

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARININ
FREZELEMEDEKİ PERFORMANSININ
ARAŞTIRILMASI

MURAT DAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2009

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARININ
FREZELEMEDEKİ PERFORMANSININ
ARAŞTIRILMASI

MURAT DAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE
2009

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Frezelemedeki Performansının Araştırılması.

YAZAR ADI : Murat DAL

Frezeleme, talaşlı imalatta en sık kullanılan yöntemlerden birisidir. CNC teknolojisinin gelişmesiyle bu yaygınlık daha da artmaktadır. Önceleri frezeleme ile sadece yüzey silme, kanal açma gibi basit işlemler yapılırken, işlenen malzeme türleri de bu oranda kısıtlı idi. Ancak teknolojinin gelişmesi ile her geçen gün yeni malzeme türlerinin imalatta kullanılmaya başlanması bazı ihtiyaçları da beraberinde getirmiştir. Bunlar takım-malzeme çiftinin uyumlu çalışması, yüksek kesme hızları ve ilerlemeler, üretim sürecinin kısıtlılığı ve üretimin kalitesidir. Bu gereksinimleri karşılamak için çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bu tezde, geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının frezelemedeki performansının araştırılması için deneyler yapılmıştır. Deneyde düzlem yüzeyin aynı yönlü kesme yöntemi ile son paso işlemesi yapılarak kesme kuvvetlerinin, takım aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi yapılmıştır. Kesme hızının, ilerlemenin, kesme derinliğinin, kesme sıvısı tipinin etkileri araştırılmıştır. Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 316 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Kesici takım olarak 16 mm çapında 2 ağızlı değiştirilebilir uçlu düz freze çakısı kullanılmıştır. Kesme sıvısı olarak 6 farklı tip sıvı kullanılmıştır. Frezeleme esnasında kesme kuvvetleri Kistler 9257B dinamometre ile ölçülmüştür. Kuvvet datası DAQ kartı ve Dynoware kullanıcı ara yüzü yardımıyla elde edilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Deneysel data Minitab yazılımı yardımıyla işlenmiştir. Frezelenen parçanın yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo Surf test SJ 301 ile ölçülmüştür. Her durumda yüzey pürüzlülüğü için üç ölçüm alınmıştır ve analiz için ortalama değer kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin kurulumu Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak belirlenmiştir. Kesme parametrelerinin etkisini analiz etmek için ortogonal dizin, sinyal/gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Taguchi deneylerinin dışında sabit devir sayısı deneyleri de yapılmıştır.

SUMMARY

NAME OF THE THESIS : Investigation of Vegetable-Based Cutting Fluids Performance in Milling.

AUTOR NAME : Murat DAL

Milling is one of the most important metal cutting processes that has been widely used in the manufacturing area. This usage has been encreasing by the developing CNC Technologies. Primarily, milling was only used simple operations that plain and slot milling so cutting material types were constraint in this ratio. While the developing Technologies, materials that used in the manufacturing area are incresing. So that some needs are nessecary. The needs are tool and material relation, higher cutting speed and feed, production cycle time limitation and product quality. In this frame experimental studies has been doing and especially developing cutting fluids and tool coating Technologies area.

In this thesis, the effects of vegetable based cutting fluids and cutting parameters on milling forces, tool wear and surface roughness in the conventional milling were experimentally investigated. The effects of cutting speed, feed rate, cutting depth, cutting-fluid type were investigated. In the experiments, AISI 316 stainless steel was used as workpiece material. 16 mm diameter with two indexible inserts tool was used as cutting tool. Six types of cutting fluids were used. The milling forces were measured with a Kistler 9257B dynamometer. Force data was saved on a personal computer, acquired via a DAQ Card and Dynoware user interface. The experimental data was processed with the aid of Minitab software. The surface roughnesses of the part were measured with a Mitutoyo Surftest SJ 301. Three measurements were taken for the surface roughness in each case and the average value was used for analysis. The settings of milling parameters were determined by using the Taguchi experimental design method. An orthogonal array, the signal-to-noise (S/N) ratio, and the analysis of variance (ANOVA) were employed to analyze the effect of milling parameters. Besides Taguchi experimental design method, constant spindle speed experiments were conducted.

TEŞEKKÜR

Bütün hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini ve yardımlarını benden esirgemeyen aileme ve sevgili eşime sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi, tecrübe, yardım ve hoşgörüsünü benden eksik etmeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e, teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim. Bitkisel esaslı kesme sıvılarını geliştiren Kimya bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Erhan DEMİRBAŞ'a ve değerli asistanlarına, deneysel çalışmalardaki yardımlarından dolayı proje asistanı Bilgin Tolga ŞİMŞEK ve Araştırma Görevlisi Emel KURAM arkadaşşıma teşekkür ederim.

Bu tez 107M164 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	2
3. FREZELEME	7
3.1 Frezeleme Tezgahları	8
3.2 Temel Frezeleme İşlemleri	9
3.3 Freze Kesici Takımları	10
3.4 Frezelemede Kesme Hızı Ve İlerleme	11
4. KESME SIVILARI	14
4.1. Kesme Sıvılarının Özellikleri	14
4. 2. Kesme Sıvılarının Fonksiyonları	15
4. 3. Kesme Sıvılarının Geliştirilmesi	17
4. 4. Kesme Sıvılarında Yağlayıcılık Mekanizmaları	17
4. 4. 1. Hidrodinamik Yağlayıcılık	18
4. 4. 2. Sınır Yağlama Mekanizması	18
4. 4. 3. Aşırı Basınç (EP) Yağlama	18
5. KESME KUVVETLERİ	19
5.1 Kesme Kuvveti Ölçüm Teknikleri	23
6. AŞINMA VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	24
6.1. Aşınma	24
6.1.1. Aşınma Mekanizmaları	27
6.1.1.1. Abrasyon Aşınma	28
6.1.1.2. Difüzyon Aşınma (Atomik Yer Değiştirme)	29
6.1.1.3. Oksidasyon Aşınma	29
6.1.1.4. Yorulma İle Aşınma	30

6.1.1.5. Adhezyon (Yapışma) Aşınma	30
6.1.2. Frezelemede Tipik Takım Aşınma Türleri	31
6.2. Yüzey Pürüzlülüğü	33
6.2.1. Yüzey Tanımları	33
6.2.2 Son Yüzeyde Oluşan Hatalar	34
6.2.3 Yüzey Profilleri	36
6.2.3.1 Yüzey Profil Parametreleri	36
6.2.4. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	40
7. DENEYSEL PROSEDÜR	41
7. 1. Deney Düzeneği	41
7. 2. Deney Tasarımları	44
7. 2. 1. Taguchi Deney Tasarımı	44
7. 2. 2. Kesme Hızının Etkisini Belirleme Deneyleri	46
8. DENEY SONUÇLARI	47
8. 1. Kesme Kuvvetleri Sonuçları	47
8. 1. 1. Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kesme Kuvvetleri	50
8. 1. 2. Kesme Hızı Deneylerinde Ölçülen Kesme Kuvvetleri	51
8. 2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	59
8. 2. 1. Taguchi Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü	59
8. 2. 2. Sabit Kesme Hızı Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü	60
8. 3. Takım Aşınması Sonuçları	62
8. 3. 1. Taguchi Deneylerindeki Takım Aşınmaları	62
8. 3. 2. Sabit Kesme Hızı Deneylerindeki Takım Aşınmaları	65
9. DENEY SONUÇLARININ ANALİZLERİ	69
9. 1. Regresyon Analizi	69
9. 2. S/N Oranının Analizi	72
9. 3. Varyans Analizi (ANOVA)	78
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
10. 1. Sonuçlar	85
10. 2. Öneriler	92

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SCF-II	: Ayçiçek Esaslı Bitkisel Kesme Sıvısı
CCF-II	: Kanola Esaslı Bitkisel Kesme Sıvısı
CSCF-II (EP)	: Ham Ayçiçek esaslı Bitkisel Kesme Sıvısı EP Katkılı
BCF-III	: 4 lü Karışım Bitkisel Kesme Sıvısı
CVCF	: Ticari Bitkisel Kesme Sıvısı
CSSF	: Ticari Yarı Sentetik Kesme Sıvısı
V_c	: Kesme Hızı (m/dak)
V_f	: İlerleme (mm/dak)
z	: Ağız Sayısı
n	: Devir (dev/dak)
ae	: Kesme genişliği (mm)
ap	: Kesme Derinliği (mm)
D_w	: Efektif Kesme Çapı (mm)
L_o	: Gerçek Profil Uzunluğu (mm)
f_z	: Ağız başına ilerleme (Ağız Başına Talaş yükü - mm)
BUE	: Kesici Kenara Talaş Yapışması
b	: Talaş Genişliği (mm)
H	: Talaş Kalınlığı (mm)
ks	: Özgül Kesme Kuvveti (N/mm^2)
γ	: Talaş Açısı
λ	: Eğim Açısı
K_t	: Düzeltme Faktörü
F_a	: Eksenel Kuvvet(N)
F_r	: Radyal kuvvet(N)
R_a	: Ortalama Pürüzlülük(μm)
R_q	: RMS ortalama pürüzlülük
R_p	:En yüksek Tepe
R_v	: En Derin Çukurluk
R_t	: Toplam Yükseklik
P_c	: Tepe Sayısı
S_m	: Ortalama Dağılım

HSC	: Yüksek Noktalar Sayısı
Z	: Kesici Ağız Sayısı
Ze	: Aynı anda Talaş kaldıran kesici uç sayısı
Φ_s	: Kesici uçlar arasındaki Açısı
Δa	: Ortalama Mutlak Eğim
Δq	: RMS ortalama Eğimi
L	: Örneklem Uzunluğu(mm)
F _x	: X ekseninde Ölçülen Kesme Kuvveti (N)
F _y	: Y ekseninde Ölçülen Kesme Kuvveti (N)
F _z	: Z ekseninde Ölçülen Kesme Kuvveti (N)
S/N	: Sinyal/Gürültü Oranı
LVDT	: Diferansiyel Transformatörler
F _{zz}	: Bir dişe karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti (N)
Q	: Talaş Kaldırma Miktarı (cm ³ /dak)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 İlk universal freze tezgahı	7
Şekil 3.2 Frezeleme metotları ve freze çakıları	9
Şekil 3.3 a) Zıt yönlü kesme, b) Aynı yönlü kesme	9
Şekil 3.4 İşleme tipine göre bazı freze çakıları	11
Şekil 3.5 Klasik frezeleme işlemi	13
Şekil 3.6 Profil frezeleme işlemi	13
Şekil 4.1 Yüzey gerilimi yüksek ve düşük iki damla yağ	16
Şekil 5.1 Alın frezelemede talaş kaldırma kuvvetleri	20
Şekil 5.2 Çevresel frezelemede talaş kaldırma kuvvetleri	23
Şekil 6.1 Kesici kenardan geçen talaş miktarı	25
Şekil 6.2 Tipik aşınma bölgeleri	26
Şekil 6.3 Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları	28
Şekil 6.4 Yüzey kalitesini tanımlamak için standart terminoloji ve semboller	33
Şekil 6.5 Gerçek Yüzey	34
Şekil 6.6 Geometrik Yüzey	34
Şekil 6.7 Çeşitli işleme prosesleriyle oluşan pürüzlülük uzantıları	35
Şekil 6.8 Yüzey profil tanımlaması	36
Şekil 6.9 Ortalama pürüzlülük (Ra) tanımlaması	37
Şekil 6.10 Aynı Ra değerine sahip yüzey profilleri	37
Şekil 6.11 R_p , R_v ve R_t pürüzlülük tanımlaması	38
Şekil 6.12 Yüksek noktalar sayısı (HSC) tanımlaması	39
Şekil 6.13 Ortalama dağılım (S_m) tanımlaması	39
Şekil 7.1 Deckel Maho DMU 60 P beş eksen işleme merkezi	41
Şekil 7.2 KISTLER 9257B dinamometre.	42
Şekil 7.3 KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör.	43
Şekil 7.4 Veri toplama kartı.	44
Şekil 8.1 Kesme kuvveti-zaman grafiği.	47
Şekil 8.2 Sabit kesme hızındaki kesme kuvveti-zaman grafiği.	48
Şekil 8.3 Sabit kesme hızındaki kesme kuvveti-zaman grafiği	49
Şekil 8.4 Sabit kesme hızlarında ölçülen ortalama F_x kuvvetleri	53
Şekil 8.5 Sabit kesme hızlarında ölçülen ortalama F_y Kuvvetleri	53

Şekil 8.6 Sabit kesme hızlarında ölçülen ortalama Fz Kuvvetleri	54
Şekil 8.7 Sabit kesme hızlarında ölçülen Fx, Fy ve Fz ortalama değerleri	54
Şekil 8.8 Kesme uzunluğu-kesme kuvveti grafiği (V: 150 m/dak)	57
Şekil 8.9 Kesme uzunluğu-kesme kuvveti grafiği (V: 190 m/dak)	57
Şekil 8.10 Kesme uzunluğu-kesme kuvveti grafiği (V: 230 m/dak)	58
Şekil 8.11 Sabit kesme hızı–Ra pürüzlülük grafiği	61
Şekil 8.12 Yazılım destekli Mikroskopla ölçülen örnek bir takım aşınması	62
Şekil 8.14 Taguchi deneylerinde 3600 mm uzunluktaki takım aşınmaları	64
Şekil 8.15 Kesme hızı-kesici uç aşınması grafiği	65
Şekil 8.16 Kesme uzunluğu-kesici uç aşınması grafiği (V: 230 m/dak)	67
Şekil 8.17 Kesme hızı V: 230 m/dak için 1200 mm’deki uç aşınmaları	68
Şekil 9.1 SCF-II sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	73
Şekil 9.2 CCF-II sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	73
Şekil 9.3 CSCF-II (EP) sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	74
Şekil 9.4 BCF-III sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	74
Şekil 9.5 CVCF sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	75
Şekil 9.6 CSSF sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	75
Şekil 9.7 SCF-II sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	76
Şekil 9.8 CCF-II sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	76
Şekil 9.9 CSCF-II (EP) sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	76
Şekil 9.10 BCF-III sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	77
Şekil 9.11 CVCF sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	77
Şekil 9.12 CSSF sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	77
Şekil 10.1 Kesme hızı-kesici uç aşınması grafiği	87
Şekil 10.2 Ortalama kesici uç aşınması grafiği	88

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 5.1 Özgül kesme kuvvetinin (k_s) değerleri	21
Tablo 5.2 k_T Faktörünün değerleri	22
Tablo 7.1 AISI 316 paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).	42
Tablo 7.2 KISTLER 9257B dinamometrenin teknik özellikleri	43
Tablo 7.3 KISTLER 5070A11100 amplifikatörün teknik özellikleri.	43
Tablo 7.4 Veri toplama kartının teknik özellikleri.	44
Tablo 7.5 Frezeleme deneylerinde faktörler ve seviyeler.	45
Tablo 7.6 Parametrelerin değerleri.	45
Tablo 7.7 Kesme hızının etkisini belirleme deneyleri.	46
Tablo 8.1 Taguchi deneylerinde ölçülen ortalama F_x değerleri	50
Tablo 8.2 Taguchi deneylerinde ölçülen ortalama F_y değerleri	50
Tablo 8.3 Taguchi deneylerinde ölçülen ortalama F_z değerleri	51
Tablo 8.4 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen ortalama F_x değerleri	52
Tablo 8.5 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen ortalama F_y değerleri	52
Tablo 8.6 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen ortalama F_z değerleri	52
Tablo 8.7 Sabit kesme hızı deneylerindeki en iyi kesme hızı karşılaştırması	56
Tablo 8.8 Taguchi deneylerinde ölçülen R_a pürüzlülük değerleri	59
Tablo 8.9 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen R_a pürüzlülük değerleri	60
Tablo 8.10 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen R_a pürüzlülük değerleri.	60
Tablo 8.11 Taguchi deneylerinde ölçülen kesici uç aşınması ortalama değerleri	62
Tablo 8.12 Sabit kesme hızı deneylerindeki kesici uç aşınması	65
Tablo 9.1 Taguchi deneylerindeki kesme kuvveti regresyon analiz sonuçları	71
Tablo 9.2 Taguchi deneylerindeki yüzey pürüzlülüğü regresyon analiz sonuçları	71
Tablo 9.3 Taguchi deneylerindeki kesme kuvveti için S/N sonuçları	78
Tablo 9.4 Taguchi deneylerindeki yüzey pürüzlülüğü için S/N sonuçları	78
Tablo 9.5 SCF-II sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	79
Tablo 9.6 CCF-II sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	79
Tablo 9.7 CSCF-II (EP) sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	80
Tablo 9.8 BCF-III sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	80
Tablo 9.9 CVCF sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	80
Tablo 9.10 CSSF sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	81

Tablo 9.11 SCF-II sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.	81
Tablo 9.12 CCF-II sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.	82
Tablo 9.13 CSCF-II (EP) sıvısı için yüzey pürüzlülüğü ANOVA tablosu.	82
Tablo 9.14 BCF-III sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.	82
Tablo 9.15 CVCF sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.	83
Tablo 9.16 CSSF sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.	83
Tablo 9.17 Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları	84
Tablo 9.18 Kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etki oranları	84
Tablo 10.1 Taguchi deneylerindeki kesme kuvveti regresyon analiz sonuçları	85
Tablo 10.2 Taguchi deneylerindeki yüzey pürüzlülüğü regresyon analiz sonuçları	85
Tablo 10.3 Taguchi deneylerindeki kesme kuvveti için S/N sonuçları	86
Tablo 10.4 Taguchi deneylerindeki yüzey pürüzlülüğü için S/N sonuçları	86
Tablo 10.5 Kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etki oranları	86
Tablo 10.6 Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları	86
Tablo 10.7 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen kesici uç aşınması	87
Tablo 10.8 Taguchi deneylerindeki kesici uç aşınması ortalama değerleri	87
Tablo 10.9 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen Ra pürüzlülük değerleri	88
Tablo 10.10 Sabit kesme hızlarındaki en iyi kesme hızı karşılaştırması	88
Tablo 10.11 Yapılan deneylerin genel sonuç tablosu	89
Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kesme Kuvveti Regresyon Analiz Sonuçları	89
Taguchi Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü Regresyon Analiz Sonuçları	89
Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kesme Kuvveti İçin S/N Sonuçları	89
Taguchi Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü İçin S/N Sonuçları	90
Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetine Etki Oranları	90
Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları	90
Sabit Kesme Hızı Deneylerinde Ölçülen Kesici Uç Aşınması	90
Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kesici Uç Aşınması Ortalama Değerleri	91
Sabit Kesme Hızı deneyleri sonucu ölçülen Ra pürüzlülük değerleri.	91
Sabit Kesme hızlarında Kesme sıvılarının en iyi Kesme hızı Karşılaştırması	91

1. GİRİŞ

Talaşlı imalatta en sık kullanılan metotlardan birisi olan frezeleme, prensip olarak dönen çok uçlu bir kesici takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Günümüzde frezeleme işleminde takım, hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir [Çakır, 2000].

Talaşlı imalatta kesme sıvılarının kullanılması 200 yıl öncesine dayanmaktadır. 1868 yılında W. H. Northcott'un Londra'da yazdığı 'A Treatise on Lathes and Turning (Tornalar ve Tornalama Üzerine Bir İnceleme)' kitabı bu konuda yazılan ilk önemli eser olarak kabul edilebilir. Bundan yaklaşık 15 yıl sonra F. W. Taylor kesme bölgesine yoğun bir şekilde su uygulayarak kesme hızının %30-40 arttırılabileceğini göstermiştir [Malyer, 2001]. Bu çalışmadan sonra kesme sıvıları ile ilgili pek çok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Kesme sıvısı teknolojisi; mineral, bitkisel ve hayvansal yağların kullanımını kapsar.

Günümüzde mineral yağların geri kazanım maliyetlerinin yüksek olması ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle bitkisel ve hayvansal esaslı yağlar önem kazanmaya başlamıştır. Bu nedenle bu çalışmada TÜBİTAK projesi kapsamında özel olarak geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının ticari kesme sıvıları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Bir kesme sıvısının performansı; kesme kuvvetleri, takım aşınması, sıcaklık, talaş şekli ve rengi, yüzey kalitesi ve tezgah titreşimi gibi parametreler gözlenerek belirlenebilir. Bu çalışmada, farklı kesme sıvıları ile farklı devir sayısı ve ilerleme değerlerinde düzlem yüzeyin aynı yönlü son paso işlemesi yapılarak iş parçasında meydana gelen yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırmada oluşan kuvvetler ve kesici takım aşınmasını ölçülmüştür. Sonuçlar Minitab yazılımı vasıtasıyla istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için kesme parametrelerine dayanan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Kesme hızının, ilerlemenin, kesme derinliğinin, kesme sıvısı tipinin etkileri araştırılmıştır. Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 316 paslanmaz çelik kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Kesme sıvısı tabiri, imalatta yağlama ve soğutmayı açıklamak için endüstride kullanılan bir terimdir. Soğutucular genellikle su bazlı kimyasalları (sülfür, klorin ve fosfor) içeren sıvılardır. Bunlar genellikle kesme sırasında oluşan ısının etkisini azaltmak için kullanılırlar ve takım ömrünün artırılmasına etki ederler. Yağlayıcılar ise yağ esaslı sıvılar olarak bilinirler ve talaş ile takım arasındaki etkileşimde sürtünme katsayısını azaltarak elde edilecek olan iş parçasının daha az pürüzlü olmasını sağlarlar.

Vieira et al'un yapmış olduğu çalışmada sementit karbür takımlarla AISI 8640 çeliğin yüzey frezelenmesinde sentetik, yarı sentetik ve mineral kesme yağlarının performansının incelenmesi yapılmıştır. Kuru kesme deneyi performans karşılaştırması için yapılmıştır. İşleme esnasında takım ömrü, güç tüketimi, ve yüzey pürüzlülüğü gibi parametreler izlenmiştir. Kesme sıvılarının soğutma kabiliyetini ölçmek için AISI 1020 çelik tornalanarak kesme sıcaklığı ölçülmüştür. En yüksek kesme sıcaklığı sırasıyla; kuru kesme, sentetik, mineral ve yarı sentetik şeklindedir. Fakat güç tüketimi bunun tersi şeklindedir. En iyi takım ömrü ise sırasıyla; kuru kesme, sentetik ve yarı sentetik yağlarla elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ise kuru kesmede, sulu kesmeye oranla oldukça az bir farkla daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [Vieira et al, 2001].

Deneysel çalışmada 110x110x500 mm ebadında ve 299 HV sertliğinde AISI 8640 çelik malzeme kullanılmıştır. Kullanılan kesici takım; değiştirilebilir uçlu ve 80 mm çapındadır. Kullanılan uçlar; P45 kalite 3 kaplama katmanı (TiN-TiC-TiN) olan SEMN 1204AZ tipi bir kesici uçtur. Kullanılan kesme parametreleri şu şekildedir.

Kesme Hızı: $V(m/dak)$: 100 - 220

İlerleme Hızı: $F_z (mm/diş)$: 0.1 – 0.25

Kesme Derinliği: $a_p (mm)$: 1 – 2.5

Isı ölçümü için yapılan tornalama işleminde AISI 1020 çelik kullanılmış ve kesme parametreleri; sabit ilerleme hızı(V_f): 0.112 mm/dev, sabit kesme derinliği(a_p): 0.5 mm ve kesme hızları(V): 49, 62, 99, 124, 156 ve 187 şeklindedir [Vieira et al, 2001].

Xavior and Adithan AISI 304 malzemesinin karbür uçla tornalanması esnasında kesme sıvılarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek için deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmada Hindistan cevizi yağının performansı, emülsiyon ve saf kesme yağları ile karşılaştırılmıştır. Hindistan cevizi yağı takım aşınmasını azaltmada ve yüzey kalitesini iyileştirmede diğer iki kesme sıvısından daha iyi sonuç vermiştir. Hindistan cevizi yağı metal kesme endüstrisinde kullanılan diğer bitkisel esaslı kesme sıvıları ile karşılaştırılabilecek derecede termal ve oksidatif kararlılığa sahip olması nedeniyle bu çalışmada kullanılmıştır [Xavior and Adithan, 2009].

Xavior and Adithan Taguchi deney tasarım metodunu kullanmışlardır. Deneylerde kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme ve kesme sıvısı tipi parametre olarak düşünülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını etkileyen parametreler ANOVA prosedürü kullanılarak belirlenmiştir. Deney sonucunda; ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde, kesme hızının da takım aşınması üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda kesme sıvısının hem yüzey pürüzlülüğü hem de takım aşınması üzerinde önemli ölçüde etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Minitab-15 yazılımı kullanılarak serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü için çoklu lineer regresyon modelleri geliştirilmiştir [Xavior and Adithan, 2009].

Abou-El-Hossein 304 paslanmaz çeliğin frezelenmesinde kesme sıvısının etkisini araştırmıştır. Çalışmalarında iki grup kesme testi uygulamıştır. Bunlardan birisi kesme sıvısıyla ve diğeri ise kuru kesmeyle. Kullanılan uçlar çok katman kaplı karbür uçtur. Takım ömrü ve takım aşınması arasındaki bulgular karşılaştırılmıştır. Kesme sıvısının düşük kesme hızlarında etkili olduğu ifade edilmiştir. Kesme hızını artırmakla soğutma sıvısının takım ömrü üzerindeki etkisi azalmıştır. Kuru kesmede ise talaş yığılması ve uç aşınması başlıca kusurlardır. Sulu

kesmede ise çentik aşınması ve kesme kenar oyukluğu meydana gelmiştir. Ayrıca bu çalışma, imalat yapan mühendisler için kesme şartlarına ilişkin oldukça önemli bilgiler vermektedir [Abou-El-Hossein, 2008].

Abou-El-Hossein tarafından yapılan çalışmanın deneysel prosedürü şu şekildedir. Kuru ve sulu olmak üzere iki şekilde kesme yapılmıştır. Kullanılan malzeme 50.8x50.8x120 mm ebatlarında bir AISI 304 paslanmaz çeliktir ve ortalama sertliği 88 HRB'dir. Takım kırılmasını önlemek için parçanın giriş kenarında 30° açılı pah yapılmıştır [Abou-El-Hossein, 2008].

Frezeleme işlemleri Okuma CNC işleme merkezinde yapılmıştır. Takım ömrünü test etmek için ISO 3685 standardına göre testler yapılmıştır. Deneysel hataları elimine etmek için her kesim 3 kez tekrarlanmıştır. Aşınmaları ölçmek için her 230 mm kesme uzunluğunda kesme durdurulmuş ve görüntü işlemeli bir optik mikroskopta yanak (flank) aşınması ölçülmüştür. Kesme deneyi, yanak aşınmasının 0.3 mm ulaştığında tamamen durdurulmuştur. Bütün deneyler aşağıdaki kesme parametrelerine göre yapılmıştır.

Kesme Hızı: $V(m/dak)$: 150 – 190 – 225 – 260
İlerleme Hızı: $F_z(mm/dev)$: 0.1 (sabit)
Kesme Derinliği: $a_p(mm)$: 2 (sabit)
Yana Kayma (mm) : 10 (sabit)

Kullanılan tungsten karbür uçlar PVD tekniğiyle kaplanmış TiN-TiC-TiN kaplı uçlardır. Uç tipi kennametal ADKT 1035 PDSRLC ve kalite KC725M'dir. Kullanılan takım çapı 12 mm ve tek değiştirilebilir uçludur. Sulu kesme işleminde kullanılan sıvı ise CIMSTAR 40B'dir [Abou-El-Hossein, 2008].

De Chiffre and Belluco tornalama, delik delme, raybalama ve kılavuz çekme operasyonlarında kesme sıvısının performansını değerlendirmişlerdir. Değerlendirilen parametreler takım ömrü, ürün kalitesi (ölçüsel hassasiyet ve yüzey doğruluğu) ve kesme kuvvetleridir. İş parçası malzemesi olarak östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. 3 farklı EP katkısız %5 konsantrasyonlu su karışabilir ürünler ve 4 farklı kesme yağı araştırılmıştır. İş parçası malzemesi olarak östenitik paslanmaz

çelik kullanılması halinde, farklı kesme şartları altında farklı operasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlar bitkisel yağ esaslı ürünlerin üstün veya mineral yağ esaslı ürünlerle eşit olduğunu göstermiştir [De Chiffre and Belluco, 2002].

Belluco and De Chiffre yeni geliştirilmiş bitkisel esaslı kesme yağlarının raybalama ve kılavuz çekmede yüzey yapısı ve parça doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ölçülen parametreler yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve mikro yapısal analizdir. Bu çalışmada kullanılan bitkisel esaslı yağlar raybalama ve kılavuz çekmede mineral yağlardan daha iyi performans göstermiştir. Yüzeyden 15 µm mesafedeki mikro sertlikteki artış raybalamada %100 ve kılavuz çekmede %125'dir. Daha iyi sıvı daha az gerilme sertleşmesi, daha az yüzey pürüzlülüğü, daha az plastik olarak deforme olmuş alt-yüzey tabaka kalınlığı ve daha iyi parça doğruluğu göstermiştir [Belluco and De Chiffre, 2002].

TSAO yapmış olduğu çalışmada A6061 P-T651 alüminyum alaşımının frezelenmesinde Sülfirik borik asit ester kesme sıvısı ve tungsten karbür frezenin kesme performansını incelemiştir. Deneyler; çeşitli kesme şartlarında, kesme kuvvetlerine karşı yanak aşınmasının karşılaştırmasını yaparak sonuçlandırılmıştır. Sonuçlar; esterli kesme sıvısının %12.5 oranında takım aşınmasını azalttığını ve sert tungsten karbür kaplamanın kesme kuvvetini %10 oranında düşürdüğünü göstermiştir. Bunlardan başka ortalama yanak ve kesme kenarı aşınması kaplanmamış kesiciye oranla %38.7 daha az ve kuru kesmeye oranla sulu kesmede ise %68.7 daha azdır.

Çalışmada 6 mm çapında, iki ağızlı ve helis açısı 30° derece olan parmak freze kullanılmıştır. Kesme sıvısı ise borik asit ve alkol karışımının bir formu olan borik asit esterdir. Reaktifliğini artırmak için biraz sülfirik asit eklenerek katalizör işlevi yapılması sağlanmıştır. Kesme sıvısı çözeltisi %7.5 oranında hazırlanmıştır. Akış oranı 20 ml/h ve basıncı 6 kg/cm dir. Kesme ve yağlama yapması için takım ve iş parçası üzerine doğrudan uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan kesme şartları aşağıdaki gibidir.

Devir : n (dev/dak)	: 4000 – 4500 – 5000
İlerleme Hızı: Fz (mm/diş)	: 0.0375 – 0.05 – 0.0625
Kesme Sıvısı	: Kuru ve Minimum yağlama(ML)
Kaplama	: Kaplamasız ve TiAlN çok katmanlı

Kesme kuvvetleri her 100 mm kesme uzunluğunda ölçülmüştür. Frezeleme için LEADWELL MCV-610AP dik işleme tezgahı kullanılmıştır. Kesme kuvvetlerini ölçmek için 4 komponentli piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır [TSAO,2007].

Axinte et al, kesme sıvısının tornalamada takım ömrü üzerindeki etkisini araştırmıştır. Referans kesme sıvısı olarak mineral esaslı yağ ve 5 tane farklı seviyede katkılı bitkisel esaslı kesme sıvısı kullanılmıştır. İş parçası olarak sertliği 147 HV olan AISI 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır. Kesici takım olarak kaplamalı karbür kullanılmıştır. Bu çalışmada kesme verileri değişimi, aşınma değerleri ve kesme zamanı değerleri dikkate alınmıştır. Her bir kesme sıvısı için genişletilmiş Taylor denklemi regresyon analizi ile bulunmuştur [Axinte et al, 2001].

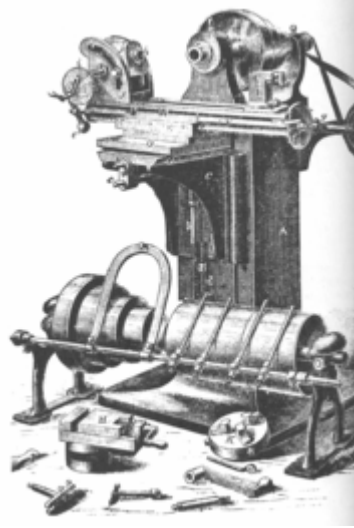
Yang and Chen çalışmalarında parmak frezeleme işleminde optimum yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için deneysel çalışma yapmışlardır. Bu araştırmanın iki amacı vardır. Birincisi; her bir frezeleme tezgahının proses kontrolünde Taguchi parametre tasarımının sistematik bir prosedürünü göstermek, ikincisi; düz frezeleme operasyonlarında Taguchi parametre tasarımını kullanarak optimum yüzey pürüzlülüğünü belirlemektir [Yang and Chen, 2001].

Yüzey pürüzlülüğü ölçülmesi için birçok metot vardır. Numune blokları kullanarak gözle, elle, mikroskopla, dokunmatik aletlerle, profillemeye aletleri ile ölçülebilir. Bu çalışmada maliyeti ve kolay kullanımından dolayı taşınabilir tip dokunmatik bir alet kullanılmıştır.

3. FREZELEME

Frezeleme, prensip olarak dönen çok uçlu bir kesici takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Günümüzde frezeleme işleminde takım, hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir. Frezeleme genellikle düzlemsel yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesinde kullanılan bir işlemdir [Çakır, 2000].

İlk üniversal freze tezgahı (Şekil 3.1) 1861 yılında Joseph R. Brown (Brown&Sharp) tarafından helisel matkapların helisini yapmak için icad edilmiştir. 1864 yılında ise Brown formu freze çakıları geliştirmiş ve patentini almıştır [Woodbury, 1972].



Şekil 3.1 İlk üniversal freze tezgahı

Gelişen teknoloji sayesinde ilk olarak CNC teknolojisi 2. dünya savaşı sonrasında endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayarların imalata dahil edilmesiyle sadece basit parçalar yapan freze tezgahları oldukça kompleks parçaları çok basit bir şekilde yapar hale gelmiştir.

Frezeleme işlemi sadece gerçekleştirilen işlem tipleri açısından değil aynı zamanda kullanılan tezgah, takım ve işlenen iş parçası açısından da büyük farklılıklar göstermektedir.

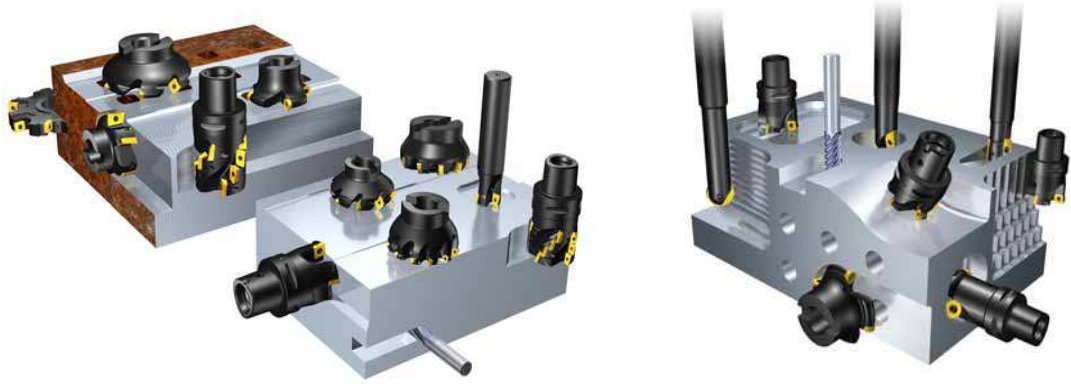
3.1 Frezeleme Tezgahları

Frezeleme işlemi yukarıda belirtildiği gibi kullanılan tezgah tipine göre da farklılık gösterir. Bu frezeleme tezgahları başlıca şu şekildedir [İpekçioğlu, 1982].

- 1- Konsollu Freze Tezgahları
 - a- Yatay Freze Tezgahları
 - b- Düşey Freze Tezgahları
 - c- Üniversal Freze Tezgahları
- 2- İmalat Freze Tezgahları
 - a- Tek Sütunlu Freze Tezgahları
 - b- Çift Sütunlu Freze Tezgahları
 - c- Kopya Freze Tezgahları
- 3- Yatay Delik Freze Tezgahları (Bohrwerk)
- 4- Dişli İşleme Tezgahları
 - a- Azdırma Dişli Tezgahları
 - b- Vargelleme Usuluyle Dişli Açma Tezgahı
 - c- Krameyer Biçimli Bıçakla Dişli Açma Tezgahı
- 5- NC Freze Tezgahları
- 6- CNC Freze Tezgahları

3.2 Temel Frezeleme İşlemleri

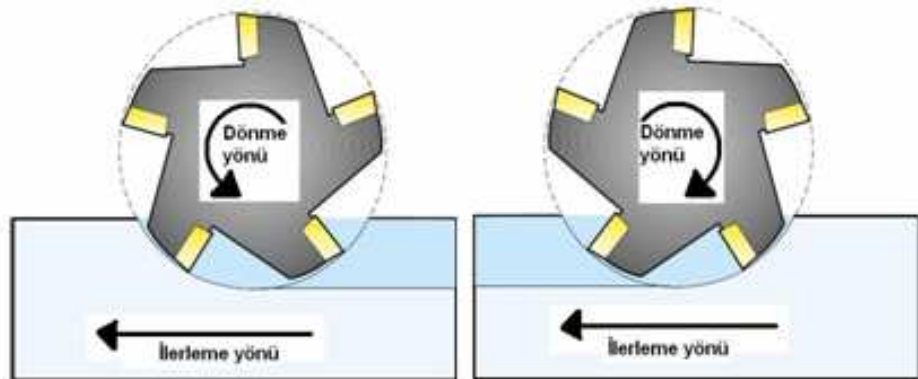
Frezeleme metodu ilerleme hareketinin tarzına ve imal edilen yüzeyin durumuna göre düzlemsel frezeleme, alın frezeleme, profil frezeleme ve kanal açma gibi değişik metotlara ayrılır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Frezeleme metotları ve freze çakıları

Frezeleme işlemlerinde en önemli iş takımının işe uygun olarak seçilmesi ve iş parçasının en uygun biçimde bağlanmasıdır. Talaş kaldırma işleminde gerek talaş yüklenmesini, gerekse sarsıntıyı karşılayacak şekilde bağlama yapmak şarttır. Frezeleme işleminde bazı parçalar tek takımla bazıları ise birden fazla takımla yapılır. Bu nedenle işlem yaparken kaba, orta kaba ve son paso olmak üzere talaş kaldırma işlemi sınıflandırılır ve talaş kaldırma işlemleri bu sınıflandırmaya uygun olarak yapılır [İpekçioğlu, 1982].

Frezelemede talaş kaldırma işlemi aynı yönlü ve zıt yönlü olmak üzere 2 gruba ayrılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 a) Zıt yönlü kesme, b) Aynı yönlü kesme

Aynı yönlü frezelemede freze çakısının kesme yönü ve iş parçasının ilerleme yönü aynı yöndedir. Freze çakısının işi parçasına batması esnasında, talaş kalınlığı en yüksektir. Aynı yönlü frezeleme işlemi avantajlıdır ve zıt yönlü frezelemeye göre daha ekonomiktir; fakat aynı yönlü frezeleme yapabilmek için, freze tezgahlarının boşluğu olmayan tabla miline sahip olması gerekir. Takımların ve sıkma aparatların (örneğin çıkıntısı olan saplı frezelerin) elastikiyetleri kaba ve ince talaş kaldırma esnasında zıt yönlü ve aynı yönlü farkı şekil hataları meydana getirir. Pozitif talaş açısından dolayı kesme kuvvetlerinin azaltılması ve rijit bir takım sıkma sisteminin uygulanması bu hataları azaltabilir.

Zıt yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü iş parçasının ilerleme yönüne karşı yönlendirilmiştir. Talaş meydana gelmeden önce, kayar ve kesici ağız iş parçasının yüzeyinde kazıma yapar. Bundan dolayı freze çakısının kesici ağızlarının serbest yüzey aşınması tipik bir aşınma şeklidir. Kesici ağızların malzemeyi kavrama yolu üzerinde talaşın kalınlığı ve kesme kuvveti büyür. Eğer, kum kalıntıları veya kaynak dikişleri gibi aşındırıcı tesirli yüzey bölgesi bulunan iş parçalarının işlenmesi gerekiyorsa, zıt yönlü frezeleme işlemi tatbik edilmelidir.

3.3 Freze Kesici Takımları

İşleme tipine göre freze çakıları şu şekildedir (Şekil 3.4)

- 1- Silindirik Freze Çakısı
- 2- Alın Freze Çakısı
- 3- Kanal Açma Freze Çakısı
- 4- Konik Alın Freze Çakısı
- 5- T-Kanal Freze Çakısı
- 6- Form Freze Çakıları (Konkav, Konveks)
- 7- Konik Saplı Helis Kanallı Parmak Freze Çakıları
- 8- Silindirik Saplı Parmak Freze Çakıları
- 9- Değiştirilebilir uçlu Freze Çakıları



Şekil 3.4 İşleme tipine göre bazı freze çakıları

İşlenen Malzemeye Göre freze çakıları şu şekildedir.

- 1- HSS takımlar
- 2- Sementit Karbür Takımlar
- 3- Kaplanmış Sementit Karbür Takımlar
- 4- Sermet Kesici Takımlar
- 5- Seramik Kesici Takımlar
- 6- Koronit Kesici Takımlar
- 7- CBN Kesici Takımlar
- 8- Çok Kristalli Elmas(PCD) Kesici Takımlar

3.4 Frezelemede Kesme Hızı Ve İlerleme

Kesme hızı, kesme esnasında kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir. Talaş kaldırma esnasında verilmesi gereken kesme hızı aşağıdaki faktörlere bağlı olarak değişmektedir;

- 1- İşlenecek malzeme,
- 2- Kesici takım malzemesi,
- 3- Talaş derinliği,
- 4- İlerleme miktarı,
- 5- Soğutma sıvısı,
- 6- Tezgah rijitliği ve tezgah tipi vb.

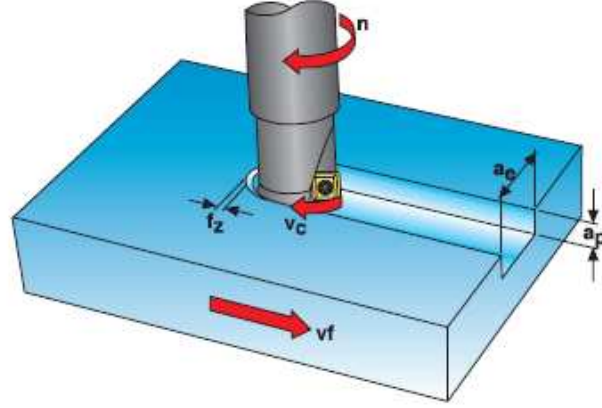
Frezelemede kesme hızı kesici takımın çapına göre verilir. Uygun kesme hızının seçimi, optimum ve ideal kesme şartlarının belirlenmesinde önemli bir faktör olduğu açıktır. Kesme hızı oldukça düşükse çok az sayıda parça üretilecek, takım ucunda talaş sıvanması - yapışması meydana gelebilecek ve takım değişikliğine neden olacaktır. Eğer kesme hızı çok yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliğine gidilecek. Bu nedenlerden dolayı herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir.

En iyi ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünüldüğü zaman, her zaman mümkün olan en derin talaş ve en hızlı ilerleme miktarı seçilir, çünkü bunlar takım ömrünü kesme hızından daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrünü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir (Akkurt, 1998).

Kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği seçilirken aşağıdaki kriterlere göre maksimum önceliğe göre tercih edilmelidir.

- 1- Üretim süresinin minimuma indirilmesi,
- 2- Kesici ömrünün maksimum yapılması,
- 3- En küçük ölçüsel hassasiyetin sağlanması,
- 4- En mükemmel yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi,
- 5- Bir defada kaldırılacak talaş miktarının maksimum olması,
- 6- Kesici kırılmalarının en aza indirilmesi,
- 7- Kesintisiz en güzel işlemin oluşturulması,
- 8- Tezgahta meydana gelebilecek aşınma ve titreşimlerin en aza indirilmesi,
- 9- Birim maliyetinin minimuma indirilmesi.

Klasik Frezeleme işlemlerinde (Şekil 3.5) aşağıdaki formüllerle kesme parametreleri hesaplanır. Bu hesaplama profil işlemede (Şekil 3.6) oldukça farklıdır [Seco, 2006].



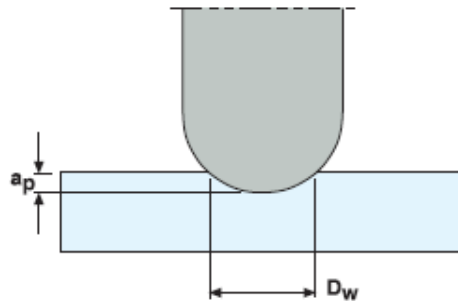
Şekil 3.5 Klasik frezeleme işlemi

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/Dak)} \quad (3.1) \quad V_f = z \cdot f_z \cdot n \text{ (mm/dak)} \quad (3.2)$$

$$\text{Talaş Kaldırma Miktarı} = Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot V_f}{1000} \text{ (cm}^3\text{/dak)} \quad (3.3)$$

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_w \cdot n}{1000} \text{ (m/Dak) (Profil Frezeleme)} \quad D_w = 2 \cdot \sqrt{a_p \cdot (D - a_p)} \quad (3.4)$$

- V_c : Kesme Hızı (m/dak)
 V_f : İlerleme (mm/dak)
 f_z : Ağız başına ilerleme (Ağız Başına Talaş yükü - mm)
 z : Ağız Sayısı
 n : Devir (dev/dak)
 a_e : Kesme genişliği (mm)
 a_p : Kesme Derinliği (mm)
 Q : Talaş Kaldırma Miktarı (cm³/dak)
 D_w : Efektif Kesme Çapı (mm)



Şekil 3.6 Profil frezeleme işlemi

4. KESME SIVILARI

1938 yılında CINCINATI MILACRON firması Amerika’da bir araştırma yapmıştır. Bu araştırmada talaş kaldırma işleminde neler olduğu, talaşların nasıl meydana geldiği ve kesme sıvısının rolü derinliğine incelenmiştir. Araştırma sonucunda yüzey kalitesi ve takım ömrüne etki eden esas problemin yüksek ısı olduğu meydana çıkmıştır. Metaller işlendikleri zaman, ana metalden talaşın kopması ve kesici uçtan bu talaşın sıkışarak kayması neticesi bir ısı meydana gelir. Ulaşılan sıcaklık, meydana gelen ısı hızı ile soğutulma hızının oranına dayanır. Kesme sıvısı, sıcaklık ve sürtünme katsayısını düşürür dolayısıyla takım ömrünü uzatır.

4.1. Kesme Sıvılarının Özellikleri

Talaş kaldırma sırasında kullanılan sıvıların başlıca amacı, soğutma ve yağlamadır. Soğutma ile, kesme esnasında oluşan ısıyı çevreye ileterek ısı miktarını azaltmak; yağlama ile de takımla talaş ve takımla işlenen yüzey arasına nüfuz ederek sürtünmeyi azaltmak ve takım aşınmasını önlemektir. Talaşlı imalatla, soğutucular ve yağlayıcılar işlenebilirliği geliştirir, takım aşınmasını azaltarak ve takım ömrünü arttırarak verimliliği artırır. Kesme sıvıları; yüzey kalitesini artırarak, kesme kuvveti ve titreşimleri azaltarak da talaşlı imalatın verimliliğini artırmaktadır.

Kesme sıvılarından istenen özellikler şöyle sıralanabilir:

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

4. 2. Kesme Sıvılarının Fonksiyonları

Kesme verimini arttırmak için, bir kesme sıvısı üç ayrı fakat birbiriyle ilişkili fonksiyonu yerine getirmek zorundadır.

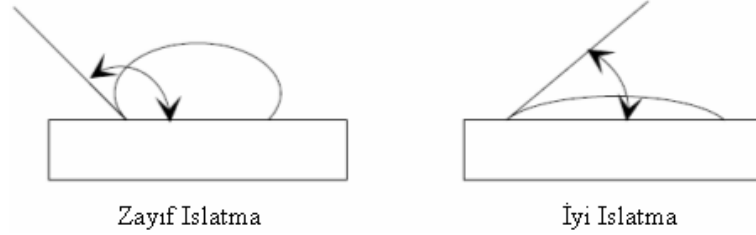
Yağlama fonksiyonu: Kesme sıvısının ilk görevi takım, iş parçasını ve talaşı yağlamasıdır. İş parçasından talaş kaldırılırken kesici takım, iş parçası ve talaşın bulunduğu yerde kısmi bir vakum yaratıldığı düşünülür. Bu olay kapiler hareketle bağlantılı olarak kesme sıvısını, iş parçası, kesici takım ve talaşın karşılaştığı noktaya çekmeye eğilim gösterir. Sonuçta metalin metalle teması ile ortaya çıkan sürtünme büyük ölçüde azaltılmış olur.

Yağlama görevini yerine getirebilmek için, sürtünme yüzeylerinde birkaç molekül kalınlığında, yapışmış bir sıvı tabakası oluşturmak gerekir. Sıvıların bu özelliğine yapışma kabiliyeti (oilness) denir. Bu olayda sıvının kimyasal yapısı önemlidir. Bütün sıvılar yapışmış bir tabaka oluşturamaz; ancak molekülleri polar gruplara sahip sıvılar, özellikle yağlar, yapışmış bir tabaka meydana getirebilirler. Yapışma kabiliyetini artırmak için sıvılara aditif denilen az miktarda ilave maddeler katılır [Akkurt, 2000].

Kesme sıvıları iş parçası malzemesi ve takım arasındaki sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Sürtünmeyi azaltarak, yüzey kalitesi iyileşmekte ve takım üzerinde düzensiz köşe (BUE) oluşma eğilimi azalmaktadır. Yağlayıcı madde, daha ince, daha az deforme olmuş ve daha soğuk talaşa neden olarak BUE'yi azaltır [Nordic Council of Ministers, 2002]. Kesme sıvısının yağlılık özelliği arttığı zaman matkap ucu üzerinde daha az BUE oluşur. Aynı zamanda, EP katkıları sürtünmeyi azaltmaya katkıda bulunduklarında talaşın matkaba yapışma ve matkap oluklarını tıkama eğilimi daha az olur [Upton, 2000].

Yağlamanın amacı, kesici takım ile iş parçası arasında ince bir yağ filmi oluşturarak direkt teması önlemek ve bu yolla sürtünmeyi azaltmaktır. İyi bir yağlama, talaş kaynamasını da büyük bir oranda önlemiş olur. İyi bir yağlama hassasiyeti, yeterli bir ıslatma özelliği ile gerçekleştirilebilir. Islatma özelliği yağın

yüzey gerilimi ile ifade edilir. Yüzey gerilimi küçük yağların, ıslatma özelliği ve dolayısıyla yağlama özelliği yüksek olur. Temas açısı, yağın yüzey gerilimi ile değişir. Bu açı küçük ve sifıra yaklaştıkça yağ yüzeyde daha çok yayılır ve ıslatma daha etkili olur (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Yüzey gerilimi yüksek ve düşük iki damla yağ

Soğutma fonksiyonu: Isı daima daha sıcak bir maddeden daha soğuk bir maddeye akacağı için; iş parçası, kesici takım ve talaşta sürtünme ile ortaya çıkan ısı, soğutucu özellikteki kesme sıvısı ile absorbe edilmeye çalışılır. Sıvının kendisi ısınır ve devamlı olarak bir diğer sıvı ile değiştirilemediği için soğutma kabiliyetini kaybeder. Bu nedenle kesme sıvıları sürekli olarak, büyük oranlarda kesici takım ve parça üzerine akmalıdır. Yeterli hızda akan, kafi miktardaki akışkan uygulanırsa, ısı üretildiği oranda uzaklaştırılacaktır.

Kaynağı önleme fonksiyonu: Kesme sıvısının soğutma ve yağlama özelliğine rağmen iş parçası, kesici takım ve talaş üzerinde metal ile metalin teması sınırlı bölgelerde daima mevcuttur. Bu sınırlı alanlarda ortaya çıkan ısı küçük metal partiküllerinin iş parçası ve kesici takıma kaynamasına imkan verebilecek yüksekliktedir. Bu olayı önlemek için, sülfür, klorür ve diğer kimyasal bileşikler kesme sıvılarına ilave edilir. Bunlar temas alanlarını sabunumsu metalik bir film tabakası ile örterler ve metal partiküllerinin kaynak olmasını engellerler.

4. 3. Kesme Sıvılarının Geliştirilmesi

Suyun pas önleme özelliğinin olmaması, yağlama özelliğinin az oluşu gibi dezavantajlarının yanında, müstesna soğutma kabiliyeti sebebiyle, suyu tatminkar bir kesme sıvısı yapmak için başka maddelerle birleştirilmesi yolunda eforlar harcanmıştır. Bu olay son dönemlere kadar modern emülsiyeye olabilen yağların keşfine kadar çok az başarılı olmuştur ve araştırmacılar tatminkar bir solüsyon aramaya başlamışlardır. Araştırmalar neticesinde hayvani yağların (fatty oils) ve özellikle domuz yağının olumlu bir sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Bu yağların en büyük dezavantajı maliyetlerinin yüksek oluşudur. Ayrıca bozulmaya eğilimleri, bakteri üremesi ve gelişimine müsait olmaları ve yüksek sıcaklığın ortaya çıktığı durumlarda kısa dönemde kokuşmaları da önemli faktörlerdir.

Tam bu sıralarda, madeni yağlar (mineral oils) ortaya çıkmış ve hayvani yağlarla bu yağları karıştırarak, hayvani yağların en önemli dezavantajları giderilmiş ve birçok olumlu özelliğinden de istifade edilmiştir. Ayrıca muhtelif sülfür bileşikleri kaynamayı önlemek amacıyla bu yağların harmanlanmasında ilave edilmiştir. Daha sonraları klorür ve sülfür bileşiklerinin de özdeş özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır.

Tüm bu gelişmelerin ve ileri formülasyon tekniklerinin artması sonucu bugün kesme sıvıları dikkatli bir kontrol altında bilimsel yöntemlerle üretilen oldukça kompleks bileşiklerdir.

4. 4. Kesme Sıvılarında Yağlayıcılık Mekanizmaları

Yağlayıcılık relatif hareket halinde bulunan iki yüzey arasında bir film oluşturarak ve sürtünme katsayısını azaltarak hareketi kolaylaştırmak ve relatif hareket halindeki yüzeylerin aşınmasını engellemektir.

4. 4. 1. Hidrodinamik Yağlayıcılık

Hidrodinamik yağlama mekanizması ekstrüzyon gibi metallere form verme operasyonlarında uygulanır. Çünkü talaş kaldırma operasyonu esnasında kesme basıncı, özellikle devamlı talaş akımı olduğu zaman hidrodinamik yağlamaya kolay kolay imkan vermez [Gündoğdu, 2006].

4. 4. 2. Sınır Yağlama Mekanizması

Sınır yağlama mekanizmasında, van der waals kuvvetleri filmin yüzeylere yapışmasını sağlar. Bu film, takımla iş parçası kesişim yüzeylerindeki sürtünmeyi düşürür. Sınır yağlamada, yağlayıcı hacminin yağlama karakteristikleri üzerinde çok az bir etkisi vardır. Hidrodinamik yağlamada birlikte çalışan yüzeyler yağlayıcı ile tamamen birbirinden ayrılırken, sınır yağlama mekanizmasında yüzeylerin bazı noktalarda birbirlerine teması söz konusudur. Yine hidrodinamik yağlama mekanizmasından farklı olarak, sürtünme katsayısı sıvı viskozitesinden bağımsızdır. Sürtünme karakteristikleri, sürtünen yüzeylerin özelliklerine ve yağlayıcı filmine bağlıdır. Kesme sıvısına eklenen polar katkılar sınır yağlayıcı özellik gösterir. Yağlayıcı film kalınlığı 1-10 nm arasında değişir [Gündoğdu, 2006].

4. 4. 3. Aşırı Basınç (EP) Yağlama

Aşırı basınç yağlama mekanizmasında, kesme sıvısı içindeki kimyasal bileşiklerle iş parçası geri dönülmez şekilde tepkimeye girer ve metalin yüzeyi kimyasal olarak değişir. Bu reaksiyon sonucunda metal tuzları oluşur. Bu tuzlar, iş parçası ile kesici takımın temas ettiği yüzeylerde kaynamayı önler ve metal tuzlarının sahip olduğu daha düşük kayma gerilimleri sebebiyle sürtünmeyi düşürür. Sıcaklık, hava, oksijen, nem ve su aşırı basınç yağlayıcılarının performanslarını etkiler [Gressel, 2001].

5. KESME KUVVETLERİ

Kesici takım üzerine etki eden kuvvetler, talaş kaldırmanın önemli bir safhasıdır. Takım tezgahlarının üretimiyle ilgili olarak titreşimsiz, yeterli rijitlikteki tezgahlarda oluşan kuvvetlerin ve gerekli güç kapasitesinin hesaplanması bu tezgahların tasarımında gereklidir. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, takım tasarımını optimize etmede de faydalı olup kesmenin bilimsel analizi de kuvvetlerin bilinmesini gerektirmektedir. Son yüzyılda takım kuvvetlerinin yeterli hassaslıkta ölçülmesi için pek çok dinamometre geliştirilmiştir.

Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerinin, talaş/takım arasında temas uzunluğuyla ilgili olduğu bilinmektedir. İki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemeleri işlemede, kesici takım ve talaş arasında daha az temas uzunluğundan dolayı çok düşük kuvvetler meydana getirirler. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlar kullanılarak, talaş/takım arasındaki temas uzunluğu sınırlandırılarak kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisinden de etkilenir. Örneğin, talaş açısı değerinde artış hem ilerleme hem de kesme kuvvetini düşürür. Fakat talaş açısının optimum bir değeri mevcut olup daha fazla artış kesici ucun dayanımını zayıflattığından aşınmayı artırır. Takım aşındığı zaman yan kenar aşınması artar. Buna bağlı olarak da boşluk yüzeyi temas alanını da artıracığından takım kuvvetlerini de artırır. Soğutma sıvısı kullanılarak kesme yapıldığında da kesme kuvvetlerinin azalacağı söylenebilir (Şahin,2000).

Frezelemede, talaş kaldırma sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri değişkendir. Bundan dolayı, pratikte hesapları kolaylaştırmak için ortalama talaş kesitine karşılık gelen ortalama kesme kuvvetleri alınır.

Frezelemede genellikle aynı anda birden fazla diş (ağız) talaş kaldırır. Dolayısıyla kuvvetler; bir diş karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti (F_{zz}) ve onun bileşenleri olan; ortalama kesme kuvveti (F_{sz}), ortalama radyal kuvvet (F_{rz}) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_{vz}) olarak ifade edilirler.

Aynı zamanda parçadan talaş kaldıran diş sayısı;

$$Z_e = \frac{Z \cdot \varphi_s}{360} \quad (5.1)$$

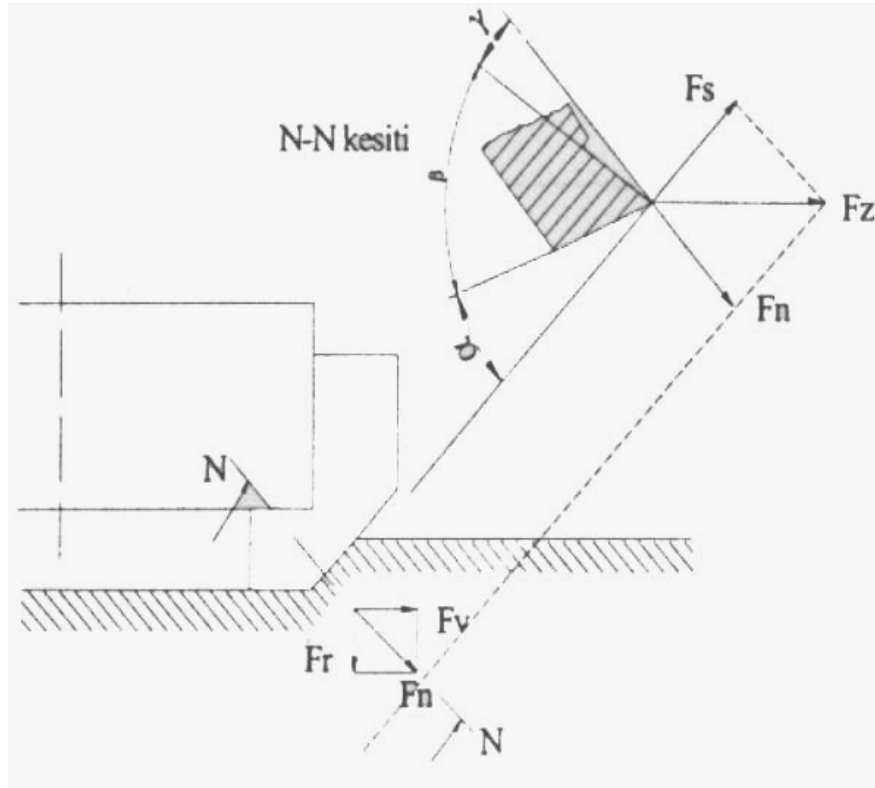
Z : Kesici Ağız sayısı (Adet)

φ_s : Kesici Uçlar arasındaki Açı

Tüm frezeeye (takıma) ait ortalama kesme kuvvetleri,

$F_s = Z_e \cdot F_{sz}$, (5.2) $F_v = Z_e \cdot F_{vz}$, (5.3) $F_r = Z_e \cdot F_{rz}$ (5.4) bağıntılarından bulunur.

Alın frezelemedeki kesme kuvvetlerinin durumu Şekil 5.1 de görülmektedir. Kesici ağza dik olarak alınan N-N kesitindeki ortalama talaş kaldırma kuvvetlerinin (F_{sz}) bileşenleri, kesme kuvveti (F_s) ve normal kuvvettir (F_n). Ağız düzleminde ise F_n normal kuvvetin bileşenleri, ilerleme kuvveti (F_v) ve radyal kuvvettir (F_r). (Akkurt, 1996; Dönertaş, 1999).



Şekil 5.1 Alın frezelemede talaş kaldırma kuvvetleri

Burada bir dişe karşılık olan kesme kuvveti;

$$F_{sz} = A_s \cdot k_s = b \cdot h_m \cdot k_s \quad (5.5)$$

$$F_s = Z_e \cdot F_{sz} = Z_e \cdot b \cdot h_m \cdot k_s \quad \text{şeklinde ifade edilir.} \quad (5.6)$$

b: Talaş Genişliği (mm)

h: Talaş Kalınlığı (mm)

Takım geometrisi, talaş geometrisi, parça malzemesi, kesme malzemesi, kesme hızı ve ilerleme gibi talaş kaldırma olayını etkileyen tüm bu faktörlerin etkisini ifade eden ve özgül kesme kuvveti denilen (k_s),

$$k_s = k_{s11} \cdot h^{-z} \cdot k_\gamma \cdot k_\lambda \cdot k_T \quad \text{veya} \quad k_s = k_{sh} \cdot k_\gamma \cdot k_\lambda \cdot k_T \quad (5.7)$$

bağıntıları ile tayin edilir. Eğer, talaş açısı (γ) ve eğim açısı (λ) bilinmiyorsa bu durumda özgül kesme kuvvetinin bulunmasında;

$$k_s = k_{s11} \cdot h^{-z} \cdot k_T \quad \text{veya,} \quad k_s = k_{sh} \cdot k_T \quad (5.8) \quad \text{eşitlikleri kullanılır.}$$

Tablo 5.1 Özgül kesme kuvvetinin (k_s) değerleri

Parça Malzemesi	K_s (N/mm ²)
Ç 1040	1600
Ç 1050	1900
İslah çelikleri ($\sigma_k \leq 100$ N / mm)	2350
İslah çelikleri ($\sigma_k \leq 1400$ N / mm)	3500
Cr-Ni çelikleri	3000
Mn çelikleri	4800
Dökme çelik	1500
Dökme demir	2000
Al-Cu-Mg alaşımı (Duraliminyum)	800

k_s 'nin değeri belirli kesme şartları için parça malzemesine bağlı olarak deneylerle bulunur. Bu konuda yapılan incelemeler, kesme şartlarından özgül kesme direncini en çok etkileyenin talaş derinliği olduğunu göstermiştir (Akkurt, 1996; Dönertaş, 1999).

Buradaki k_{s11} ve k_{sh} 'nin değerleri Tablo 5.1 'den, k_T düzeltme faktörünün değeri ise Tablo 5.2 den alınabilir. Tablo 5.2 ye göre;

Hız çeliğinden yapılan alın freze için $k_T = 1,2$
 Sert metalden yapılan alın freze için $k_T = 1,0$ alınır.
 k_γ düzeltme faktörü ise,

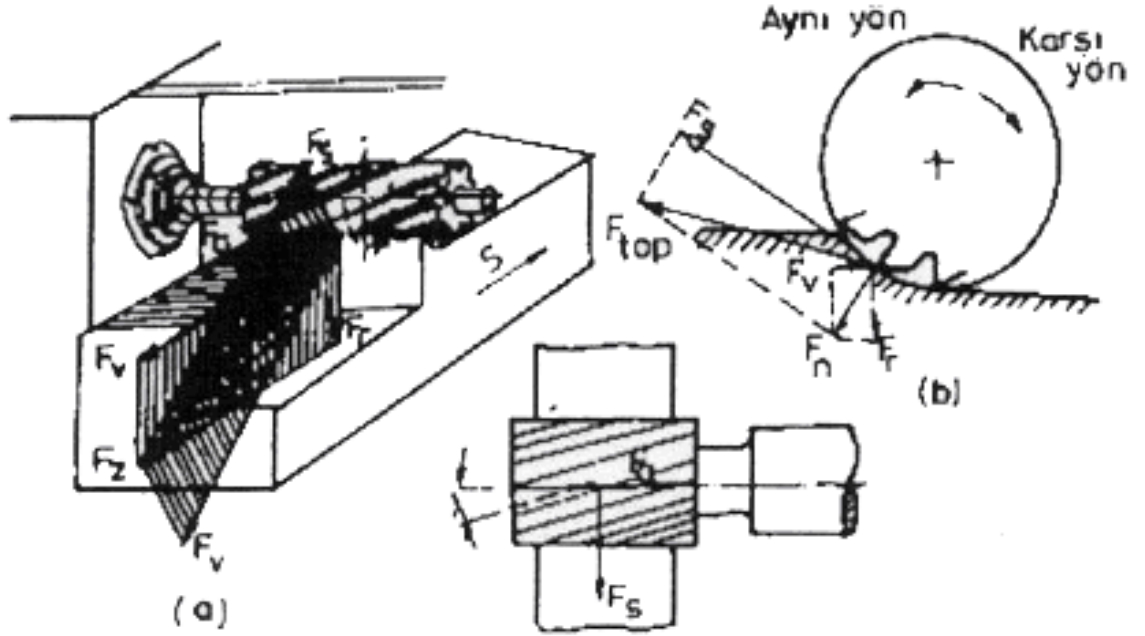
$$k_\gamma = \frac{c - \gamma^\circ}{100} \quad (5.9)$$

bağıntısından hesaplanabilir. C 'nin değeri çelik için 109 ve dökme demir için 103 olarak seçilmektedir.

Tablo 5.2 k_T Faktörünün değerleri

Talaş Kaldırma Yöntemi	Takım malzemesi	
	HM	HSS
Dış tornalama	1,0	1,2
İç tornalama	1,2	1,44
Planyalama, Dikey planyalama	1,18	1,42
Broşlama	-	1,3
Matkapla delme	-	1,0
Raybalama	-	1,1
Silindirik frezeleme	1,3	1,56
Alın frezeleme	1,0	1,2
Taşlama	3,5	

Daha önce alın frezelemede kesme kuvvetleri bölümünde verilen formüller çevresel frezelemedeki kesme kuvvetlerinin hesaplanmasında da kullanılır. Bundan başka, helisel silindirik frezelemede ayrıca F_a eksenel kuvveti de meydana gelir. Bu kuvvet; $F_a = F_s \cdot \tan \lambda$ (5.10) ile gösterilir (Şekil 5.2). Şekilde de görüldüğü gibi, aynı yönlü frezelemede parçayı tablaya bastıran ve karşıt yönlü frezelemede de parçayı kaldırmaya çalışan kuvvet (F_r) radyal kuvvetidir.



Şekil 5.2 Çevresel frezelemede talaş kaldırma kuvvetleri

5.1 Kesme Kuvveti Ölçüm Teknikleri

- Kapasitif transdüserler
- Piezoelektrik transdüserler
- Fotoelektrik transdüserler
- Termo-elektrik transdüserler
- Diferansiyel transformatörler (LVDT)
- Yük hücreleri (elastik transdüserler-load cell)
- Çubuk tipi yük hücresi
- Kiriş tipi yük hücresi
- Halka tipi yük hücresi
- Makaslama göbekli tip yük hücresi
- Strain Gage (Uzama telleri)
- Dinamometre

6. AŞINMA VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

6.1. Aşınma

Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve bu aşınma; kesici takım, takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Kesici kenar ömrü dakika olarak ifade edilir ve günümüzde takım ömrü, eskiden olduğundan daha azdır ve çoğunlukla 15 dakikalık bir süre üzerine oluşturulmakla beraber genellikle bir miktar daha fazla olur.

İlk zamanlarda, takım ömrü parametresi sadece takımın artık daha fazla kesme yapmaması gibi basitçe ifade edilirken günümüzde; yüzey dokusu (yüzeyin yapısı-görünümü), hassasiyet, takım aşınma biçimi, talaş oluşumu ve önceden kestirilebilir güvenli takım ömrü gibi yaygın parametreler söz konusudur. Bunlardan birinin uygulanması işleme tipine (ince veya kaba işleme), elle kontrol ve karışık gözetime bağlıdır.

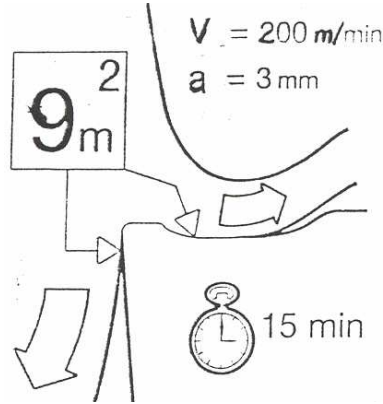
Bu ince talaş (son paso) işleminde kullanılan değiştirilebilir ucun kesici kenarı, artık istenilen belirli bir yüzey dokusunu oluşturamıyorsa aşınmış demektir. Ucun değiştirilmesi için çok büyük bir aşınma gerekli değildir, takım burnunda çok küçük bir parça boyunca oluşacak aşınma takımın değiştirilmesini gerektirir.

Kaba talaş alma işlemlerinde aşınma, kesici kenarın daha uzun bir parçası boyunca gelişir. Yüzey dokusunda bir sınırlama ve hassasiyetin çok küçük olmamasından dolayı nispeten daha fazla aşınmaya göz yumulabilir. Takım ömrü belki kesici kenar talaş kontrol yeteneğini kaybettiğinde veya aşınma şekli, muhtemel hızlı bir takım kırılma riskinin olabileceği bir seviyeye geldiğinde sınırlandırılabilir (sona ermiş kabul edilir).

Doğru kesici takımın seçimi, işleme sırasında maksimum verimliliğin elde edilmesi için kritiktir. Özellikle kesici malzemesi seçimi ve kesme geometrisi önemlidir. Ancak, bununla beraber işleme şartları ve özellikle işleme (kesme) optimum takım ömrü elde edilemeyecektir. Titreşimler, takım tutucunun ve bağlamanın

rijitliğinde bir eksiklik, pek çok kesici kenarın vaktinden evvel ömrünü doldurmasına sebep olacaktır. İşlemek için tüm şartların doğru olmasıyla, kesici sınıfı (derecesi) ve kesme parametreleriyle geometri üzerinde bazı ince ayarlamalarla, verimlilik; kayda değer ölçüde arttırılabilir.

Modern cemented karbür (sert metal) bir uç, takım ömrü boyunca oldukça büyük miktarlarda talaş kaldırır. Örneğin, 200 m/dak. lık kesme hızında 3 mm. lik talaş derinliğinde, kesici kenardan her saniyede 10 000 mm² lik talaş geçer. Bu miktar, her dakika için yarım m² den çoktur. 15 dakikalık bir takım ömrü sırasında, 3 mm. boyunda küçük bir kesici kenarın yüzeyinden ve yan yüzeyinden aşırı işleme şartlarından geçen talaş miktarı 9 m² ye ulaşacaktır (Şekil 6.1).

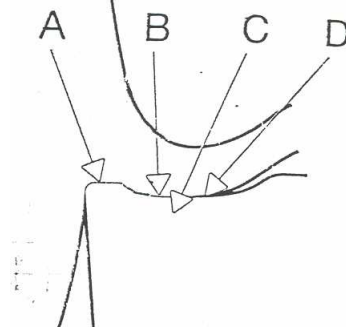


Şekil 6.1 Kesici kenardan geçen talaş miktarı

Yukarıdaki örnekte takım aşınması kaçınılmazdır ve hattı zatında negatif bir süreç değildir. Olup olmaması değil, olduğunda ne kadar ve hangi tipte olduğudur. Kabul edilebilir bir süre zarfında bir kesici kenar kayda değer ölçüde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirdiğinde tabii ki pozitif bir süreç olacaktır. Sadece beklenmeyen kırılma veya takım hatası oluştuğunda negatiflik söz konusudur. Modern kesici takım malzemelerinin doğru uygulanmasıyla talaş kaldırma sadece daha verimli ve ekonomik değil aynı zamanda çok güvenilir ve önemli ölçüde önceden kestirilebilir olmaktadır.

Takım aşınması, kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin bir kombinasyonunun ürünüdür. Kesici kenar ömrü, takım geometrisini değiştirmeye çalışan çeşitli yüklerle belirlenir. Aşınma, takım-iş parçası-işleme şartları arasındaki karşılıklı etkileşimin bir sonucudur. Ana (temel) yük faktörleri (Şekil 6.2);

- A. Mekaniksel, B. Termal (ısı),
C. Kimyasal, D. Aşındırıcı



Şekil 6.2 Tipik aşınma bölgeleri

Mekanik yük faktörleri: Mekanik yüklerin statik bileşenlerinden başka, talaş biçimlenme sürecinin kendisinden oluşan çeşitli dinamik yükler de söz konusudur. Bunların en önemlileri değişen talaş derinliğinden, kesintili (vuruntulu) işlemeden kaynaklananlar ve frezelemede görülenlerdir.

Termal (ısı) yük faktörleri: Talaş kaldırma (metalin işlenmesi) talaş yüzeyinde ve kesici ucun yan yüzeyinde (yanaklarda) çok miktarda ısı oluşmasına sebep olur. Termal yük önemli ölçüde takım malzemesi üzerindedir ve frezeleme de olduğu gibi bazı işlemlerde, kesici kenarlar iş parçasından ayrılırken ve tekrar girerken ortaya çıkan dinamik bir faktördür.

Kimyasal yük faktörleri: Talaş oluşumu-biçimlenmesi süreci, devamlı olarak yeni bir metal ara yüzeyi oluşturulması anlamı taşır ve talaş biçimlenmesi sırasında takım malzemesi boyunca hayli yüksek sıcaklık ve basınçta zorlama vardır. Oluşan bölgeler metallerin kimyasal reaksiyonları ve difüzyon için oldukça uygun bir ortam hazırlar.

Aşındırıcı yük faktörleri: Pek çok iş parçası malzemesinin işlenmesi sırasında, sertlikleri takım malzemesi ile karşılaştırılabilecek kadar yüksek çeşitli tipte oldukça sert partiküller (parçacıklar) görülür. Daha sonra bunlar takım üzerinde taşlamadan daha çok aşındırma etkisi yaratan bir sınır oluştururlar. Bu kalıntıları veya kabuk döküntüleri, malzeme miktarının çok büyük kısmını oluşturmaya bile işleme

sırasında tüm işlenecek malzemenin kesici kenardan geçmesiyle hemen hemen daima değişen miktarlarda aşınma görülür.

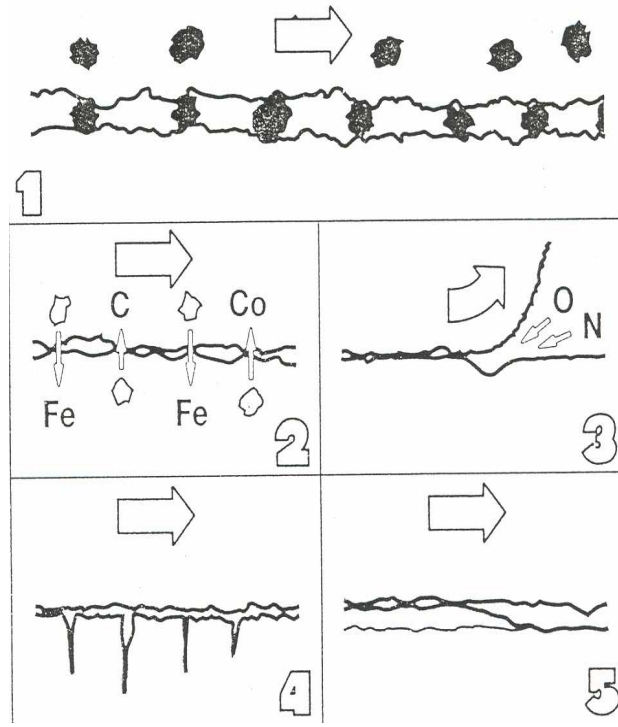
Bir önceki örnekte 9 m^2 talaşın (200 m/dak kesme hızı ile 3 mm talaş derinliği için) kesici kenardan geçtiği hatırlanacak olursa, malzeme 100 mikron aralıklarla dağılmış sert kalıntılar ihtiva ediyorsa her dakikada yaklaşık 60 milyon parçacık kesici kenardan geçmeyi zorlayacak ve talaş yüzeyinin altında ve yan yüzey altında aşındırma etkisi yaratacaktır.

6.1.1. Aşınma Mekanizmaları

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

1. Abrasyon (aşındırıcılarla) aşınma (abresiv aşınma)
2. Difüzyon aşınma
3. Oksidasyon aşınma
4. Yorulma ile aşınma (statik veya dinamik)
5. Yapışma (adhesyon) ile aşınma (adhesiv aşınma) şeklinde özetlenebilir

Takım malzemesinin yüklere karşı direnç kabiliyeti, metal işlemedeki aşınma mekanizmaları tarafından nasıl etkileneceğini tayin eder.



Şekil 6.3 Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları

6.1.1.1. Abrasyon Aşınma

Abrasyon aşınma (aşındırıcılarla aşınma-abrasiv aşınma) çok yaygındır ve çoğunlukla (ama tamamen değil) iş parçası malzemesinin sert parçacıkları sebep olur. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasında geldiğinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın yan yüzeyinde aşınmaya sebep olan uç üzerindeki mekanik yüklerin bir sonucudur

Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırılması ile oluşan takım malzemesi abrasiv aşınmaya karşı koyabilecektir fakat işleme sırasında oluşan diğer yük faktörleriyle başa çıkacak şekilde donatılmış olmayabilir. Abrasiv aşınma takım talaş yüzeyinde ise krater (çukur) oluşmasına neden olur.

6.1.1.2. Difüzyon Aşınma (Atomik Yer Değiştirme)

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi (benzeşme-yakınlık) difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasını belirleyecektir. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin eder.

Tungsten karbür ve çelik; birbirine karşı difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasına sebep olan birleşme eğilimine sahiptirler. Bunun sonucu olarak, takımın talaş yüzeyi üzerinde bir çukur (krater) oluşması söz konusudur. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüksek kesme hızlarında daha büyüktür.

6.1.1.3. Oksidasyon Aşınma

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

6.1.1.4. Yorulma İle Aşınma

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

6.1.1.5. Adhezyon (Yapışma) Aşınma

Takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında kenarda yığılmış talaş (BUE) oluşmasına sebep olur. Talaştan birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası halini alır. BUE tabakası yırtılıp (kopup) uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir. Belli bir sıcaklık aralığı, takım ve iş parçası malzemesi arasındaki yakınlık ve kesme kuvvetleri ile oluşan yüklerin kombinasyonu adhezyon aşınması yaratır.

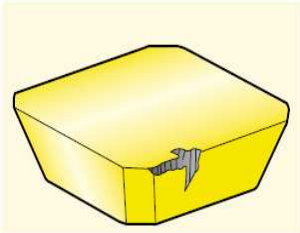
Deformasyonla serleştirilmiş malzemeler (örneğin östenitik paslanmaz çelikler) işlenirken, talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması bölgesel aşınmanın hızlanmasına neden olur. Bu durum, en yaygın çentik aşınma tipidir ve aynı zamanda takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin (kimyasal) yakınlığına (benzeşmesine) da bağlıdır [Şeker, 2001].

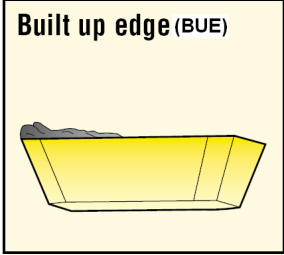
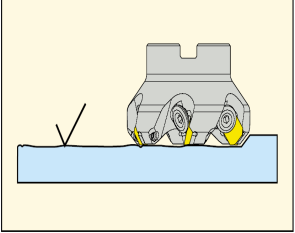
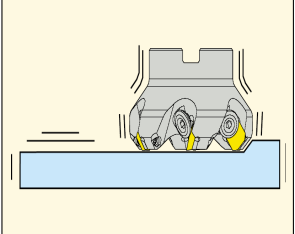
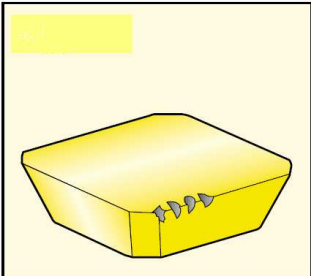
6.1.2. Frezelemede Tipik Takım Aşınma Türleri

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme operasyonunu değerlendirmek için en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Sınıflandırılmış aşınma tipleri ve bunlara sebep olan mekanizmalar :

- 1- Yan yüzey (yanak) aşınması → abrasif aşınma mekanizması ile oluşur.
- 2- Krater aşınması → abrasif aşınma ve difüzyon aşınma mekanizması ile oluşur.
- 3- Plastik deformasyon → yorulma ile aşınma mekanizması ile oluşur.
- 4- Çentik aşınması → oksidasyon ve yapışma aşınma mekanizması ile oluşur.
- 5- Termal çatlaklar → yorulma mekanizması ile oluşur.
- 6- Mekanik yorulma çatlakları → yorulma mekanizması ile oluşur.
- 7- Çentikleme → yorulma mekanizması ile oluşur.
- 8- Kırılma → plastik deformasyondan sonra oluşur.
- 9- Yığılma-sıvanma (BUE) → adhesyon aşınma mekanizması ile oluşur.

Aşağıda Frezelemede oluşabilecek takım aşınmaları ve bazı problemlere yönelik nedenler ve muhtemel çözümler belirtilmiştir [SECO, 2006].

OLABİLECEK PROBLEMLER	MUHTEMEL NEDENİ	MUHTEMEL ÇÖZÜM
1-) KESİCİ UCUN VEYA TAKIMIN KIRILMASI 	* ilerleme çok fazla * Talaş derinliği fazla * Darbeli çalışma * Titreşim	* ilerlemeyi azaltınız. *Talaş derinliğini azaltınız. * Daha tok(darbeyi emen) takım kullanınız. * Takım boyunu kısaltın ve parçayı daha rijit bağlayın.

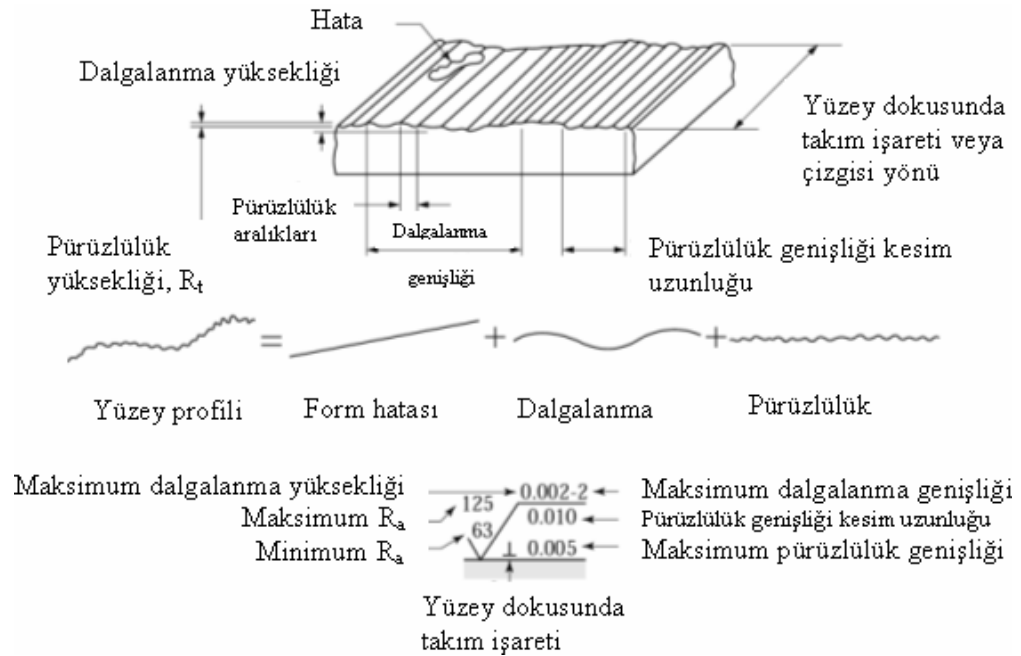
2-) KESİCİ KENARA TALAŞ SIVANMASI(BUE)  Built up edge (BUE)	* Kesme hızı düşük * Diş başına ilerleme düşük * Soğutucu açık * Kesici pozisyonu uygun değil	* Kesme hızını artırınız. * Diş başına ilerlemeyi artırınız. * Soğutma sıvısını kapatınız. * Kesici pozisyonunu değiştiriniz.
3-) KÖTÜ YÜZEY KALİTESİ 	* Kesme hızı düşük * İlerleme çok fazla * Takımın aşınma direnci düşük * Soğutucu açık değil * Takımın ucu aşınmış	* Kesme hızını artırınız. * İlerlemeyi azaltınız. * Aşınma direnci yüksek takım kullanınız. * Soğutma sıvısı kullanınız. * Ucu değiştiriniz.
4-) TİTREŞİM 	* Uç pozisyonu uygun değil. * Takım boyu çok uzun * İlerleme az * Talaş derinliği fazla * Kesme hızı fazla	* Kesici ucun pozisyonunu değiştirin. * Takım boyunu kısaltınız * İlerlemeyi artırın. * Talaş derinliğini azalt * Hızı azaltınız.
5-) KÜÇÜK TANECİK KOPMASI 	* Kesme hızı düşük * Kesme yönü uygun değil * Kesici pozisyonu uygun değil * Takım bağlaması uygun değil * İlerleme çok fazla	* Kesme hızını artırın. * Aynı yönlü kesme yapınız. * Kesici pozisyonunu değiştiriniz. * Takım boyunu kısaltınız. * İlerlemeyi azaltınız.

6.2. Yüzey Pürüzlülüğü

6.2.1. Yüzey Tanımları

Yüzey yapısı, bitirilmiş yüzey, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey karakteristik terimleri sınıflandırmalar ve semboller tasarımcıların, teknikerlerin ve diğer çalışanların iletişim kurmasına imkan sağlar. Kısmi özellikleri verilen bir yüzeyin yapımı için belirlenen özelliklerin doğru olarak yorumlanmasını sağlar [www.Predev.com].

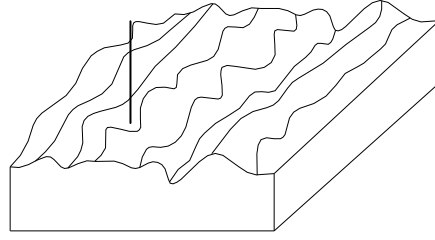
Yüzey yapısı nominal bir yüzeyden sapan yüzeyin modelidir. Bu sapmalar tekrarlı veya rasgele olabilir [Lou et al, 1999]. Şekil 6.4’de yüzey kalitesini tanımlamada kullanılan standart terminoloji ve semboller gösterilmiştir.



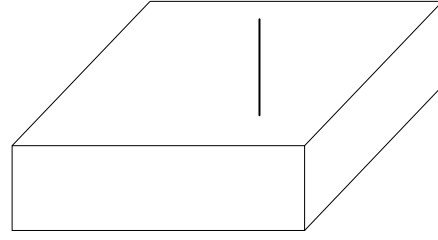
Şekil 6.4 Yüzey kalitesini tanımlamak için standart terminoloji ve semboller

Yüzey : Bir nesneyi diğerinden ayıran sınırdır.

Geometrik Yüzey: Bu ise tasarlanmış yüzeydir. Bu yüzeyin uzantısı ve şekli bir taslakta veya çizimde ölçülendirilir ve gösterilir. Yüzey pürüzlülüğü içermez.



Şekil 6.5 Gerçek Yüzey



Şekil 6.6 Geometrik Yüzey

Gerçek Yüzey: Bir cismin gerçek sınırır. Yüzeyi oluşturan prosesin sonucu olarak nominal yüzeyden ayrılır. Bu sapma veya ayrılma, cismin yapıldığı malzemenin yapısı, bileşimi ve özelliklerine bağlıdır.

Ölçülen Yüzey: Bu yüzey bazı ölçüm aletleriyle elde edilen gerçek yüzeyin tekrar gösterilmesidir. Bu ayrımı yapmak gereklidir çünkü hiçbir ölçüm tam gerçek yüzeyi vermez.

6.2.2 Son Yüzeyde Oluşan Hatalar

Yüzey kalitesi; pürüzlülük, dalgalılık, izler ve hatalar olmak üzere 4 elemandan oluşmaktadır [Şahin, 2001].

Form hatası: Nominal yüzeye benzeyen bir yüzeyin uzun dalga boylu sapmalarını içerir. Form hataları imalat prosesinde geniş ölçekli problemlerden oluşur. Örneğin işleme takım yollarında, devir hızlarında, güvenli bağlandı, iş parçasının hassas olmayan diziliminde ve işleme ekipmanı aşınmasında oluşur.

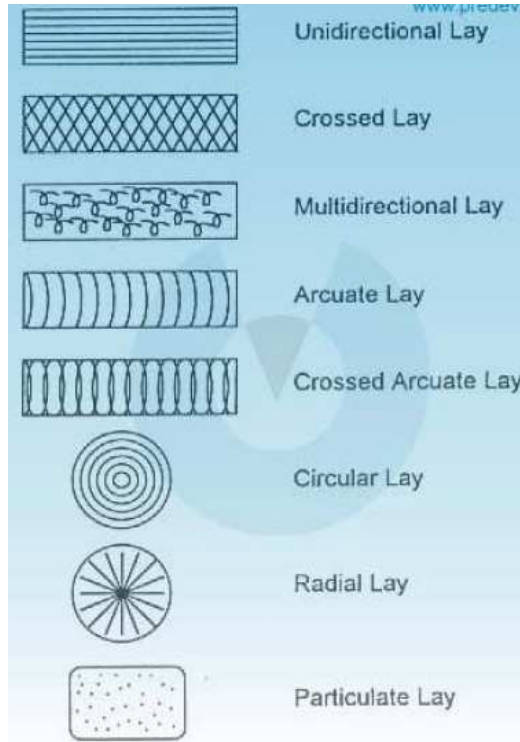
Doku: Yüzey dokusu nominal yüzeyden bir yüzeyin oldukça kısa dalga boylu sapmalarının kombinasyonudur. Bu doku kavramı içerisine; izlerin yönü, dalgalılık, pürüzlülük gibi kavramlar dahil edilir.

Pürüzlülük: Genellikle belirli bir malzeme ve proses durumundan sonuçlanır. Bu kavram içerisine bir yüzeyin en iyi düzensizlikleri (en kısa dalga boyları) dahil edilir.

Dalgallık: Bu ise pürüzlülüğe oranla nominal yüzeyden bir yüzeyin daha uzun dalga boylarındaki saptmalarını içerir. Dalgallık hataları, form hataları ile pürüzlülük arasındaki orta değerdir. Dalgallık ile form hataları arasındaki ayırıştırma pratikte yapılmamıştır ve henüz açık değildir.

Uzantı (pürüzlülük yönü): Yüzey dokusunun en baskın olan yönünü belirtir. Sıradan bir şekilde uzantı, kullanılan proses metodu ve geometriyle tanımlanabilir. Tornalama, Frezeleme, Delme, Taşlama ve diğer imalat prosesleri genellikle uzantıları, takımın yüzeydeki hareket yönünde tepeler ve çukurlukların oluşturulduğu bir yüzey üretir. Aşağıda (Şekil 6.7) gösterildiği gibi uzantı şekilleri bir çok formda olabilir. Ayırt edici bir yönü olmayan yüzey oluşturan prosesler; kum, döküm gibi genellikle yönsüz olarak adlandırılır. Uzantı bir yüzeyin optik özellikleri için önemlidir.

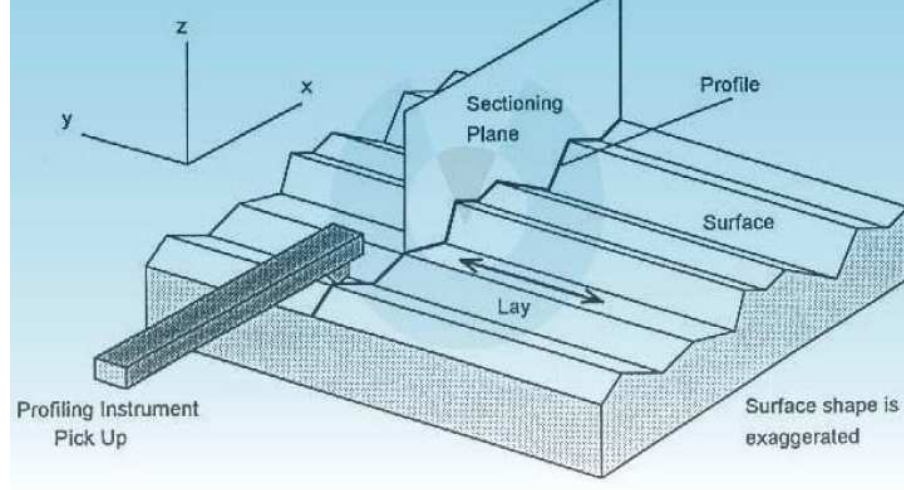
Beklenmeyen Hatalar(Flaws): Bunlar ise bir yüzeyin istenmeyen ve tasarlanmayan problemleridir. Genellikle bu ifade çizikler gibi bireysel ve geleneksel olmayan özellikleri ifade de kullanılır.



Şekil 6.7 Çeşitli işleme prosesleriyle oluşan pürüzlülük uzantıları

6.2.3 Yüzey Profilleri

Profil: Matematiksel olarak Şekil 6.8 de gösterildiği gibi bölümlene düzleminle yüzeyin kesişiminden oluşan çizgidir. Genellikle yüzeye diktir. 3D bir yüzeyin 2D bir dilimidir. Profiller her zaman yüzeyin uzantı yönüne dik olarak ölçülür.



Şekil 6.8 Yüzey profil tanımlaması

Nominal Profil: Yüzeye dik olan bir düzlemle nominal yüzeyin kesişiminin pürüzsüzce olan eğrisel çizgidir. Nominal profil, bilinen bir parça için bilinen matematiksel bir şekle sahiptir.

Gerçek Profil: Bu ise gerçek yüzeyin profilidir. Yukarıdaki şekildeki gibi ifade edilir.

Ölçülen Profil : Bir ölçme aletiyle elde gerçek profilin bir gösterimidir. Gerçek profil hiçbir zaman tam olarak ölçülemediğinden bunu ayırt etmek gerekir.

6.2.3.1 Yüzey Profil Parametreleri

Yüzey pürüzlülük parametreleri basitçe üç kategoride sınıflandırılırlar. Bunlar;

1-) Genlik Parametreleri: Pürüzlülüğün dikey karakteristiğinin ölçümleridir.

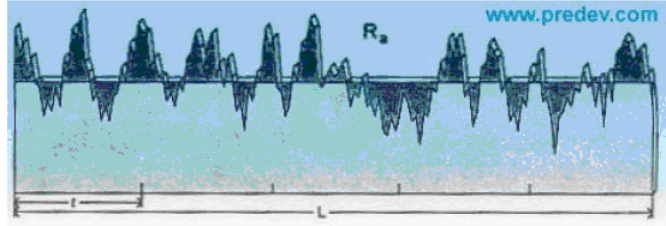
Ra (Ortalama Pürüzlülük): Pürüzlülük profili ile ortalama çizgisi arasındaki alandır veya değerlendirilen mesafe üzerindeki pürüzlülük profil yüksekliğinin mutlak değerinin integralidir. Yani

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |r(x)| dx, \quad (6.1)$$

Dijital datalar değerlendirildiğinde integral normal olarak trapez kuralı ile yaklaştırılır.

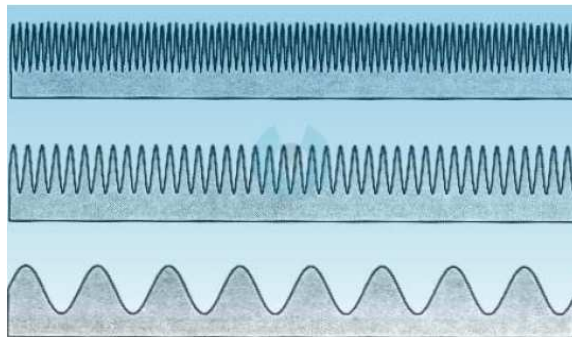
$$Ra = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |r_n| \quad (6.2) \quad \text{olarak tanımlanır.}$$

Grafik olarak Şekil 6.9’da gösterildiği gibi ortalama pürüzlülük, pürüzlülük profili ile değerlendirme uzunluğuyla bölünen merkez çizgisi arasında kalan alandır [T.S.6956].



Şekil 6.9 Ortalama pürüzlülük (Ra) tanımlaması

Ra, yüzey son paso işlemlerinde en yaygın kullanılan parametredir. Ra değeri yüzey hakkındaki her şeyi söylemez. Örneğin Şekil 6.10 da aynı Ra değerine sahip 3 yüzey profili mevcuttur. Fakat görüldüğü gibi insanın gözlerine inanamayacağı kadar oldukça farklıdır.



Şekil 6.10 Aynı Ra değerine sahip yüzey profilleri

Eğer yüzeyleri ayırt etmek istiyorsak bir yüzey için diğer parametrelerinde örneğin; tepe noktalarının, çukurlukların, profil şekli ve dağılımı gibi parametrelerinde hesaplanması gereklidir.

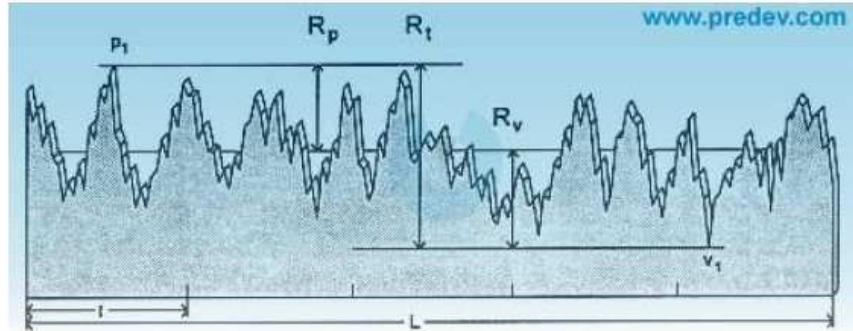
RMS (root-mean-square) pürüzlülüğü (Rq) : Ortalama pürüzlülüğün başka bir ifadesidir ve aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L r^2(x) dx} \quad R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N r_n^2} \quad (6.3)$$

(1)
(2)

2. denklem dijital datalar içindir. Rq bir yüzeyin optik kalitesiyle ilişkili olduğu için optik uygulamalarda, Ra ise daha çok metal kesme uygulamalarında yer bulmaktadır.

Rt, Rp ve Rv Şekil 6.11 de görüldüğü gibi ortalama çizgisi üzerinde en yüksek tepe noktası “Rp”, en derin çukurluk “Rv” ve toplam yükseklik “Rt” ile gösterilmektedir ve aşağıdaki formüllerle hesaplanırlar.



$$R_v = \left| \min [r(x)] \right|, \quad 0 < x < L \quad R_p = \left| \max [r(x)] \right|, \quad 0 < x < L$$

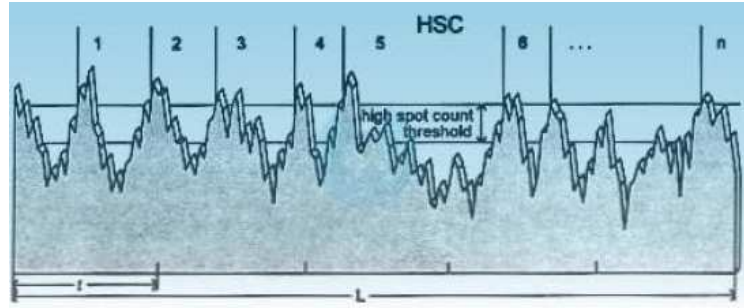
$$R_t = R_p + R_v$$

Şekil 6.11 Rp, Rv ve Rt pürüzlülük tanımlaması

2-) Dağılım Parametreleri: Pürüzlülüğün yatay karakteristiğinin ölçümleridir.

Pc-Tepe sayısı: Bir profildeki her örnekleme uzunluğunun tepe noktaları sayısıdır. Bunun için bir eşik değeri seçilir. Genellikle tek bir sayıdır ve mesafesi ortalama çizgiye merkezlenmiş en düşük eşikten en yüksek eşiğe kadar olan mesafedir. Rapor edilirken tepe/inch, tepe/cm olarak belirtilir

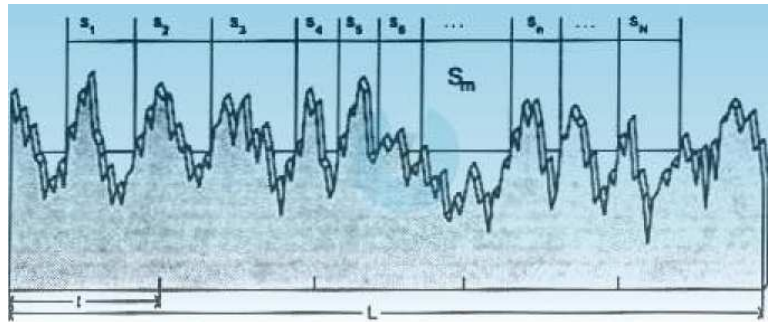
HSC:Yüksek Noktalar sayısı: Tepe noktaları sayısına benzer. Her inch veya cm'deki tepelerin sayısıdır. Şekil 6.12 de örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.12 Yüksek noktalar sayısı (HSC) tanımlaması

Sm: Ortalama Dağılım: Ortalama çizgiyle ilişkili olarak tanımlanan tepeler arası ortalama dağılımdır. Her bir tepenin genişliği(S_i) Şekil 6.13 deki gibi ifade edilir. Bu

şekilde $S_m = \sum_{n=1}^N S_n$ (6.4) olarak hesaplanır. Birimi μ inch veya μ m dir.



Şekil 6.13 Ortalama dağılım (S_m) tanımlaması

3-) Hibrit Parametreleri: Pürüzlülüğün yatay ve dikey kombinasyonlarının ölçümleridir.

Δ_a : **Ortalama Mutlak Eğim:** Bu parametre örnekleme uzunluğundaki pürüzlülük profil eğiminin mutlak değerinin ortalamasıdır.

$$\Delta_a = \frac{1}{L} \int_0^L \left| \frac{dr(x)}{dx} \right| dx \quad (6.5)$$

Δ_q = **RMS ortalama Eğimi:**

$$\Delta_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L \left(\frac{dr(x)}{dx} \right)^2 dx} \quad \Delta_q = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{n=1}^N (r_{n+1} - r_n)^2} \quad (6.6)$$

L_o : Gerçek Profil Uzunluğu: Bir profilin 2D uzunluğu aşağıdaki formülle bulunur.

$$L_o = \int_0^L \sqrt{1 + \left(\frac{dr(x)}{dx} \right)^2} dx \quad L_o = \sum_{n=1}^N \sqrt{\left(\frac{L}{N} \right)^2 + (r_{n+1} - r_n)^2} \quad (6.7)$$

6.2.4. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden temel faktörler şunlardır:

- İlerleme, kesme hızı, talaş derinliği
- Kesici takım geometrisi
- Talaş yapışması, kesici kenardaki aşınma
- Kesici takım ve iş parçası arasındaki titreşim
- İş parçası malzemesi
- İşleme tipi
- Sistemin rijitliği
- Kesme sıvısı

7. DENEYSEL PROSEDÜR

7. 1. Deney Düzeneği

Frezeleme deneyleri Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği CAD/CAM laboratuvarında bulunan DECKEL MAHO DMU 60 P beş eksen işleme merkezinde yapılmıştır (Şekil 7.1)



Şekil 7.1 Deckel Maho DMU 60 P beş eksen işleme merkezi.

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 316 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Paslanmaz çeliğın boyutları 100x40x50 mm olarak belirlenmiştir. Malzemelerin kimyasal analizi ve sertlik ölçümü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde yaptırılmış ve analiz değerleri Tablo 7.1’de gösterilmiştir. AISI 316 paslanmaz çelik malzemenin sertliği 276 HV bulunmuştur.

Deneylerde 2 ağızlı değiştirilebilen uçlu Ø16 mm düz freze kullanılmıştır. Taguchi deneylerinde ISCAR APKR 1003PDR-HM, sabit kesme hızı deneylerinde ISCAR APKT 1003PDR-HM kesici uç kullanılmıştır. Kesici uç kaplaması PVD-TiAlN’dır. Takım tutucu olarak SK-40 Shrink bir tutucu tercih edilmiştir.

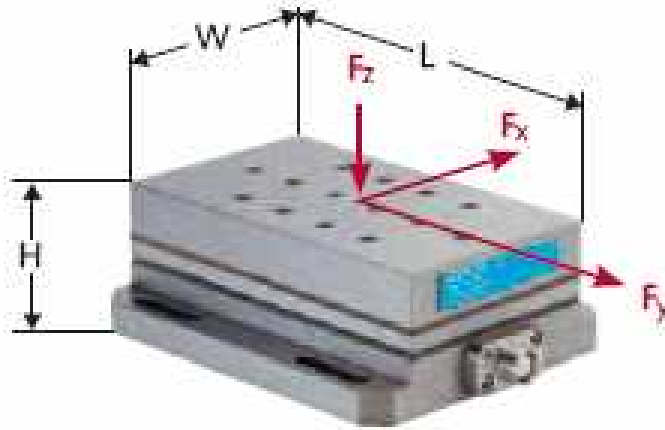
Tablo 7.1 AISI 316 paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
0.031	0.388	1.38	0.015	0.0053	17.36	10.14	2.17	0.0024
Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B
0.356	0.140	0.0090	0.032	0.075	0.031	<0.0030	0.021	0.0027
Sn	Zn	As	Bi	Ca	Ce	Zr	La	Fe
0.0076	0.021	0.026	<0.0020	0.0006	0.027	0.0072	0.0033	67.7

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde örnekleme uzunluğu (cut-off) 0.8 mm ve örnekleme sayısı 3 olarak seçilmiştir. Ölçme işlemi frezeleme eksenine dik olarak yapılmış olup, işlenmiş yüzeylerden 3 adet ölçüm alınmış ve ortalama yüzey pürüzlük değeri (R_a) ölçülmüştür.

Kesme kuvvetleri KISTLER 9257B tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 7.2). Tablo 7.2’de dinamometrenin teknik özellikleri gösterilmiştir.

Dinamometre ile ölçülen kesme kuvveti değerleri DynoWare yazılımı kullanılarak kaydedilmiştir. Bu yazılım ölçülen kuvvet değerlerini grafiksel olarak da sunmaktadır. Her bir yüzeyin frezelenmesi sırasında elde edilen kesme kuvvetlerinin ortalaması alınarak, o yüzey için kesme kuvveti belirlenmiştir.



Şekil 7.2 KISTLER 9257B dinamometre.

Tablo 7.2 KISTLER 9257B dinamometrenin teknik özellikleri

ÖZELLİK	SEMBOL	BİRİM	DEĞERLER
Ölçme aralığı	F_x, F_y, F_z	kN	± 5
Hassasiyet	F_x, F_y	pC/N	≈ -7.5
	F_z	pC/N	≈ -3.7
Doğal frekans	f_{nx}, f_{ny}	kHz	≈ 2.3
	f_{nz}	kHz	≈ 3.5
Çalışma sıcaklığı aralığı		°C	0 ... 70
Uzunluk	L	Mm	170
Genişlik	W	Mm	100
Yükseklik	H	Mm	60
Ağırlık		Kg	7.3
Koruma sınıfı (EN 60529)			IP67

Deneylerde KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör kullanılmıştır (Şekil 7.3). Tablo 7.3’da amplifikatörün teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 7.3 KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör.

Tablo 7.3 KISTLER 5070A11100 amplifikatörün teknik özellikleri.

ÖZELLİK	BİRİM	DEĞERLER
Kanal sayısı		8
FSO için ölçme aralığı	pC	$\pm 200 \dots 200000$
Çıktı aralığı	V	± 10
Frekans aralığı	kHz	$\approx 0 \dots 45$
Kaynak	V AC	100 ... 240

Deneylerde 2855A5, PC-CARD-DAS 16/16 veri toplama kartı kullanılmıştır (Şekil 7.4). Tablo 7.4’de veri toplama kartının teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 7.4 Veri toplama kartı.

Tablo 7.4 Veri toplama kartının teknik özellikleri.

ÖZELLİK	BİRİM	DEĞERLER
Ölçme kanalı sayısı		16
PC bus		PCMCIA, PC-CARD
Çözünürlük	Bit	16
Ölçme oranı	kHz	100
Bağlantı		50-pole neg.

7. 2. Deney Tasarımları

Deney iki farklı deney planında gerçekleştirilmiştir. Birinci olarak Taguchi deney tasarımını esas alan, ikinci olarak da kesme hızının etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalardır.

7. 2. 1. Taguchi Deney Tasarımı

Taguchi tasarımına göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar şöyledir:

1. Problemin belirlenmesi
2. Performans karakteristiğinin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi
3. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi (beyin fırtınası, akış diyagramı, sebep-sonuç diyagramı gibi metotlar kullanılarak)

4. Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması
5. Faktörlerin aralarındaki etkileşimin belirlenmesi
6. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması
7. Performans istatistiklerinin belirlenmesi
8. Deneylerin planlanan şekilde gerçekleştirilmesi ve sonuçların kaydedilmesi
9. Sonuçların analizi
10. Doğrulama deneyinin yapılması [Şanyılmaz, 2006].

Frezeleme deneyleri üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve üç farklı kesme derinliği ve sabit yana kayma mesafesi için ayrı ayrı yapılmıştır. Kullanılan üç farklı parametre ve üç farklı seviye için Taguchi'nin $L_9 (3^3)$ standart ortogonal dizisi seçilmiştir. Kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 7.5 Frezeleme deneylerinde faktörler ve seviyeler.

	Kontrol Faktörü	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Kesme Hızı (m/dak)	100	150	200
B	İlerleme (mm/dev)	0.10	0.2	0.3
C	Kesme derinliği (mm)	0.15	0.20	0.25

Tablo 7.6 Parametrelerin değerleri.

Deney No	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme Derinliği (mm)
1	100	0.10	0.15
2	100	0.20	0.20
3	100	0.30	0.25
4	150	0.10	0.20
5	150	0.20	0.25
6	150	0.30	0.15
7	200	0.10	0.25
8	200	0.20	0.15
9	200	0.30	0.20

7. 2. 2. Kesme Hızının Etkisini Belirleme Deneyleri

Kesme Hızının kesme kuvvetleri, Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan deneylerde 3 farklı kesme hızı 150, 190, 230 kullanılmıştır. Her kesme hızıyla yaklaşık 1.200 mm uzunluğunda kesme yapılmıştır. İlerleme, yana kayma ve kesme derinliği sabit alınmıştır. Her 400 mm uzunluk kesilmesinden sonra kesilen yüzeyde 3 noktadan yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Kesme kuvveti her 100 mm uzunluk ve 10 mm genişlikteki kesimlerde alınmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler Tablo 7.7’de gösterilmiştir.

Tablo 7.7 Kesme hızının etkisini belirleme deneyleri.

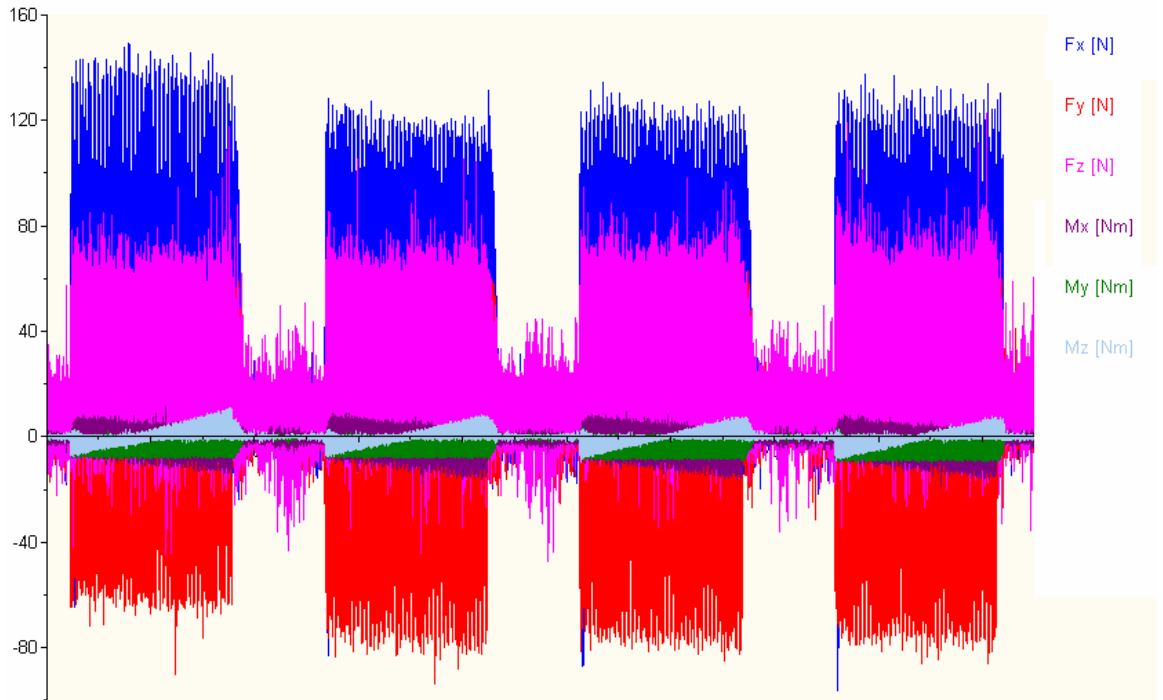
Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme Derinliği (mm)
150	0.20	0.35
190		
230		

8. DENEY SONUÇLARI

8. 1. Kesme Kuvvetleri Sonuçları

Şekil 8.1’de örnek bir kesme kuvveti-zaman grafiği gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi parçaya ilk girişte ani bir kuvvet yükselmesi ve daha sonra normal seyrinde gittiği görülmektedir. Parçanın homojenliğine göre kesme kuvvetleri inişli çıkışlı olmaktadır.

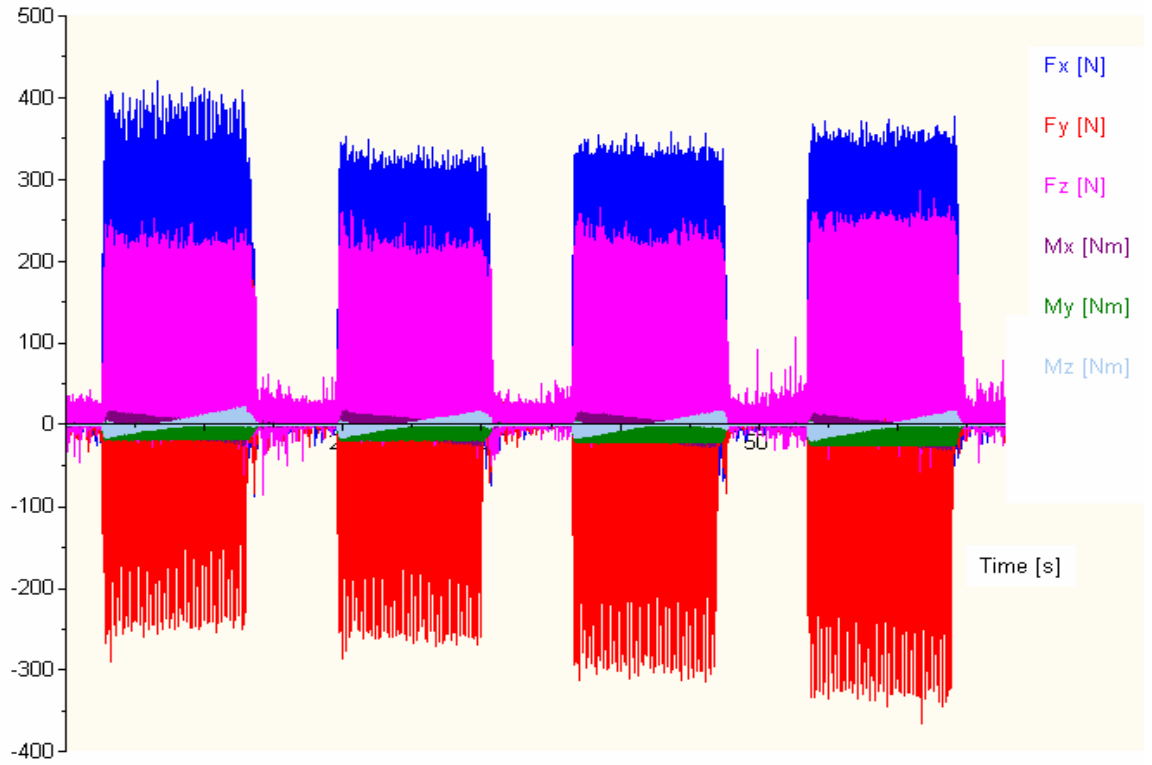
Yüzeyin son paso frezelenmesinde parçanın genişliği 40 mm olduğu için 10 mm sabit yana kayma değeriyle kesme yapılmış ve her 100 mm uzunlukta takım parçadan kaldırılmış ve tekrar kesme yapılmıştır. Bu işlem parçanın kesme yönünün sürekli aynı olması için yapılmıştır. Şekildeki 4 farklı kısım bu kalkmaları ve uzunlukları ifade etmektedir. Frezelemede bütün eksenlerde kuvvet oluşumlarını görmek mümkündür. Fakat bizim asıl kesme kuvvetimiz F_x kuvvetidir.



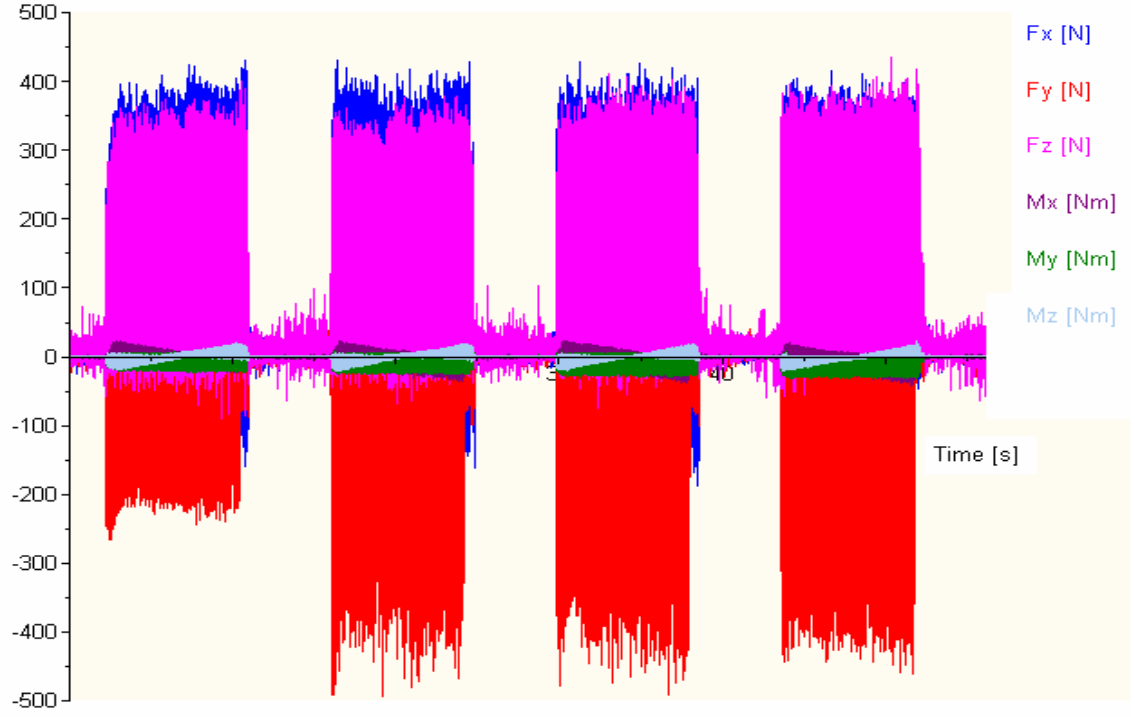
Şekil 8.1 Kesme kuvveti-zaman grafiği.

Frezelemede genel olarak kuvvet eğrisi çok değişik şekiller gösterebilmektedir. Örneğin Şekil 8.2 ve 8.3 te gösterilen grafiklerin her ikisi de sabit kesme hızlarında elde edilen grafiklerdir. Ancak şekilde görüleceği gibi birinci grafikte ilk girişte yani 100 mm kesme uzunluğunda kuvvet oldukça yüksek ve dalgalı ancak 200, 300 ve 400 mm uzunluklarında ise ilk giriş kadar yüksek değil ve ayrıca daha uniform bir şekildedir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise F_x kuvvetinin diğer kuvvetlerden fazla olması ve F_y kuvvetinin yönünün, kesme yönünden dolayı F_x ve F_z kuvvetine zıt yönde olmasıdır. Bunların yanı sıra kesme sırasında küçükte olsa burulma momentlerinin oluşmasıdır. Bunu da şekilde görmek mümkündür.



Şekil 8.2 Sabit kesme hızındaki kesme kuvveti-zaman grafiği.



Şekil 8.3 Sabit kesme hızındaki kesme kuvveti-zaman grafiği

Şekil 8.3 te görüldüğü gibi kuvvetler diğer grafiktekine göre oldukça farklıdır. Mesela esas kesme kuvveti F_x diğer kuvvetlere nazaran bazı yerlerde daha düşüktür. Bunun yanı sıra ilk girişte kuvvette pik yapan bir durum yoktur. Teorikte F_z kuvvetinin F_x ve F_y kuvvetine göre oldukça düşük olması gerekirken burada yüksek çıkmaktadır. Bunu ise malzeme yapısıyla ve takım yapışması gibi tanımlarla açıklayabiliriz.

8. 1. 1. Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kesme Kuvvetleri

Farklı kesme sıvıları ile Taguchi deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen ortalama kuvvet değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 8.1 Taguchi deneylerinde ölçülen ortalama Fx değerleri

Deney No	Ortalama Fx Değerleri (N)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
1	29,54	21,71	20,19	20,56	16,00	19,49
2	39,84	39,69	39,16	42,47	39,21	38,74
3	52,55	58,50	58,55	63,25	59,25	59,39
4	23,72	26,61	26,11	28,64	25,91	26,18
5	46,34	47,84	46,35	58,52	55,27	50,61
6	34,62	34,85	34,63	43,73	36,77	39,01
7	32,61	33,35	33,40	43,99	34,38	38,95
8	29,61	29,22	29,25	46,78	39,50	43,12
9	51,35	58,23	58,20	76,14	54,05	82,06

Tablo 8.2 Taguchi deneylerinde ölçülen ortalama Fy değerleri

Deney No	Ortalama Fy Değerleri (N)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
1	0,34	0,80	1,35	1,07	1,46	0,99
2	1,88	1,41	1,38	1,26	1,13	1,37
3	2,20	2,82	2,90	2,29	2,33	2,38
4	0,95	1,70	1,59	2,54	2,27	2,33
5	2,43	2,67	3,06	8,99	5,24	4,60
6	3,60	3,38	3,41	2,67	2,34	1,95
7	4,53	6,22	6,23	16,13	7,78	10,89
8	1,89	1,57	1,58	6,32	2,99	3,96
9	3,24	5,21	5,21	9,51	4,42	13,59

Tablo 8.3 Taguchi deneylerinde ölçülen ortalama Fz değerleri

Deney No	Ortalama Fz Değerleri (N)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
1	27,42	35,33	42,46	34,24	37,22	57,13
2	33,55	31,37	31,05	36,33	30,09	29,75
3	27,62	35,57	35,63	42,05	35,29	36,07
4	26,28	24,05	23,74	27,24	23,52	26,86
5	32,13	32,88	29,52	35,49	33,25	32,57
6	30,09	29,39	29,26	48,28	32,80	34,44
7	25,01	23,33	23,34	39,24	26,17	30,94
8	29,67	26,79	26,83	46,63	34,26	37,41
9	33,98	33,29	33,24	71,88	43,19	66,85

Taguchi deneylerinde elde edilen kesme kuvvetlerinin detaylı analizi Bölüm 9. da yapılacaktır. Çünkü Regresyon, S/N oranı ve ANOVA analizleriyle kapsamlı olarak açıklanacaktır.

8. 1. 2. Kesme Hızı Deneylerinde Ölçülen Kesme Kuvvetleri

Kesme hızı deneylerinde 6 farklı kesme sıvısı ve 3 farklı kesme hızı değeri kullanılmıştır. Kullanılan her kesme hızı değerinde 3 deney yapılmıştır. Her deneyde 10 mm sabit yana kayma değeriyle toplam 400 mm uzunluk kesilmiştir. Her deneyde toplam 4 kuvvet ölçülmesi yapılmıştır. Böylece her bir kesme hızı için toplam 12 kuvvet ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır.

Aşağıdaki tablolarda, Şekil 8.2 ve Şekil 8.3 te görüldüğü gibi kesme kuvvetleri oldukça kararsız bir yapı sergilemektedir. Örneğin BCF-III sıvısı ile yapılan deneylerde en fazla kuvvet ölçülürken, CSCF-II (EP) sıvıda Fz kuvvetleri Fx kuvvetinden daha büyük çıkmaktadır.

Tablo 8.4 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen ortalama Fx değerleri

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Fx Kuvveti Değerleri (N)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	84,40	129,08	81,54	152,94	82,14	73,71
190	86,95	78,47	79,06	126,19	71,99	83,43
230	80,64	107,65	83,29	99,40	74,02	85,26

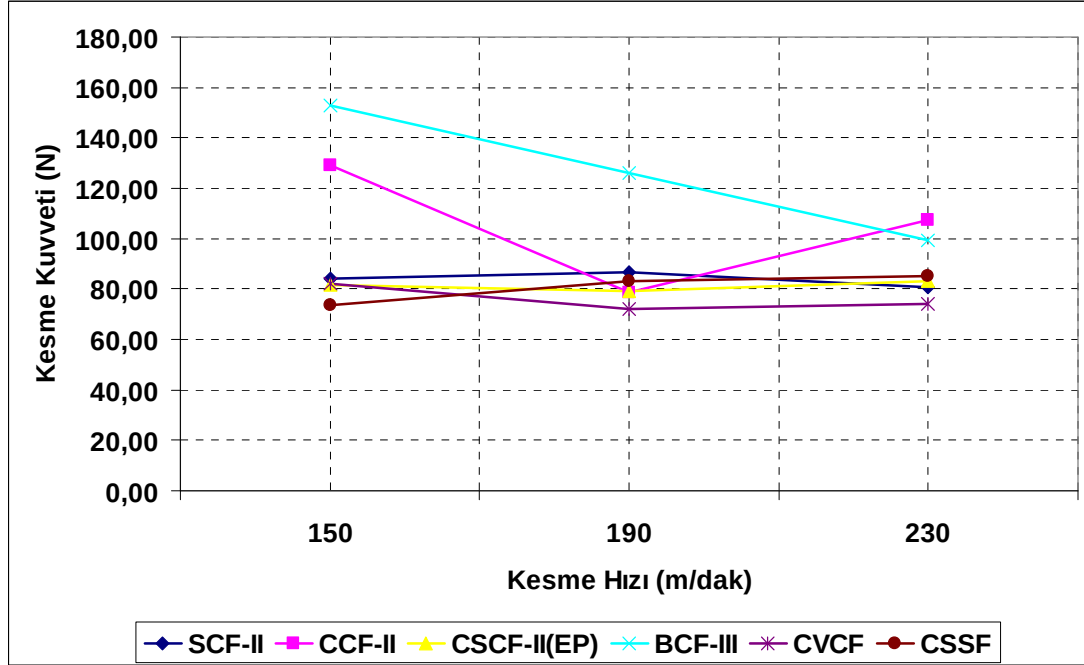
Tablo 8.5 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen ortalama Fy değerleri

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Fy Kuvveti Değerleri (N)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	7,13	28,36	6,07	37,00	7,21	7,07
190	10,86	8,44	8,30	23,06	4,96	8,10
230	11,02	17,61	11,04	18,55	4,78	9,66

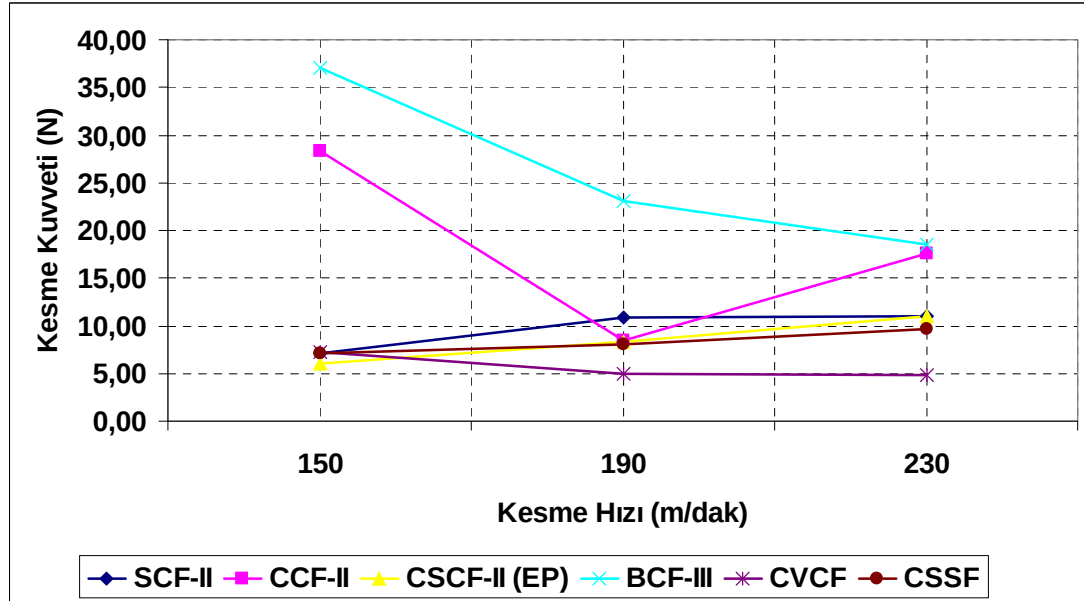
Tablo 8.6 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen ortalama Fz değerleri

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Fz Kuvveti Değerleri (N)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	91,70	115,00	91,57	134,30	79,10	81,28
190	105,96	90,15	90,60	126,48	76,56	96,45
230	92,06	110,47	105,21	98,99	85,00	95,07

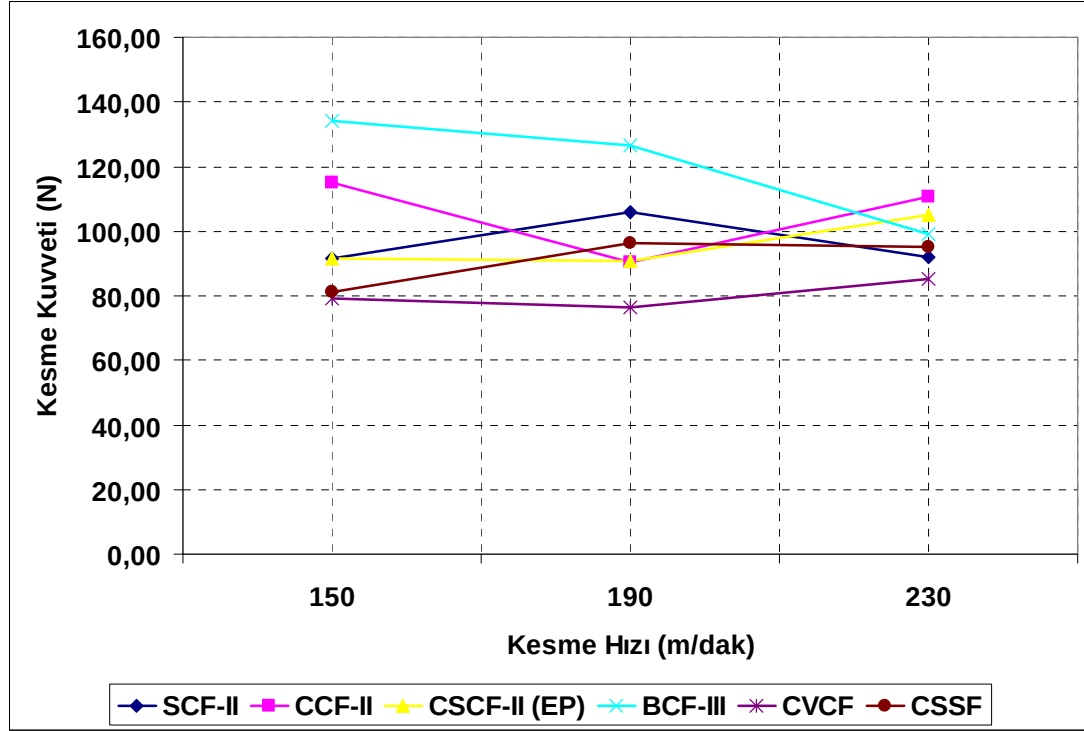
Kesme sıvılarının frezelemedeki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile frezeleme esnasında ölçülen kuvvetlerin ayrı ayrı ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 8.4, Şekil 8.5 ve Şekil 8.6'da grafiksel olarak gösterilmiştir.



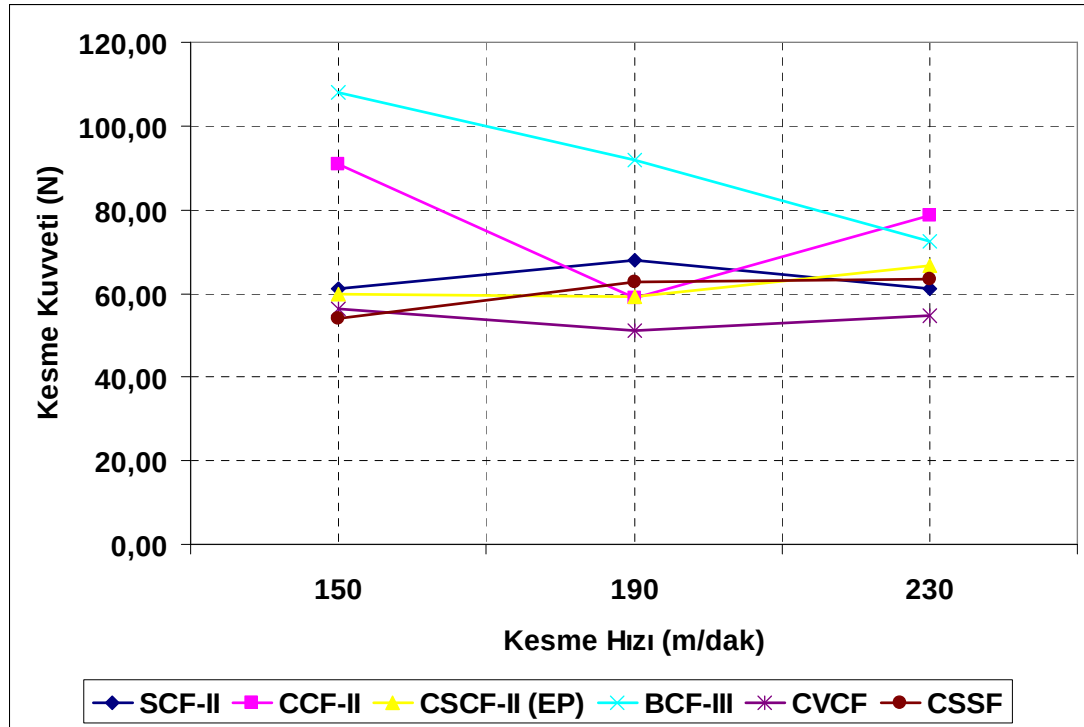
Şekil 8.4 Sabit kesme hızlarında ölçülen ortalama Fx kuvvetleri



Şekil 8.5 Sabit kesme hızlarında ölçülen ortalama Fy Kuvvetleri



Şekil 8.6 Sabit kesme hızlarında ölçülen ortalama Fz Kuvvetleri



Şekil 8.7 Sabit kesme hızlarında ölçülen Fx, Fy ve Fz ortalama değerleri

Şekil 8.7 deki gösterimden anlaşılabacağı gibi iyi performansı en düşük kesme kuvvetini sağlayan CVCF kesme sıvısı göstermiştir. En kötü performansı ise BCF-III sıvısı göstermiştir.

Sıvıların kendi içindeki kesme hızlarındaki performanslarını karşılaştırdığımızda şu sonuçlar çıkmaktadır.

SCF-II Sıvısı: En iyi performansı 150 ve 230 m/dak kesme hızlarında vermiştir. Elde edilen ortalama kuvvet; 150 kesme hızı için 61,08 N iken 230 kesme hızında 61,24 N'dur. Kesme hızı 190 m/dak için 67,93 N'dur.

CCF-II Sıvısı: En iyi performansı 190 m/dak kesme hızında vermiştir. Elde edilen ortalama kuvvet 59,02 N'dur. Diğer kesme hızlarında ise 150 için 90,81 N ve 230 kesme hızı için 78,58 N'dur.

CSCF-II (EP) Sıvısı: En iyi performansı 150 ve 190 m/dak kesme hızlarında vermiştir. Elde edilen ortalama kuvvet; 150 kesme hızı için 59,73 N iken 190 kesme hızında 59,32 N'dur. Kesme hızı 230 m/dak için 66,51 N'dur.

BCF-III Sıvısı: En iyi performansı 230 m/dak kesme hızında vermiştir. Elde edilen ortalama kuvvet 72,31 N'dur. Diğer kesme hızlarında ise 150 için 108,08 N ve 190 kesme hızı için 91,91 N'dur.

CVCF Sıvısı: En iyi Performansı 190 m/dak kesme hızında vermiş olmasına rağmen diğer kesme hızlarında da oldukça yakın performans göstermiştir. Elde edilen kesme kuvvetleri şu şekildedir. 150 kesme hızında 56,15 N, 190 kesme hızında 51,17 N ve 230 kesme hızında 54,60 N'dur.

CSSF Sıvısı: En iyi performansı 150 m/dak kesme hızında vermiştir. Elde edilen ortalama kuvvet 54,02 N'dur. Diğer kesme hızlarında ise 190 için 62,66 N ve 230 kesme hızı için 63,33 N'dur.

Kesme hızlarına göre karşılaştırma yaptığımızda aşağıdaki Tablo 8.7 ortaya çıkmaktadır. Tabloda en iyi performanstan en kötü performansa doğru sıralama yapılmıştır.

Tablo 8.7 Sabit kesme hızı deneylerindeki en iyi kesme hızı karşılaştırması

Fx, Fy, Fz kuvvetleri Ortalama Değerleri (N)					
Kesme Sıvısı	150 (m/dak)	Kesme Sıvısı	190 (m/dak)	Kesme Sıvısı	230 (m/dak)
CSSF	54,02	CVCF	51,17	CVCF	54,60
CVCF	56,15	CCF-II	59,02	SCF-II	61,24
CSCF-II (EP)	59,73	CSCF-II (EP)	59,32	CSSF	63,33
SCF-II	61,08	CSSF	62,66	CSCF-II (EP)	66,51
CCF-II	90,81	SCF-II	67,93	BCF-III	73,21
BCF-III	108,08	BCF-III	91,91	CCF-II	78,58

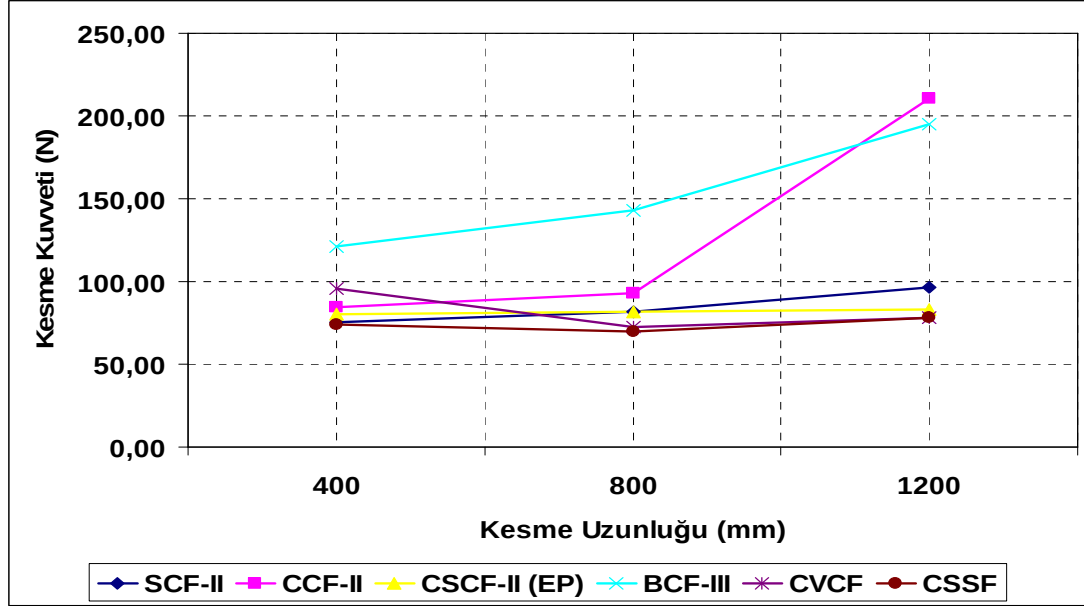
Tablo 8.7 de gösterildiği gibi 150 m/dak kesme hızında en iyi performansı CSSF sıvısı ve en kötü performansı BCF-III sıvısı göstermiştir.

Kesme hızı 190 m/dak için en iyi performansı CVCF kesme sıvısı ve en kötü performansı yine BCF-III sıvısı göstermiştir.

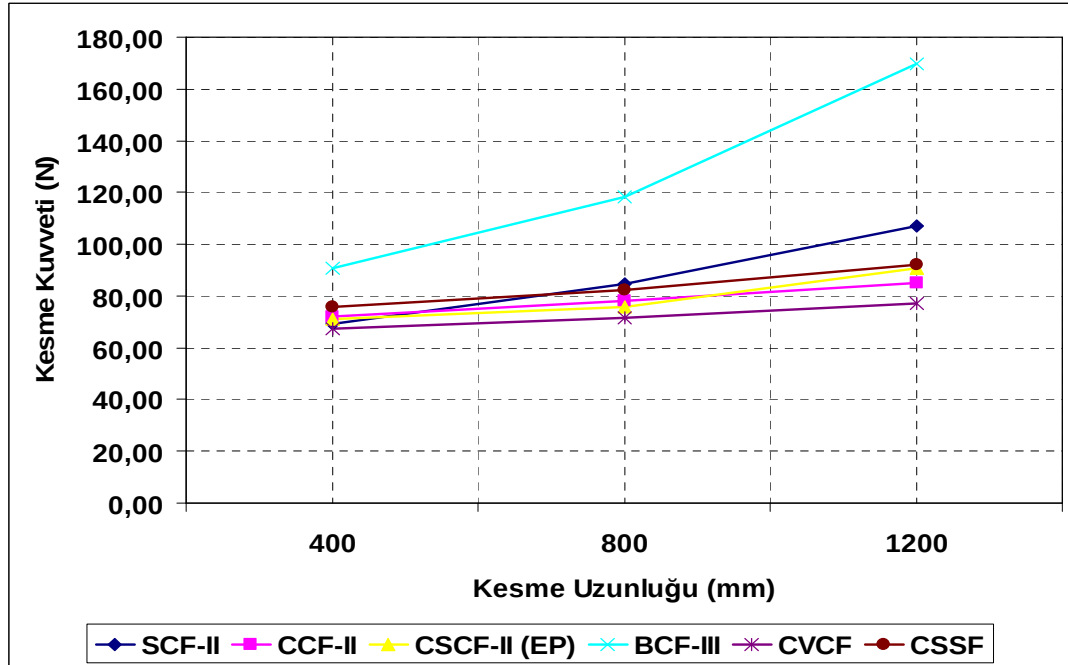
230 m/dak kesme hızında ise en iyi performansı yine CVCF kesme sıvısı ve en kötü performansı CCF-II sıvısı göstermiştir.

Yukarıdaki yorumlar dışında yapılması gereken asıl yorum ise geliştirilmiş olan sıvılar için en iyi performansı hangi sıvının hangi kesme aralığında verdiğini tespit etmektir. Buradan yola çıktığımızda ise geliştirilen sıvıların en iyisi CCF-II ve SCF-II olarak karşımıza çıkmaktadır. CCF-II sıvısı ise en iyi performansını 190 m/dak kesme hızında verirken SCF-II sıvısı en iyi performansını 230 m/dak kesme hızında vermektedir.

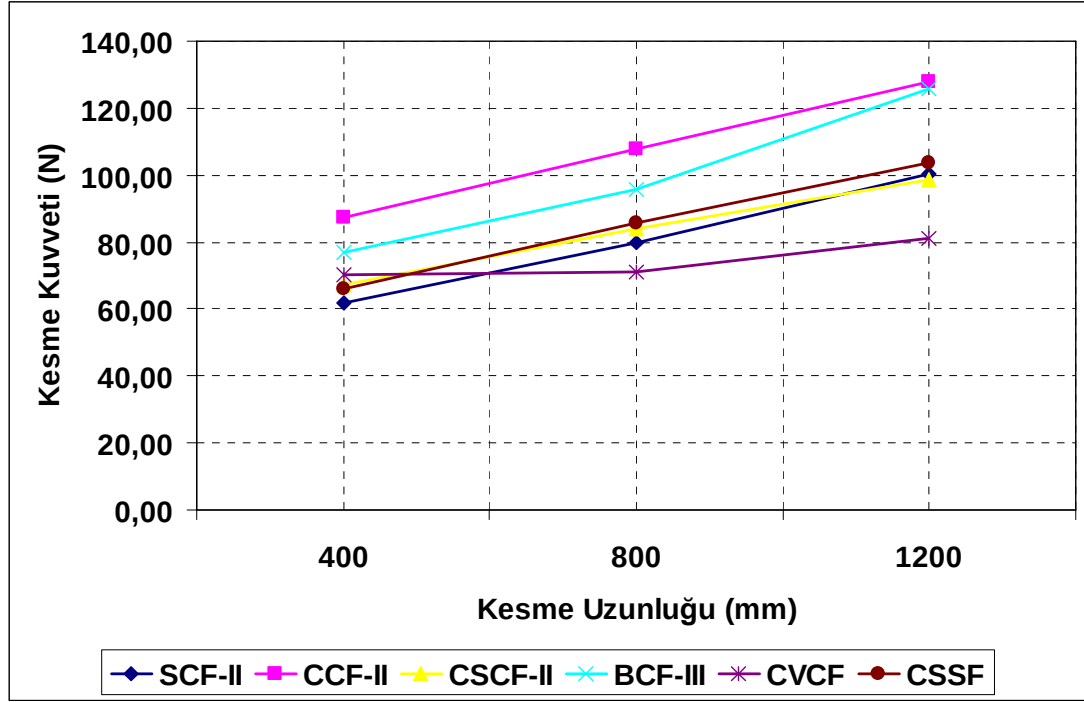
Sabit kesme hızı deneylerinde her bir kesme hızı için 1 deneyde 400 mm ve toplamda 1200 mm uzunluk kesildiği için kesme uzunluğuna bağlı kesme kuvveti grafikleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 8.8 Kesme uzunluğu-kesme kuvveti grafiği (V: 150 m/dak)



Şekil 8.9 Kesme uzunluğu-kesme kuvveti grafiği (V: 190 m/dak)



Şekil 8.10 Kesme uzunluğu-kesme kuvveti grafiği (V: 230 m/dak)

Şekil 8.8, Şekil 8.9 ve Şekil 8.10 da görüldüğü gibi Kesme uzunluğu arttıkça kesme kuvveti de artmaktadır. Bazı sınıflarda artış çok fazla iken bazılarında oldukça az bir artış gözlemlenmektedir.

8. 2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

8. 2. 1. Taguchi Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü

Taguchi deneylerinde her 400 mm uzunluk kesildikten sonra parça sökölerek 3 noktadan yüzey pürüzlülüğü ölçölmüş ve bu değlererin ortalaması alınarak o deney seti için ortalama pürüzlölük olarak kullanılmıştır. Böylece her bir kesici uç ve her bir sıvı ile toplam 3600 mm uzunlukta kesme yapılmıştır. Elde edilen pürüzlölük değleri Tablo 8.8 de gösterilmiştir.

Tablo 8.8 Taguchi deneylerinde ölçölen Ra pürüzlölük değleri

Deney No	Ortalama Ra Yüzey Pürüzlölük Değleri (μm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
1	0,24	0,22	0,22	0,18	0,36	0,37
2	0,26	0,27	0,29	0,27	0,29	0,32
3	0,39	0,35	0,44	0,30	0,46	0,48
4	0,24	0,32	0,21	0,21	0,22	0,32
5	0,29	0,37	0,29	0,32	0,35	0,42
6	0,26	0,38	0,37	0,30	0,35	0,46
7	0,23	0,37	0,37	0,19	0,38	0,31
8	0,22	0,36	0,43	0,28	0,33	0,40
9	0,31	0,49	0,52	0,39	0,54	0,59

Taguchi deneylerinde ölçölen yüzey pürüzlölük değlerinin detaylı analizi 9. bölümde yapılmıştır. Yüzey pürüzlölüğü için Anova, S/N oranı ve Regresyon analizleri yapılmıştır.

8. 2. 2. Sabit Kesme Hızı Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzeyin son paso frezelenmesinde kesme hızının etkisini belirlemek için 3 farklı kesme hızında 6 farklı kesme sıvısı için deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin her bir setinde 400 mm uzunluk kesilmiş ve parça sökülerek 3 noktadan yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Her bir kesme hızı ve her bir kesme sıvısı için toplam 1200 mm uzunluk kesilmiştir. Elde edilen pürüzlülük değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

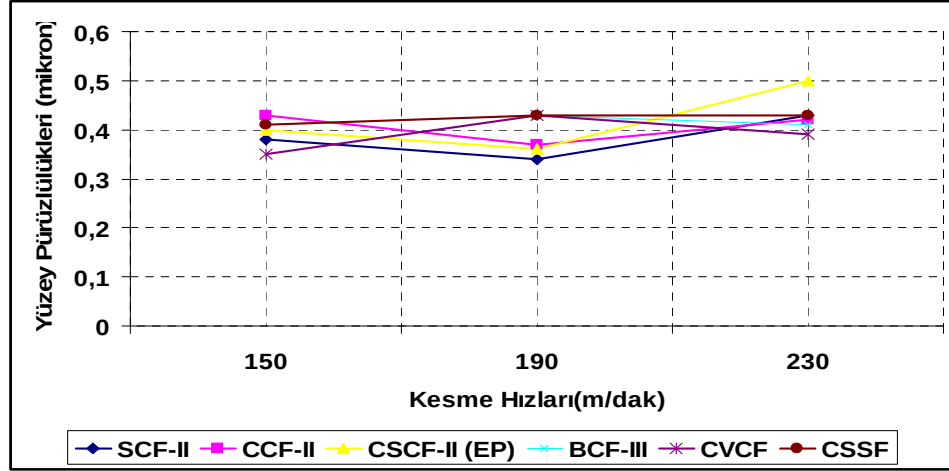
Tablo 8.9 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen Ra pürüzlülük değerleri

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Ra Yüzey Pürüzlülük Değerleri (μm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	0,38	0,50	0,49	0,56	0,42	0,35
	0,35	0,41	0,33	0,30	0,33	0,43
	0,40	0,37	0,38	0,38	0,31	0,44
190	0,40	0,35	0,50	0,46	0,43	0,51
	0,29	0,35	0,31	0,35	0,46	0,39
	0,33	0,40	0,28	0,49	0,40	0,40
230	0,37	0,39	0,50	0,44	0,37	0,53
	0,44	0,45	0,56	0,35	0,36	0,40
	0,49	0,44	0,44	0,45	0,44	0,37

Tablo 8.10 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen Ra pürüzlülük değerleri.

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Ra Yüzey Pürüzlülük Değerleri (μm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	0,38	0,43	0,40	0,41	0,35	0,41
190	0,34	0,37	0,36	0,43	0,43	0,43
230	0,43	0,42	0,50	0,41	0,39	0,43

Tablo 8.10 ve Şekil 8.11 de görüldüğü gibi her bir sıvının 1200 mm kesme uzunluğundaki yüzey pürüzlülüklerinde en iyi performansı SCF-II sıvısı vermiştir. En kötü performansı ise CSSF sıvı vermiştir.



Şekil 8.11 Sabit kesme hızı–Ra pürüzlülük grafiği

Deneylerde kullanılan 6 farklı kesme sıvısının 3 farklı kesme hızındaki yüzey pürüzlülük performansları aşağıdaki gibidir.

SCF-II Sıvısı: En iyi yüzey pürüzlülüğünü 190 m/dak kesme hızında vermiştir. Diğer en iyi performansları ise sırasıyla 150 m/dak ve 230 m/dak kesme hızlarıdır.

CCF-II Sıvısı: En iyi yüzey pürüzlülüğünü 190 m/dak kesme hızında vermiştir. Diğer en iyi performansları ise oldukça birbirine yakındır ve sırasıyla 230 m/dak ve 150 m/dak kesme hızlarıdır.

CSCF-II (EP) Sıvısı: en iyi performansı 190 m/dak kesme hızında, en kötü performansı ise 230 m/dak kesme hızında vermiştir.

BCF-III Sıvısı: En iyi performansı 150 m/dak ve 230 m/dak kesme hızlarında vermiş olmasına rağmen 190 m/dak kesme hızındaki pürüzlülük performansı da oldukça diğerlerine yakındır.

CVCF Sıvısı: En iyi pürüzlülük performansını 150 m/dak kesme hızında en kötü performansı ise 190 m/dak kesme hızında vermiştir.

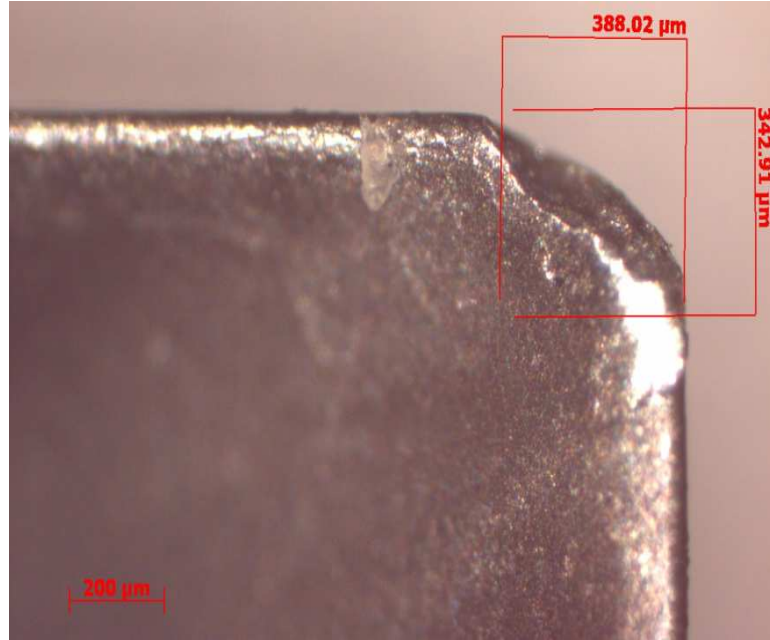
CSSF Sıvısı: En iyi pürüzlülük performansını 150 m/dak kesme hızında vermiş olmasına rağmen diğer kesme hızlarındaki performansları da oldukça birbirine yakındır.

8. 3. Takım Aşınması Sonuçları

8. 3. 1. Taguchi Deneylerindeki Takım Aşınmaları

Taguchi deneylerinde 6 farklı kesme sıvısı ve 9 farklı deney yapılmıştır. Yapılan her deneyde 400 mm uzunlukta kesme yapılmıştır. Her 9 deney sonucunda bir kez aşınma ölçülmüştür.

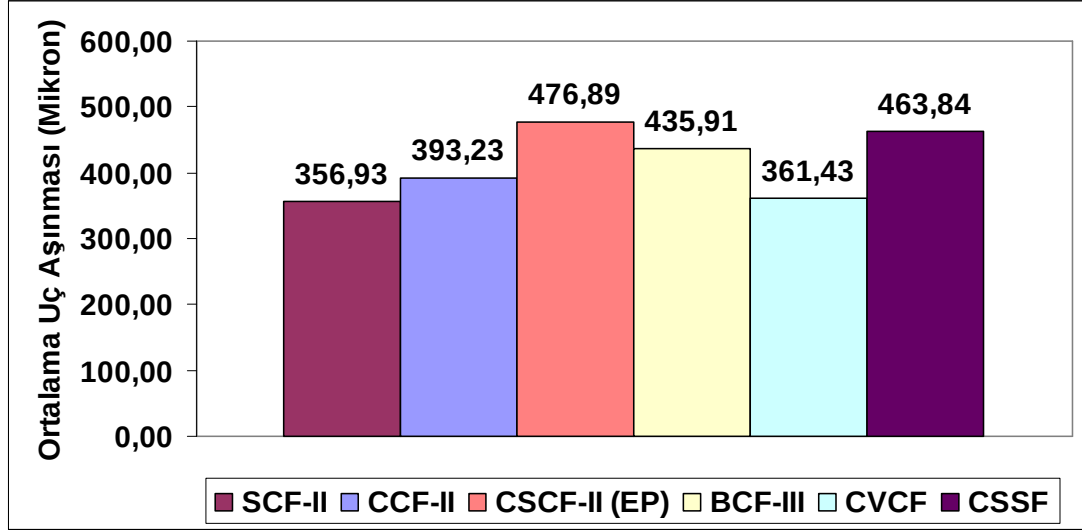
Takım aşınmalarını ölçmek için G.Y.T.E. Malzeme Müh. Laboratuvarında bulunan yazılım(axio vision) destekli mikroskop kullanılmıştır. Ölçülen kesici takım aşınmasına ait örnek bir resim Şekil 8.12 de mevcuttur. Elde edilen takım aşınmaları Tablo 8.11 ve Şekil 8.13 de gösterilmiştir.



Şekil 8.12 Yazılım destekli Mikroskopla ölçülen örnek bir takım aşınması

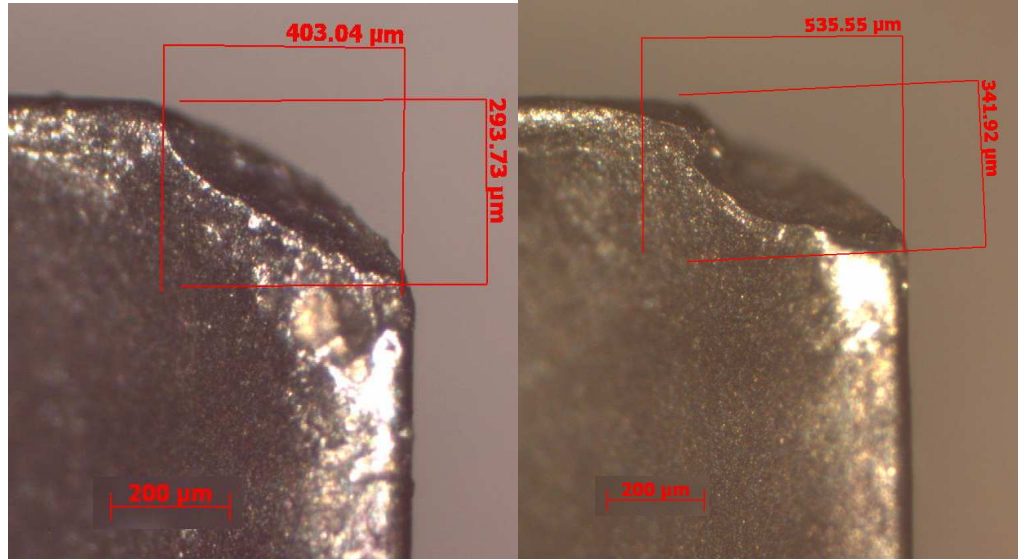
Tablo 8.11 Taguchi deneylerinde ölçülen kesici uç aşınması ortalama değerleri

Kesici Takım	Ortalama Kesici Uç Aşınması Değerleri (µm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
1. Uç	365,47	347,72	465,37	404,44	376,40	471,33
2. Uç	348,39	438,74	488,41	467,38	346,46	456,35



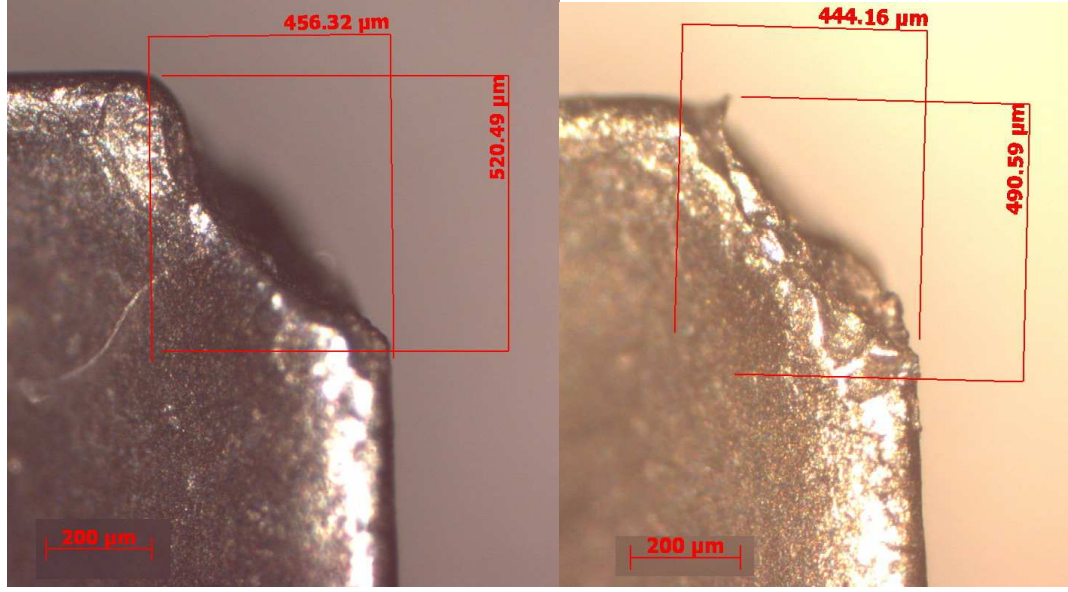
Şekil 8.13 Ortalama kesici uç aşınması grafiği

Tablo 8.11 de gösterilen aşınma değerleri, Şekil 8.14'te gösterilen yatay ve dikey aşınmaların ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan kesici takım 2 ağızlı değiştirilebilir uçlu bir takım olduğundan her bir uç için aynı prosedür uygulanmıştır. Şekil 8.13 te gösterilen grafik her 2 kesici uc'un maksimum aşınmalarının ortalama aşınma değerleri alınarak oluşturulmuştur.



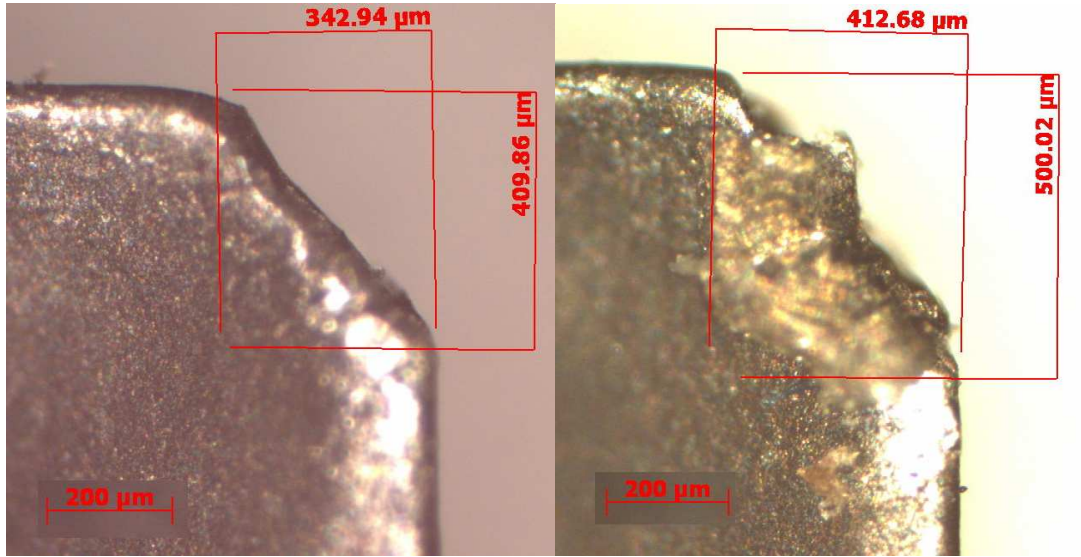
a-) SCF-II

b-) CCF-II



c-) CSCF-II (EP)

d-) BCF-III



e-) CVCF

f-) CSSF

Şekil 8.14 Taguchi deneylerinde 3600 mm uzunluktaki takım aşınmaları

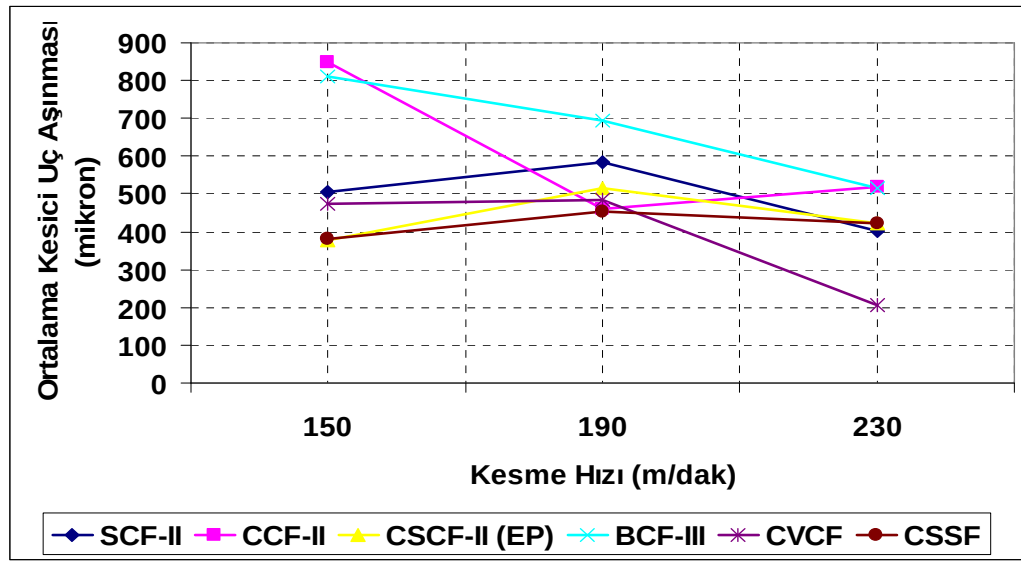
Takım aşınmaları açısından taguchi deneylerindeki sıvıların performansını karşılaştırdığımızda en iyi performansı SCF-II sıvısının en kötü performansı ise CSCF-II (EP) sıvısının vermiş olduğunu görmekteyiz. Sıvıları aşınmadaki performanslarına göre sıralayacak olursak iyiden kötüye doğru **SCF-II**, **CVCF**, **CCF-II**, **BCF-III**, **CSSF** ve **CSCF-II (EP)** sıvı şeklinde sıralayabiliriz.

8. 3. 2. Sabit Kesme Hızı Deneylerindeki Takım Aşınmaları

Bu deney setinde 3 farklı kesme hızı 150, 190 ve 230 m/dak kullanılmıştır. Her kesme hızında 6 farklı sıvı kullanılmış ve 3 deney yapılmıştır. Her deneyde 400 mm uzunluk kesilmiş ve toplamda 1200 mm uzunluk kesilmiştir. Taguchi deneylerindeki gibi 150 ve 190 m/dak kesme hızlarında 1200 mm toplam uzunluk kesildikten sonra kesici uç aşınması ölçülmüştür. Kesme hızı 230 m/dak için her 400 mm kesme uzunluğunda kesici uç sökülerek aşınması ölçülmüştür.

Tablo 8.12 Sabit kesme hızı deneylerindeki kesici uç aşınması

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Kesici Uç Aşınması Değerleri (µm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	505,70	849,45	377,19	809,28	474,20	380,76
190	585,12	459,41	515,74	692,32	483,05	453,32
230	400,65	517,29	421,61	514,74	207,12	422,72



Şekil 8.15 Kesme hızı-kesici uç aşınması grafiği

Tablo 8.12 ve Şekil 8.14'te gösterildiği gibi sabit kesme hızı deneylerinde her bir sıvı farklı kesme hızlarında farklı performanslar sergilemektedir.

Takım aşınması açısından sıvıların performansını karşılaştırdığımızda en iyi performansı 230 m/dak kesme hızında CVCF sıvının verdiğini ve en kötü performansı ise 150 m/dak kesme hızında CCF-II sıvısının verdiğini görmekteyiz.

Her bir sıvıyı kesme hızları açısından kendi içerisinde değerlendirdiğimizde aşağıdaki sonuçlar çıkmaktadır.

SCF-II Sıvısı: En iyi performansı 230 m/dak kesme hızında, en kötü performansı ise 190 m/dak kesme hızında vermiştir. Takım aşınmaları her kesme hızı için oldukça farklıdır.

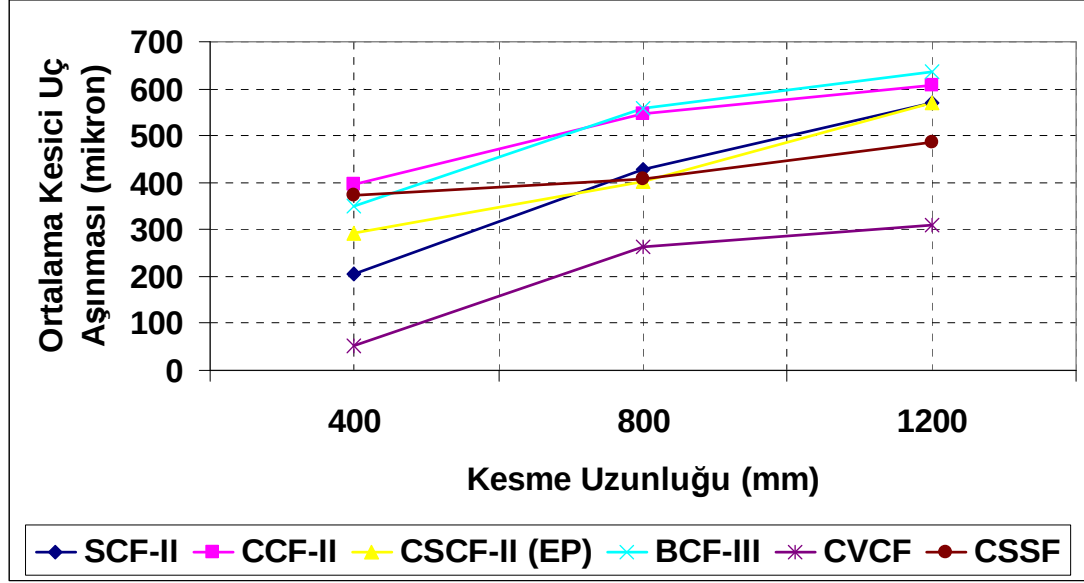
CCF-II Sıvısı: En iyi performansı 190 m/dak kesme hızında, en kötü performansı ise 150 m/dak kesme hızında vermiştir.

CSCF-II (EP) Sıvısı: Takım Aşınması en iyi 150 m/dak kesme hızında görülürken, en kötü 190 m/dak kesme hızında görülmektedir.

BCF-III Sıvısı: En iyi performansı 230 m/dak kesme hızında, en kötü performansı ise 150 m/dak kesme hızında vermiştir. Takım aşınması her kesme hızı için oldukça farklıdır.

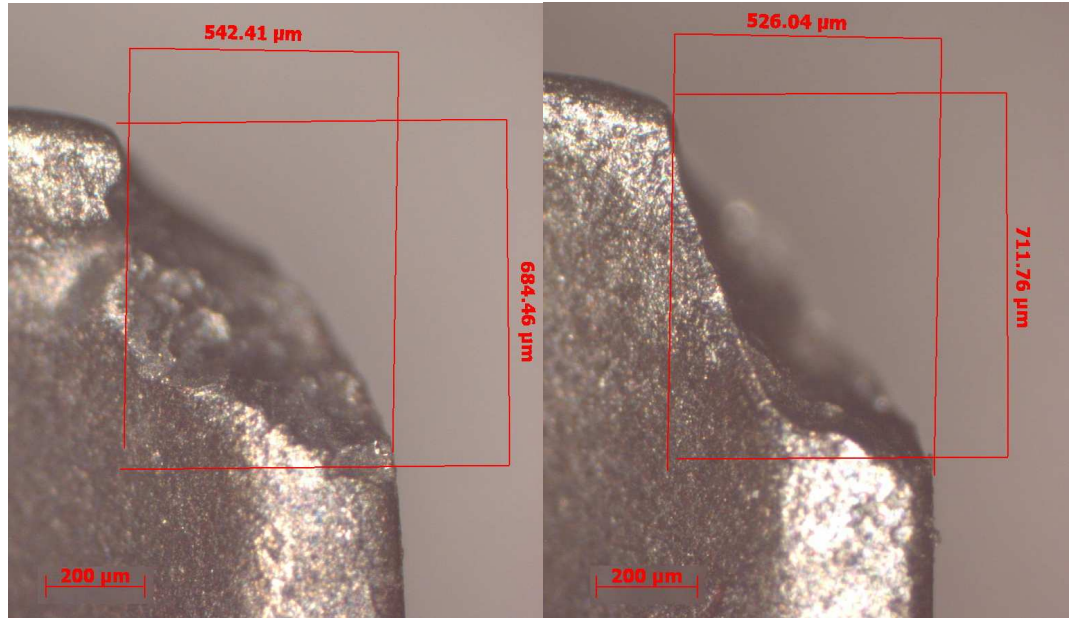
CVCF Sıvısı: En iyi takım aşınma performansını 230 m/dak kesme hızında verirken 150 ve 190 m/dak kesme hızlarındaki aşınmaları oldukça birbirine yakındır.

CSSF Sıvısı: En iyi performansı 150 m/dak kesme hızında, en kötü performansı ise 190 m/dak kesme hızında vermiştir.



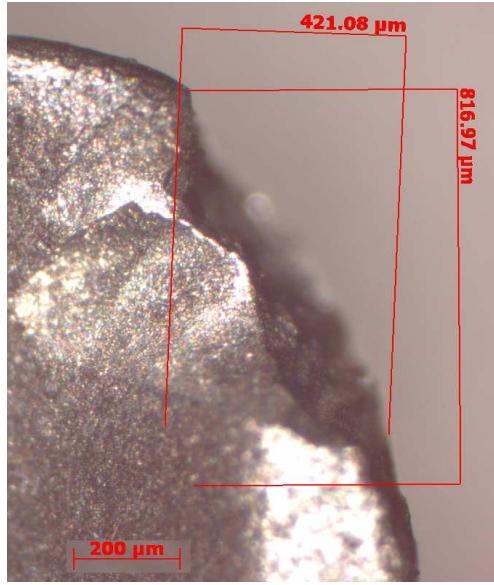
Şekil 8.16 Kesme uzunluğu-kesici uç aşınması grafiği (V: 230 m/dak)

Sabit kesme hızı deneylerinde 230 m/dak kesme hızı için her bir deney setinde aşınma ölçüldüğü için kesici uç aşınması ile kesme uzunluğu arasındaki ilişki Şekil 8.15 te gösterilmektedir. Kesme uzunluğu arttıkça uç aşınması da artmaktadır. Aşağıdaki şekilde ise 230 m/dak kesme hızında 1200 mm sonundaki takım aşınmaları mevcuttur.

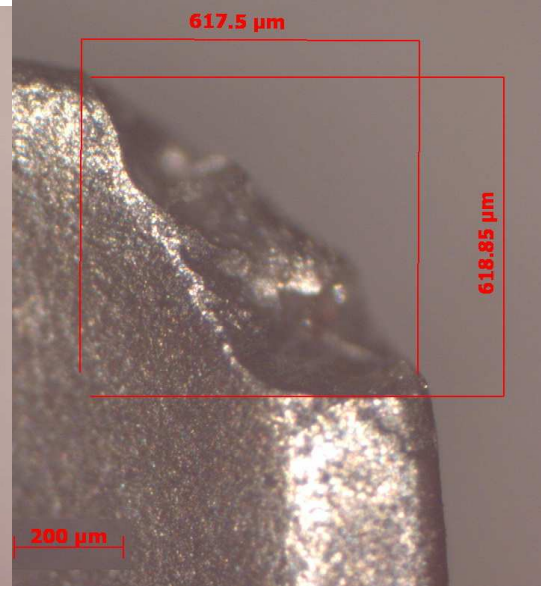


a-) SCF-II

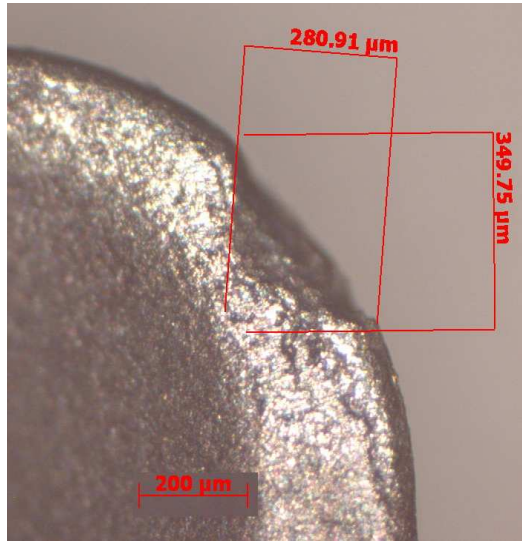
b-) CCF-II



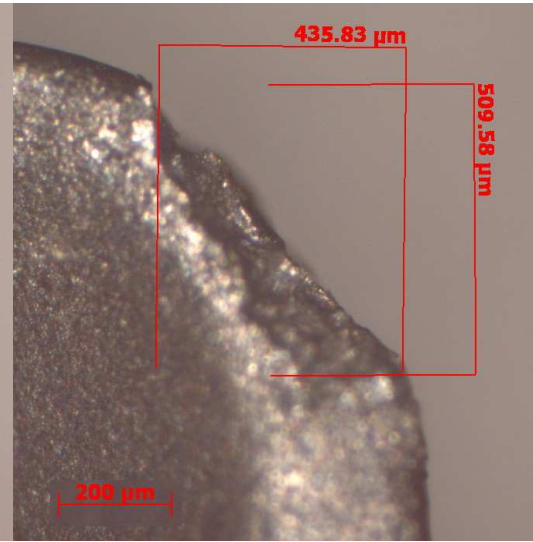
c-) CSCF-II (EP)



d-) BCF-III



e-) CVCF



f-) CSSF

Şekil 8.17 Kesme hızı V: 230 m/dak için 1200 mm'deki uç aşınmaları

9. DENEY SONUÇLARININ ANALİZLERİ

9. 1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz tekniğidir.

Bütün kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü denklemlerinin geliştirilmesinde kesme parametrelerinin etkilerini içeren birinci dereceden denklemler oluşturulmuştur. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü; kesme hızının, ilerlemenin ve kesme derinliğinin lineer bir kombinasyonu olduğu düşünülürse, kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü veren denklemler aşağıdaki gibi olacaktır:

$$Fx = c_0 + c_1V + c_2f + c_3a_p + \varepsilon \quad (9.1)$$

$$Ra = c_0 + c_1V + c_2f + c_3a_p + \varepsilon \quad (9.2)$$

Bu denklemlerde c_0 , c_1 , c_2 ve c_3 katsayılarıdır, ε ise hatadır ve Minitab 14 yazılımı yardımıyla bulunmuştur.

SCF-II kesme sıvısı için kesme kuvveti değerini veren denklem:

$$Fx = -0,7 - 0,0279V + 87,7f + 126a_p \quad (9.3)$$

$$R-Sq = 83,7\% \quad R-Sq(adj) = 74,0\% \quad (9.4)$$

CCF-II kesme sıvısı için kesme kuvveti değerini veren denklem:

$$Fx = -20,8 + 0,003V + 117f + 180a_p \quad (9.5)$$

$$R-Sq = 91,1\% \quad R-Sq(adj) = 85,8\% \quad (9.6)$$

CSCF-II (EP) kesme sıvısı için kesme kuvveti değerini veren denklem:

$$Fx = -23,1 + 0,0098V + 119f + 181a_p \quad (9.7)$$

$$R-Sq = 91,9\% \quad R-Sq(adj) = 87,0\% \quad (9.8)$$

BCF-III kesme sıvısı için kesme kuvveti değerini veren denklem:

$$Fx = -39,6 + 0,135V + 150f + 182a_p \quad (9.9)$$

$$R-Sq = 91,4\% \quad R-Sq(adj) = 86,2\% \quad (9.10)$$

CVCF kesme sıvısı için kesme kuvveti değerini veren denklem:

$$Fx = -29 + 0,0449V + 123f + 189a_p \quad (9.11)$$

$$R-Sq = 90,9\% \quad R-Sq(adj) = 85,5\% \quad (9.12)$$

CSSF kesme sıvısı için kesme kuvveti değerini veren denklem:

$$Fx = -42,6 + 0,155V + 160f + 158a_p \quad (9.13)$$

$$R-Sq = 83,1\% \quad R-Sq(adj) = 72,9\% \quad (9.14)$$

SCF-II kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = 0,126 - 0,000433V + 0,417f + 0,633a_p \quad (9.15)$$

$$R-Sq = 85,6\% \quad R-Sq(adj) = 77,0\% \quad (9.16)$$

CCF-II kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = -0,0322 + 0,00127V + 0,517f + 0,433a_p \quad (9.17)$$

$$R-Sq = 94,2\% \quad R-Sq(adj) = 90,7\% \quad (9.18)$$

CSCF-II (EP) kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = -0,066 + 0,00123V + 0,883f + 0,267a_p \quad (9.19)$$

$$R-Sq = 80,4\% \quad R-Sq(adj) = 68,7\% \quad (9.20)$$

BCF-III kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = 0,0461 + 0,000367V + 0,683f + 0,167a_p \quad (9.21)$$

$$R-Sq = 82,5\% \quad R-Sq(adj) = 72,1\% \quad (9.22)$$

CVCF kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = 0,064 + 0,000467V + 0,65f + 0,5a_p \quad (9.23)$$

$$R-Sq = 47,4\% \quad R-Sq(adj) = 15,9\% \quad (9.24)$$

CSSF kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = 0,179 + 0,000433V + 0,883f - 0,067a_p \quad (9.25)$$

$$R-Sq = 73,4\% \quad R-Sq(adj) = 57,4\% \quad (9.26)$$

Tablo 9.1 Taguchi deneylerindeki kesme kuvveti regresyon analiz sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
R-Sq	%83,7	%91,1	%91,9	%91,4	%90,9	%83,1
R-Sq (Adj)	%74,0	%85,8	%87,0	%86,2	%85,5	%72,9

Tablo 9.2 Taguchi deneylerindeki yüzey pürüzlülüğü regresyon analiz sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
R-Sq	%85,6	%94,2	%80,4	%82,5	%47,4	%73,4
R-Sq (Adj)	%77,0	%90,7	%68,7	%72,1	%15,9	%57,4

Denklemlerde F_x esas kesme kuvvetini, R_a yüzey pürüzlülüğünü, V kesme hızını, f ilerlemeyi ve a_p kesme derinliğini ifade etmektedir. Çoklu regresyon analizinde, regresyon katsayısı R^2 (R-Sq)'nin 0.80'den büyük olması modelin tatmin edici olduğunu göstermektedir.

Kesme kuvveti açısından baktığımızda geliştirilen matematiksel modellerin hepsi tatmin edicidir ve kesme kuvveti verilerini açıklamada yeterlidir. Ancak Yüzey pürüzlülüğü açısından CVCF sıvı ve CSSF sıvı için uydurulan matematiksel model tatmin edici değildir.

9. 2. S/N Oranının Analizi

Taguchi deney tasarım metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt S/N oranıdır. Sinyal (S), sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değerdir. Gürültü (N) ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını. 3 tip S/N oranı vardır.

Tip N: Hedef değer en iyi, hedef nominal bir değere ulaşmak.

$$S / N = -10.\log\left(\frac{Y^2}{S}\right) \quad (9.27)$$

Tip S: En küçük en iyi, hedef en düşük değere ulaşmak.

$$S / N = -10.\log\left(\frac{1}{n}.\sum_{i=1}^n Y_i^2\right) \quad (9.28)$$

Tip B: En büyük en iyi, hedef en yüksek değere ulaşmak.

$$S / N = -10.\log\left(\frac{1}{n}.\sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2}\right) \quad (9.29)$$

Y: Y değerlerinin ortalaması,

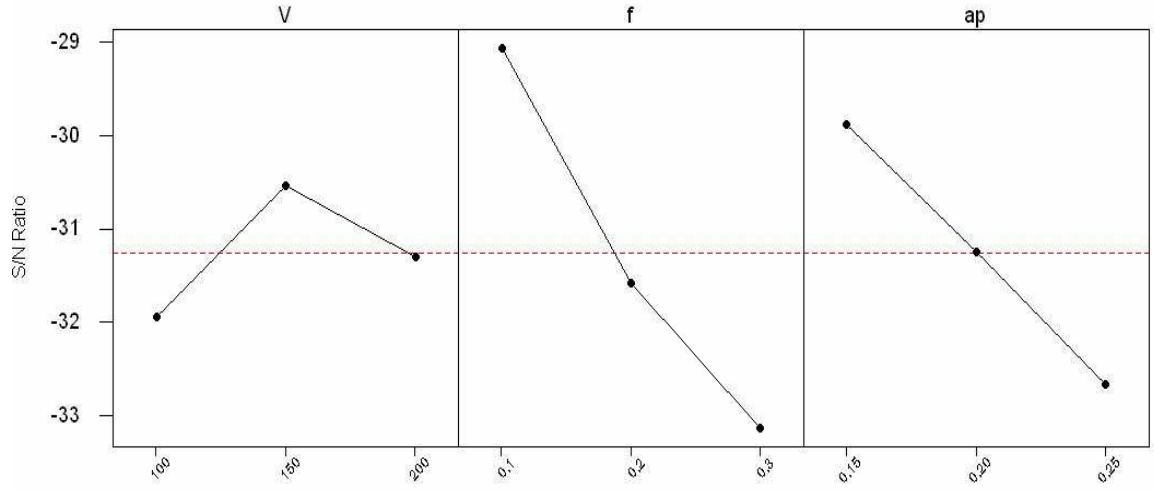
S: Y değerlerinin standart sapması,

n: Y değerlerinin sayısı

Bu çalışmada kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçüldüğü için, S tipi yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranı kullanılmıştır.

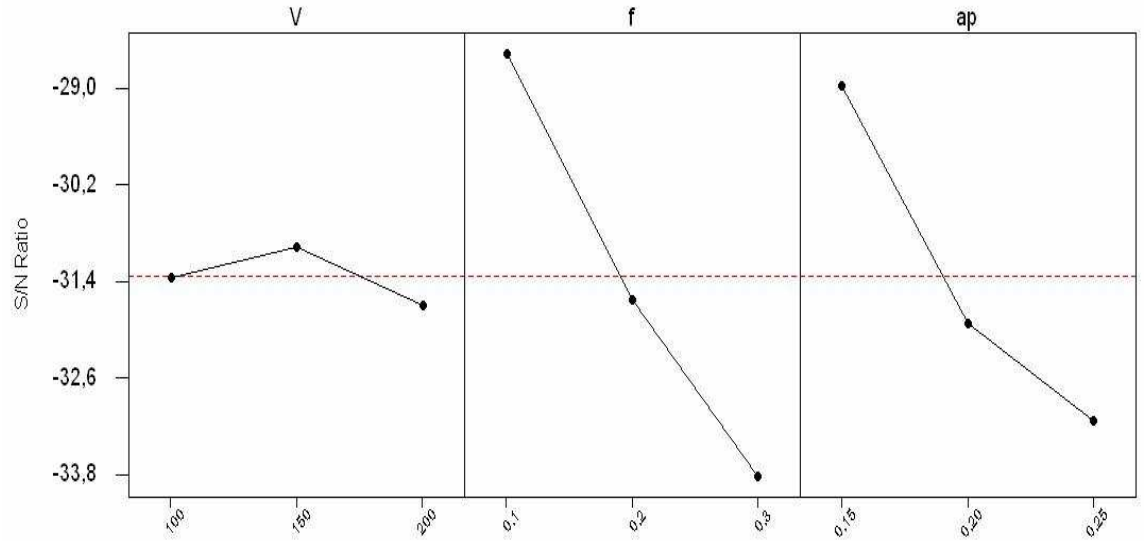
Aşağıdaki şekiller her bir kesme sıvısı için yapılan yüzey frezelemede kesme parametrelerinin, kesme kuvveti üzerindeki etkisini göstermektedir. Her faktör için hesaplanan S/N oranının en yüksek olduğu değer, en iyi deney sonucunu göstermektedir.

Main Effects Plot for S/N Ratios



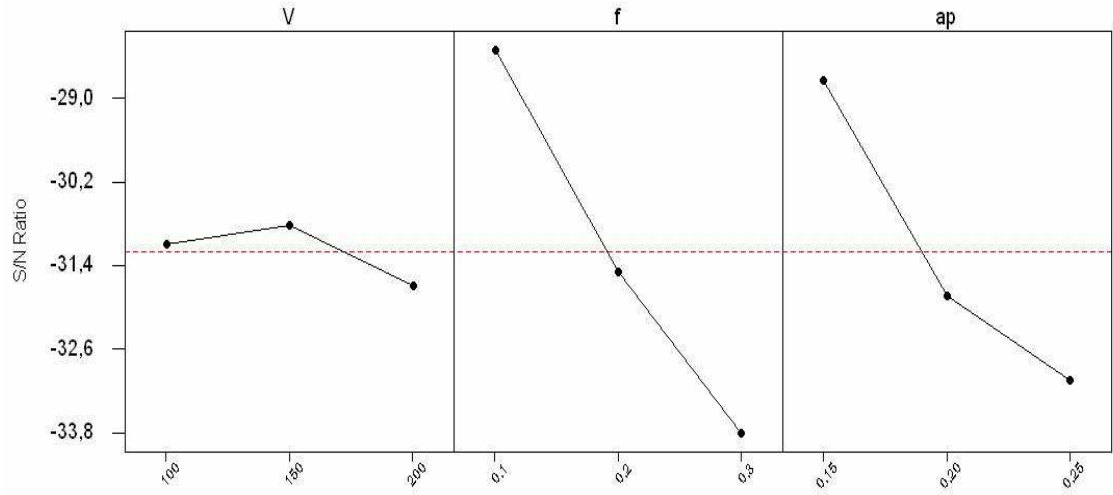
Şekil 9.1 SCF-II sınıfı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.

Main Effects Plot for S/N Ratios



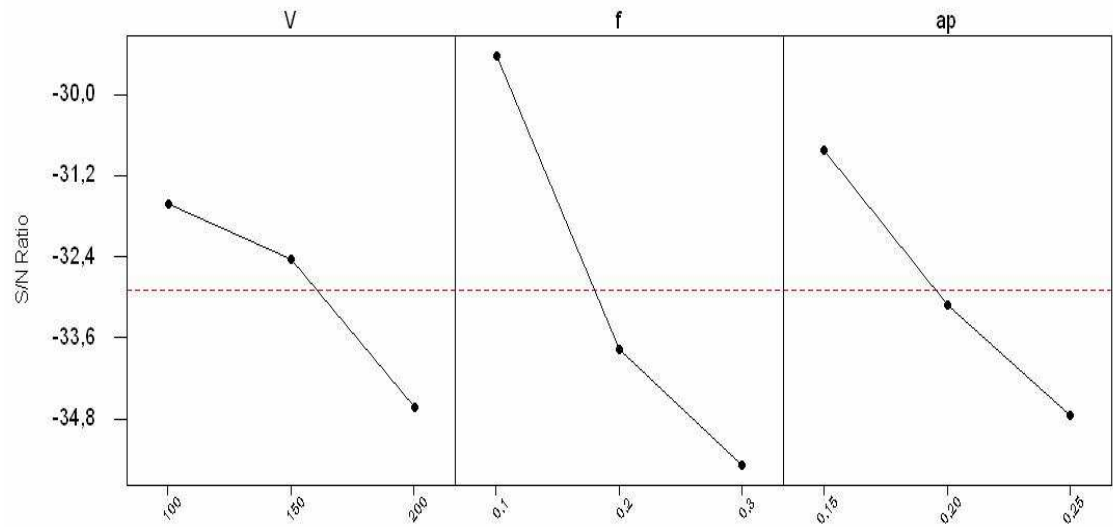
Şekil 9.2 CCF-II sınıfı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.

Main Effects Plot for S/N Ratios

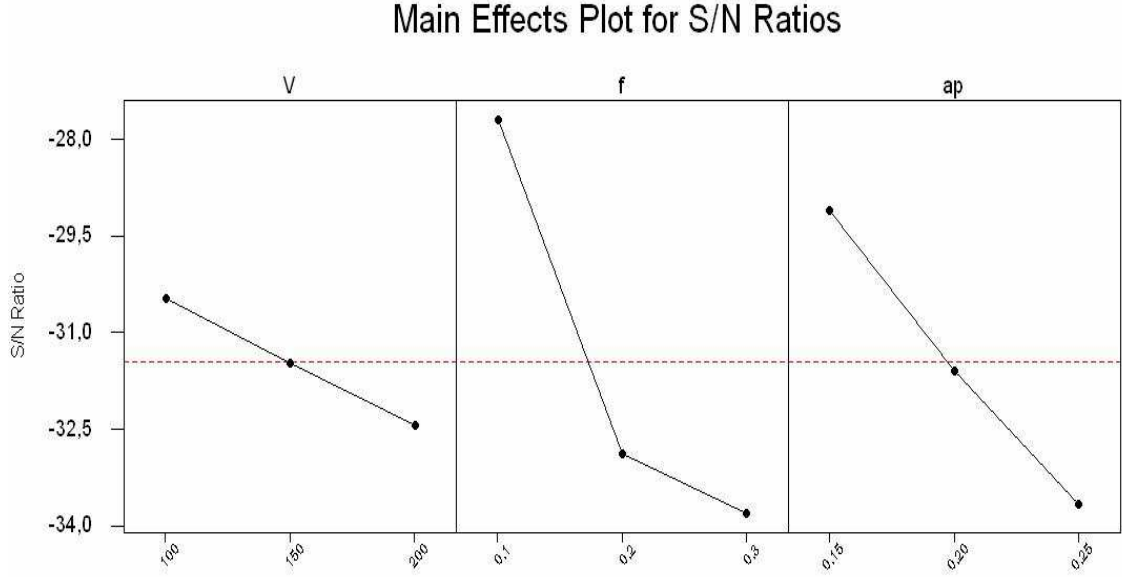


Şekil 9.3 CSCF-II (EP) sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.

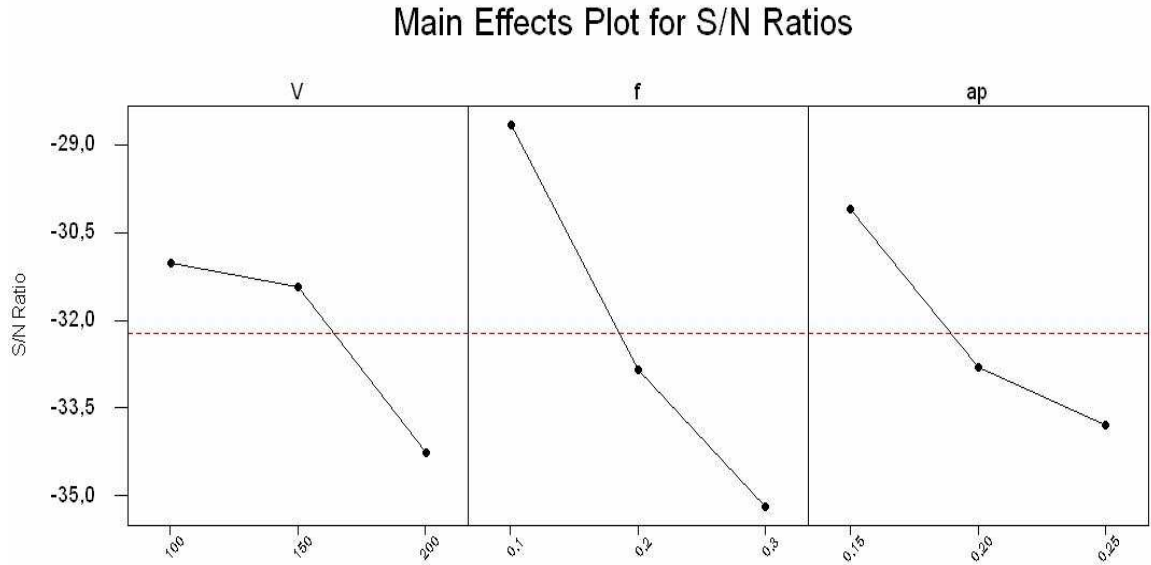
Main Effects Plot for S/N Ratios



Şekil 9.4 BCF-III sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.



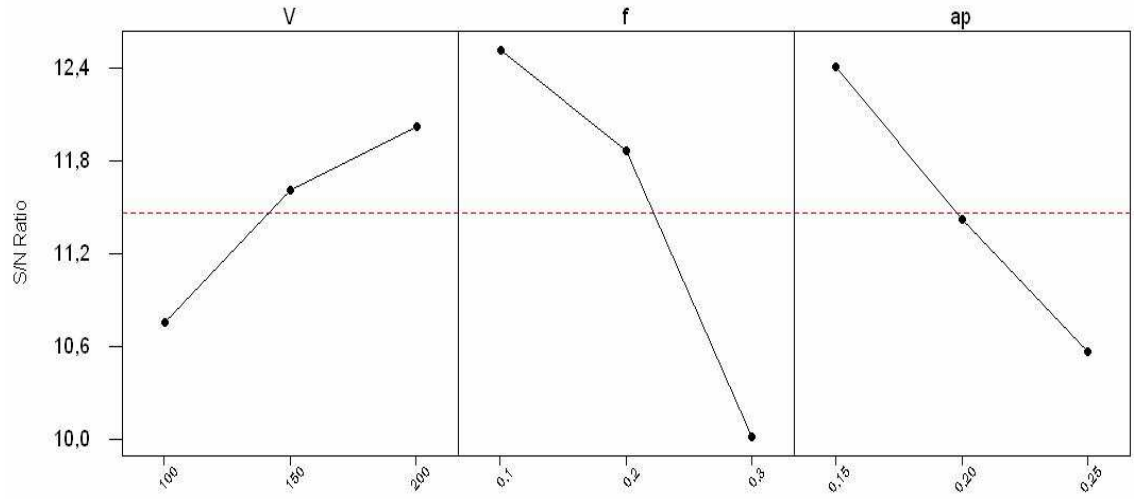
Şekil 9.5 CVCF sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.



Şekil 9.6 CSSF sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.

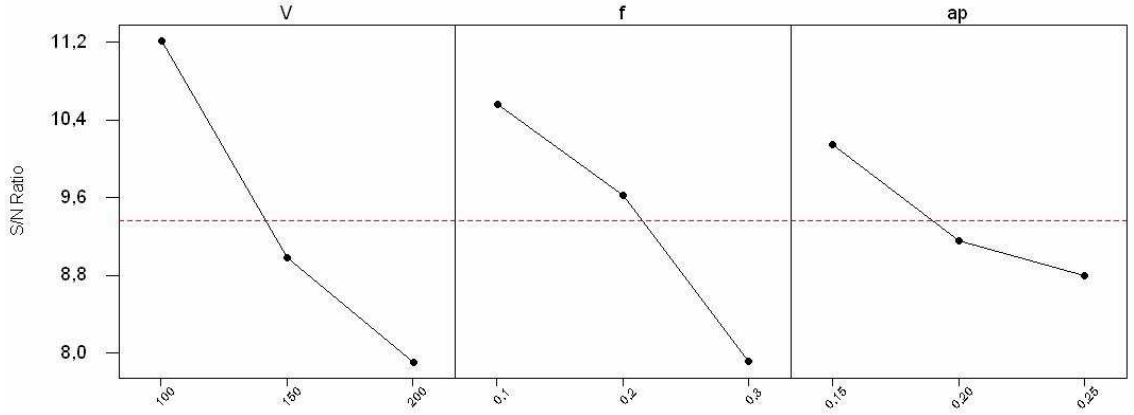
Şekil 9.7'den Şekil 9.12'ye kadar kesme sıvıları ile yüzey son paso frezelemede, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini göstermektedir. Her faktör için hesaplanan S/N oranının en yüksek olduğu değer, en iyi deney sonucunu göstermektedir.

Main Effects Plot for S/N Ratios



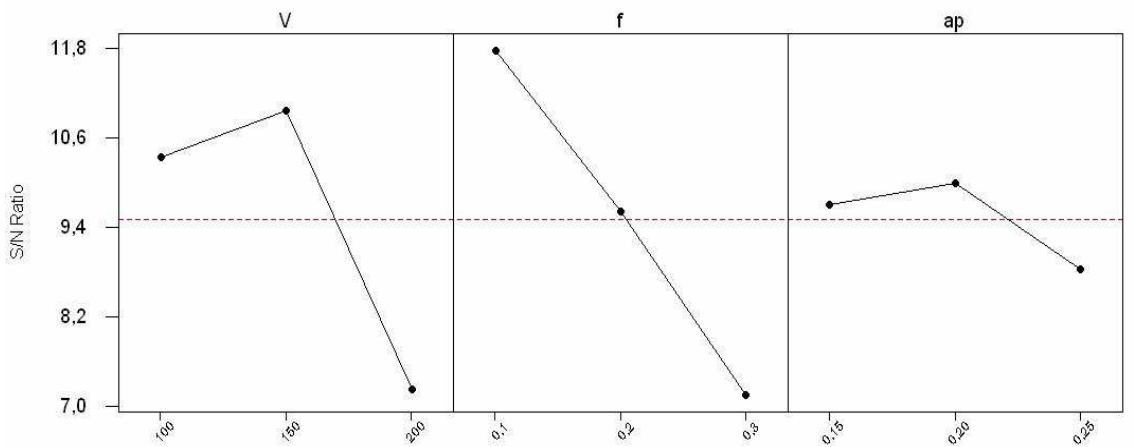
Şekil 9.7 SCF-II sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.

Main Effects Plot for S/N Ratios



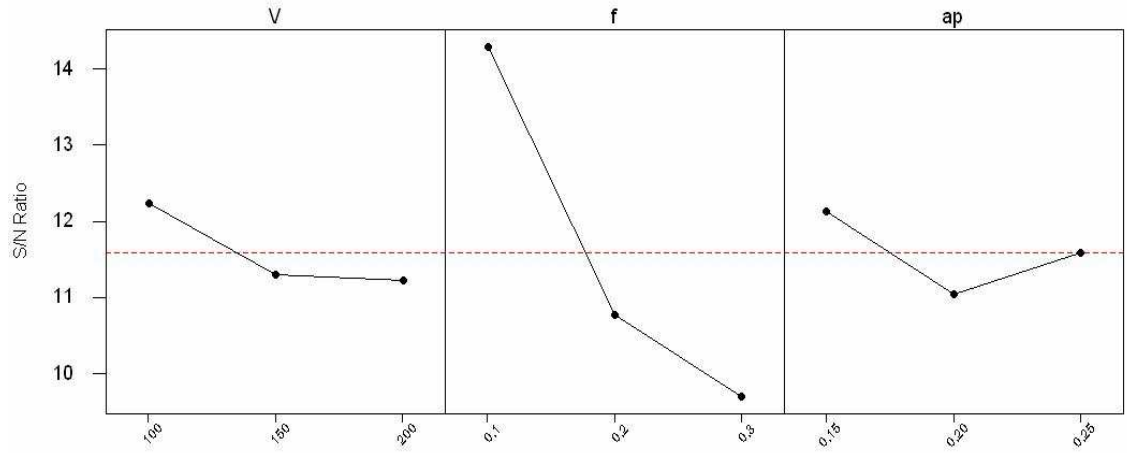
Şekil 9.8 CCF-II sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.

Main Effects Plot for S/N Ratios



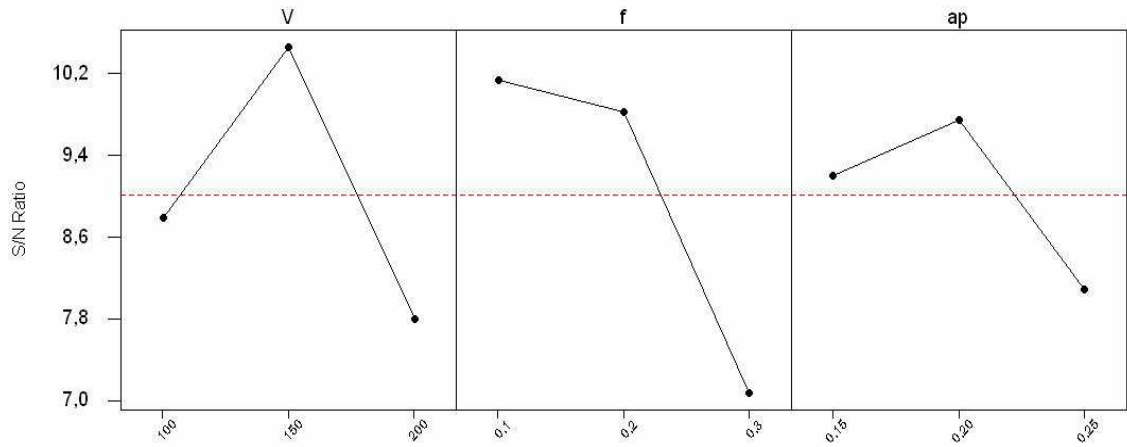
Şekil 9.9 CSCF-II (EP) sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.

Main Effects Plot for S/N Ratios



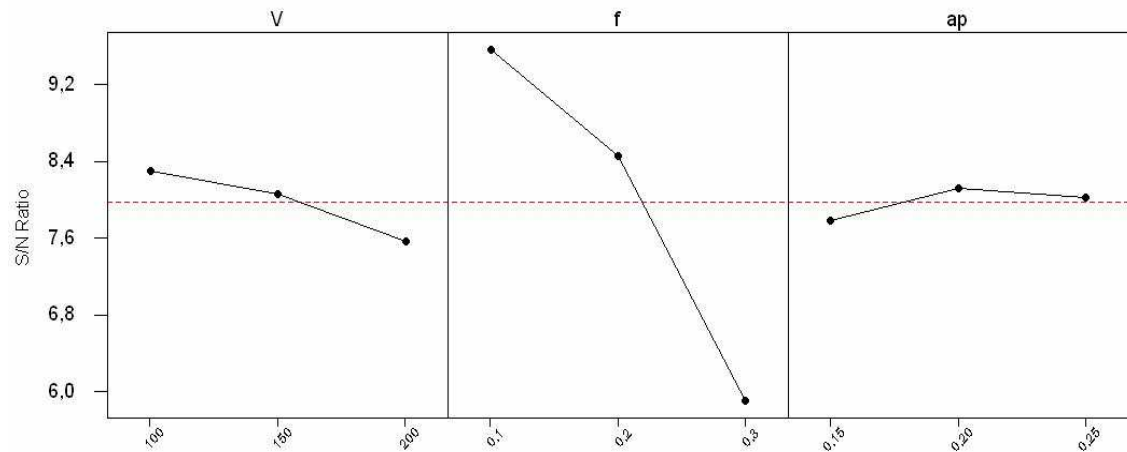
Şekil 9.10 BCF-III sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.

Main Effects Plot for S/N Ratios



Şekil 9.11 CVCF sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.

Main Effects Plot for S/N Ratios



Şekil 9.12 CSSF sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.

Tablo 9.3 Taguchi deneylerindeki kesme kuvveti için S/N sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	150	150	150	100	100	100
İlerleme	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Kesme Derinliği	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Tablo 9.4 Taguchi deneylerindeki yüzey pürüzlülüğü için S/N sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	200	100	150	100	150	100
İlerleme	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Kesme Derinliği	0,15	0,15	0,20	0,15	0,20	0,20

9. 3. Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizi ile hangi işlem üzerinde hangi faktörlerin ne derecede etkili oldukları istatistiksel olarak ortaya konur. Varyans analizinde amaç, incelenen faktörlerin, kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerlerini ne oranda etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe neden olduklarını ortaya koyabilmektir. Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir [Savaşkan ve Ark., 2004].

Bütün kesme sıvıları ile frezelemede ölçülen kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu Minitab 14 yazılımı yardımıyla hazırlanmıştır ve Tablo 9.1’den Tablo 9.12’ye kadar bu sonuçlar gösterilmiştir. Tablolarda P değeri, o parametrenin deney sonuçlarına katkısının tüm parametreler içerisindeki oranını yüzde olarak göstermektedir.

Tablo 9.5’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; SCF-II kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde kesme kuvvetine etki oranları sırasıyla %5.84, %54.76 ve %28.09 şeklindedir.

Tablo 9.5 SCF-II sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	49,61	24,80	0,52	%5,84
İlerleme	2	464,88	232,44	4,84	%54,76
Kesme Derinliği	2	238,41	119,20	2,48	%28,09
Hata	2	95,96	47,98		
Toplam	8	848,86			

Tablo 9.6’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; CCF-II kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde kesme kuvvetine etki oranları sırasıyla %1.91, %57.13 ve %36.14 şeklindedir.

Tablo 9.6 CCF-II sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	27,27	13,63	0,40	%1,91
İlerleme	2	814,57	407,29	11,86	%57,13
Kesme Derinliği	2	515,30	257,65	7,5	%36,14
Hata	2	68,67	34,33		
Toplam	8	1425,80			

Tablo 9.7’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; CSCF-II (EP) kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde kesme kuvvetine etki oranları sırasıyla %2.38, %58.37 ve %35.69 şeklindedir.

Tablo 9.7 CSCF-II (EP) sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	34,99	17,49	0,67	%2,38
İlerleme	2	856,47	428,24	16,38	%58,37
Kesme Derinliği	2	523,69	261,84	10,02	%35,69
Hata	2	52,27	26,14		
Toplam	8	1467,42			

Tablo 9.8’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; BCF-III kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde kesme kuvvetine etki oranları sırasıyla %14.21, %58.93 ve %22.21 şeklindedir.

Tablo 9.8 BCF-III sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	329,94	164,97	3,05	%14,21
İlerleme	2	1368,44	684,22	12,67	%58,93
Kesme Derinliği	2	515,85	257,92	4,77	%22,21
Hata	2	108,03	54,02		
Toplam	8	2322,27			

Tablo 9.9’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; CVCF kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde kesme kuvvetine etki oranları sırasıyla %2.01, %61.99 ve %33.05 şeklindedir.

Tablo 9.9 CVCF sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	32,58	16,29	0,68	%2,01
İlerleme	2	1003,39	501,70	21,06	%61,99
Kesme Derinliği	2	534,94	267,47	11,23	%33,05
Hata	2	47,64	23,82		
Toplam	8	1618,54			

Tablo 9.10’da görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; CSSF kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde kesme kuvvetine etki oranları sırasıyla %18.35, %56.15 ve %17.53 şeklindedir.

Tablo 9.10 CSSF sıvısı ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	500,3	250,1	2,31	%18,35
İlerleme	2	1530,9	765,4	7,06	%56,15
Kesme Derinliği	2	477,9	239,0	2,20	%17,53
Hata	2	216,9	108,4		
Toplam	8	2726,0			

Tablo 9.11’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; SCF-II kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etki oranları sırasıyla %13.73, %50.50 ve %26.78 şeklindedir.

Tablo 9.11 SCF-II sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	0,003089	0,001544	1,53	%13,73
İlerleme	2	0,011356	0,005678	5,62	%50,50
Kesme Derinliği	2	0,006022	0,003011	2,98	%26,78
Hata	2	0,002022	0,001011		
Toplam	8	0,022489			

Tablo 9.12’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; CCF-II kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde Yüzey pürüzlülüğüne etki oranları sırasıyla %53.61, %37.21 ve %7.66 şeklindedir.

Tablo 9.12 CCF-II sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	0,0244222	0,0122111	35,45	%53,61
İlerleme	2	0,0169556	0,0084778	24,61	%37,21
Kesme Derinliği	2	0,0034889	0,0017444	5,06	%7,66
Hata	2	0,0006889	0,0003444		
Toplam	8	0,0455556			

Tablo 9.13’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; CSCF-II (EP) kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etki oranları sırasıyla %43.71, %54.03 ve %1.62 şeklindedir.

Tablo 9.13 CSCF-II (EP) sıvısı için yüzey pürüzlülüğü ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	0,038422	0,019211	69,16	%43,71
İlerleme	2	0,047489	0,023744	85,48	%54,03
Kesme Derinliği	2	0,001422	0,000711	2,56	%1,62
Hata	2	0,000556	0,000278		
Toplam	8	0,087889			

Tablo 9.14’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; BCF-III kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etki oranları sırasıyla %5.84, %80.30 ve %5.48 şeklindedir.

Tablo 9.14 BCF-III sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	0,002156	0,001078	0,70	%5,84
İlerleme	2	0,029622	0,014811	9,59	%80,30
Kesme Derinliği	2	0,002022	0,001011	0,65	%5,48
Hata	2	0,003089	0,001544		
Toplam	8	0,036889			

Tablo 9.15’de görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; CVCF kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etki oranları sırasıyla %26.81, %48.31 ve %6.87 şeklindedir.

Tablo 9.15 CVCF sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	0,018289	0,009144	1,49	%26,81
İlerleme	2	0,032956	0,016478	2,68	%48,31
Kesme Derinliği	2	0,004689	0,002344	0,38	%6,87
Hata	2	0,012289	0,006144		
Toplam	8	0,068222			

Tablo 9.16’da görüldüğü gibi Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği; CSSF kesme sıvısı ile AISI 316 malzemesinin yüzey son paso frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etki oranları sırasıyla %4.56, %74.22 ve %0.13 şeklindedir.

Tablo 9.16 CSSF sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Kesme Hızı	2	0,003089	0,001544	0,22	%4,56
İlerleme	2	0,050289	0,025144	3,52	%74,22
Kesme Derinliği	2	0,000089	0,000044	0,01	%0,13
Hata	2	0,014289	0,007144		
Toplam	8	0,067756			

Tablolardaki etki oranlarında görüldüğü gibi Kesme kuvveti ve Yüzey pürüzlülüğünde CCF-II sıvısının yüzey pürüzlülüğüne etki oranı hariç tüm sıvılar için en etkili parametre ilerleme’dir. Yalnızca CCF-II sıvısının yüzey pürüzlülüğüne etki oranlarında Kesme hızı daha fazla etkilidir.

Tablo 9.17 Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	%13,73	%53,61	%43,71	%5,84	%26,81	%4,56
İlerleme	%50,50	%37,21	%54,03	%80,30	%48,31	%74,22
Kesme Derinliği	%26,78	%7,66	%1,62	%5,48	%6,87	%0,13

Tablo 9.18 Kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etki oranları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	%5,84	%1,91	%2,38	%14,21	%2,01	%18,35
İlerleme	%54,76	%57,13	%58,37	%58,93	%61,99	%56,15
Kesme Derinliği	%28,09	%36,14	%35,69	%22,21	%33,05	%17,53

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10. 1. Sonuçlar

Yapılan deneylerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1-) Taguchi deneylerinde elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına regresyon analizi yapılmıştır. 6 farklı kesme sıvısı ile AISI 316 paslanmaz çeliğin yüzey son paso frezelenmesi sonucu ölçülen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen matematiksel modellerin % sonuçları Tablo 10.1 ve 10.2’de gösterilmiştir.

Tablo 10.1 Taguchi deneylerindeki kesme kuvveti regresyon analiz sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
R-Sq	%83,7	%91,1	%91,9	%91,4	%90,9	%83,1
R-Sq (Adj)	%74,0	%85,8	%87,0	%86,2	%85,5	%72,9

Tablo 10.2 Taguchi deneylerindeki yüzey pürüzlülüğü regresyon analiz sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
R-Sq	%85,6	%94,2	%80,4	%82,5	%47,4	%73,4
R-Sq (Adj)	%77,0	%90,7	%68,7	%72,1	%15,9	%57,4

Sonuç olarak; kesme kuvveti için en iyi %91,9 oranla CSCF-II (EP) Kesme Sıvısı ve yüzey Pürüzlülüğü için en iyi %94,2 oranla CCF-II Kesme sıvısı göstermiştir.

2-) Taguchi deneylerinde elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına S/N analizi yapılmıştır. S/N oranları kullanılarak her bir kesme sıvısı için optimum noktalar belirlenmiştir. Kesme sıvıları için optimum noktalar Tablo 10.3 ve 10.4’de gösterilmiştir.

Tablo 10.3 Taguchi deneylerindeki kesme kuvveti için S/N sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	150	150	150	100	100	100
İlerleme	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Kesme Derinliği	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Tablo 10.4 Taguchi deneylerindeki yüzey pürüzlülüğü için S/N sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	200	100	150	100	150	100
İlerleme	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Kesme Derinliği	0,15	0,15	0,20	0,15	0,20	0,20

3-) Taguchi deneylerinde elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA yapılarak Kesme parametrelerinin etki oranları belirlenmiştir. Tablo 10.5 ve 10.6’da bu oranlar gösterilmiştir.

Tablo 10.5 Kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etki oranları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	%5,84	%1,91	%2,38	%14,21	%2,01	%18,35
İlerleme	%54,76	%57,13	%58,37	%58,93	%61,99	%56,15
Kesme Derinliği	%28,09	%36,14	%35,69	%22,21	%33,05	%17,53

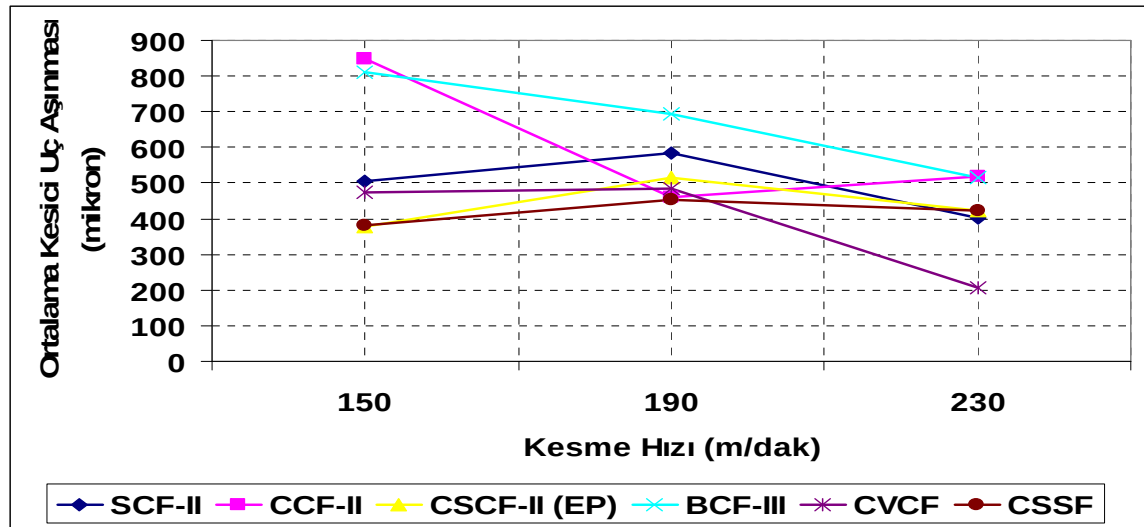
Tablo 10.6 Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	%13,73	%53,61	%43,71	%5,84	%26,81	%4,56
İlerleme	%50,50	%37,21	%54,03	%80,30	%48,31	%74,22
Kesme Derinliği	%26,78	%7,66	%1,62	%5,48	%6,87	%0,13

4-) Sabit Kesme Hızı deneylerinde 150, 190 ve 230 m/dak olmak üzere 3 farklı kesme hızı kullanılmış ve her bir kesme hızı için 1200 mm uzunluk kesilmiştir. Kesme hızının kesme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Tablo 10.7 ve Şekil 10.1’de Kesme Hızının Takım aşınmasına etkileri gösterilmiştir.

Tablo 10.7 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen kesici uç aşınması

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Kesici Uç Aşınması Değerleri (μm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	505,70	849,45	377,19	809,28	474,20	380,76
190	585,12	459,41	515,74	692,32	483,05	453,32
230	400,65	517,29	421,61	514,74	207,12	422,72

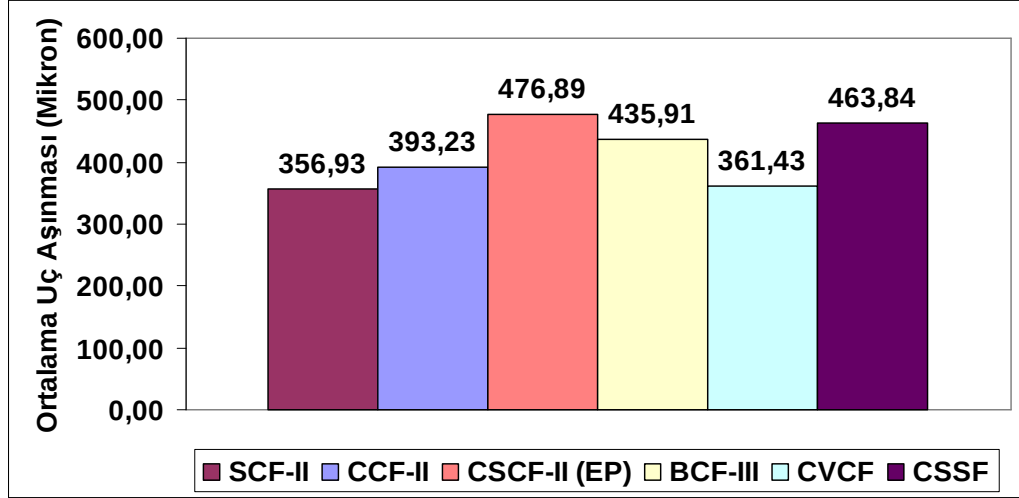


Şekil 10.1 Kesme hızı-kesici uç aşınması grafiği

5-) Taguchi deneylerinde elde edilen Takım aşınması sonuçları Tablo 10.8 ve Şekil 10.2’de gösterilmiştir.

Tablo 10.8 Taguchi deneylerindeki kesici uç aşınması ortalama değerleri

Kesici Takım	Ortalama Kesici Uç Aşınması Değerleri (μm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
1. Uç	365,47	347,72	465,37	404,44	376,40	471,33
2. Uç	348,39	438,74	488,41	467,38	346,46	456,35



Şekil 10.2 Ortalama kesici uç aşınması grafiği

6-) Sabit Kesme hızı deneylerinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkileri Tablo 10.9'da gösterilmiştir.

Tablo 10.9 Sabit kesme hızı deneylerinde ölçülen Ra pürüzlülük değerleri

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Ra Yüzey Pürüzlülük Değerleri (μm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	0,38	0,43	0,40	0,41	0,35	0,41
190	0,34	0,37	0,36	0,43	0,43	0,43
230	0,43	0,42	0,50	0,41	0,39	0,43

7-) Kesme hızlarına göre karşılaştırma yaptığımızda aşağıdaki tablo ortaya çıkmaktadır. Tabloda en iyi performanstan en kötü performansa doğru sıralama yapılmıştır.

Tablo 10.10 Sabit kesme hızlarındaki en iyi kesme hızı karşılaştırması

Fx, Fy, Fz kuvvetleri Ortalama Değerleri (N)					
Kesme Sıvısı	150 (m/dak)	Kesme Sıvısı	190 (m/dak)	Kesme Sıvısı	230 (m/dak)
CSSF	54,02	CVCF	51,17	CVCF	54,60
CVCF	56,15	CCF-II	59,02	SCF-II	61,24
CSCF-II (EP)	59,73	CSCF-II (EP)	59,32	CSSF	63,33

SCF-II	61,08	CSSF	62,66	CSCF-II (EP)	66,51
CCF-II	90,81	SCF-II	67,93	BCF-III	73,21
BCF-III	108,08	BCF-III	91,91	CCF-II	78,58

Tabloda da görüldüğü gibi 150 m/dak kesme hızı için en iyi performansı CSSF Sıvısı, 190 m/dak kesme hızı için en iyi performansı CVCF sıvısı ve 230 m/dak kesme hızı için en iyi performansı CVCF Sıvısı vermiştir.

Deneylerde elde edilen genel sonuç tablosu Tablo 10.11’de gösterilmiştir.

Tablo 10.11 Yapılan deneylerin genel sonuç tablosu

Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kesme Kuvveti Regresyon Analiz Sonuçları						
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
R-Sq	%83,7	%91,1	%91,9	%91,4	%90,9	%83,1
R-Sq (Adj)	%74,0	%85,8	%87,0	%86,2	%85,5	%72,9
Taguchi Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü Regresyon Analiz Sonuçları						
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
R-Sq	%85,6	%94,2	%80,4	%82,5	%47,4	%73,4
R-Sq (Adj)	%77,0	%90,7	%68,7	%72,1	%15,9	%57,4
Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kesme Kuvveti İçin S/N Sonuçları						
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	150	150	150	100	100	100
İlerleme	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Kesme Derinliği	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Taguchi Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü İçin S/N Sonuçları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	200	100	150	100	150	100
İlerleme	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Kesme Derinliği	0,15	0,15	0,20	0,15	0,20	0,20

Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetine Etki Oranları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	%5,84	%1,91	%2,38	%14,21	%2,01	%18,35
İlerleme	%54,76	%57,13	%58,37	%58,93	%61,99	%56,15
Kesme Derinliği	%28,09	%36,14	%35,69	%22,21	%33,05	%17,53

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları

	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
Kesme Hızı	%13,73	%53,61	%43,71	%5,84	%26,81	%4,56
İlerleme	%50,50	%37,21	%54,03	%80,30	%48,31	%74,22
Kesme Derinliği	%26,78	%7,66	%1,62	%5,48	%6,87	%0,13

Sabit Kesme Hızı Deneylerinde Ölçülen Kesici Uç Aşınması

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Kesici Uç Aşınması Değerleri (µm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	505,70	849,45	377,19	809,28	474,20	380,76
190	585,12	459,41	515,74	692,32	483,05	453,32
230	400,65	517,29	421,61	514,74	207,12	422,72

Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kesici Uç Aşınması Ortalama Değerleri

Kesici Takım	Ortalama Kesici Uç Aşınması Değerleri (µm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
1. Uç	365,47	347,72	465,37	404,44	376,40	471,33
2. Uç	348,39	438,74	488,41	467,38	346,46	456,35

Sabit Kesme Hızı deneyleri sonucu ölçülen Ra pürüzlülük değerleri.

Kesme Hızı (m/dak)	Ortalama Ra Yüzey Pürüzlülük Değerleri (µm)					
	SCF-II	CCF-II	CSCF-II (EP)	BCF-III	CVCF	CSSF
150	0,38	0,43	0,40	0,41	0,35	0,41
190	0,34	0,37	0,36	0,43	0,43	0,43
230	0,43	0,42	0,50	0,41	0,39	0,43

Sabit Kesme hızlarında Kesme sıvılarının en iyi Kesme hızı Karşılaştırması

Fx, Fy, Fz kuvvetleri Ortalama Değerleri (N)					
Kesme Sıvısı	150 (m/dak)	Kesme Sıvısı	190 (m/dak)	Kesme Sıvısı	230 (m/dak)
CSSF	54,02	CVCF	51,17	CVCF	54,60
CVCF	56,15	CCF-II	59,02	SCF-II	61,24
CSCF-II (EP)	59,73	CSCF-II (EP)	59,32	CSSF	63,33
SCF-II	61,08	CSSF	62,66	CSCF-II (EP)	66,51
CCF-II	90,81	SCF-II	67,93	BCF-III	73,21
BCF-III	108,08	BCF-III	91,91	CCF-II	78,58

10. 2. Öneriler

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Geliştirilen Kesme Sıvıları arasında en iyi olana karar verilip, seçilen kesme sıvısı ile farklı malzemeler kesilerek geliştirilmesi ve malzeme türü açısından genellemesi yapılabilir.
- Aynı deneyler farklı paslanmaz çelik malzemelere uygulanarak, paslanmaz için kesme sıvılarının uygunluğuna karar verilebilir.
- Yapılan frezeleme deneyi; yüzey son paso frezelemedir. Daha ağır çalışma şartları için tekrar deneyler yapılabilir.
- Frezelemeden başka talaşlı imalat yöntemleri (Tornalama, Raybalama...) içinde deneyler yapılabilir.
- Yana Kayma bir parametre gibi düşünülebilir.
- Kesme sıvılarının soğutma kabiliyetini test etmek için sıcaklık ölçüm deneyleri yapılabilir.
- Bu çalışmada işlenebilirlik kriterlerinden kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması ölçülmüştür. Bu kriterler dışında sıcaklık, titreşim, tork ve güç tüketimi gibi veriler de ölçülebilir.
- Geliştirilen Bitkisel esaslı kesme sıvıları ile minimum miktarda yağlama sistemi kullanılabilir.
- Geliştirilen Bitkisel esaslı kesme sıvıları ile yüksek basınçlı yağlama sistemi için çalışmalar yapılabilir.
- Değişik kesici takım malzemeleri için deneyler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- 7- Sandvik, “Main Catalogue 2009”,
- 8- İpekçioğlu, Nusret, “Frezecilik”, Kasım 1982
- 9- Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, VİPAŞ A.Ş., Bursa, 2000.
- 10- Tsao, C. C., An Experiment Study of Hard Coating and Cutting Fluid Effect in Milling Aluminum Alloy, Int J Adv Manuf Technol (2007) 32: 885–891.
- 11- Xavior, M. A., Adithan, M., “Determining the Influence of Cutting Fluids on Tool Wear and Surface Roughness During Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, Journal of Materials Processing Technology 209 (2009) 900–909.
- 12- Vieira, J.M., Machado, A.R., Ezugwu, E.O., “Performance of cutting fluids face milling of steels”, Journal of Materials Processing Technology 116 (2001), 244-251
- 13- Abou-El-Hossein, K.A., “Cutting Fluid efficiency in end milling of AISI 304 Stainless Steel”, Industrial Lubrication and Tribology 60/3 (2008), 115- 120
- 14- De Chiffre, L., Belluco, W., “Investigations of Cutting Fluid Performance Using Different Machining Operations”, Lubrication Engineering; 2002; 58, 10; ProQuest Science Journals pg.22.
- 15- De Chiffre, L., Belluco, W., “Surface Integrity and Part Accuracy in Reaming and Tapping Stainless Steel with New Vegetable Based Cutting Oils”, Tribology International 35 (2002) 865–870.

- 16- Axinte, D. A., De Chiffre, L., Belluco, W., “Reliable Tool Life Measurements in Turning-an Application to Cutting Fluid Efficiency Evaluation” International Journal of Machine Tools&Manufacture 41 (2001) 1003–1014.
- 17- Woodbury, Robert S., “History of the Milling Machine. In Studies in the History of Machine Tools”, Cambridge, Massachusetts, USA, 1982
- 18- Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, Birsen Yayınevi, İstanbul-1998
- 19- Seco, “Milling Catalogue 2006”
- 20- Yang, J.L. Chen, C.J. “A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance In End-milling Operations”, Journal of Industrial Technology, 17, February 2001
- 21- WWW.PREDEV.COM, “Surface Profile Parameters”
- 22- WWW.PREDEV.COM, “Surfaces And Profiles”
- 23- Kalpakjian, S., Schmid, S.R., “Manufacturing Engineering and Technology”, International Edition, Prentice Hall International, Fourth Edition, 2001.
- 24- Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri 2”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2001.
- 25- T.S. 6956 – “Yüzey Pürüzlülüğü – Terimler”, Nisan 1979
- 26- Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri”, Gazi Kitabevi, Ankara 2000
- 27- Şeker, U., “Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı”, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara 1998

- 28- Dönertaş, M., 1999, “Freze Tezgahında Gerinim Ölçme Esaslı, Bilgisayar Bağlantılı Dinamometrenin Tasarımı ve İmalatı”, G. Ü. Fen B. Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- 29- Akkurt, M., 1996, “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- 30- Malyer, E., “Kesici Takımlarda Aşınma”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2001.
- 31- <http://www.gemsan.com>
- 32- <http://www.petrofer.com.tr>
- 33- Şanyılmaz, M., “Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü, Talaşlı Üretim Öğretmenliği Lisans Programını tamamladı. Mezun olduğu yıl GYTE Tasarım ve İmalat Mühendisliğinde Yüksek Lisans Programına başladı. 2004 yılında tez aşamasında bıraktı. 2008 yılında çıkan af nedeniyle tekrar Yüksek Lisans Programına başladı.