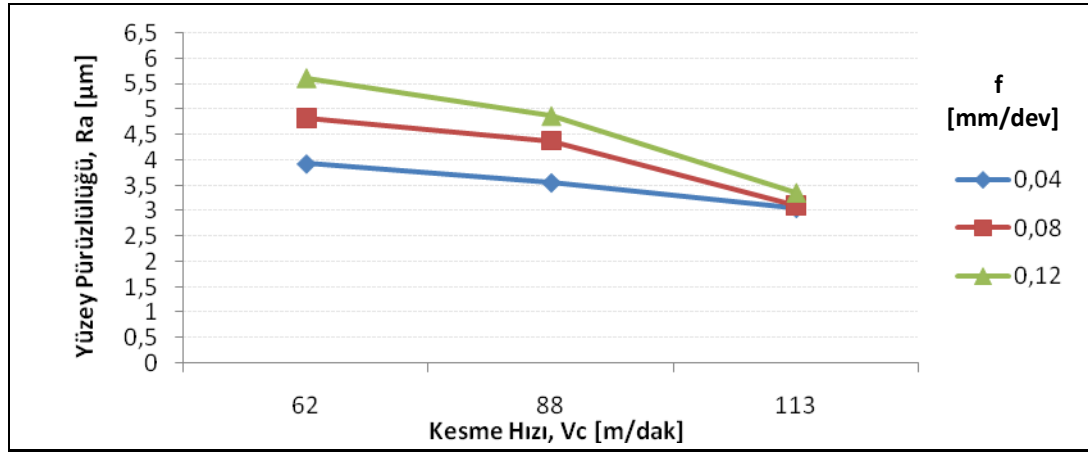
Şekil 4.20’ de üç ağızlı takımın tüm kesme derinliklerinde İlerlemenin artışı Yüzey Pürüzlülüğünü arttırmıştır. 2 mm Kesme Derinliğinde ise diğer kesme derinliklerinin aksine istisna olarak 62 m/dak Kesme Hızının 0,12 mm/dev İlerlemedeki Yüzey Pürüzlülüğü değeri belirgin bir artış göstermektedir.

Şekil 4.21’ de dört ağızlı takımın İlerlemenin artışı Yüzey Pürüzlülüğünü arttırmaktadır. Bu artış genel olarak küçük değerlerde gerçekleşmiştir.

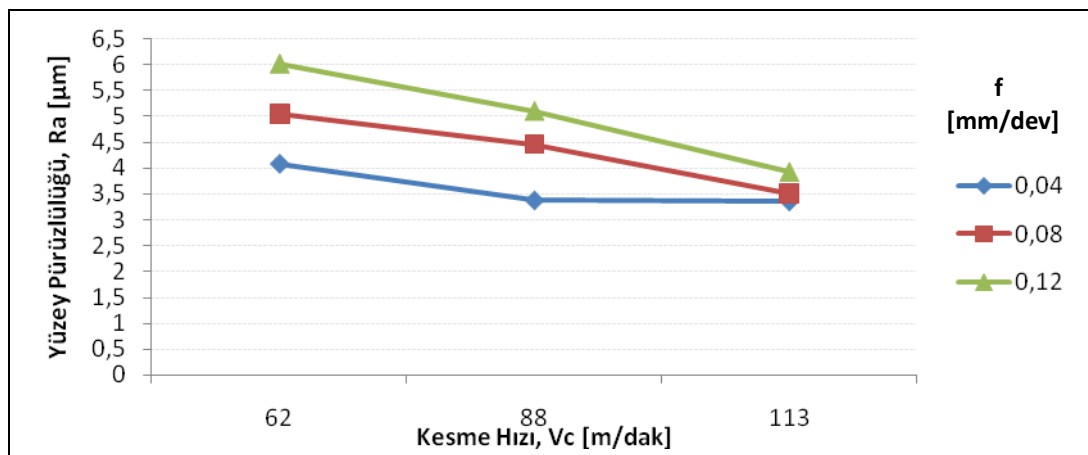
4.6. Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırma Grafikleri.



(a)

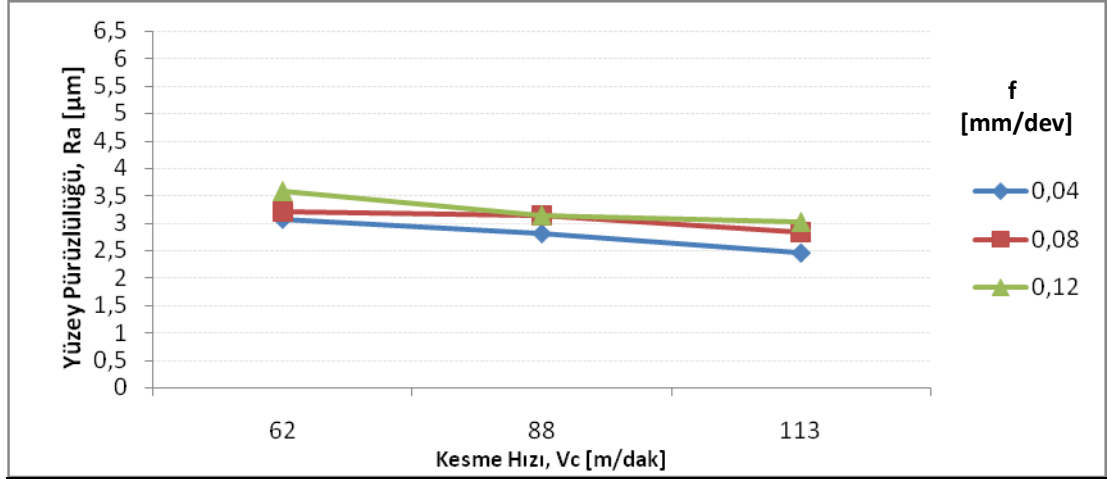


(b)

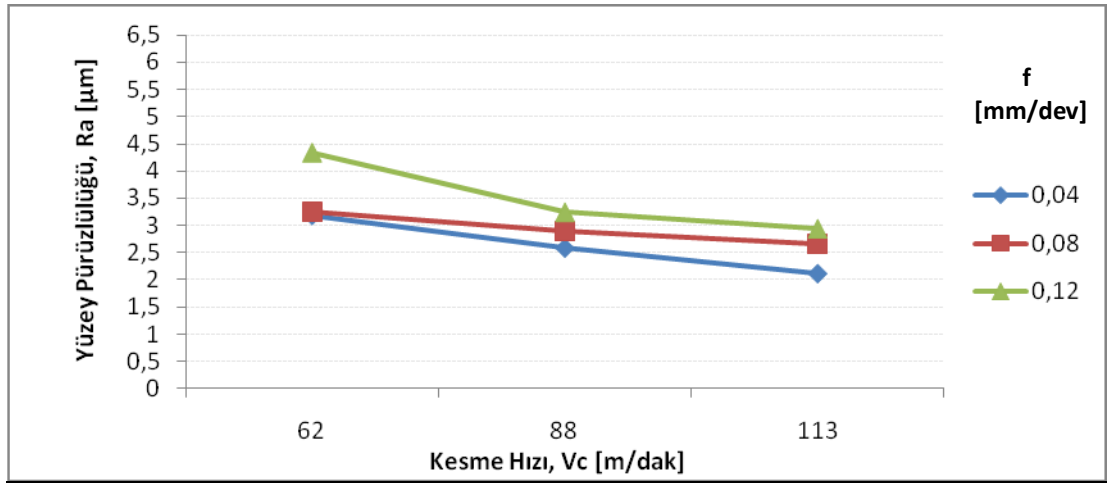


(c)

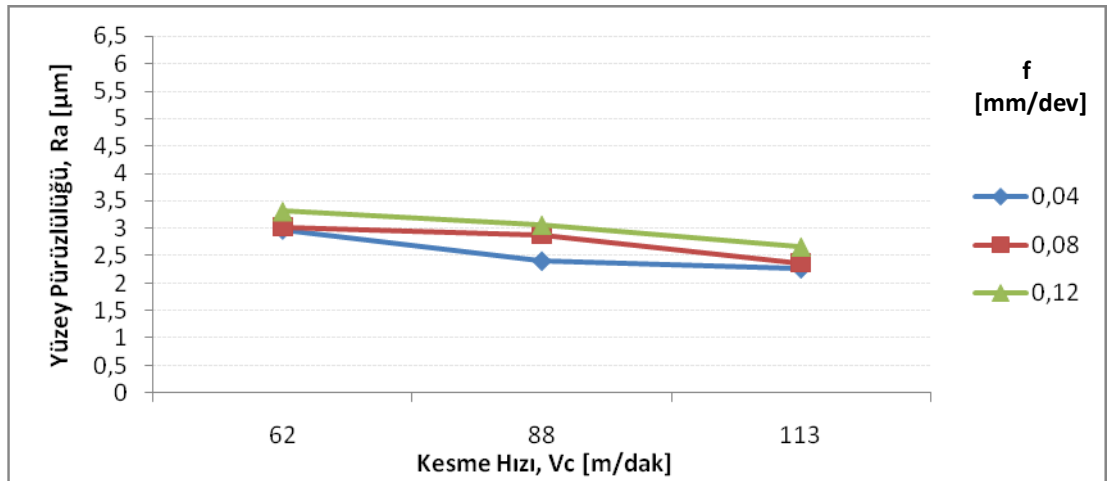
Şekil 4.22. İki ağızlı takımında Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.



(a)

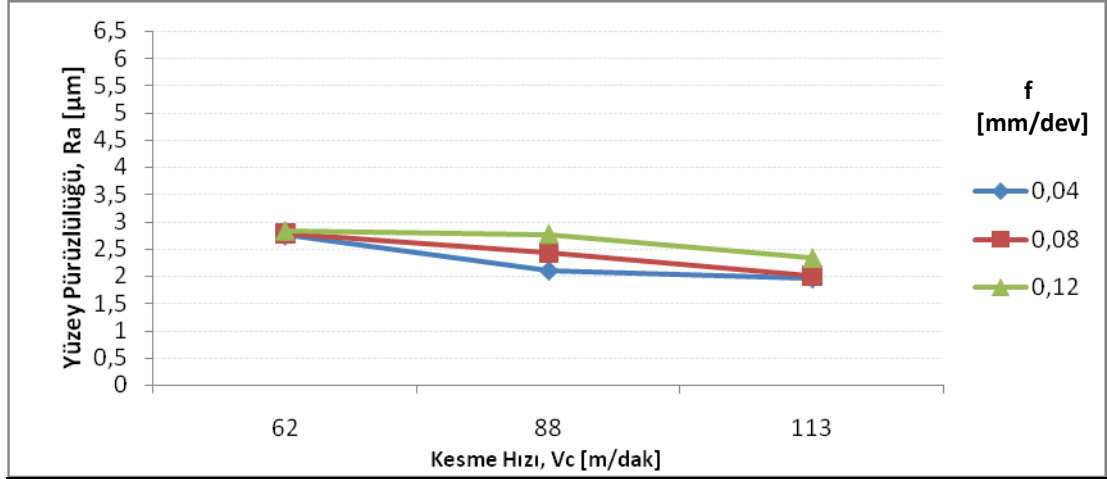


(b)

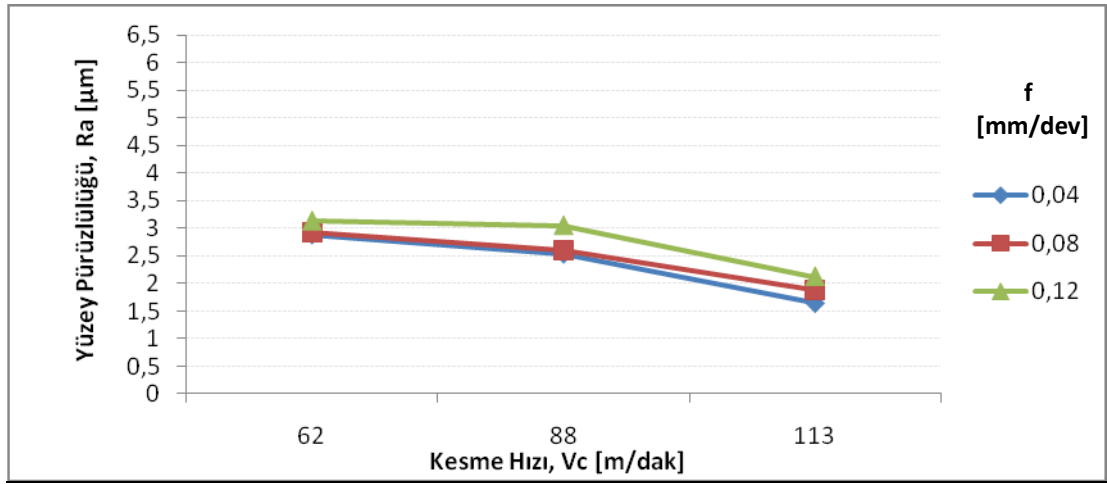


(c)

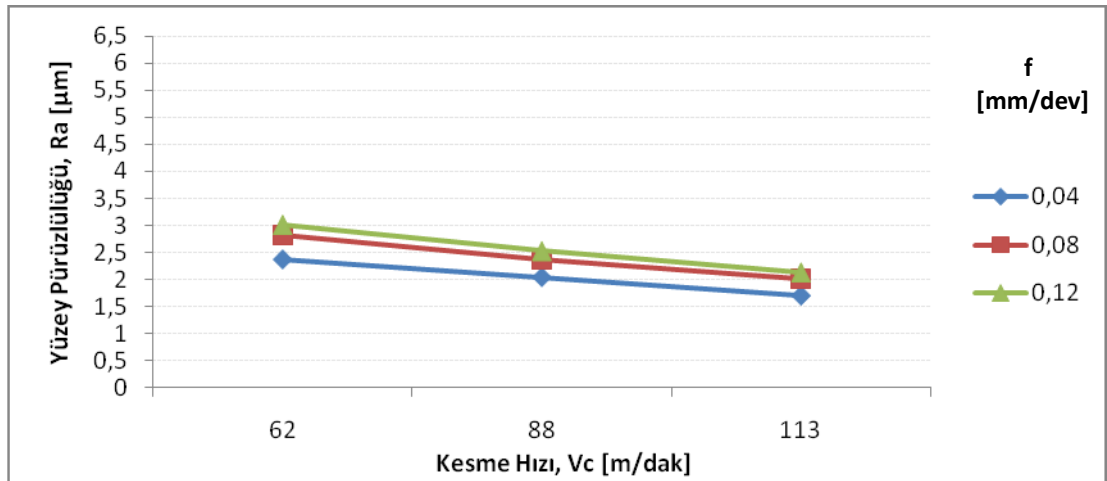
Şekil 4.23. Üç ağızlı takımında Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.



(a)



(b)



(c)

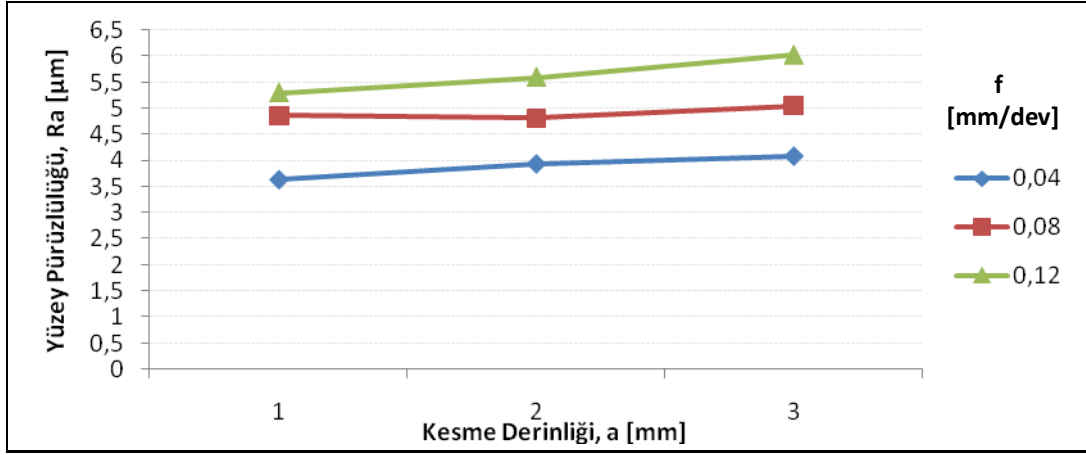
Şekil 4.24. Dört ağızlı takımda Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) a = 1 mm için, b) a = 2 mm için, c) a = 3 mm için.

Şekil 4.22' de iki ağızlı takımda tüm kesme derinliklerinde İlerleme arttıkça Yüzey Pürüzlülüğü belirgin olarak artarken, Kesme Hızının artışı Yüzey Pürüzlülüğü değerini tam aksine belirgin biçimde düşürmüştür.

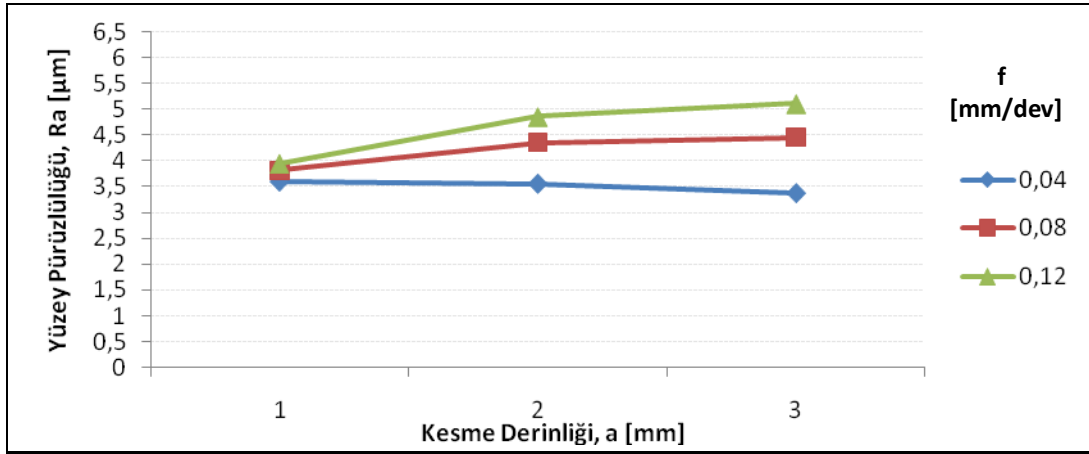
Şekil 4.23' te üç ağızlı takımda yine İlerlemenin artışı Yüzey Pürüzlülüğü arttırırken, Kesme Hızı azaltmıştır. Ancak bu değişken değerler az miktarlarda gözlenmiştir. 2 mm Kesme Derinliğinde 0,12 mm/dev İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğüne olan belirgin etkisi istisnai olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 4.24' te dört ağızlı takımda tüm kesme derinliklerinde İlerlemenin artışı Yüzey Pürüzlülüğünü arttırmış, Kesme Hızının artışı ise aksi olarak azaltmıştır. Her Kesme Derinliğinde, İlerlemelere karşılık gelen Yüzey Pürüzlülüğü değerlerinin, birbirine çok yakın olduğu açıkça gözlenebilmektedir.

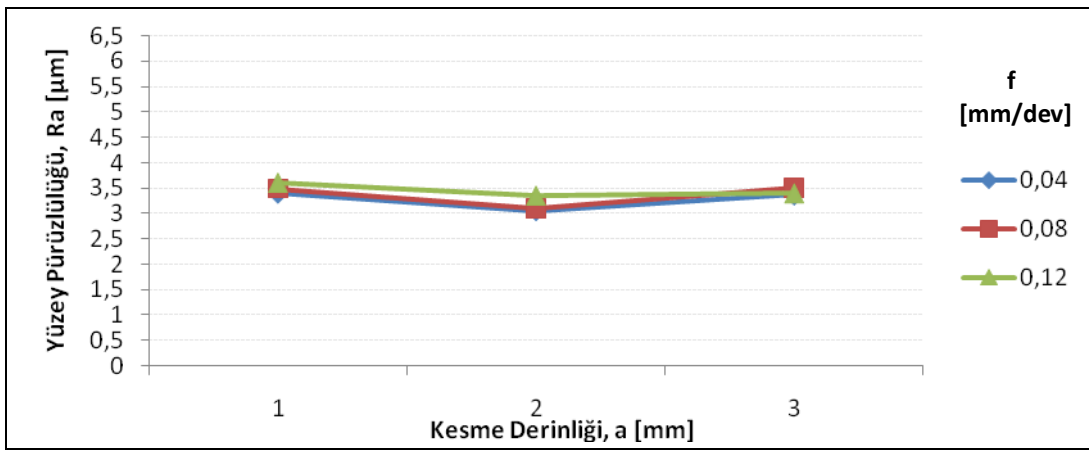
4.7. Kesme Derinliği – Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırma Grafikleri.



(a)

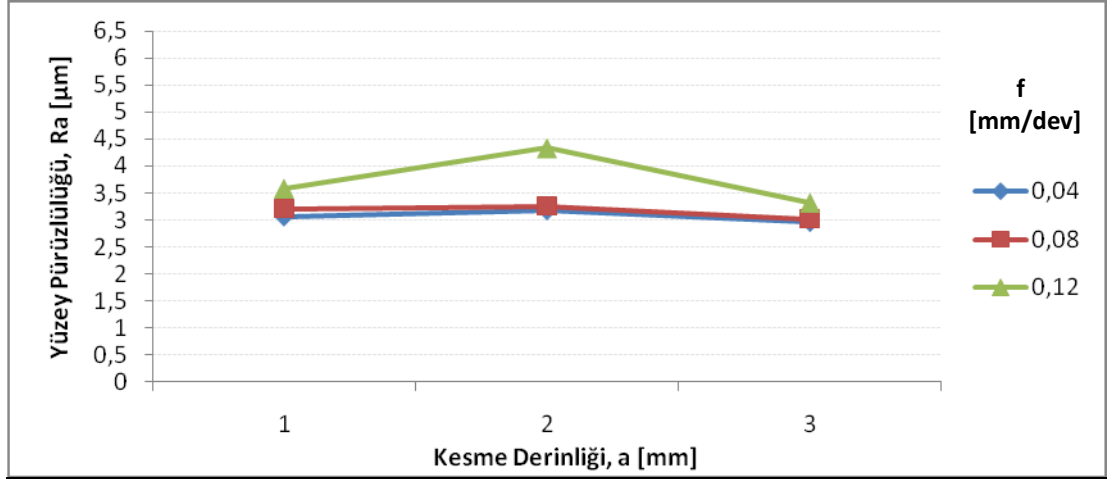


(b)

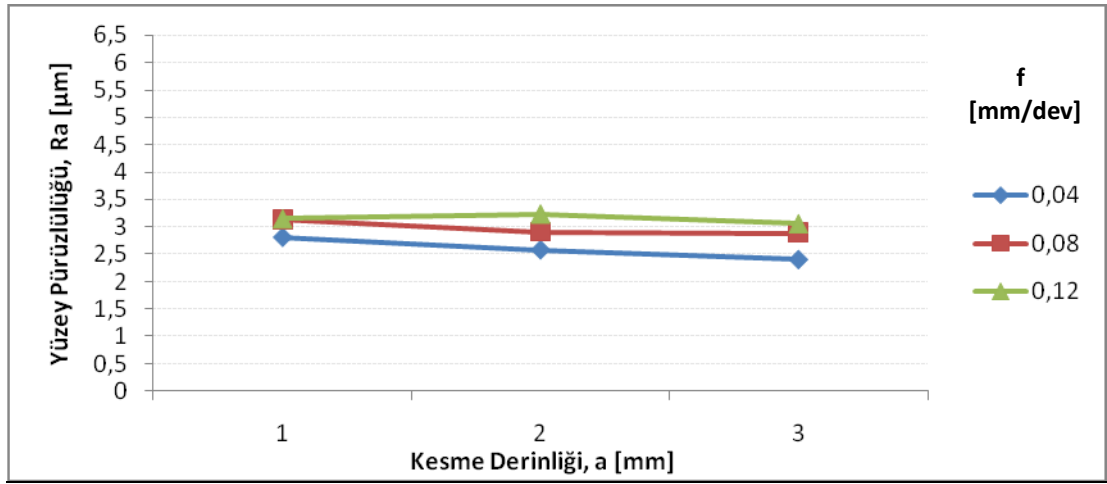


(c)

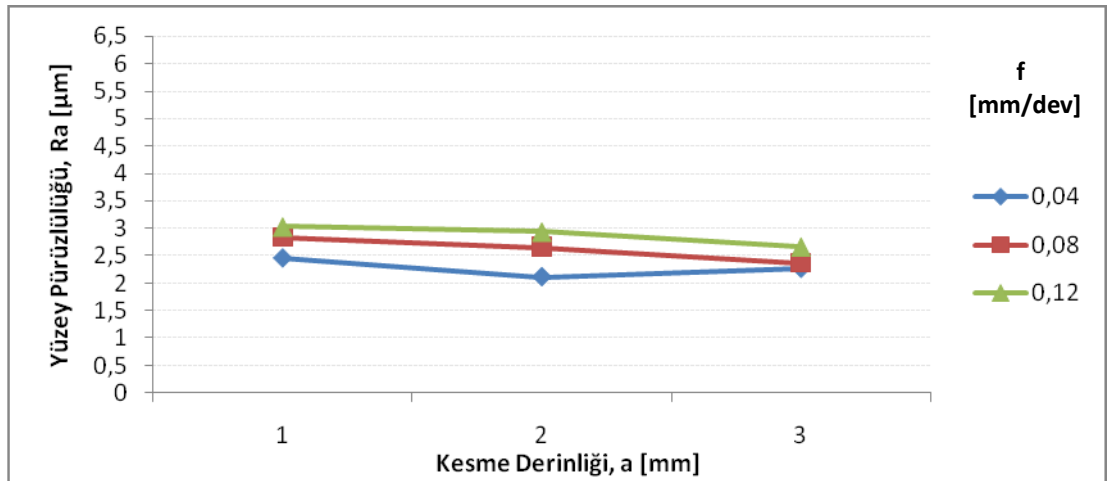
Şekil 4.25. İki ağızlı takımında Kesme Derinliği – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)

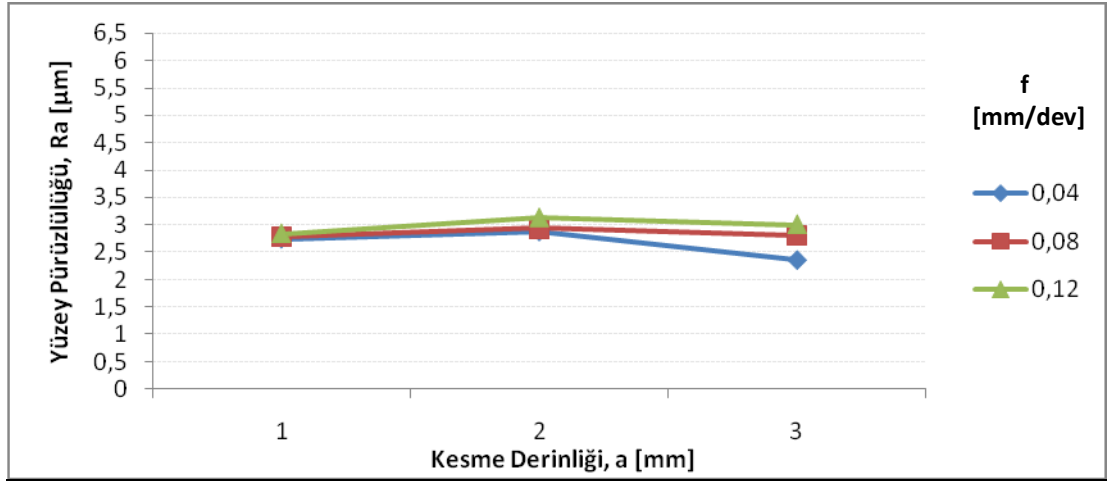


(b)

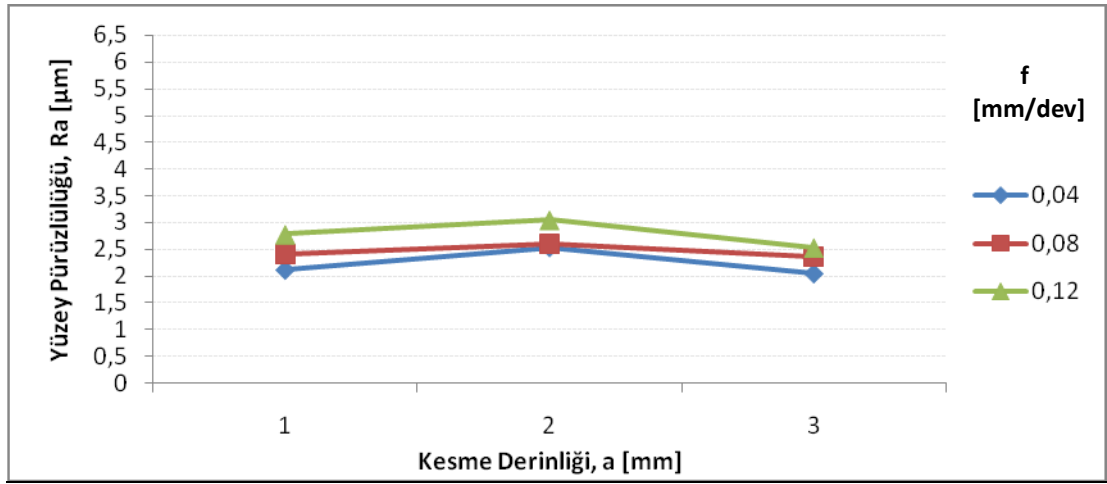


(c)

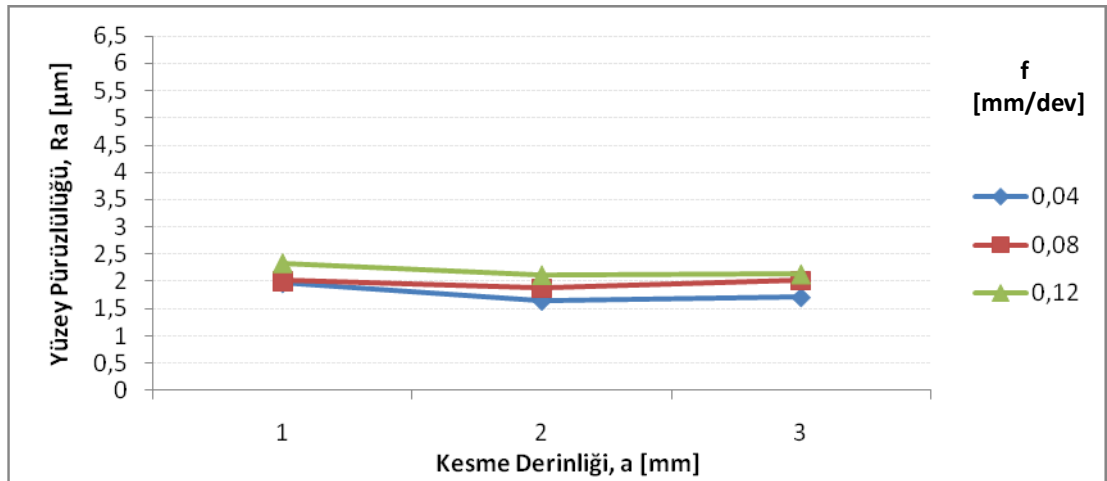
Şekil 4.26. Üç ağızlı takımında Kesme Derinliği – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.



(a)



(b)



(c)

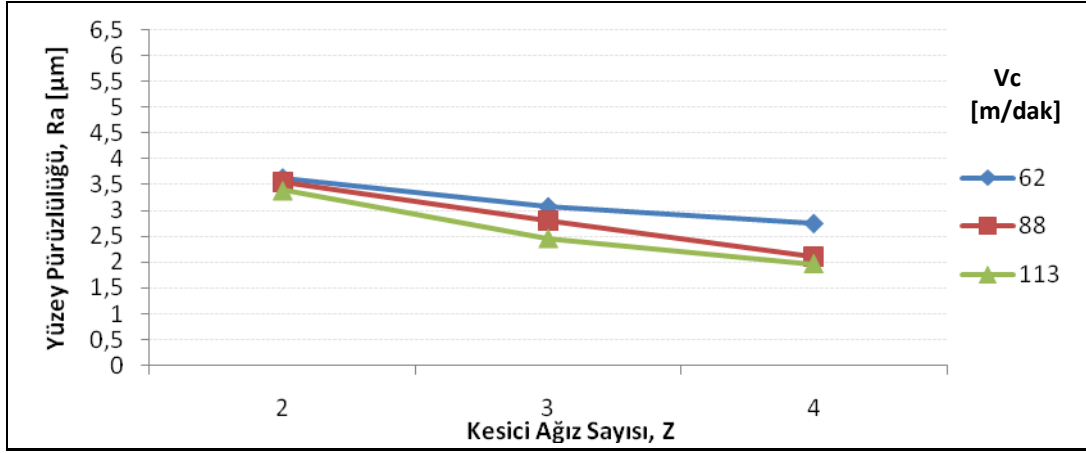
Şekil 4.27. Dört ağızlı takımında Kesme Derinliği – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $V_c = 62$ m/dak için, b) $V_c = 88$ m/dak için, c) $V_c = 113$ m/dak için.

Şekil 4.25' te iki ağızlı takımında 62 ve 88 m/dak kesme hızlarında Kesme Derinliğinin artışının Yüzey Pürüzlülüğünü arttırdığı gözlenmiştir. 113 m/dak Kesme Hızında 2 mm Kesme Derinliğindeki tüm İlerlemelere karşılık gelen Yüzey Pürüzlülüğü değerlerinin 1 mm Kesme Derinliğine göre azalmış olduğu, 3 mm Kesme Derinliğine göre ise arttığı gözlenmektedir. Bu değişim miktarları küçük miktarlardadır ve değerler birbirlerine çok yakın olmasından dolayı ihmal edilebilir niteliktedir.

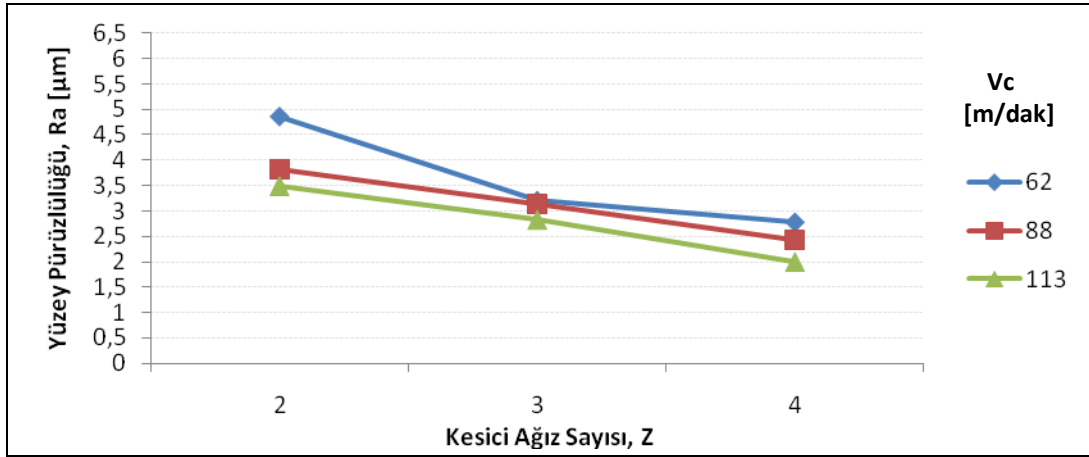
Şekil 4.26' da üç ağızlı takımında genel olarak gözlenen eğilimler, Kesme Derinliğinin artışının Yüzey Pürüzlülüğüne düşük miktarda azalma sağladığı yönünde iken 62 m/dak Kesme Hızı için 0,12 mm/dev İlerleme miktarının 2 mm Kesme Derinliğinde gösterdiği ciddi artış bu üç grafik için en büyük değerdir.

Şekil 4.27' de dört ağızlı takımında tüm kesme hızlarında Kesme Derinliğinin artışının Yüzey Pürüzlülüğüne olan etkisi farklı sonuçlar verdiği net bir biçimde anlaşılamamaktadır. Açıkça gözlenebilen, Yüzey Pürüzlülüğü artışı İlerlemenin artışı ile gerçekleşmiştir. Yüzey Pürüzlülüğü değerlerinin birbirine çok yakın olması ender durumların ortaya çıkabileceğini göstermektedir.

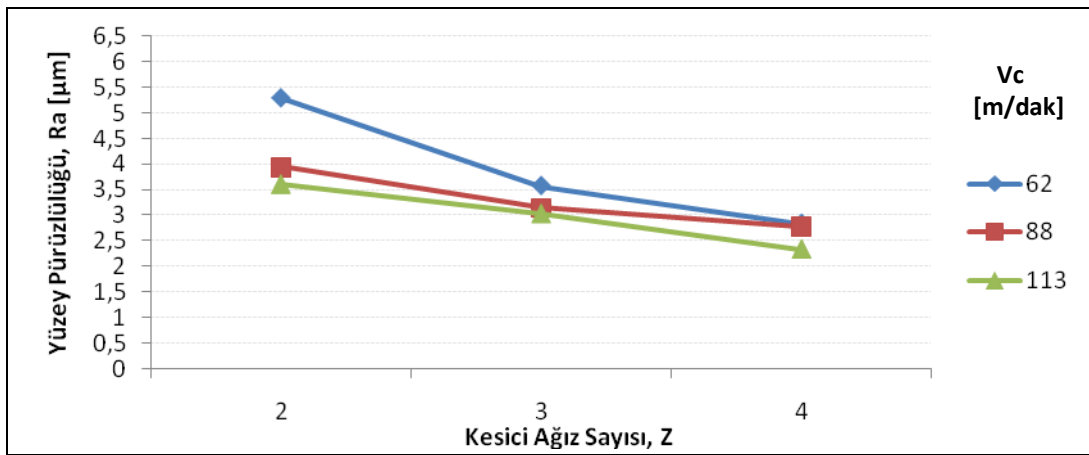
4.8. Kesici Ağız Sayısı – Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırma Grafikleri.



(a)

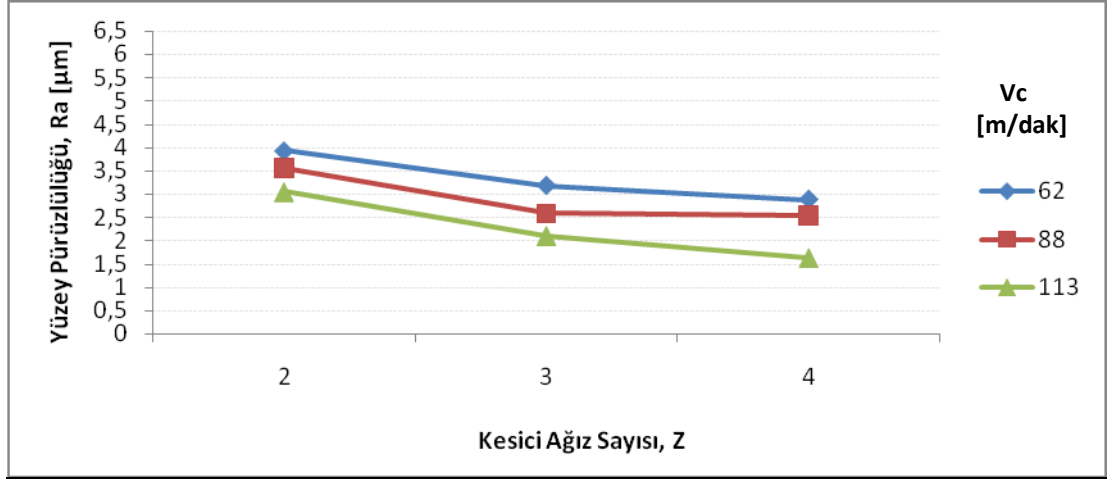


(b)

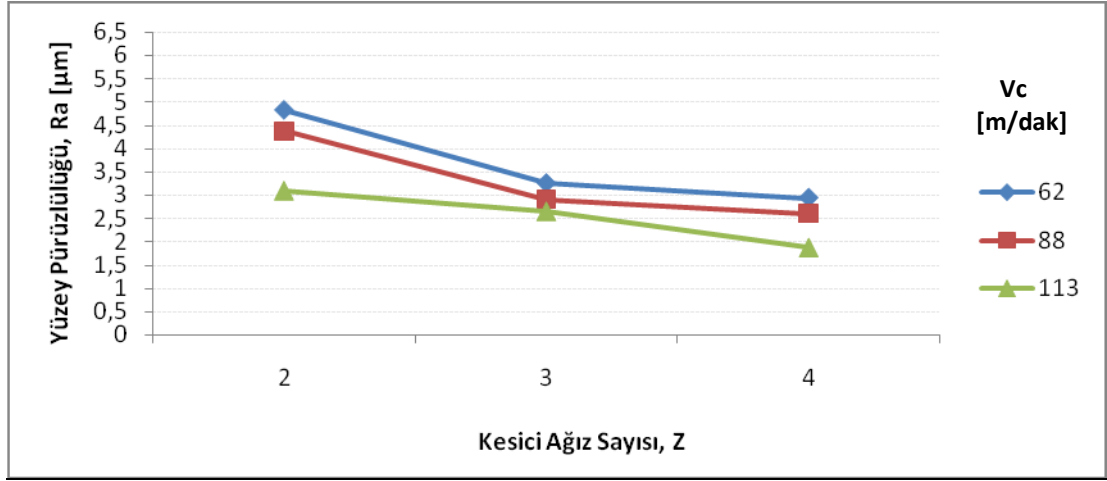


(c)

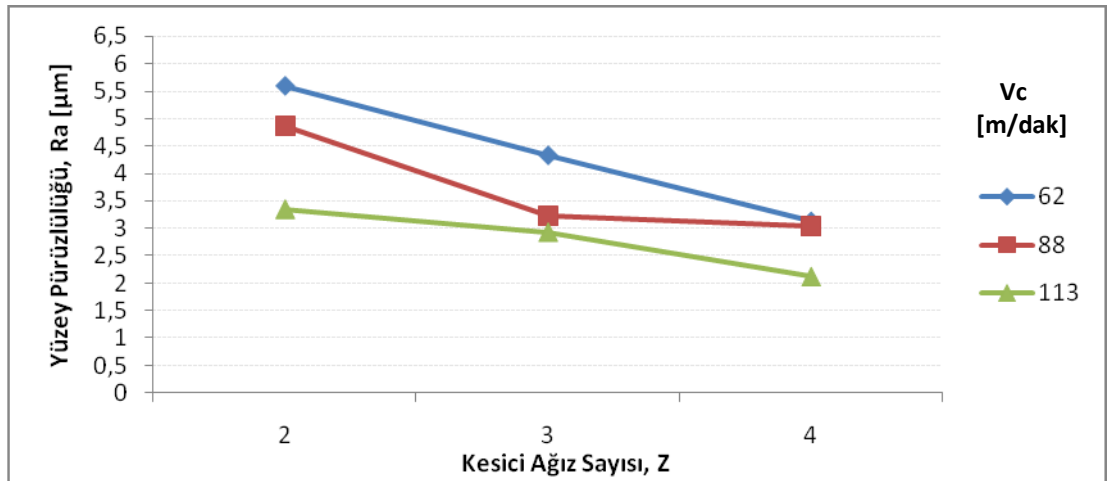
Şekil 4.28. 1 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için, b) $f = 0,08$ mm/dev için, c) $f = 0,12$ mm/dev için.



(a)

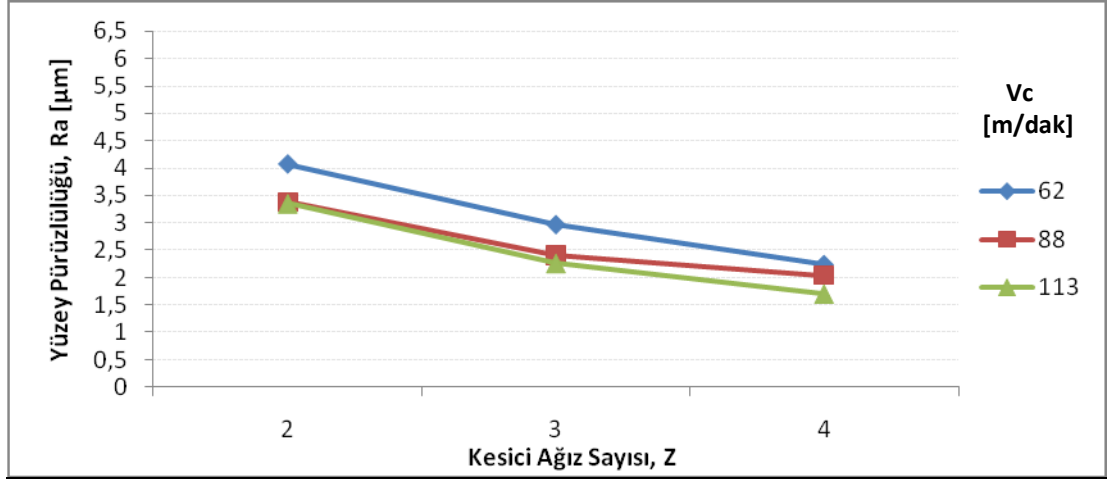


(b)

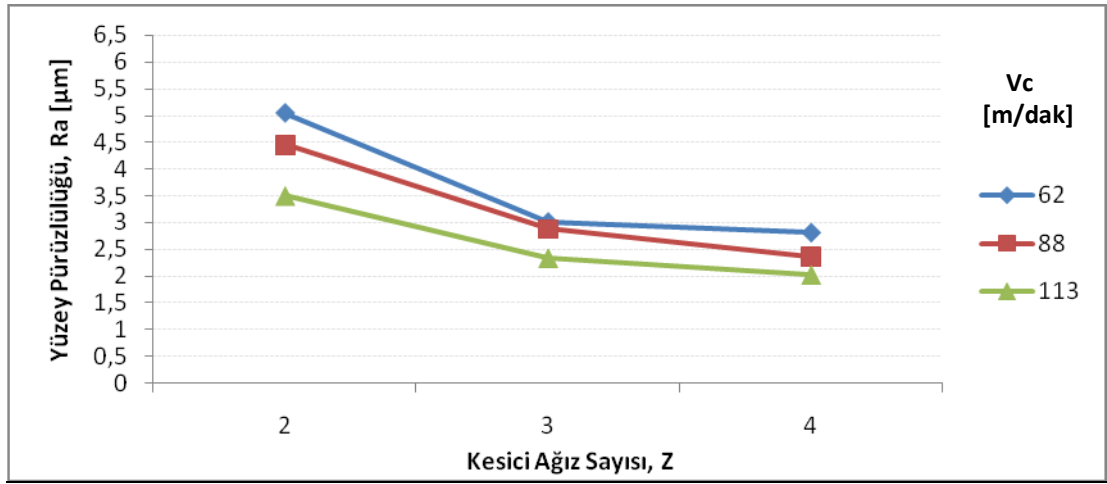


(c)

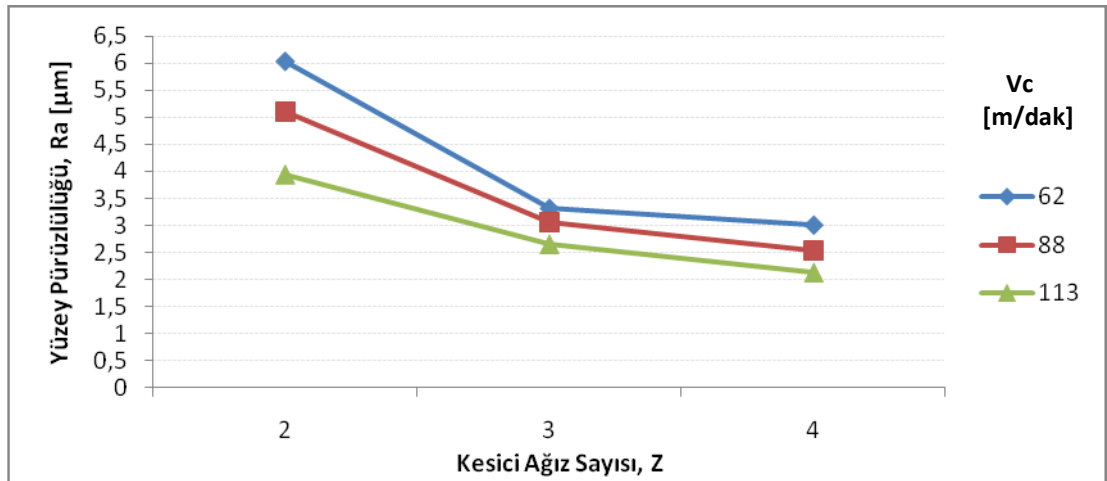
Şekil 4.29. 2 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için, b) $f = 0,08$ mm/dev için, c) $f = 0,12$ mm/dev için.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.30. 3 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısı – Yüzey Pürüzlülüğü karşılaştırma grafikleri. a) $f = 0,04$ mm/dev için, b) $f = 0,08$ mm/dev için, c) $f = 0,12$ mm/dev için.

Şekil 4.28' de 1 mm Kesme Derinliğinde tüm İlerlemelerde ağız sayısının artışı genel olarak Yüzey Pürüzlülüğünü belirgin biçimde azaltmıştır. Kesme Hızının artışı da Yüzey Pürüzlülüğü azaltmıştır.

Şekil 4.29' de 2 mm Kesme Derinliğinde Ağız Sayısının artışı Yüzey Pürüzlülüğünü azaltmıştır. 113 m/dak Kesme Hızının tüm İlerlemelerde aynı değerlerde seyrederek Yüzey Pürüzlülüğünü azaltma etkisi meydana getirdiği gözlenmektedir. 62 ve 88 m/dak kesme hızları ise 113 m/dak Kesme Hızına göre birbirlerine daha yakın yüzey pürüzlülük değerlerindedir.

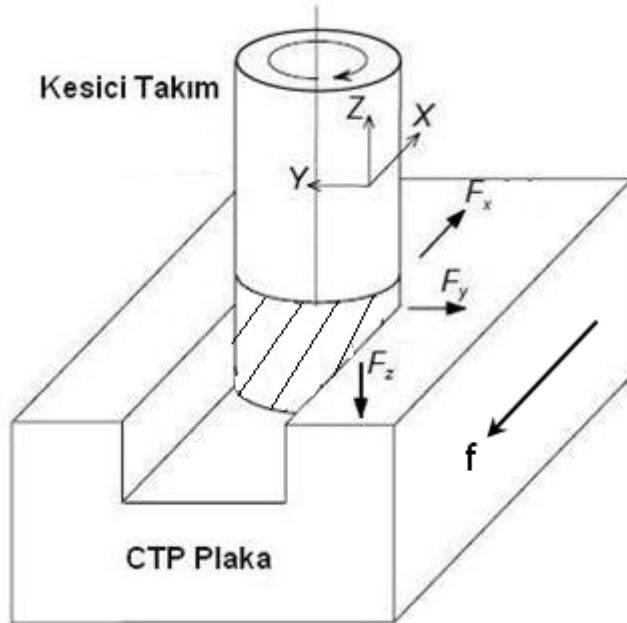
Şekil 4.30' da 3 mm Kesme Derinliğinde ağız sayısının artışı genel olarak Yüzey Pürüzlülüğünü azaltırken, 3 ve 4 ağza sahip kesici takımlarda birbirine yakın değerler gözlenmektedir. İlerlemenin artışının Yüzey Pürüzlülüğünü belirgin biçimde arttırdığı gözlenirken, Kesme Hızının ise belirgin biçimde azalttığı gözlenmektedir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMALAR

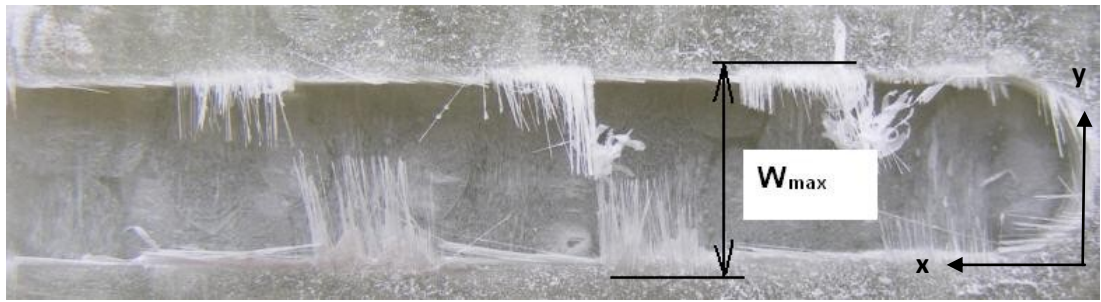
5.1 DENEYSEL SONUÇLARIN HASAR FAKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİSİ

Hasır örgülü kompozit malzemeler, yüksek mukavemet değerlerine sahip olmalarına karşın, anizotropik özelliklerinden dolayı gerilme yığılmalarına karşı çok hassastırlar. Kompozit yapılarda yükleme durumuna göre çeşitli hasar şekilleri meydana gelmektedir. Bunlara örnek olarak elyaf kopması, matris çatlaması, delaminasyon sayılabilir [37]. Hasır oryantasyonlu CTP plakaların frezelenmesi esnasında kesici takım elyafları koparmaya zorlamış ve özellikle kanal kenarlarında yüzey hasarları oluşturmuştur. Frezeleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri Şekil 5.1’ de görülmektedir.



Şekil 5.1. Frezeleme işlemi esnasında oluşan kuvvetler.

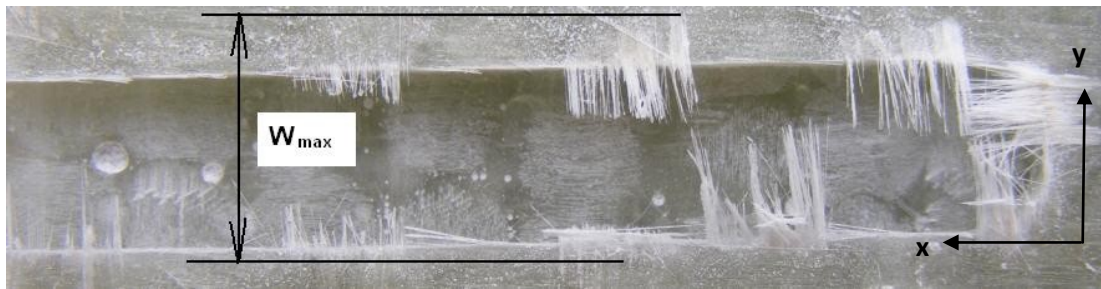
X eksenini boyunca etkili olan F_x kuvveti İlerleme ile meydana gelmiştir. F_x kuvvetinin artışı veya azalışı İlerlemeye bağlı olarak değişmektedir. Bu kuvvete dik oryantasyona sahip elyaflar (Şekil 5.2' de y eksenindeki elyaflar), parmak freze tarafından kesilmeye çalışılırken üst yüzeye yakın bölgelerdeki hasarın oluşmasında daha etkin bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak, tabakalardan oluşan CTP malzemenin kesilme olayı esnasında tabakalar arası kayma gerilmelerinin artarak özellikle yüzeye yakın bölgelerde düzgün kesilme sağlayamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Deneysel sonuçlarda da İlerleme artışının Hasar Faktörünü her durumda arttırdığı görülmüştür. Şekil 5.2' de farklı İlerlemelerin Hasar Faktörü üzerindeki etkisi ve azami hasarlar gösterilmiştir.



(a)



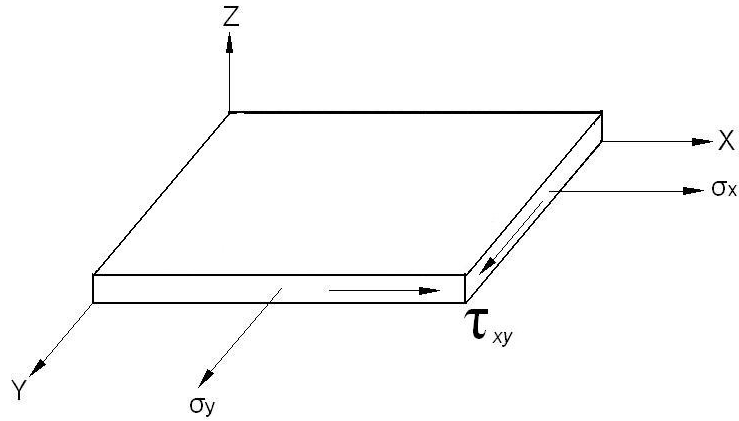
(b)



(c)

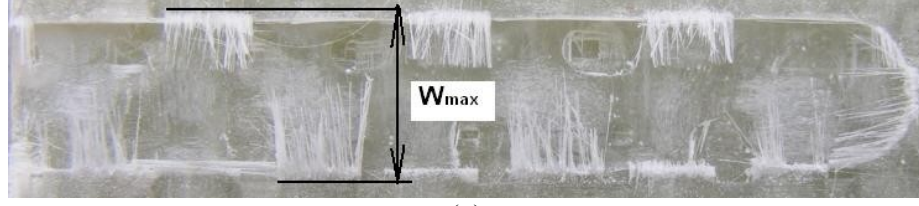
Şekil 5.2. Farklı İlerlemelerde görülen azami hasarlar. a) 0,04 mm/dev İlerleme, b) 0,08 mm/dev İlerleme, c) 0,12 mm/dev İlerleme.

Kesme Derinliğinin artmasıyla Hasar Faktörü azalmaktadır. Bunun nedeni frezeleme esnasında oluşan titreşimlerin, Kesme Derinliğinin artışıyla matris elamanı tarafından büyük ölçüde tutularak giderilmesidir. Düşük kesme derinliklerinde ve yüzeye yaklaştıkça oluşan titreşim, frezeleme esnasında malzeme içersinde bulunan takviye edici camelyafların yüzeyde hasar oluşturmaya neden olmaktadır. Titreşim, tabakalı üretilmiş CTP malzemenin tabakalar arası kayma gerilmesini artırarak özellikle üst yüzeylerde hasara yol açmaktadır. Şekil 5.3 'te CTP plakada X, Y ve XY yönlerinde meydana gelen gerilmeler görülmektedir. Burada σ_x ve σ_y sırasıyla X ve Y yönlerinde meydana gelen çekme gerilmesini, τ_{xy} ise kayma gerilmesini ifade etmektedir.

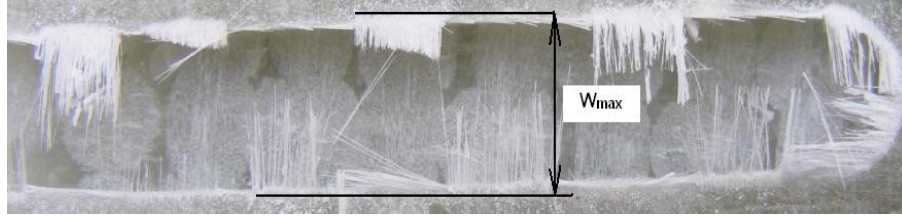


Şekil 5.3. CTP plakada meydana gelen gerilmeler.

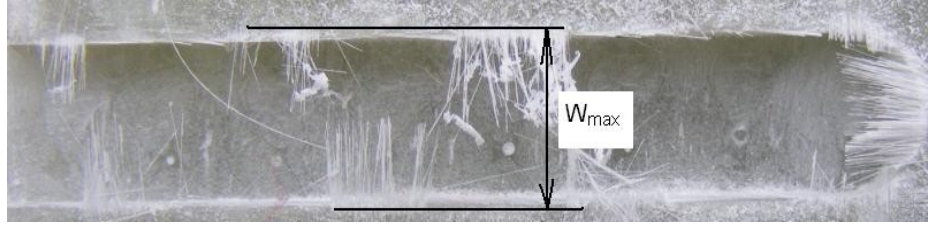
Şekil 5.4' te iki ağızlı takımında, aynı Kesme Hızı ve İlerlemede farklı kesme derinliklerinde oluşan hasarlar gösterilmektedir. Şekilden açıkça görülebileceği üzere 3 mm Kesme Derinliğinde kanal yüzeyinde meydana gelen azami hasar değeri, 1 ve 2 mm kesme derinliklerinde meydana gelen azami hasar değerlerine göre azalma eğilimi göstermektedir.



(a)



(b)



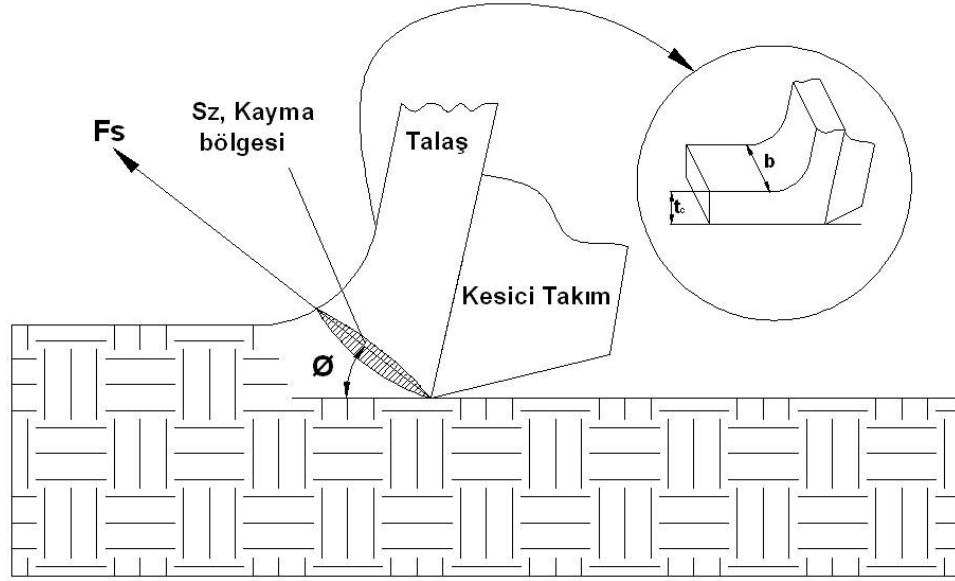
(c)

Şekil 5.4. Farklı kesme derinliklerindeki azami hasar. a) 1 mm, b) 2 mm, c) 3 mm.

Kesme Hızının artışıyla Hasar Faktörü bir miktar artmıştır. Bunun nedeni plastik deformasyon hızının Kesme Hızının artışına bağlı olarak artmasıdır. Şekil 5.5' te plastik deformasyon hızının artışına bağlı olarak kayma açısı (θ) azalarak kayma bölgesinin (S_z) alanını arttırmaktadır. S_z ' nin θ ' ya bağlı eşitliği Denklem 5.1' de gösterilmiştir [38]. Eşitlikten anlaşılacağı üzere kayma bölgesi alanı ile kayma açısı ters orantılıdır ve t_c talaş derinliğini, b ise talaş genişliğini simgelemektedir. S_z alanının artışı ise kayma kuvvetini (F_s) arttırmaktadır [39]. F_s ' nin artışı da Denklem 5.2' de verilen, genel kesme mekaniğinde tüm malzemeler için geçerli olan eşitlikten, kayma gerilmesini (τ) artıracığı açıkça görülmektedir. Eşitlikte bulunan A talaş kesitini simgelemektedir. Şekil 5.5' te talaş oluşumundaki kesme kuvvetleri ve kayma kuvvetleri gösterilmiştir.

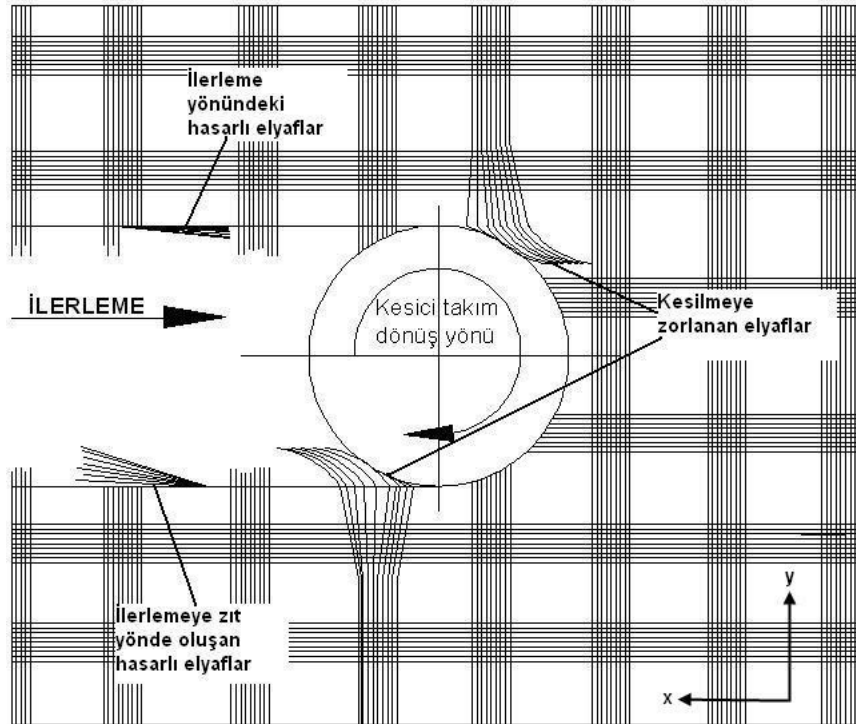
$$S_z = \frac{t_c b}{\sin \theta} \quad (5.1)$$

$$\tau = \frac{F_s}{A} \quad (5.2)$$



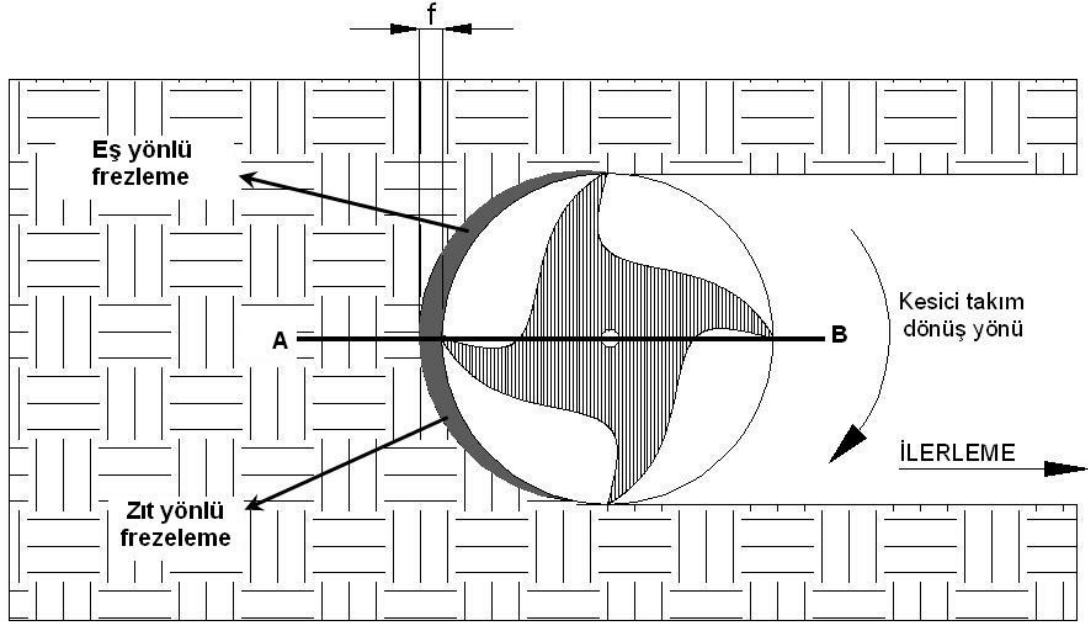
Şekil 5.5. Talaş oluşumunda kayma bölgesi.

Frezelenen kanallardaki hasarlara bakıldığında kanalın alt ve üst kısmında X yönünde bulunan elyafların oluşturduğu hasarın, kesici takım dönüş yönünde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.6' da elyafların frezelenmesinin üst ve alt kenarlardaki hasar yönleri görülmektedir.



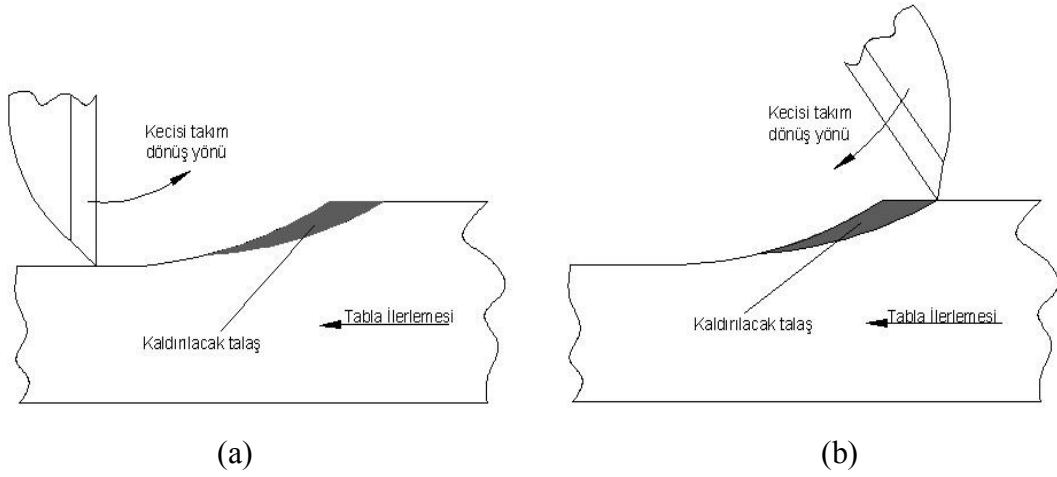
Şekil 5.6. Frezeleme esnasında elyafların yönlenmesi.

Burada iki tür kesmeden bahsedebiliriz. Birincisi AB doğrusunun üst tarafında meydana gelen eş yönlü (geleneksel) frezeleme biçimi, ikincisi ise AB doğrusunun alt tarafında meydana gelen zıt yönlü (tırmanarak) frezeleme biçimi. Şekil 5.7' de frezeleme esnasında üst ve alt kenarlarda meydana gelen frezeleme biçimleri gösterilmiştir.



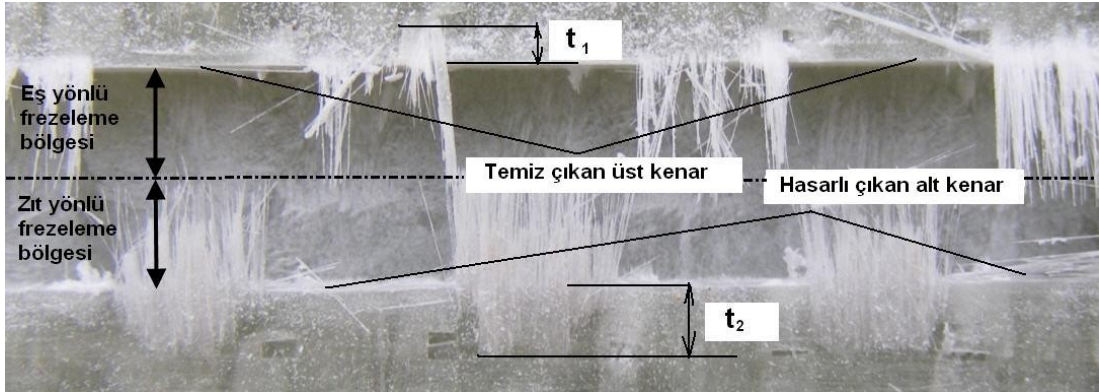
Şekil 5.7. Frezelenen kanalın alt ve üst kenarlarında meydana gelen kesme biçimleri.

Eş yönlü frezelemede İlerleme ile kesici takım dönüş yönü aynıdır. Çok talaştan az talaşa doğru kesme yapıldığı için CTP plakada meydana gelen gerilmeler azalmaktadır. Böylece titreşim azalmış olur. Frezelenen kanalın üst kenarında (AB doğrusu üzerinde) meydana gelen bu frezeleme biçimi titreşimi azalttığından ve talaşı (kesilen elyafları) CTP plakadan daha kolay uzaklaştırdığından kenar boyunca meydana gelen hasarlar azalma eğilimindedirler. Zıt yönlü frezeleme biçimi ise frezelenen kanalın alt kenarında (AB doğrusu altında) oluşurken, az talaştan çok talaşa doğru bir kesme eğilimi içinde olduğundan ve tabla İlerlemesiyle kesici takımın dönüş yönü zıtlık teşkil ettiğinden CTP plakadaki gerilmeler artmaktadır ve kesme esnasında titreşime yol açar. Ayrıca talaşlar (kesilen elyaflar) kesici takım önünde birikir ve çabuk uzaklaştırılmaz bu da Hasar Faktörünü ve kenar boyu meydana gelen hasarı arttırmaktadır. Eş yönlü ve zıt yönlü frezeleme biçimleri Şekil 5.8' de gösterilmiştir.



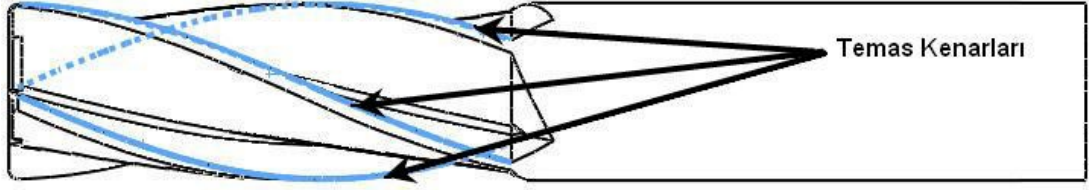
Şekil 5.8. Frezeleme yönleri. a) Zıt yönlü frezeleme, b) Eş yönlü frezeleme.

Şekil 5.8 ' de frezelenen bir kanalda meydana gelen üst ve alt hasarlar, ayrıca kenar boyu hasarları gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere $t_2 > t_1$ olduğundan dolayı üst kenar temiz ve hasarsız biçimde frezelenmiştir.



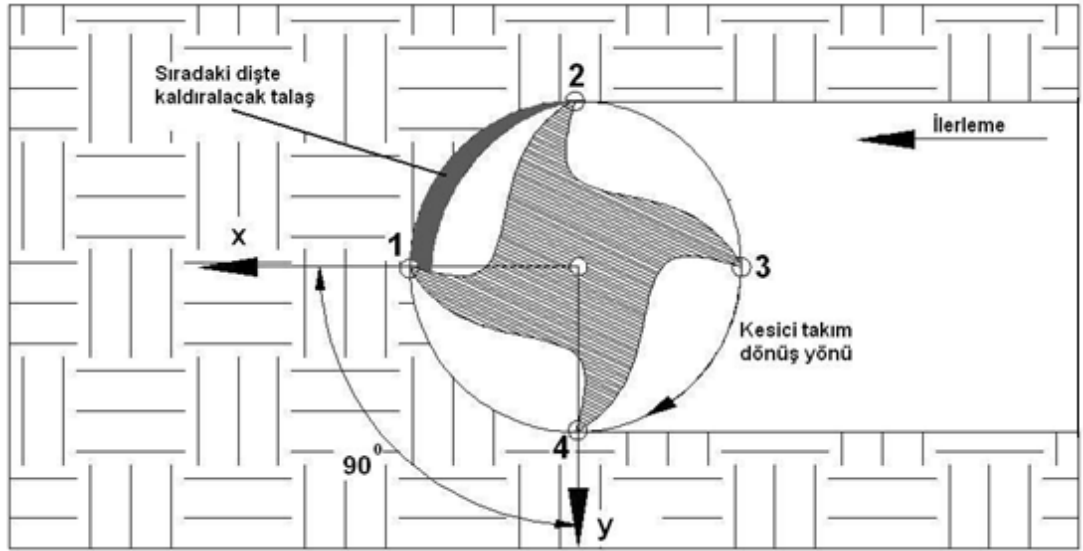
Şekil 5.9. Frezelenmiş kanalın alt ve üst kenar hasarları.

Ağız Sayısı arttıkça Hasar Faktörü azalmıştır. Bunun nedeni olarak elyafların kesilmesine etki eden kesici takım temas kenarlarının sayısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kesici takımın Ağız Sayısının artması, elyaflara etki eden temas kenarlarının sayısını artırarak elyafların daha düzgün kesilmesini sağlamaktadır. Böylece yüzeyde hasar oluşumunu engelleyici bir etkide bulunmaktadır. Şekil 5.10' da kesici takım temas kenarları gösterilmektedir.

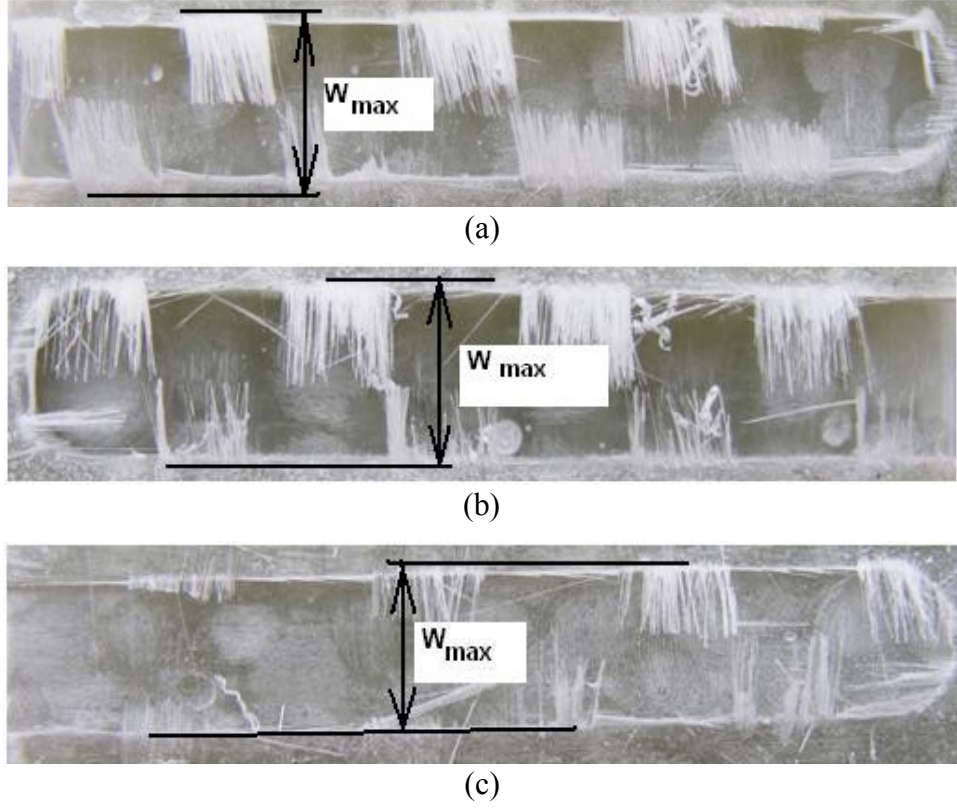


Şekil 5.10. Parmak frezenin kesici temas alanı.

Örneğin Şekil 5.11’ de gösterilen kesici takım dört kesici ağıza sahiptir. Bununla beraber elyafların kesilmesine etkide bulunan ağız sayısı da dört olmaktadır. Bir başka ifadeyle, kesici ağızlar arası 90° olduğundan 1 dönüşte elyafların kesilmesine yapacağı darbe dört kezdir ve kesme işlemi artmaktadır. İki ağızlı takımda ağızlar arası 180° olduğundan tanımlanan darbe sayısı 2 iken, üç ağızlı takımda 120° olup, darbe sayısı 3 olarak tanımlanmıştır. Böylece dört ağızlı takım, iki ve üç ağızlı takımlara göre elyafları daha fazla etkide bulunarak düzgün kesilmesini ve Hasar Faktörünün azalmasını sağlamıştır. Ağız Sayısının artışıyla azami hasarın azalması Şekil 5.12’ de dört ağızlı kesici takım üzerinden gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Ağız Sayısının elyaf hasarına etkisi.

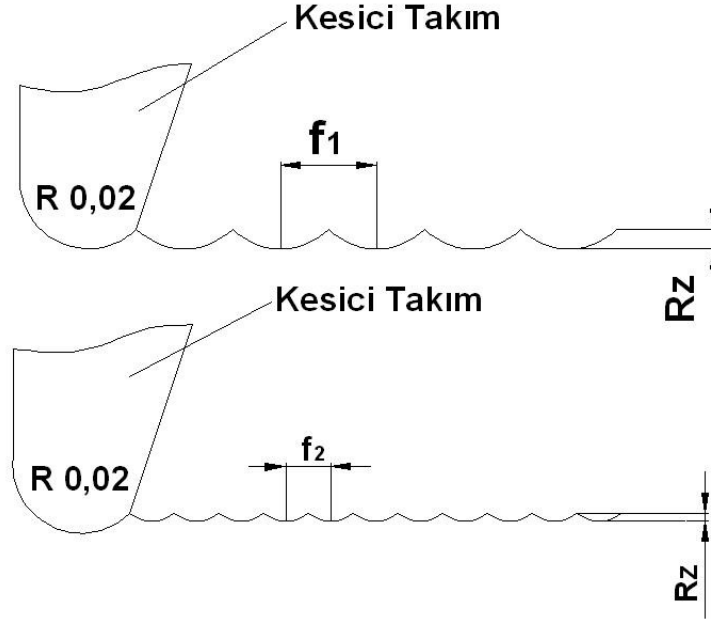


Şekil 5.12. Farklı ağız sayılarının Hasar Faktörüne etkisi. a) 2 ağızlı takım, b) 3 ağızlı takım, c) 4 ağızlı takım.

5.2. DENEYSEL SONUÇLARIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNE ETKİSİ

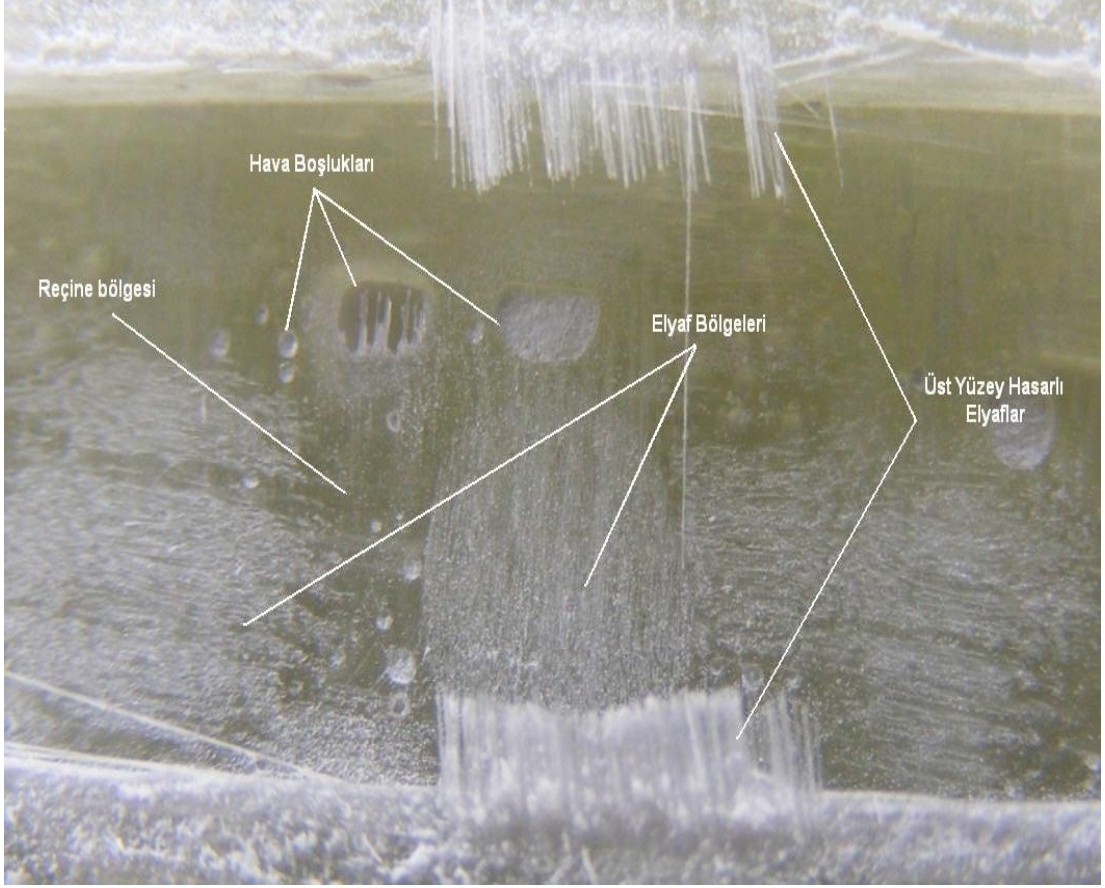
Deneysel sonuçlar bölümündeki grafiklerden Yüzey Pürüzlülüğüne en çok etkide bulunan kesme parametrelerinin sırasıyla İlerleme, Kesme Hızı ve Ağız Sayısı olduğunu, Kesme Derinliğinin ise herhangi bir etkide bulunmadığı gözlemlenmişti. Yüzey Pürüzlülüğüne etki eden başlıca faktör olan İlerleme, metallerin işlenmesinde olduğu gibi artışıyla beraber R_a değeri artmış, İlerlemenin azalmasıyla birlikte azalmıştır. Şekil 5.13' te kesici takımın işlenen yüzey üzerinde bıraktığı izler gösterilmiştir. Bu izlerin birbirine yakın olması durumunda Yüzey Pürüzlülüğü değeri düşük değerlerde gerçekleşmekte, uzak olması durumunda ise artış eğilimi göstermektedir.

f_1 İlerlemesi büyük İlerlemeleri (0,08 ve 0,12 mm/dev), f_2 İlerlemesi ise küçük İlerlemeyi (0,04 mm/dev) simgelemektedir. $f_1 > f_2$ olduğundan f_1 İlerlemesindeki R_z değeri daha büyüktür. Azami yüzey pürüzlülüğü değerinin (R_z) artışı R_a ' yı da arttırmaktadır.



Şekil 5.13. İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğüne etkisi.

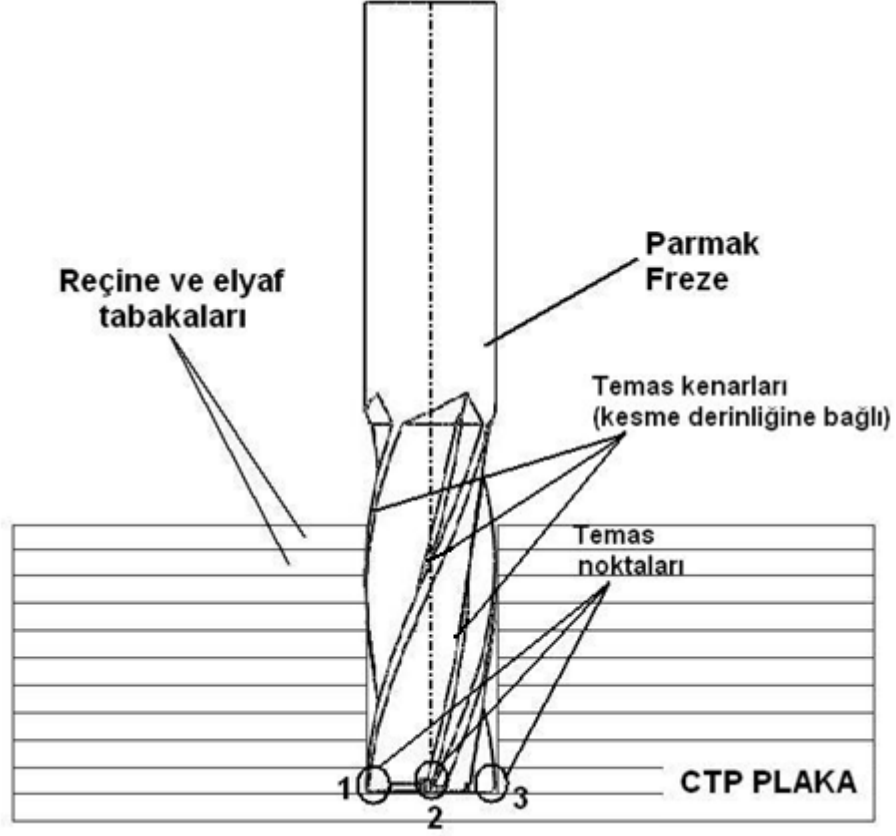
Şekil 5.14' te frezelenmiş bir kanalın yüzey morfolojisi gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere Yüzey Pürüzlülüğü ölçülürken, malzeme kusuru olarak kabul ettiğimiz hava boşluklarına ve üst yüzeydeki hasarlı elyaflara dikkat edilerek ölçümler yapılmıştır. Zira yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının ucunun bu bölgelere denk gelmesi yanlış değerlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Diğer bir önemli husus yine Şekil 5.14' te gösterilen elyaf ve matris (reçine) bölgeleridir. Reçine yapı olarak homojen bir malzemedir. Matris elamanın bulunduğu bölgeler daha pürüzsüz yüzey sağlarken, elyaf bölgeleri daha pürüzlü bir yüzey meydana getirmiştir. Ölçümler bu iki bölge dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve çıkan sonuçlar bu doğrultuda incelenmiştir.



Şekil 5.14. Frezelenmiş kanalın yüzey morfolojisi.

Kesme Hızının atışıyla Yüzey Pürüzlülüğü azalma eğilimindedir. Bunun nedeni plastik deformasyon hızının Kesme Hızının artışına bağlı olarak artmasıdır. Sonuç olarak yüksek kesme hızlarında (88 ve 113 m/dak) plastik deformasyon hızının artışıyla malzemedен ayrılan talaşlar frezelenen yüzeyden daha çabuk ayrılarak daha düzgün bir yüzey elde edilmesine imkan tanımıştır.

Ağız Sayısının artması Hasar Faktöründe olduğu gibi Yüzey Pürüzlülüğünü de azaltmıştır. Frezeleme esnasında yüzeye temas eden kesici kenarların artışı, elyaflara daha fazla etkide bulunarak düzgün kesilmesine ve kesici takım önünde birikmeden uzaklaşmasına neden olduğu için yüzey pürüzlülük değerini azaltmaktadır. Şekil 5.15' te kesici takım temas noktaları ve kenarları gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Dört ağızlı parmak freze temas noktaları ve kenarları.

Kesme Derinliğinin artışı yada azalışı Yüzey Pürüzlülüğü değerinde çok küçük değişimler dışında farklılık göstermemiştir. İhmal edilen değişimler Şekil 5.14' te gösterilen malzeme kusurlarına dahil edilmiştir. Bu yüzden Yüzey Pürüzlülüğüne etki etmeyen tek kesme parametresi Kesme Derinliğidir.

5.3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışma sonucunda genel olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- İlerleme arttıkça Hasar Faktörü artmaktadır.
- Kesme Hızı arttıkça Hasar Faktörü artmaktadır.
- Ağız Sayısı arttıkça Hasar Faktörü azalmaktadır.
- Kesme Derinliği arttıkça Hasar Faktörü azalmaktadır.

- İlerleme arttıkça Yüzey Pürüzlülüğü artmaktadır.
- Kesme Hızı arttıkça Yüzey Pürüzlülüğü azalmaktadır.
- Ağız Sayısı arttıkça Yüzey Pürüzlülüğü azalmaktadır.
- Kesme Derinliğinin artışının veya azalışının Yüzey Pürüzlülüğüne herhangi bir etkide bulunmamaktadır.

Hasır örgülü CTP malzemede yüzey hasarının en aza indirgenmesi isteniyorsa;

- Dört ağızlı takım ile Kesme hızı 62 m/dak, İlerleme 0,04 mm/dev ve Kesme Derinliği 3 mm seçilip frezeleme yapılmalıdır.

Hasır örgülü CTP malzemede Yüzey Pürüzlülüğünün en aza indirgenmesi isteniyorsa;

- Dört ağızlı takım ile Kesme hızı 113 m/dak, İlerleme 0,04 mm/dev ve istenilen Kesme Derinliğinde frezeleme yapılmalıdır.

Hasar Faktörünün ve Yüzey Pürüzlülüğünün aynı anda düşük değerlerde olması isteniyorsa;

- 4 ağızlı takımda Kesme hızı 88 m/dak, İlerleme 0,04 mm/dev ve Kesme Derinliği 3 mm seçilip frezeleme yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Lin, SC. and Chen, IK. “Drilling of carbon fiber-reinforced composite material at high speed”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 156–62 (1996).
2. Enemuoh, U., Sherif El-Gizawy, E., Chukwujekwu, A. and Okafor, A., “An approach for development of damage-free drilling of carbon fiber reinforced thermosets”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 1795–814 (2001).
3. Santhanakrishnan G, Krishnamurthy R, Malhota SK. Machinability characteristics of fibre reinforced plastics composites. *J Mech Working Technol* 17:195–204. (1988).
4. Ramulu M, Arola D, Colligan K. Preliminary investigation of effects on the surface integrity of fiber reinforced plastics. *Engineering systems design and analysis* 2, PD 64 (2). ASME;. 93–101 (1994).
5. Aoyama, E., Nobe, H. and Hirogaki, T. “Drilled hole damage of small diameter drilling in printed wiring board”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 436–441 (2001).
6. Khashaba, UA. “Delamination in drilling GFR-thermoset composites”, *Composite Structures*, 63(3–4): 313–27 (2004).
7. Capello, E. “Work piece damping and its effect on delamination damage in drilling thin composite laminates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 148 : 186–195 (2004).
8. El-Sonbaty, I., Khashaba, UA. and Machaly, T., “Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites”, *Composite Structures*, 63(3–4): 329–38 (2004).
9. Ramkumar, S.K. and Malhotra, R., “Effect of workpiece vibration on drilling of GFRP laminates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 152 (3) : 329–332 (2004).
10. Ramkumar, J., Aravindan, S., Malhotra, SK. and Krishnamurthy, R., “An enhancement of the machining performance of GFRP by oscillatory assisted drilling”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23: 240–244 (2004).
11. Koplev, A., Lystrup, A., Vorm, T., The cutting process, chips and cutting forces in machining CFRP. *Composites* ;14(4):371– 6 (1983).

12. Kaneeda, T., CFRP cutting mechanism. In: *Proceeding of the 16th North American Manufacturing Research Conference*, 216–21 (1989).
13. Puw, HY, Hocheng, H., Anisotropic chip formation models of cutting of FRP. In: *ASME Symposium on Material Removal and Surface Modification Issues in Machining Processes*, New York, (1995).
14. Singh, I. and Bhatnagar, N., “Drilling-induced damage in uni-directional glass fiber reinforced plastic (UD-GFRP) composite laminates”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 27: 877–882 (2006).
15. Velayudham, A. and Krishnamuthy, R., “Effect on point geometry and their influence on thrust and delamination in drillind pf polymeric composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 185: 204-209 (2007).
16. Singh, I., Bhatnagar, N. and Viswanath, P., “Drilling of uni-directional glass fiber reinforced plastics: Experimental and finite element study”, *Materials and Design*, 29 : 546-553 (2008).
17. Rubio, J.C., Abroa, A.M. Correia, A.E. and Davim J.P. “Effect of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: Evaluation of the delamination factor”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48: 715-720 (2008).
18. Sakuma Keizo, Seto Masafumi, Taniguchi Masaki, Yakoo Yoshimichi, “Tool wear in cutting carbon fiber reinforced plastics”, *Bulletin of the JSME*, 28 (245), 2781-2788 (1985).
19. Melkote, N., Lanz, W., Kotnis, A., “Machinability of rapid tooling composite board”, *Journal of Materials Processing Technology*, 27 (2) : 242-245 (2002).
20. Rummenhöller, S., Werkstofforientierte Proze Bauslegung für das Frasen Kohlenstoffaserverstärkter kunststoffee, Doctoral Thesis, *Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule*, Aachen (1996).
21. Noh, S., An, S., Lee, E., “ A study on the cutting characteristics of galss fiber reinforced plastics with respect to tool materials and geometries.” *Journal of Materials Processing Technology* 68 : 60-67 (1997).
22. Zhang, L.C, Wang, X.M, “ An experimental investigation into the orthogonal cuttinh of unidirectional fibre reinforced plastics”, *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, 43 : 1015-1022 (2003).
23. Klocke, F., Würtz, C., “The use of PDC tools for machining fibre reinforced materials”, *Proc. Of the ECCM – 8*, Naples, 3-6 June: 509-515 (1998).
24. Köing, W., Rummenhöller, S., 1, Langfaserverstärkte Thermoplaste Frasen, *Ind-Anz*, 112 (101): 40-41 (1990).

25. J.Paulo Davim, Pedro Reis, Conceicao Antonio. "A study on milling of glass fiber reinforced plastics manufactured by hand-lay up using statical analysis (ANOVA)", *Composite Structures* 64 : 493-500 (2004).
26. J.Paulo Davim, Pedro Reis, "Damage and dimensional precision on milling carbon fiber - reinforced plastics using design experiments." *Journal of Material Processing Technology* 160 : 160 – 167 (2005)
27. Jonardhan, P., " Tool wear of diamond interlocked tools in routing of CFRP composites" , *Bangalore University Mechanical Engineering Department, Karnataka – India* (2000)
28. Armaplast A.Ş. Gebze- Kocaeli (2007).
29. Fredrick, T., Wallenberger, J., Watson, C., Hong, L., " Glass Fibers" *ASM Metals Handbook – Composites* 21 78-79 (2001).
30. Pepper, T., "Polyester Resins" *ASM Metals Handbook - Composites* 21 223-231 (2001).
31. SECO Tools, "End mill catalogue", 117-121-135 (2006).
32. İnternet: Taksan Takım Tezgahları Sanayi A.Ş. "TMC 500V tezgahının teknik özellikleri". <http://www.taksan.com.tr/trtaksan/indextr.htm>, (2009).
33. İnternet: Mitutoyo U.S.A. Katolog 2007, "Komparatörün teknik özellikleri". <http://www.mitutoyo.com/pdf/F.pdf>, (2009).
34. İnternet: İNFOTEK ölçü cihazları bilgisayar sistemleri, "Takometrenin teknik özellikleri". <http://www.infotek.com.tr/tes/rm-1500.htm>, (2009).
35. İnternet: Mahr, " Marsurf PS1 yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri" <http://www.mahr.com/scripts/relocateFile.php?ContentID=11037&NodeID=10778&FileID=9060&ContentDataID=31629&save=0> (2009).
36. Teti, R., "Machining of Composite Materials", *Annals of the CIRP* 51 (2) : 611-624 (2002).
37. Turan, M., "Tabakalı Kompozit Malzemelerde Yüksek Hızlı Darbe Hasarı", *Mühendis ve Makine* 48 (575) : 1-8 (2000)
38. Wiley, J & Sons, Inc. M P Groover, "Theory of Metal Machining" *Fundamentals of Modern Manufacturing* 3/e (2007)
39. Medraj, M., Mech. "Machining forces and power" *Eng. Dept. - Concordia University* Mech 421/6511 lecture 19/17

ÖZGEÇMİŞ

Ömer ERKAN 1984 yılında İzmir’ de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. İzmir Atatürk Anadolu Teknik Lisesi Makine Bölümünden mezun olmasının akabinde 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Talaşlı Üretim Öğretmenliğine girdi. 2006 yılında “iyi” derece ile mezun olduktan sonra aynı yıl Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalında lisansüstü eğitimine başladı. Eğitimine Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Gazi Osman Paşa Mahallesi, 5467 Sokak No:17/2
Çamdibi/Bornova/İZMİR

Tel: (0506) 563 87 98

E-Posta: omer.erkana@yahoo.com.tr