

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

BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARININ  
TORNALAMADAKİ PERFORMANSININ  
ARAŞTIRILMASI

MUHAMMET HÜSEYİN ÇETİN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

GEBZE  
2010

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

BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARININ  
TORNALAMADAKİ PERFORMANSININ  
ARAŞTIRILMASI

MUHAMMET HÜSEYİN ÇETİN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

DANIŞMANI  
DOÇ. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE  
2010

## ÖZET

**TEZİN BAŞLIĞI : BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARININ TORNALAMADAKİ PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI.**

**YAZAR ADI : MUHAMMET HÜSEYİN ÇETİN**

Bu tezde, yeni geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının tornalama işlemindeki performansı araştırılmıştır. Performans göstergesi olarak kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesme sıvısı türü giriş parametreleri olarak belirlenmiştir. Çıkış parametresi olarak da yüzey pürüzlülüğü, tornalama kuvvetleri, takım aşınması değerleri ölçümlenerek analiz edilmiştir. İş parçası olarak AISI 304, AISI304L östenitik paslanmaz çelik malzeme ve 7075 alüminyum malzeme kullanılmıştır. Deneyler konvansiyonel torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 6 tane bitkisel esaslı kesme sıvısı, 1 tane mineral esaslı, 1 tanede yarı sentetik kesme sıvısı kullanılmıştır. Deneyler dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

İlk iki deney çalışmasında deney seti Taguchi L18 (3\*3 6\*1) ortogonal dizini ve D-optimal metodu esas alınarak hazırlanmıştır. Deney setlerinde kesme parametreleri olarak; devir sayısı, ilerleme, talaş derinliği ve kesme sıvısı alınmış, AISI 304L malzeme kullanılmıştır. Tornalama parametrelerinin etkisini analiz etmek için ortogonal dizin, işaret/gürültü (S/N) oranı, varyans analizi (ANOVA) ve regresyon analizi kullanılmıştır.

Üçüncü deney setinde ilerlemenin etkisi araştırılmıştır.

Dördüncü deneysel çalışma planı olarak üç deney malzemesi için ayrı ayrı performans deneyleri yapılmıştır.

Genel olarak deney sonuçları, geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının kuvveti, takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmadaki performansının diğer ticari kesme sıvılarına eşit veya ticari kesme sıvılarından daha iyi olduğunu göstermiştir.

## SUMMARY

**NAME OF THE THESIS : INVESTIGATION OF VEGETABLE-BASED CUTTING FLUIDS PERFORMANCE IN TURNING.**

**AUTHOR NAME : MUHAMMET HÜSEYİN ÇETİN**

In this thesis, the performance of new developed vegetable based cutting fluids in the turning were analysed. Spindle speed, feed rate, depth of cut and cutting fluid type were specified as inlet parameters, surface roughness, turning forces, tool wear were specified as outlet parameters and required values were measured and analyzed. AISI 304, AISI304L austenitic stainless steel material and 7075 aluminum material were used as work pieces, DCMT 11T304-SM IC907 was used as cutting tool. Experiments were practiced at a conventional lathe. In experimental process, 6 vegetable based cutting fluids, 1 mineral based and 1 semi-synthetical cutting fluid were used for comparison. Experiments were carried out in four steps.

In two initial experiments, the experimental setup was prepared by basing on Taguchi L18 (3\*3 6\*1) orthogonal array and D-optimal method. Spindle speed, feed rate, depth of cut and cutting fluid were considered as machining parameters and AISI 304L material was used. Orthogonal index, signal/noise (S/N) ratio, variance analysis (ANOVA) and regression analysis were used to analyze the effect of turning parameters.

In the 3rd experimental setup, feed rate effect were investigated.

As the 4th experimental study, performance experiments were carried out for all experiment materials individually.

Experimental results indicated that, in general, the performance of developed vegetable based cutting fluids was equal or better than the other commercial cutting fluids in reducing the turning forces, tool wear and the surface roughness.

## TEŞEKKÜR

Bütün hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini ve yardımlarını benden esirgemeyen, eğitimim için her türlü zorluğa katlanan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi, tecrübe ve yardımlarını benden eksik etmeyen, deneysel çalışmalarda gerekli olan cihaz ve donanımları temin eden, dünya standartlarında ve güncel bir yüksek lisans tez çalışması yapmamı sağlayan, değerli görüşleriyle beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim. Deneysel çalışmalardaki büyük yardımlarından dolayı Makine Mühendisi Bilgin Tolga Şimşek'e ve meslektaşım Arş. Gör. Emel KURAM'a, bitkisel esaslı kesme sınırlarını geliştiren Kimya bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Erhan Demirbaş'a, proje asistanı Emrah Şık'a, desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde görev yapan araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

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

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLolar DİZİNİ	xix
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	4
3. TORNALAMA	11
3.1. Temel Tornalama İşlemleri	12
3.2. Tornalamada Talaş Kaldırma Parametreleri	14
3.2.1.Kesme Hızı	14
3.2.2.Kesme Derinliği	16
3.2.3.İlerleme	17
3.3.Tornalamada Takım Geometrisi	18
3.4.Tornalamada Kesici Takım Seçimi	20
3.4.1.Uç Tespit Sistemi	22
3.4.2.Katerin Boyutu ve Tipi	22
3.4.3.Kesici Ucun Şekli	22
3.4.4.Köşe Radyüsü	23
3.4.5.Takım Malzemesi	23
4.KESME SIVILARI	26
4.1.Kesme Sıvılarının Fonksiyonları	26
4.1.1.Yağlama Fonksiyonu	27
4.1.2.Soğutma Fonksiyonu	28
4.2.Kesme Sıvısı Bileşenleri	28
4.2.1.Mineral Esaslı Yağlar	29
4.2.2.Bitkisel Esaslı Yağlar	30

4.2.3.Sentetik Esaslı Yağlar	31
4.2.4.Katkılar	32
4.2.4.1.Film Katkıları	32
4.2.4.2.Aşırı Basınç (EP) Katkıları	32
4.2.4.3.Korozyon Önleyiciler	33
4. 3. Kesme Sıvılarında Yağlayıcılık Mekanizmaları	33
4. 3. 1. Hidrodinamik Yağlayıcılık	34
4. 3. 2. Sınır Yağlama Mekanizması	34
4. 3. 3. Aşırı Basınç (EP) Yağlama	34
4.4. Kesme Sıvılarının İçeriğindeki Zararlı Bileşenler, İşçi Sağlığı Açısından Taşıdığı Riskler ve Bitkisel Esaslı Kesme Sıvıları	35
4.4.1.Kesme Sıvılarının Sebep Olduğu Hastalıklar	36
4.4.1.1.Cilt Rahatsızlıkları	36
4.4.1.2.Kanser Rahatsızlıkları	37
4.4.1.3.Akciğer Rahatsızlıkları	37
4.4.1.4.Genetik Etkiler	37
4.4.2.Kesme Sıvılarında Modern Araştırmalar: Bitkisel Esaslı Kesme Sıvıları	37
5.KESME KUVVETLERİ, GÜÇ VE KESME ÖLÇME SİSTEMLERİ	40
5.1.Kesme Kuvvetleri ve Güç	41
5.2.Kuvvet Ölçme Sistemleri	44
5.2.1.Adaptif Kuvvet Ölçme Sistemleri	45
5.2.2. Kuvvet Dönüştürücüleri ile Kuvvet Ölçme Sistemleri	46
6.TAKIM AŞINMASI	52
6.1. Aşınma Mekanizmaları	55
6.1.1. Adhesiv Aşınma	55
6.1.2. Abrasiv Aşınma	56
6.1.3. Difüzyon Aşınması	56
6.1.4. Oksidasyon Aşınması	56
6.1.5. Yorulma Aşınması	57
6.1.6. Kimyasal ve Elektro - kimyasal Aşınma	57
6.2. Aşınma Tipleri	58
6.2.1. Serbest Yüzey Aşınması	59
6.2.2. Krater Aşınması	59
6.2.3. Plastik Deformasyon	60

6.2.4. Yardımcı Kenarda Çentik Oluşumu	60
6.2.5. Kesici Kenardan Parça Kopması	61
6.2.6. Kesici Ucu Kırılması	61
6.2.7. Yığılma Kenar [BUE]	62
6.2.8. Burun Aşınması	62
6.3. Aşınma Karakteristiği	63
7.YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	65
7. 1. Pürüzlülük veya Kabalık	65
7. 2. Pürüzlülük Genişliği	66
7. 3. Pürüzlülük İzleme (cut – off) Genişliği	66
7. 4. Dalgalılık	66
7. 5. Dalgalılık Yüksekliği	66
7. 6. Dalgalılık Genişliği	66
7. 7. Kusur / Hata	67
7. 8. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	67
7. 8. 1. Ortalama Eksen Çizgi Değeri (Ra, Cla)	68
7. 8. 2. Ortalamaların Kareleri Toplamının Karekökü (Rq, Rs, Rms)	68
7. 8. 3. Profil Maksimum Tepe Yüksekliği (Rp)	69
7. 8. 4. Profil Maksimum Çukur Derinliği (Rv, Rm)	69
7. 8. 5. Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği (Rt, Rmax)	69
7. 8. 6. On Nokta Yüksekliği (Rz)	70
7. 9. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler	70
8. DENEY TASARIMI	72
8. 1. Takım Tezgahı	73
8. 2. İş Parçası	74
8. 3. Kesici Takım ve Takım Tutucu	75
8. 4. Kesme Sıvıları	76
8. 5. Dinamometre	78
8. 5. 1. Amplifikatör	79
8. 5. 2. Veri Toplama Kartı (DAQ)	79
8. 5. 3. Bağlantı Kabloları	80
8. 6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı	80
8. 7. Stereo Mikroskop	81
8. 8. Deney Tasarımları	83



8. 8. 1. Taguchi Deney Tasarımı	83
8. 8. 2. D-optimal Deney Tasarımı	86
8. 8. 3. İlerlemenin Etkisini Belirleme Deneyleri	88
8. 8. 4. Performans Deneyleri	89
9. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	91
9. 1. Taguchi Deney Tasarımı İle Kesme Sıvılarının Performans Analizi	91
9. 1. 1. Taguchi Deneylerinde Elde Edilen Sonuçlar İçin Varyans Analizi (ANOVA)	95
9. 1. 2. Taguchi Deneylerinde Elde Edilen Sonuçlar İçin Regresyon Analizi	97
9. 1. 3. Taguchi Analizi İçin Optimizasyon	99
9. 1. 4. Taguchi Analizi ve Regresyon Denklemleri İçin Güvenilirlik Testi	100
9. 2. D-optimal Deney Tasarımı İle Kesme Sıvılarının Performans Analizi	101
9. 2. 1. D-optimal Deneylerinde Elde Edilen Sonuçlar İçin Regresyon Analizi	105
9. 2. 2. D-optimal Analizi İçin Optimizasyon	106
9. 2. 3. D-optimal Analizi İçin Güvenilirlik Testi	107
9. 3. İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Kuvveti, İlerleme Kuvveti ve Takım Aşınması Üzerindeki Etkisi	109
9. 3. 1. İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	109
9. 3. 2. İlerlemenin Tornalama Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi	112
9. 3. 3. İlerlemenin Takım Aşınması Üzerine Etkisi	118
9. 4. Performans Deneyleri	126
9. 4. 1. AISI 304L Östenitik Malzemenin Tornalanmasında Kesme Sıvılarının Performans Analizi	126
9. 4. 1. 1. AISI 304L Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü	127
9. 4. 1. 2. AISI 304L Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Tornalama Kuvvetleri	129
9. 4. 1. 3. AISI 304L Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Takım Aşınmaları	132
9. 4. 2. AISI 304 Östenitik Malzemenin Tornalanmasında Kesme Sıvılarının Performans Analizi	135
9. 4. 2. 1. AISI 304 Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü	136

9. 4. 2. 2. AISI 304 Malzemenin Kullanıldığı Performans DeneYlerinde Ölçülen Tortalama Kuvvetleri	137
9. 4. 2. 3. AISI 304 Malzemenin Kullanıldığı Performans DeneYlerinde Ölçülen Takım Aşınmaları	140
9. 4. 3. 7075 Alüminyum Malzemenin Tortalanmasında Kesme Sıvılarının Performans Analizi	143
9. 4. 3. 1. 7075 Alüminyum Malzemenin Kullanıldığı Performans DeneYlerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü	143
9. 4. 3. 2. 7075 Alüminyum Malzemenin Kullanıldığı Performans DeneYlerinde Ölçülen Tortalama Kuvvetleri	145
9. 4. 2. 3. 7075 Alüminyum Malzemenin Kullanıldığı Performans DeneYlerinde Ölçülen Takım Aşınmaları	148
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	153
10. 1. Sonuçlar	153
10. 2. Öneriler	160
KAYNAKLAR DİZİNİ	162
ÖZGEÇMİŞ	170

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
Al	: Alüminyum
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
A/D	: Analog Dijital Dönüştürücü
$a_0, a_1, a_2, a_3$	: Denklem Katsayıları
$a_p$	: Talaş Derinliği (mm)
As	: Arsenik
B	: Bor
BCF-III	: Kanola ve Ayçiçeği Yağının Karışımıyla Oluşan Harman Kesme Sıvısı
Bi	: Bizmut
BUE	: Yığıntı Talaş (Build up edge)
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
CBN	: Kübik Bor Nitrür
CCF-II	: Rafine Kanola Esaslı Kesme Sıvısı, İkili Emülsifiyer
Ce	: Seryum
CLA	: Center Line Average
CMCF	: Ticari Mineral Esaslı Kesme Sıvısı
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
CSSCF	: Ticari Yarı Sentetik Kesme Sıvısı
Cu	: Bakır
D	: Çap (mm)
d	: Talaş Derinliği (mm)
d	: Yoğunluk (g/ml)
DAQ	: Data Acquisition Card (Veri İzleme ve Kayıt Kartı)
EP	: Extreme Pressure (Aşırı Basınç)
$F_c$	: Kesme Kuvveti (N)
Fe	: Demir

$F_f$	: İlerleme Kuvveti (N)
$F_r$	: Radyal Kuvvet (N)
$f$	: İlerleme (mm/dev)
$h_1$	: Deforme Olmamış Talaş Talaş Kalınlığı (mm)
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
HV	: Vickers Sertliği
$k$	: Direngenlik
$k_c$	: Özgül Kesme Kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )
$L$	: Örnekleme Uzunluğu
$L$	: İşleme Stroku (mm)
$La$	: Lantan
$M$	: Tork (Nm)
$Mg$	: Magnezyum
$Mn$	: Mangan
$Mo$	: Molibden
SQL	: Minimum Miktarda Yağlama
$n$	: Devir Sayısı (dev/dak)
$N$	: Gürültü
$Nb$	: Niyobyum
$n_d$	: Kırılma İndisi
$Ni$	: Nikel
$P$	: Fosfor
$P$	: Tezgah için Gerekli Güç (kW)
PI	: Kontrol Devresi
$Pb$	: Kurşun
$P_c$	: Kesme Gücü (kW)
PCD	: Çok Kristalli Elmas
pH	: Power of Hydrogen
psi	: Pound per Square Inch
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
$R$	: Direnç
$R_a$	: Ortalama Eksen Çizgi Değeri
$R_p$	: Profil Maksimum Tepe Yüksekliği
$R_q, R_s, R_{ms}$	: Ortalamaların Kareleri Toplamının Karakökü

$R_t, R_{max}$	: Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği
$R_v, R_m$	: Profil Maksimum Çukur Derinliği
$R_z$	: On Nokta Yüksekliği
$R^2$	: Coefficient of Determination (Belirlilik Katsayısı)
S	: Kükürt
S	: Sinyal (İşaret)
SCF-II	: Rafine Ayçiçeği Esaslı Kesme Sıvısı, İkili Emülsifiyer
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
S/N	: İşaret/Gürültü Oranı
Ti	: Titanyum
TiN	: Titanyum Nitrür
V	: Vanadyum
$V_c$	: Kesme Hızı (m/dak)
W	: Volfram (Tungsten)
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum
$\epsilon$	: Hata
$\mu m$	: Mikrometre
$\varphi$	: Çap
x	: Sıkıştırma Miktarı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tornalama tezgahı.	11
3.2. Boyuna tornalama işlemi [Perman, 2009].	12
3.3. Torna tezgahında yapılabilen temel operasyonlar.	13
3.4. Sistem analizi açısından tornalama işlemi.	15
3.5. Tornalamada 3 temel faktör (Kesme hızı, Kesme derinliği, İlerleme).	16
3.6. Kesme derinliği [www.cinarlar.com.tr].	17
3.7. İlerleme miktarı.	17
3.8. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım [Amstead et al, 1987].	19
3.9. a) Tespit sistemi, b) kesme geometrisi ve c) takım malzemesi [Çakır, 2000].	21
3.10. Uç şekli ve mukavemet, erişim, güç ve titreşim ilişkisi [Çakır, 2006].	22
3.11. Köşe Radyüsü [www.productionmachining.com].	23
4.1. İyi ve kötü ıslatma [Demir et al, 2009]	27
4.2. Kesme Sıvılarının Ciltteki Etkisi [Demir et al, 2009].	35
4.3. Bitkisel Esaslı Yağların Ekolojik Çevrimi	39
5.1. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [Balcı, 2008]	40
5.2. Kesme kuvveti/deforme olmamış talaş kalınlığı	42
5.3. Özgül kesme kuvvetinin değişimi	42
5.4. Akım, kesme kuvveti ve motorun dönme açısı sinyallerini alan sistem	46
5.5. Örnek Wheatstone köprü bağlantısı [http://atlas.cc.itu.edu.tr/~halit/].	48
5.6. Strain gage kullanılan kuvvet ölçüm sistemi [Scheffer and Heyns, 2004].	48
5.7. Yük hücrelerinin kullanıldığı kesme kuvveti ölçme sistemi.	49
5.8. Frezeleme veya delik delme işlemleri için dinamometre	50
5.9. Tezgah güç ünitesi ve dinamometre kullanılan sistem [Cho et al, 2005].	50
6.1. Takım aşınmasına etki eden faktörler.	53
6.2. Temel aşınma tipleri [Çakır, 2006].	55
6.3. Kesici takımlarda görülen aşınma türleri [Tungaloy, 2000].	58
6.4. Serbest yüzey aşınması.	59
6.5. Çentik oluşumu.	60
6.6. Kesici ucun kırılması.	61

6.7. Burun aşınması.	62
6.8. Aşınmaya karşı kesme zamanı eğrisi ve dört karakteristik bölge.	63
7.1. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri. Miktarlar $\mu\text{in}$ cinsinden verilmiştir.	67
7.2. Pürüzlülük için kullanılan parametreler [Stephenson and Agapiou, 2006].	68
7.3. On nokta yükseklik hesaplaması için ortalama ölçümler [Galyer and Shotbolt, 1993].	70
7.4. Yüzey pürüzlülüğüne etkiyen faktörler.	71
8.1. Deney tasarımları.	73
8.2. Taksan marka 12 kw motor gücüne sahip torna tezgahı.	73
8.3. Deneylerde kullanılan kesici uç [www.iscar.com].	75
8.4. Deneylerde kullanılan takım tutucu [www.iscar.com].	75
8.5. KISTLER 9257B dinamometre.	78
8.6. KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör.	79
8.7. Veri toplama kartı.	79
8.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.	81
8.9. Takım aşınması ölçümleri için kullanılan mikroskop.	82
8.10. Deney kurulumunun şematik gösterimi.	83
8.11. Deney kurulumunun fotoğrafı.	84
8.12. Taguchi methodu için sistem tasarımı.	85
9.1. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin S/N oranları.	93
9.2. Ölçülen kesme kuvveti değerlerinin S/N oranları.	94
9.3. Ölçülen ilerleme kuvveti değerlerinin S/N oranları.	94
9.4. Yüzey pürüzlülüğü açısından kesme sıvılarının performansı	103
9.5. Kesme kuvvetleri açısından kesme sıvılarının performansı.	103
9.6. İlerleme kuvvetleri açısından kesme sıvılarının performansı.	104
9.7. Yüzey pürüzlülüğü için normal dağılım eğrisi	107
9.8. Kesme kuvvetleri için normal dağılım eğrisi	108
9.9. İlerleme kuvvetleri için normal dağılım eğrisi	108
9.10. Kesme sıvılarına göre farklı ilerleme hızlarında ki ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri.	110
9.11. Kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğü açısından farklı ilerleme değerleri için performans grafiği.	112
9.12. Kesme sıvılarının kesme kuvveti değerleri için performans grafiği.	114
9.13. Kesme sıvılarının ilerleme kuvveti değerleri için performans grafiği.	116

9.14. Kesme sıvılarının radyal kuvvetler için performans grafiği.	118
9.15. Kesme sıvılarının yan kesici kenar aşınması için performans grafiği.	120
9.16. CCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı 0.24 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan aşınma	122
9.17. CCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı 0.28 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan aşınma	122
9.18. CCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı 0.32 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan yığıntı talaş oluşumu	122
9.19. Ticari mineral esaslı kesme sıvısının kullanıldığı 0.32 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan aşınma ve kopmalar	123
9.20. Kesme sıvılarının burun yarıçapı aşınması için performans grafiği.	124
9.21. En yüksek burun aşınma miktarının ölçüldüğü CSSCF kesme sıvısının kullanıldığı 0.32 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan aşınma	125
9.22. Performans deneyleri sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması.	127
9.23. Performans deneyleri sonucu ölçülen kesme kuvvetlerinin ortalaması.	129
9.24. Performans deneyleri sonucu ölçülen ilerleme kuvvetlerinin ortalaması.	130
9.25. Performans deneyleri sonucu ölçülen radyal kuvvetlerin ortalaması.	130
9.26. Performans deneyleri sonucu ölçülen yan kesici kenar aşınması değerlerinin ortalaması.	132
9.27. Performans deneyleri sonucu ölçülen burun aşınması değerlerinin ortalaması.	133
9.28. Kesme zamanına bağlı olarak yan kesici kenar aşınmasının değişimi.	133
9.29. Kesme zamanına bağlı olarak burun aşınmasının değişimi.	134
9.30. Performans deneyleri sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması.	136
9.31. Performans deneyleri sonucu ölçülen kesme kuvvetlerinin ortalaması.	138
9.32. Performans deneyleri sonucu ölçülen ilerleme kuvvetlerinin ortalaması.	138
9.33. Performans deneyleri sonucu ölçülen radyal kuvvetlerin ortalaması.	139
9.34. Performans deneyleri sonucu ölçülen yan kesici kenar aşınması değerlerinin ortalaması.	140
9.35. Performans deneyleri sonucu ölçülen burun aşınması değerlerinin ortalaması.	140
9.36. Kesme zamanına bağlı olarak yan kesici kenar aşınmasının değişimi.	141



9.37. Kesme zamanına bağlı olarak burun aşınmasının değişimi.	142
9.38. Performans deneyleri sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması.	144
9.39. Performans deneyleri sonucu ölçülen kesme kuvvetlerinin ortalaması.	146
9.40. Performans deneyleri sonucu ölçülen ilerleme kuvvetlerinin ortalaması.	146
9.41. Performans deneyleri sonucu ölçülen radyal kuvvetlerin ortalaması.	147
9.42. Performans deneyleri sonucu ölçülen yan kesici kenar aşınması değerlerinin ortalaması.	149
9.43. Performans deneyleri sonucu ölçülen burun aşınması değerlerinin ortalaması.	149
9.44. Kesme zamanına bağlı olarak yan kesici kenar aşınmasının değişimi.	150
9.45. Kesme zamanına bağlı olarak burun aşınmasının değişimi.	151
9.46. BCF-III (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde oluşan BUE.	152

## TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Temel İmalat Faktörlerinin İmalat İşlemine Etkileri	18
8.1. AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).	74
8.2. AISI 304L paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).	74
8.3. 7075 alüminyum malzemenin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).	75
8.4. Deneyleerde kullanılan kesici ucun ve takım tutucunun özellikleri.	76
8.5. Deneyleerde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri.	77
8.6. KISTLER 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.	78
8.7. KISTLER 5070A11100 amplifikatörün teknik özellikleri.	79
8.8. Veri toplama kartının teknik özellikleri.	80
8.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına ait teknik özellikler.	81
8.10. Stereo mikroskoba ait teknik özellikler.	82
8.11. Tormalama deneyleerinde Taguchi deney tasarımı için belirlenen faktörler ve seviyeler.	85
8.12. Taguchi L <sub>18</sub> deney tasarımı.	85
8.13. Tormalama deneyleerinde D-optimal deney tasarımı için belirlenen faktörler ve seviyeler.	87
8.14. D-optimal deney tasarımı.	88
8.15. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleeri için kesme parametreleri.	89
8.16. Performans deneyleeri için kesme parametreleri.	89
9.1. Taguchi deneyleeri sonucu ölçülen ortalama kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ve ölçülen değerlerin S/N oranları.	92
9.2. Yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.	96
9.3. Kesme kuvveti değerleri için ANOVA tablosu.	96
9.4. İlerleme kuvveti değerleri için ANOVA tablosu.	97
9.5. Optimum seviyeler.	99
9.6. Güvenilirlik deneyleeri.	100
9.7. D-optimal deneyleeri sonucu ölçülen ortalama kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri.	101

9.8. Yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	102
9.9. Kesme kuvvetlerini düşürme açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	104
9.10. İlerleme kuvvetlerini düşürme açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	104
9.11. Yüzey pürüzlülüğü için her bir kesme sıvısına göre regresyon katsayıları	105
9.12. Kesme kuvvetleri için her bir kesme sıvısına göre regresyon katsayıları	105
9.13. İlerleme kuvvetleri için her bir kesme sıvısına göre regresyon katsayıları	106
9.14. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.	110
9.15. Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	111
9.16. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama kesme kuvveti değerleri.	113
9.17. Referans alınan kesme sıvılarına göre kesme kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	114
9.18. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama ilerleme kuvveti değerleri.	115
9.19. Referans alınan kesme sıvılarına göre ilerleme kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	116
9.20. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama radyal kuvvet değerleri.	117
9.21. Referans alınan kesme sıvılarına göre radyal kuvvetler açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	118
9.22. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen yan kesici kenar aşınması değerleri.	120
9.23. Referans alınan kesme sıvılarına göre takım ömrü açısından (yan kesici kenar aşınmasına göre) bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	121
9.24. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen burun aşınması değerleri.	124
9.25. Referans alınan kesme sıvılarına göre takım ömrü açısından (burun aşınmasına göre) bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	125

9.26. Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	128
9.27. Referans alınan kesme sıvılarına göre tornalama kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	131
9.28. Kesme sıvılarına göre ortalama takım aşınma hızları.	135
9.29. Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	137
9.30. Referans alınan kesme sıvılarına göre tornalama kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	139
9.31. Kesme sıvılarına göre ortalama takım aşınma hızları.	142
9.32. Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	144
9.33. Referans alınan kesme sıvılarına göre tornalama kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	148
9.34. Kesme sıvılarına göre ortalama takım aşınma hızları.	151
10.1. Kesme sıvıları için performans sıralaması.	153
10.2. Yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından S/N oranlarına göre bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	156
10.3. Kesme kuvvetlerini düşürme açısından S/N oranlarına göre bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	157
10.4. İlerleme kuvvetlerini düşürme açısından S/N oranlarına göre bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı.	157

# 1. GİRİŞ

Talaşlı imalat 18. ve 19. yüzyılda endüstri devrimi ile gelişime başlamış ve 20. yüzyılda büyük bir hızla iktisadi ve sınaî gelişimini sürdürmüştür. Buhar makinesinin icadı ve elektrik enerjisiyle sağlanan gücün kullanımı, talaşlı imalatın gelişim hızını arttırmıştır. Yeni kesici takımların da gelişmesine paralel olarak takım, talaş ve parça yüzeyinde, soğutma, yağlama ve kaynağı önleme fonksiyonunu üstlenen kesme sıvıları önemli bir imalat parametresi haline gelmiştir. Kesme sıvıları makine verimliliğini ve takım ömrünü artırma, yüzey ve tolerans hassaslığını sağlama, kesme kuvvetleri ve titreşim şiddetlerini düşürme fonksiyonuna sahiptirler.

Talaşlı imalatta kesme sıvılarının uygulanmasıyla ilgili ilk akademik yayın 1868 yılında Northcott tarafından yapılmış ve tornalama da kesme sıvılarının verimliliği arttırdığı belirtilmiştir [Society of Manufacturing Engineers, 1992]. Taylor 19. yüzyılın son çeyreğinde yapmış olduğu deneylerde kesme bölgesine büyük miktarda su göndererek, takım ömründe herhangi bir kayıp olmadan kesme hızını %33 arttırmayı başarmıştır [Ávila and Abrão, 2001]. Bu çalışmadan sonra kesme sıvıları ile ilgili pek çok araştırma ve çalışma yapılmıştır.

Kesme sıvılarının seçimi daha uzun takım ömrü, daha yüksek yüzey kalitesi ve daha iyi ölçüsel doğruluk gibi çeşitli faydalar sağlar.[Çakır et al, 2007]. Günümüzde mineral yağların geri kazanım maliyetlerinin yüksek olması, çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar nedeniyle bitkisel ve hayvansal esaslı yağlar önem kazanmaya başlamıştır [Alves and Gomes de Oliveira, 2008; Ojolo et al, 2008; Gündoğdu, 2006]. Bu nedenle bu çalışmada TÜBİTAK projesi kapsamında özel olarak geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının ticari kesme sıvıları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Metal kesme sıvılarının performansını analiz edebilmek için talaşlı imalat parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, kesici uç türü, imalat yöntemi, takım tutucu türü, kesme sıvısı türü parametrelerinin hepsi veya farklı kombinasyonları giriş değerleri olarak

alnabilir. Bu giriş parametrelerinden uygun olanlar seçilerek gerçekleştirilecek imalat işleminde, kesme kuvvetleri, takım ömrü, takım aşınması, yüzey kalitesi, takım titreşimleri, ölçü tamlığı, iş parçası ve uç sıcaklığı, talaş şekli, talaş rengi, harcanan güç gibi çıkış parametreleri ölçümleri yapılarak, referans alınan bir sınıya göre performans analizi yapılabilir [Xavior and Adithan, 2009]. Bu tezde, tornalama işleminde bitkisel esaslı kesme sıvılarının ve kesme parametrelerinin tornalama kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 304, AISI 304L paslanmaz çelik malzeme, 7075 alüminyum malzeme ve kesici takım olarak DCMT 11T304-SM IC907 kullanılmıştır. Kesme sıvısı olarak 6 tane bitkisel esaslı kesme sıvısı ve 2 tane ticari kesme sıvısı (mineral ve yarı sentetik) referans olarak kullanılmıştır. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının hepsi TÜBİTAK projesi kapsamında ayçiçeği ve kanola bitkilerinden geliştirilmiştir. Deneyler dört aşamada gerçekleştirilmiştir:

İlk deney çalışmasında deney seti Taguchi  $L_{18}$  ( $3 \times 3 \times 6 \times 1$ ) ortogonal dizini esas alınarak hazırlanmıştır. Bu deney setinde kesme parametreleri olarak; devir sayısı, ilerleme, talaş derinliği ve kesme sıvısı viskozitesi alınmıştır. Deneysel data Minitab 15 yazılımı yardımıyla işlenmiştir. Tornalama parametrelerinin etkisini analiz etmek için ortogonal dizin, işaret/gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

İkinci deneysel çalışma planı olarak; cevap yüzeyi metodu esaslı D-optimal deney tasarım metodu kullanılmıştır. D-optimal metodu ile 19'lu deney tasarımı hazırlanmış, devir sayısı, ilerleme ve talaş derinliği nümerik faktör, kesme sıvıları ise kategorik faktör olarak analiz edilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ve regresyon analizi ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneysel veriler Design-Expert 6.0.6 yazılımı yardımıyla işlenmiştir.

Üçüncü deneysel çalışma planı olarak ilerleme hızının etkisi değerlendirilmiştir. Her bir kesme sıvısı için sabit devir sayısı ve talaş derinliğinde, üç farklı ilerleme hızında boyuna tornalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlerleme deneyleri ile ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü, tornalama kuvvetleri, takım

aşınması üzerine etkisi ve kesme sıvılarının birbirlerine göre kıyaslamalı analizleri yapılmıştır.

Dördüncü deneysel çalışmada, AISI 304L, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin ve 7075 serisi alüminyum malzemelerin boyuna tormalanmasında takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, tormalama kuvvetleri için kesme sıvılarının performansları analiz edilmiştir. Performans deneylerinde devir sayısı, ilerleme hızı ve talaş derinliği parametreleri sabit tutulmuştur.

Tormalama esnasında kuvvetler Kistler 9257B dinamometre ile ölçülmüştür. Kuvvet datası DAQ kartı ve Dynoware kullanıcı ara yüzü yardımıyla elde edilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Takım aşınmaları Nikon SMZ800 stereo mikroskop ile ölçülmüştür. Yüzeylerin pürüzlülük değerleri Mitutoyo SurfTest SJ 301 ile ölçülmüştür. Her durumda yüzey pürüzlülüğü için altı ölçüm alınmıştır ve analiz için ortalama değer kullanılmıştır.

İkinci bölümde genel olarak literatür taraması, üçüncü bölümde tormalama, tormalama parametreleri, dördüncü bölümde kesme sıvılarının özellikleri, işçi sağlığı açısından etkileri, beşinci bölümde kesme kuvvetleri ve dinamometreler, altıncı bölümde takım aşınması, yedinci bölümde yüzey pürüzlülüğü, sekizinci bölümde deney tasarımı ve ölçüm cihazları, dokuzuncu bölümde deney sonuçları ve tartışmalar ve onuncu bölümde sonuçlar ile öneriler verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Talaşlı imalat işlemlerinde oluşan ısı, titreşim, basınç gibi fiziksel büyüklüklerin sonucunda meydana gelen aşınma, yüzey pürüzlülüğündeki düzensizlikler, ölçü kaçıklığı gibi imalat problemlerini çözebilmek için kullanılan temel yöntemlerden birisi kesme sıvılarının imalat bölgesine uygulanmasıdır. Kesme sıvıları tribolojik açıdan kesme bölgesinde yağlayıcılık ve soğutma görevi üstlenirler. Mineral yağlar, sentetik yağlar ve bitkisel esaslı yağlar en çok uygulama alanı bulan kesme sıvılarıdır. Mineral esaslı yağlar düşük maliyetleri ve kimyasal kararlılıkları sebebiyle işletmeler tarafından kullanılmaktadır. Fakat mineral esaslı yağların çevresel zararları bulunması, daha iyi yağlama ve soğutma fonksiyonu elde edilmek istenmesi, daha ideal yağlama yöntemlerini araştırmaya yönelmektedir. Minimum miktarda yağlama (MQL), kriyojenik (çok soğuk, donduran) soğutma ve bitkisel esaslı yağların kullanımı, mineral esaslı yağlara göre soğutma ve yağlama fonksiyonunda daha optimum sonuçlar vermektedir. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda da bitkisel esaslı yağların kesme sıvısı olarak kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar bitkisel esaslı yağların (örnek: kanola yağı, ayçiçeği yağı, soya yağı) mineral yağlara göre çok daha yüksek verimlilik sağladığını göstermektedir. Ayrıca bitkisel esaslı yağların düşük çevresel etkileri bulunması ve biyolojik olarak parçalanabilir olması, mineral yağlara kıyasla kullanılabilirliklerini arttırmaktadır [Xavior ve Adithan, 2009].

Xavior ve Adithan'nın yaptığı çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerinin karbür takımlarla işlenmesinde, kesme sıvılarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Tornalama işlemiyle yapılan deneylerde Hindistan cevizi yağının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına üzerine olumlu etkileri değerlendirilmiştir. Hindistan cevizi yağının performansı, emülsiyon ve neat (suyla karışmayan) kesme yağları olarak isimlendirilen iki farklı kesme sıvısı ile karşılaştırılmıştır. Tornalama işlemi tamamlandıktan sonra uçlar üzerindeki serbest yüzey aşınması mikroskopta incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ile serbest yüzeydeki aşınma miktarları ölçülmüştür. Çalışmada Taguchi (L27) deneysel tasarım metodu kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Deney sonuçları varyans



analizi ile incelenerek belirlenen parametrelerin imalat işlemine hangi oranlarda etki ettikleri yüzdesel olarak belirlenmiştir. Ayrıca serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü için lineer regresyon modeli oluşturulmuş ve matematiksel modeli çıkarılmıştır. Deney sonuçları metal kesme sıvılarının imalata kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği kadar yüksek oranda etkisi olmasa da, küçümsenmeyecek bir öneme sahip olduğunu göstermiştir. Anova analizi sonuçlarına göre ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu (%61.54) ve kesme hızının takım aşınmasını etkileyen (%46.49) en önemli parametre olduğu görülmüştür. Kesme sıvılarının da yüzey pürüzlülüğü (%14.29) ve takım aşınması (%4.65) üzerine dikkate değer etkileri olduğu tespit edilmiştir. Kesme sıvılarının takım aşınmasını azaltma ve yüzey kalitesini arttırmada verimli oldukları ve olumlu bir performans izledikleri öne sürülmüştür. Hindistan cevizi yağının kullanılan mineral yağlara oranla takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmada daha iyi bir kesme sıvısı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada imalat işlemine etki eden değişik parametrelere ait yüzey çizimleri yapılmış ve yüzey pürüzlülüğü ile takım aşınmasına katkıları göreceli olarak anlatılmıştır. Grafiklere göre kesme hızının 80 m/dak olduğu aralıkta en düşük yüzey pürüzlülüğü değerine ulaşılmıştır. Düşük kesme derinliği değerleri için yüzey pürüzlülüğü değerlerinin sabit kaldığı görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının arttığı, 60 m/dak kesme hızında aşınmanın sabit değerde kaldığı grafikte belirlenmiştir. Yüksek ilerleme oranı ve kesme derinliği için de takım aşınmasının oldukça yüksek değerlerde olduğu ve ilerleme oranı ile kesme derinliğinin düşük değerlerinde takım aşınmasının sabit kaldığı görülmüştür [Xavior and Adithan, 2009].

Belluco ve Chiffre'nin yaptığı çalışmada klasik HSS-Co matkap kullanılarak AISI 316L östenitik paslanmaz çelik delinirken 6 farklı kesme sıvısının takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvveti ve talaş şekline olan etkileri değerlendirilmiştir. 7 adet takım katastropik (felakete yol açan, ölümcül) hata derecesine kadar her bir akışkanla test edilmiştir. Kesme kuvvetleri ve talaş kırılması her delik için kaydedilmiş ve takım aşınması sabit aralıklarla ölçülmüştür. Referans ürün olarak mineral kaynaklı, ticari kesme sıvısı kullanılmış ve farklı katkı seviyelerinde formüle edilmiş 5 adet bitkisel esaslı (özlü) kesme sıvısı test edilmiştir. Bütün ölçümlerdeki parametreler akışkanın performansının takım ömrünü uzattığını, en iyi talaş

kırıklığını, daha az aşınma ve kesme gücü oluşturduğunu doğrulamıştır. Takım ömrü ve kesme gücü arasında iyi bir korelasyon bulunmuştur. Paslanmaz çelik işlenirken kesme sıvısı kullanıldığında, itme kuvvetleri performansına göre daha az zaman kaybı ve takım ömrü testlerinde maliyette azalma görülmüştür. Bütün bitkisel esaslı kesme sıvılarında referans ürüne göre daha iyi bir üretim sağlanmıştır. Veri analizi için 5 farklı parametre kullanılmış ve değerler Varyans Analizine tabi tutulmuştur. Takım ömrü ve takım ucu körleşmesi, takım ömrü boyunca ortalama itme kuvveti, her 10. ve 19. delikteki ortalama itme kuvveti, 21 dakikalık işleme zamanından sonra serbest yüzeyde meydana gelen maksimum köşe aşınması, takım etrafına dolaşan talaş miktarı analiz edilen parametrelerdir. Takım ömründe %177 artış ve itme kuvvetinde %7 azalma sağlanmıştır. Bu sonuçlara göre bitkisel esaslı yağların imalat performansını arttırdığı ve düşük çevresel etkilerinden dolayı üretilebilir bir kaynak olduğu öne sürülmüştür. Bütün ölçülen değerler ile takım ömrü arasında iyi bir korelasyon (0.81-0.91) olduğu görülmüştür [Belluco ve Chiffre, 2004].

Khan and Dhar tornalamada bitkisel esaslı yağ ile minimum miktarda yağlamanın (MQL) kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve ölçüsel tamlığı sağlama üzerindeki rolünü araştırmışlardır. İmalat verimliliğini arttırmak için ihtiyaç duyulan yüksek hız ve ilerleme değerleri yüksek sıcaklığa sebep olmakta, oluşan yüksek sıcaklıkta takım ömrünü düşürmekte ve ürün kalitesini bozmaktadır. Metal kesme sıvılarının yağlama, soğutma ve talaşı uzaklaştırma fonksiyonu ile imalat verimliliğini arttırdığı fakat işçi sağlığı ve çevresel duyarlılık açısından problem oluşturduğu belirlenmiştir. Çevreye duyarlı ve iş güvenliği açısından güvenli bir kesme sıvısı uygulaması için bitkisel esaslı kesme sıvılarının minimum miktarda yağlama ile kullanılabilirliği araştırılmıştır. AISI 1060 çeliği kaplamalı karbür uçlarla tornalanmıştır. Minimum miktarda yağlama yöntemi ile çeliğin kuru işlenmesi karşılaştırıldığında, minimum yağlama yönteminin takım aşınmasını azalttığı, takım ömrünü arttırdığı ve daha iyi bitirme yüzeyi sağladığı görülmüştür. Bitkisel esaslı yağ ile minimum miktarda yağlama, kesme kuvvetlerini %5 ile %15 arasında azaltmaktadır [Khan and Dhar, 2006].

Axinte et al tornalama işleminde güvenilir takım ömrü ölçümü yapılabilirliği araştırılmış ve referans kesme sıvısı olarak mineral esaslı yağ ve 5 tane farklı

seviyede katkılı bitkisel esaslı kesme sıvısı kullanılmıştır. İş parçası olarak AISI 316L (147 HV) paslanmaz çelik, 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. Takım ömrü tahmininin belirsizliği deneysel çalışmalardan elde edilen standart sapma değerinden üç kat daha fazla bulunmuştur [Axinte et al, 2001].

De Chiffre and Belluco yeni geliştirilmiş bitkisel esaslı kesme yağlarının raybalama ve kılavuz çekmede yüzey yapısı ve ölçü doğruluğu üzerindeki etkisini araştırılmıştır. AISI 316L paslanmaz çelikle deneyler gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği ölçümü yapılmış ve malzemenin mikro yapısı analiz edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan bitkisel esaslı yağlar mineral yağlardan daha iyi performans göstermiştir. Yüzeyden 15 µm mesafedeki mikro sertlikteki artış raybalamada %100 ve kılavuz çekmede %125 olarak bulunmuştur [De Chiffre and Belluco, 2002].

Anshu and Balaji, AISI 1045 çeliklerinin işlenmesinde farklı kesme sıvıları kullanılarak, kesme sıvısının takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Takımlar kaplamalarına ve talaş kırıcılarına göre de analiz edilmiştir. Çalışmada kuru kesme, minimum miktarda yağlama, yüksek basınç katkılı minimum miktarda yağlama ve sürekli akış yöntemleri uygulanmış ve en uzun takım ömrü sürekli akış yönteminde gözlemlenmiştir. Takım ömrü analiz edilirken serbest yüzey aşınması ve krater aşınması değerleri incelenmiştir [Anshu and Balaji, 2009].

Yeyen et al AISI 303 östenitik paslanmaz çelikleri ile AISI 304 paslanmaz çeliklerinin işlenebilirliği araştırmışlardır. AISI 304 çelikleri uzay ve uçak teknolojisinde, yataklarda, şaftlarda, valflerde, özel vidalarda, soğutma üniteleri ve birçok kimyasal konstrüksiyonlarda kullanılmaktadır. Çalışma dört farklı kesme hızı (120, 150, 180 ve 210 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0.20, 0.24 ve 0.30 mm/devir) miktarında yapılmıştır. AISI 303 için optimum kesme koşulları belirlenmiş ve AISI 304 ile mukayese edildiğinde %19'luk bir kuvvet artışı meydana geldiği görülmüştür [Yeyen et al, 2009].

Çiftçi iki farklı kalitede östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kesme sıvısı kullanılmadan işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Çalışmada TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici kullanılmıştır. Kesme parametreleri kesme hızı için 120, 150, 180, 210 m/dak, ilerleme hızı için 0.16 mm/devir, talaş derinliği içinde 1.6 mm olarak belirlenmiştir. Kaplamalar kıyaslandığı takdirde kesme kuvvetleri arasındaki farklılığın çok fazla olmadığı görülmüştür. AISI 316 çeliklerin tornalamasında oluşan kesme kuvvetleri AISI 304 çeliğin tornalamasında olduğundan daha yüksektir. Artan kesme hızı ile belirli bir değere kadar yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, bu değerden sonra ise arttığı görülmüştür [Çiftçi, 2005].

Sharma et al talaşlı imalatta verimliliği arttırmak için kullanılan soğutma teknikleri kapsamlı olarak incelemişlerdir. Modern malzemelerin imalatında kesme bölgesinde ki soğutma ve yağlama fonksiyonunu anlayabilmek, kesme bölgesinde ısı oluşumunun azaltılması ile modern malzemelerin verimli ve ekonomik işlenmesini sağlamak amaçlanmıştır. Minimum miktarda yağlama, yüksek basınçta soğutma, kriyojenik soğutma, basınçlı hava soğutması ve katı yağlayıcılar kullanma yöntemleri en temel özellikleri ile araştırılmıştır. Bu yöntemlerin kesme bölgesinde sürtünmeyi ve ısı oluşumunu azaltarak verimliliği arttırdığı görülmüştür. Yüzey modelleme için de sonlu elemanlar yöntemi uygulanmıştır [Sharma et al, 2009].

Ozcelik et al yaptıkları çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliklerin delinmesinde ayçiçeğinden geliştirilmiş iki farklı kesme sıvısı ve ticari esaslı iki kesme sıvısının (yarı sentetik ve mineral esaslı) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Taguchi deney tasarımı ile bitkisel esaslı kesme sıvıları için optimum yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde yüksek etkisi olduğu tespit edilmiş, ilerleme hızının artışıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Yapılan deneylerde takım aşınması gözlenmemiştir. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının yüzey kalitesi açısından ticari kesme sıvılarından daha iyi performans verdiği görülmüştür [Ozcelik et al, 2009a].

Kuram et al yaptıkları çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde ayçiçeği ve kanola yağından geliştirilmiş iki farklı kesme sıvısı ile ticari esaslı yarı sentetik kesme sıvısının kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Taguchi deney tasarımının kullanıldığı deneylerde bitkisel esaslı kesme sıvılarının takım aşınması ve kesme kuvvetleri açısından ticari kesme sıvılarından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ayçiçeği yağından geliştirilmiş kesme sıvısının takım aşınmalarını azaltma da referans sıvıya göre daha yüksek performans gösterdiği, kesme kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının daha performanslı olduğu ve talaş derinliğinin takım aşınması ile kesme kuvvetleri üzerinde yüksek etkisi bulunduğu belirlenmiştir [Kuram et al, 2010a].

Kuram et al rafine ayçiçek yağından geliştirilen bitkisel yağlar (ham ve rafine) ile bitkisel ve mineral esaslı endüstriyel metal kesme yağlarının 304 paslanmaz çelik malzeme üzerinde delme test sonuçlarını gerçekleştirmişlerdir. Bu testlerin sonucunda deney numunelerinde yüzey pürüzlülük değerleri ve ilerleme kuvvetleri ölçülerek performans karşılaştırmaları yapılmıştır. En düşük ilerleme kuvveti değerleri ayçiçeği esaslı kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri ise ticari bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde elde edilmiştir [Kuram et al, 2010b].

Özçelik ve ark. ayçiçek ve kanola yağından geliştirilen bitkisel yağlar ile ticari bitkisel ve mineral esaslı endüstriyel metal kesme yağlarının 304 paslanmaz çelik malzeme üzerinde delme test sonuçlarını incelemişlerdir. Deney numunelerinde ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek kesme sıvılarının performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Deney sonuçlarından kanola esaslı kesme sıvılarının ayçiçeği esaslılardan daha düşük pürüzlülük değeri verdiği görülmüştür. Rafine ve ham kesme sıvılarının performansları karşılaştırılmış ve ham bitkisel esaslı kesme sıvısı rafine bitkisel esaslı kesme sıvısından daha yüksek pürüzlülük değeri vermiştir [Özçelik ve ark, 2009b].

Özçelik ve ark. rafine ayçiçek yağından geliştirilen bitkisel yağlar ile yarı sentetik ve mineral esaslı endüstriyel metal kesme yağlarının 304 paslanmaz çelik

malzeme üzerinde delme test sonuçlarını incelemişlerdir. Bu testlerin sonucunda deney numunelerinde yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek performans karşılaştırmaları yapılmıştır. En düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması bitkisel esaslı kesme sıvıları ile elde edilmiştir. Belirlenen sabit delme şartlarında matkap uçlarında aşınma gözlenmemiştir [Özçelik ve ark, 2009c].

Bitkisel tabanlı yağlardan metal kesme sıvısı elde edilmesi konusunda rafine ve ham olarak kanola ve ayçiçeği yağlarını [Şık, 2009] ve ham soya yağını kullanarak [Karahana, 2009] kesme sıvısı geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda geliştirilen bitkisel esaslı kesme yağları kullanılarak, delme [Kuram, 2009] ve frezeleme [Dal, 2009] talaş kaldırma işlemleri için performans çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen performans sonuçları bitkisel esaslı kesme sıvılarının talaşlı imalatta kullanılabilirliğini göstermiştir.

### 3. TORNALAMA

İnsanlığın ilk zamanlarından beri var olan imalatın amacı, belirli bir amaç için kullanılacak, ihtiyaçlara cevap verebilecek işlev veya işlevlere sahip olan bir aletin üretilmesi için, ham madde halinde bulunan herhangi bir malzemeyi belirli bir şekle dönüştürmektir. İhtiyaçların zamanla değişmesi yani gelişmesi sonucunda farklı imalat yöntemleri bulunmuş ve geliştirilmiştir. Bu imalat yöntemleri arasında olan talaşsız şekil verme yöntemleri, imalatın çok kısa bir sürede gerçekleşmesini sağlamasına rağmen, yüzey, boyut ve şekil kalitesi bakımından istenilen kaliteyi sağlayamamaktadır. Bu yüzden ikinci bir işleme, esas boyuta getirme işlemine, yani talaşlı şekil verme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Talaşlı şekil verme, ucu (ağzı) keskin bir takım ile parça üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Bu şekilde kaldırılan malzemeye talaş denir [www.ofismuhendis.com].

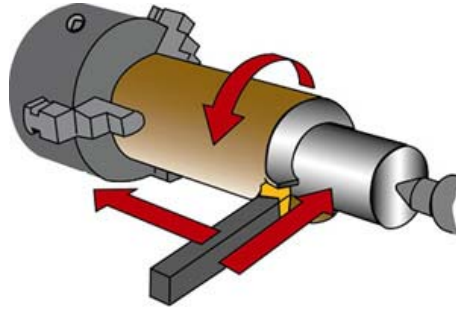
Talaşlı imalat, makine imalat endüstrisinde kullanılan en yaygın metal şekillendirme prosesidir. En yaygın bilinen talaşlı imalat yöntemleri, tornalama, frezeleme, delme, planyalama, vargelleme ve taşlama işlemleridir. En eski yöntemlerden biri olan tornalama, çok değişken koşulların bulunduğu bir imalat yöntemidir [Sharma et al, 2009]. Tornalama, kesme hareketinin parçanın döndürülmesiyle sağlandığı, ilerleme ve yardımcı hareketlerin takım tarafından yapıldığı bir talaşlı şekil verme yöntemidir. Tornalama işlemleri torna tezgâhlarında gerçekleştirilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Tornalama tezgahı.

19. yüzyılda sanayi devriminin başlamasıyla, takım tezgâhları hızlı bir şekilde gelişme göstermiş ve birçok yöntem gibi tornalama yönteminin de önemi artmıştır. Tornalama yöntemi, dairesel parçaların oluşturulmasında diğer yöntemlere göre yüzey kalitesi ve işleme zamanı bakımından daha üstün bir yöntemdir. Sağladığı bu üstünlüklerden dolayı tornalama, birçok alanda vazgeçilmez bir talaşlı şekil verme yöntemi olmuştur. [www.index.gen.tr] Şekil 3.2’de temel bir tornalama işlemi gösterilmektedir.

Tornalama, genellikle bir torna tezgâhında, dönen bir iş parçası üzerinden kesici takımın hareketi ile iç veya dış yüzeyden talaş kaldırma işlemidir. Tornalama, saat parçasından 25 metre uzunluktaki gemi şaftına kadar değişen boyuttaki parçalara uygulanmaktadır [Makine Mühendisliği El Kitabı].



Şekil 3.2. Boyuna tornalama işlemi [Perman, 2009].

Tornalama, geometrik ve kinematik hareketlerinin kolay tanımlanabilmesi sebebiyle, benzetim yapabilmek açısından en basit metal kesme işlemidir. Benzetimin kolay yapılabilmesi, özellikle CNC tezgâhlardaki yığın üretimlerde kolaylık sağlamakta, maliyetler açısından da ekonomiklik sağlamaktadır [Stephenson and Agapiou, 2006].

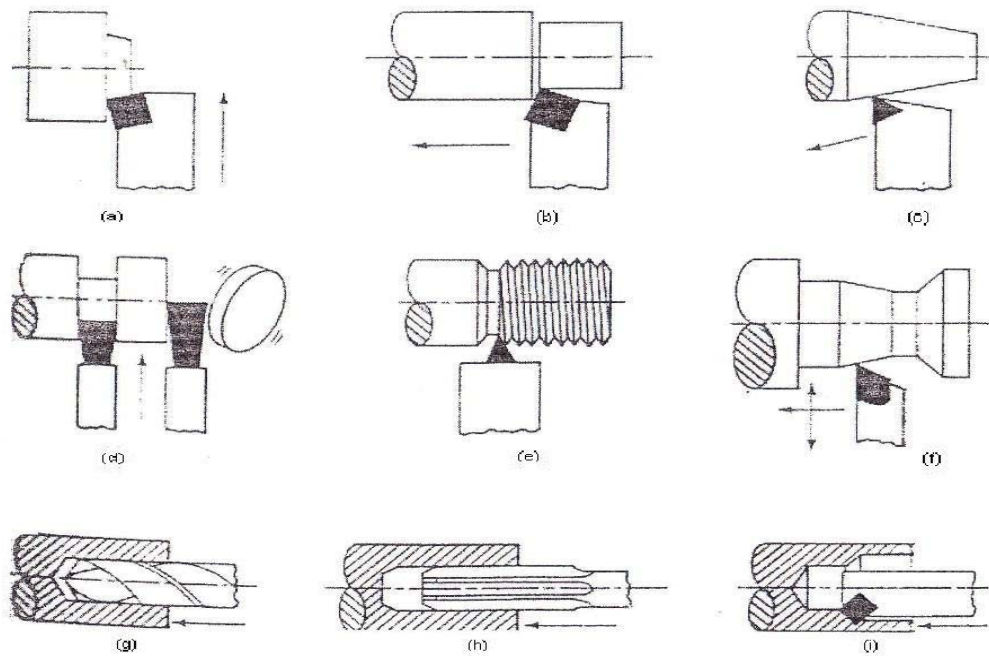
### 3.1. Temel Tornalama İşlemleri

İmal edilecek parçaların istenilen teknik resme uygun hale getirilebilmesi için farklı tornalama yöntemleri geliştirilmiştir. Parçayı istenilen şekle getirebilmek için torna kaleminin parçayı yaklaşma açısı, kalemin parça eksenine göre konumu, kullanılacak kesici ucun geometrisi, takım tutucunun geometrisi değiştirilerek en



hassas parça yüzeyleri ve parça ölçüleri elde edilmeye çalışılır. Tornalama koşullarının değiştirilmesiyle oluşan işlemler, temel tornalama işlemleri olarak adlandırılır.

Tornalama işleminde farklı operasyonlar olarak, iç ve dış silindirik yüzeyler, konik yüzeyler, alın yüzeylerin işlenmesi, profilli yüzeyler, vida açma, kanal açma ve parça kesme işlemleri yapılabilir. Torna tezgahında yapılabilen işlemler Şekil 3.3'te gösterilmiştir [Şahin, 2000].



Şekil 3.3. Torna tezgahında yapılabilen temel operasyonlar.

- (a) Alın tornalama, (b) Silindirik tornalama, (c) Konik tornalama, (d) Kanal açma, (e) Vida açma, (f) Profil tornalama, (g) Delik delme, (h) Rayba çekme, (i) Delik büyütme [Şahin, 2000]

Boyuna tornalama, kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak sabit bir ilerleme değeri ile ilerleyerek talaş kaldırma işlemidir. Konik tornalama işleminde ise, boyuna tornalamadan farklı olarak kesici takım iş parçası eksenine belirli açıda ilerleme hareketi yaparak talaş kaldırılır. Alın tornalama işleminde kesici takım, dönen iş parçası eksenine dik olarak ilerleme hareketi ile kesme işlemini gerçekleştirir. Kanal açma işleminde de parça eksenine dik hareket edilir fakat parça

ekseni boyunca farklı yerlerden işlem uygulanabilir. Vida açma işleminde ise istenilen profile göre hazırlanmış kesici takım ile belirli derinlikte ve adıma uygun ilerleme miktarı ile parça üzerinden talaş kaldırılır [Şahin, 2000]. Vida açma işleminde istenilen adımda ilerlemeyi sağlayabilmek için ana mil ile kesici takımı taşıyan arabanın entegre çalışması gerekmektedir. Profil oluşturma işleminde, kanal açmada olduğu gibi, istenilen profilde takım hazırlanarak iş parçası eksenine dik yönde ilerleme hareketi ile işlem gerçekleştirilir. Delik delme işlemi matkapta olduğu gibi torna tezgâhında da gerçekleştirilebilir. Büyük hassas deliklerin tolerans gerektirmesi sebebiyle hem matkap kullanılması hem de delik kateri aracılığıyla daha hassas işlemler yapılabilir. Delinmiş yüzeylerin kalitesini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir işlemde rayba çekme işlemidir.

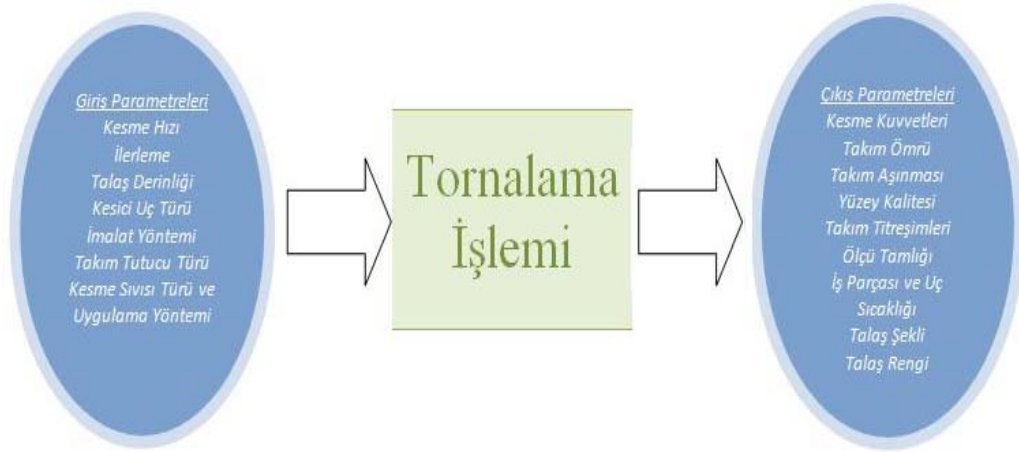
## **3.2. Tornalamada Talaş Kaldırma Parametreleri**

Tornalama işlemini bir sistem dâhilinde ele aldığımızda, bu sistemi analiz edebilmemiz için, imalat çıktılarını (yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, takım aşınması vb.) etkileyen giriş parametrelerini belirlememiz gerektiğini görürüz (Şekil 3.4). Bir tornalama işleminin etkili yapılabilmesi bu giriş parametrelerine bağlıdır. Tornalama da etkili olan giriş parametreleri kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğidir. Uygun giriş parametreleri belirlenemediği zaman yüzey pürüzlülüğü istenilen değerlerde elde edilemeyebilir, imalat süresi uzayabilir, parça istenilen ölçülere getirilemeyebilir. İstenmeyen durumların meydana gelmesi de ekonomik kayıp olarak yansacaktır.

### **3.2.1. Kesme Hızı**

Tornada kesme hızı, sabit bir kesici uca göre iş parçasının dönme hızı ile ilgili hareketi olup, parça üzerindeki bir noktadan takımın dakikada metre cinsinden aldığı yoldur. Kesme hızı,  $v$ , ile gösterilir ve birimi genelde m/dak olarak ifade edilir. [Şahin, 2000] (Şekil 3.5). Örnek olarak, 50 m/dak kesme hızı ile işlenen bir parçada, kesici takım iş parçası çevresinde dakika da 50 m yol alıyor demektir.

Her malzeme için belirlenmiş optimum kesme hızı değerleri vardır. Bu değerlerin altında veya üstünde çalışılan hızlarda takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü gibi önemli talaşlı imalat parametrelerinde istenilen değerler elde edilemeyecektir. Özellikle belirlenen tolerans aralıklarında imalatı gerçekleştirebilmek için, işlenen malzemeye en uygun kesme hızı aralığında çalışılmalıdır. Kesme hızı çok yüksek seçilirse kesici takım ucu hızlı aşınarak bozulur buda maliyet ve zaman kaybına neden olur. Kesme hızının düşük seçilmesi durumunda ise imalat süresi uzar ve takım ağzında yığıntı talaş oluşumu (BUE) sebebiyle kötü bir yüzey elde edilir. Bu sebeplerden dolayı her malzeme için yapılan araştırmalar ve deneyler sonucu belirlenmiş optimum kesme hızlarında imalat işlemleri gerçekleştirilmelidir.



Şekil 3.4. Sistem analizi açısından tornalama işlemi.

Kesme hızını hesaplayabilmek için fener milinin devir sayısı ve iş parçasının çapının bilinmesi gereklidir.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.1)$$

$V_c$  = Kesme Hızı (m/dak)

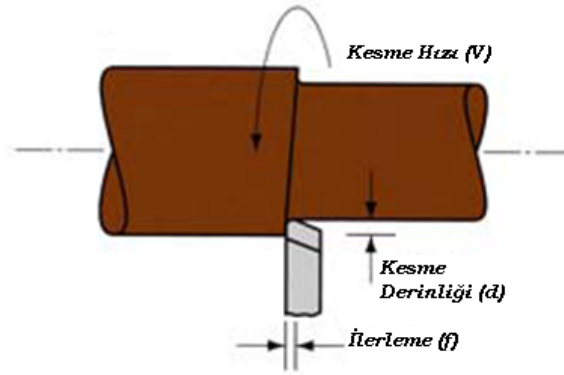
$D$  = İşlenen Malzemenin Çapı (mm)

$n$  = Fener Milinin Devir Sayısı (dev/dak)

Kesme hızını etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

- İş parçasının ve kesici uç malzemesinin cinsi, geometrisi, ucun kaplama türü

- Parçanın yüzey kalitesi
- Soğutma sıvısı
- Tezgâh kapasitesi
- Talaş derinliği



Şekil 3.5. Tornalamada 3 temel faktör (Kesme hızı, Kesme derinliği, İlerleme).

### 3.2.2. Kesme Derinliği

Talaş derinliği, talaş kaldırma işleminde üçüncü boyutu göstermekte olup, takımın iş parçası içine dikey olarak daldığı mesafedir. İlk çap ile son çap arasında ki farkın yarısına eşittir ve genellikle,  $d$ , ile gösterilir. Başka bir ifadeyle kaldırılan malzemenin kalınlığı olup Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Tornalamada kesme işleminin verimliliğini gösteren temel parametrelerden bir tanesidir [Şahin, 2000] (Şekil 3.6).

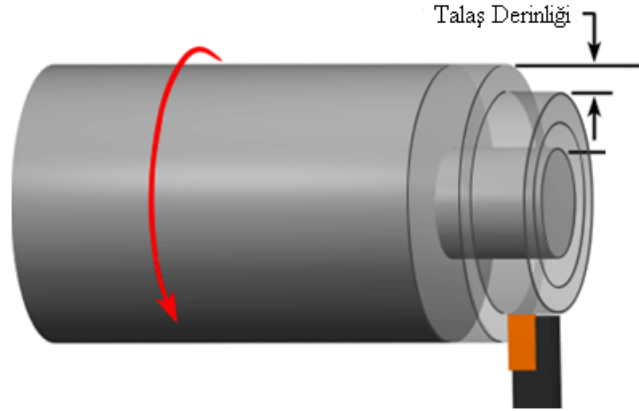
$$d = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (3.2)$$

$d$  = Kesme Derinliği (mm)

$D_1$  = İlk Çap (mm)

$D_2$  = Son Çap (mm)

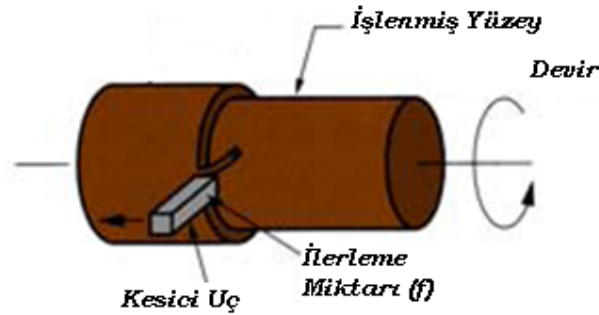
İmalatı gerçekleştirilen bir parçada, sabit bir ilerleme miktarı için, kesme derinliği arttıkça kesme kuvveti de o oranda artmaktadır. Artmanın şiddeti ilerlemeye bağlıdır. İlerleme miktarının büyük olduğu hallerde artan paso derinliğinin kesme kuvvetlerine etkisi daha şiddetli olmaktadır. [Tülbentçi, 2003]



Şekil 3.6. Kesme derinliği [www.cinarlar.com.tr].

### 3.2.3. İlerleme

İlerleme miktarı, iş parçasının her bir dönüşünde, yani birim zamanda takımın iş eksenini boyunca hareket ettiği mesafe veya her bir pasoda kaldırılan malzeme miktarıdır (Şekil 3.7). Genellikle ilerleme miktarı birimi mm/dev veya mm/dak olup,  $f$ , ile gösterilir [Şahin, 2000]. Kısaca ilerleme, kesici takımın iş parçasının bir tam devrinde almış olduğu yol olarak tanımlanabilir.



Şekil 3.7. İlerleme miktarı.

İlerleme miktarı talaşlı imalat ekonomisini etkileyen temel faktörlerden birisidir. İlerleme miktarının kesme kuvvetleri üzerine etkisi oldukça şiddetlidir. İlerleme değeri arttıkça kesme kuvveti artar, azaldıkça da kesme kuvvetleri azalır. Kesme kuvvetleri ilerleme miktarının belirli bir değerinde minimumdan geçer ve çok küçük ilerleme değerlerinde bir yükselme gösterir. Bu olay kesme kenarının

uygulamada belirli bir eğrilik yarıçapı gösterme etkisinin talaş kalınlığının azalmasıyla kendini belli etmesi ile açıklanabilir [Tülbentçi, 2003].

$$f = F \times N \quad (3.3)$$

f = İlerleme Miktarı (mm)

F = İlerleme (mm/dev)

N = Devir (dev/dak)

İlerlemeyi etkileyen faktörler üzerinde araştırmalar yapılarak en uygun ilerleme değerlerine ulaşılabilir. İlerleme miktarını etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

- Kesme hızı
- İş parçası malzemesinin cinsi
- Talaş derinliği
- Torna tezgâhının gücü ve kapasitesi
- Kesici uç türü, kaplaması ve üretim yöntemi

Kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin imalat işlemine etkileri Tablo 3.1'de görülmektedir.

Tablo 3.1. Temel İmalat Faktörlerinin İmalat İşlemine Etkileri.

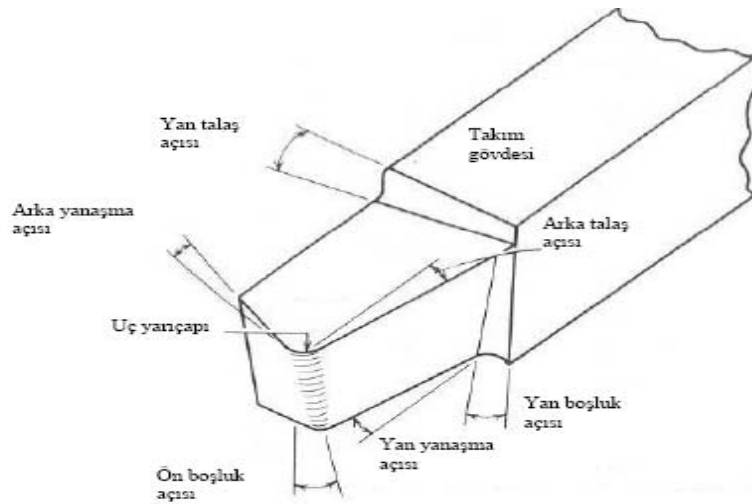
	Kesme Hızı	Talaş Derinliği	İlerleme Miktarı
İmalat Verimliliği	✓	✓	✓
Takım Ömrü	✓		✓
Güç Tüketimi	✓	✓	✓
Yüzey Pürüzlülüğü	✓		✓
Talaş Akışı		✓	✓
Ölçü Tamlığı		✓	
İşlem Sıcaklığı	✓	✓	

### 3.3. Tornalamada Takım Geometrisi

Talaşlı imalat işlemlerinde, kesme işleminin etkin bir şekilde yapılabilmesi için, kesici takımlar uygun takım geometrisine sahip olmalıdır. Takım geometrisi, imalat verimliliğinde önemli birer faktör olan, kesme kuvvetleri, takım ömrü, yüzey kalitesi, takım titreşimleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. İmalatı gerçekleştirilecek iş

parçasına uygun takım geometrisi seçilmediği zaman, kesici takım çok hızlı aşınma gösterecek, kesme kuvvetlerinde artış meydana gelecek ve istenilen yüzey hassasiyeti elde edilemeyecektir. Kesme bölgesinde, iş parçası ve takım, dayanım, sıcaklık, aşınma gibi fiziksel niceliklerin etkisi altındadır. Takım geometrisinin kesme bölgesinde en fazla etkili olduğu fiziksel nicelikler, takım ucuna etkiyen kuvvetler, takım ucunun mukavemeti ve takım ile iş parçası arasında oluşan sürtünmedir. Uygun geometrik değerler seçilmediği zaman takım kesme işlemini istenilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine uygun işleyemeyecek veya ucun dayanım sınırı aşılabacağı için uç kırılıp görevini tamamlayamayacaktır. Ayrıca aşınma mekanizmalarının kesici ucun farklı yerlerinde ve farklı çeşitlerde gerçekleşmesi de daha çok takım geometrisiyle ilgilidir.

Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır. Bununla birlikte, bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır [Çevik, 2006]. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır [Amstead et al, 1987]. Şekil 3.8’de tek noktadan kesme (sağ yan) işlemi yapan bir kesici takım görülmektedir.



Şekil 3.8. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım [Amstead et al, 1987].

Kesici takım geometrisi esas olarak takım malzemesinin ve iş parçası malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi bir kesici takım üzerinde çeşitli açılar mevcuttur. Ancak, bunların en önemlileri, talaş açıları ve boşluk açılarıdır. Talaş açıları; iş parçası malzemesinde kesme işlemi esnasında oluşan kaymayı ve talaş oluşumunu etkiler. Talaş açıları pozitif veya negatif olabilir. Pozitif talaş açıları kesme kuvvetlerini düşürerek iş parçasında, kesici takımda ve takım tezgâhında daha az sapmalara neden olur. Sementit karbür, seramik ve elmas kesici takımlarda talaş açısı negatif olmalıdır. Genel olarak yüksek sertlikteki iş parçalarının işlenmesinde kullanılan kesici takımlarda talaş açıları küçük olmalıdır. Yüksek hız çeliği kesici takımların talaş açıları kesici takım tipi (tornalama, frezeleme ve vargelleme gibi) ve iş parçası malzemesine bağlı olarak normalde pozitif seçilir. Kesici takımdaki doğru talaş açısı, talaşın sıkıştırılması ve kayma düzlemi açısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Küçük bir talaş açısı, talaşın önemli derecede sıkıştırılmasına, yüksek takım kuvvetlerine ve yüksek sürtünmeye neden olur. Bunun sonucu olarak da kalın, önemli derecede deformasyona uğramış ve sıcak bir talaş elde edilir. Artan talaş açısı ile talaşın sıkıştırılması, kuvvetler ve sürtünme azalır. Bu da sonuç olarak ince, daha az deformasyona uğramış ve sıcaklığı daha az olan bir talaşa neden olur. Ancak, kesici ucun dayanımı azalacağı için çok büyük talaş açılarına sahip kesici takımlar da kullanmak mümkün değildir [Çevik, 2006].

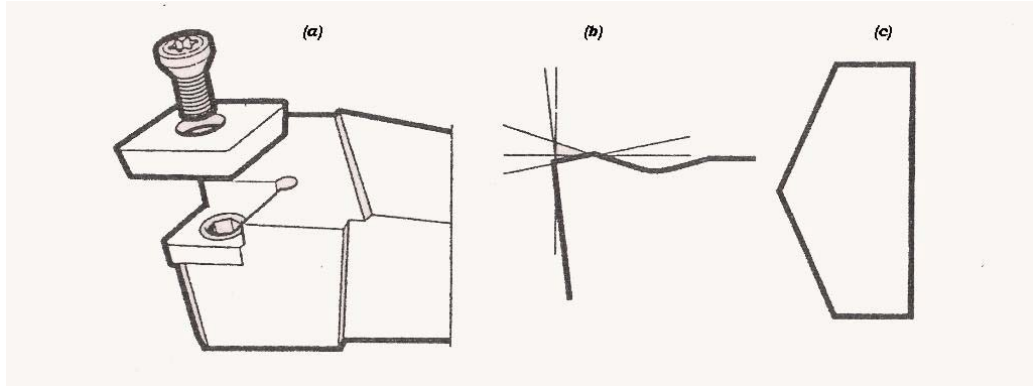
Kesici ucun dayanımını ve ısı iletimini artırmak için sementit karbür, seramik, çok kristalli bor nitrür (CBN) ve elmas (PCD) kesici takımlarda sıfır derece veya negatif olan talaş açıları yaygın olarak kullanılır. Bu kesici takımlar kırılmandır ancak yüksek sıcaklıklarda oda sıcaklığındaki sertliklerinin önemli bir kısmını muhafaza ettikleri için aşınma dirençleri yüksektir. Dolayısıyla yüksek hızda talaşlı imalat işlemlerinde etkin bir şekilde kullanılırlar. Negatif talaş açıları kesici takıma gelen kuvvetleri artırır ancak kesici ucun kırılmasını engellemek için kırılman olan kesici takımlarda bu gereklidir [DeGarmo et al, 1997].

### **3.4. Tornalamada Kesici Takım Seçimi**

Modern bir kesici takımı belirleyen üç ana değişken mevcuttur: uç tespit



sistemi, değiştirilebilir kesici ucun tipi ve geometrisi ve kesici takım malzemesidir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. a) Tespit sistemi, b) kesme geometrisi ve c) takım malzemesi [Çakır, 2000].

Günümüz imalat işlemlerinde kullanılan modern kesici takımlar, sert bir malzemeden yapılmış kesici uç veya uçlardan ve bu ucu tespit eden bir sisteme sahip çelik katerlerden oluşmuştur. Yüzey pürüzlülüğü, tolerans aralığı gibi istenilen kalite değerlerinden sapmaların başladığı, kesici ucun üzerinde çeşitli aşınma mekanizmalarının etkisi sonucu aşınma sınır değerlerinin aşıldığı durumlarda ucun yönü değiştirilerek veya daha uygun bir geometri seçilerek veya daha uygun bir takım malzemesi kullanılarak imalat işlemine devam edilir. Değiştirilebilir kesici uçların şu avantajları vardır:

- Takım kenarlarının taşlanması veya lehimleme gerektirmez.
- Daha iyi takım geometrileri ve malzemeleri kullanılabilir.
- İşleme boyunca eşdeğer bir performans elde edilir.
- Takımların kullanımı daha basit ve güvenlidir.
- Kullanılan tek veya çift taraflı uçlar ISO standartlarına uygundur [Çakır, 2000].

Kesici takım seçiminde uç tespit sistemi, kater boyutu ve tipi, uç şekli, uç büyüklüğü, köşe radyüsü, uç tipi, kesici takım malzemesi ve kesme verileri dikkate alınarak imalat işlemlerine geçilir.

### 3.4.1. Uç Tespit Sistemi

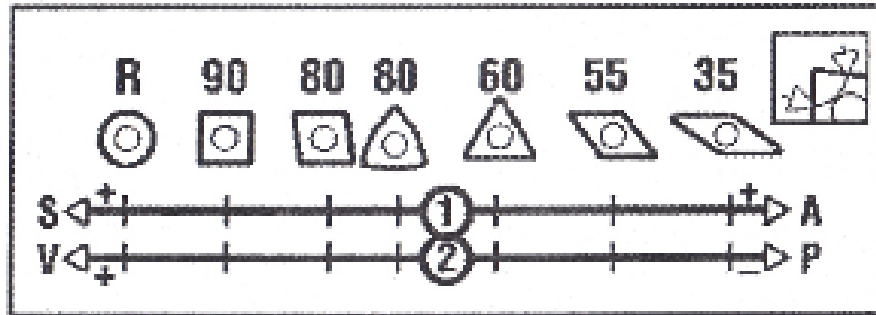
Kesici uç için ilk seçilmesi gereken tespit sistemi olmalıdır. Delik yardımıyla yapılan tespit sistemleri levyeli, kamalı ve vidalı olarak sınıflandırılır. Uç tespit sistemlerinde kullanılan altlık sayesinde, kesici ucun kırılması durumunda katerin zarar görmesi önlenir.

### 3.4.2. Katerin Boyutu ve Tipi

Katerlerin tasarımında optimum performans ve geniş bir uygulama alanında kullanılabilirlik göz önünde bulundurulur. İnce ve kaba tornalama işlemlerine göre kullanılacak katerler sınıflandırılabilir. Katerler ilerleme yönünden, talaş derinliğinden, iş parçası malzemesinden, takım tespit sisteminden ve profile erişebilirlik faktörlerinden etkilenirler.

### 3.4.3. Kesici Uçun Şekli

Takımın iş parçasına yanaşma açısı ve takımın profile erişebilirliği dikkate alınmalıdır. Mukavemet ve ekonomiklik açısından en büyük uç açısına sahip kesici uç seçilmelidir. İşlem çeşitliliği ve çok yönlülük dikkate alınacaksa daha küçük uç açıları kullanılabilir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Uç şekli ve mukavemet, erişim, güç ve titreşim ilişkisi [Çakır, 2006].

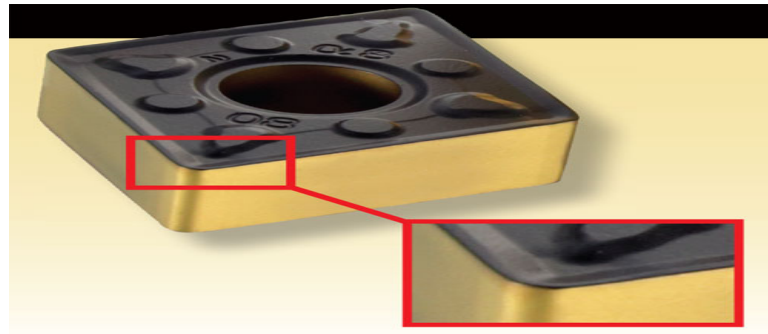
Şekil 3.10'da, S mukavemeti, A profile erişebilirlik ve çok yönlü kullanımı, V titreşimi, P ise güç gereksinimini göstermektedir.

### 3.4.4. Köşe Radyüsü

Köşe radyüsü kaba işlemlerde mukavemeti, ince işlemlerde ise yüzey pürüzlülüğünü belirlemede temel faktördür (Şekil 3.11). Köşe radyüsü yüzey pürüzlülüğü başta olmak üzere takım ömrü, takım mukavemeti, titreşim ve talaş akışını etkiler. Kaba işlemlerde ilerleme köşe radyüsünün yarısı civarında iyi sonuçlar vermektedir. İnce talaş kaldırmada yüzey pürüzlülüğü dikkate alınmalıdır. Genellikle ince talaş kaldırma işlemlerinde köşe radyüsü ve ilerlemenin koordinasyonunda, arzu edilen yüzey kalitesinin sağlanması için ilerlemenin belirli bir değerin altında olması gereklidir. Bu nedenle ince işlemlerde ilerleme; köşe radyüsünün 1/3'ü kadar veya daha küçük olmalıdır [Işık, 2009].

### 3.4.5. Takım Malzemesi

Talaşlı imalatta verimliliği arttıran en temel faktör takım malzemesidir. Takım malzemelerindeki gelişmelere bağlı olarak üretim hızları artmış, daha üst düzey malzemelerin işlenebilirliği sağlanmıştır. Modern talaşlı imalatta kullanılan takım malzemeleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:



Şekil 3.11. Köşe Radyüsü [www.productionmachining.com].

- Sinterlenmiş karbürler: Yüksek sıcaklıklara dayanıklı tungsten, titanyum, tantalyum, ve vanadyum gibi bir metalden meydana gelmiş karbürlerin kobalt, demir veya molibden gibi bir metalden oluşmuş bir matris ile birleştirilmeleri sonucu elde edilirler. Çok yüksek yapısal sertlikleri, aşınma dirençleri, rijitlik, ısıyı iletmeleri ve az ısıl genleşmeleri dolayısı ile günümüzün en iyi bilinen takım malzemeleridir [Tülbentçi, 2003].
- Kaplamalı sinterlenmiş karbürler: Takım ile işlenen malzeme arası fiziksel, kimyasal ve mekanik etkileşimleri azaltabilmek amacıyla karbür takımların üzerine karbonitrür, metal karbür, metal nitrür veya oksitlerden kaplama oluşturularak elde edilirler. Çok stabil yüzey özellikleri vardır. İşleme verimliliğini arttırmaları.
- Sermetler: Yüksek sıcaklıklarda çalışma özelliği olan seramik malzemeler ile yüksek dayanım özelliği bulunan metalik malzemelerin kompozit olarak üretilmesiyle elde edilirler.
- Seramikler: Yüksek miktarda alüminyum oksit ve zirkon oksitten meydana gelmişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve rijitlik gösterirler.
- Kübik bor nitrürler: Sentetik elmas yapımı için kullanılanlara benzer yüksek sıcaklık (1500°C), yüksek basınç (8GPa) teknikleri ile (hekzagonal-kübik) kafes dönüşümü ile elde edilen kübik bor nitrür (CBN), elmastan sonra ikinci en yüksek sertlik değerine sahiptir. Küçük miktarlardaki seramik veya metal bağlayıcı ile %100 yoğunluktaki bor nitrür karıştırılır. Kübik bor nitrür, özellikle CBN-CBN metaller arası bağlarla bağlanmaktadır [Trent, 1977]. Kübik bor nitrürün sertliği, sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Çok kristalli kübik bor nitrür endüstriyel alanda son birkaç yıldır kullanım alanı bulmaktadır.
- Elmas: Elmas, karbonun tetrahedral formudur ve en sert ve en yüksek çizme dirençli malzeme olarak bilinir. Mohs ölçeğinde sertlik numarası 10'dur. Bu özellikler elması takım malzemesi olarak çekici kılar; ne var ki, endüstriyel alanda kullanılan doğal tek kristal elmasın küçük miktarları bile oldukça pahalıdır. Ayrıca elmas çok gevrek ve belirli kristalografik düzlemler boyunca kolayca ayrılır. Doğal elmasın tahmin edilemeyen erken hasara uğramasına karşılık, üretilmiş tek kristaller daha güvenilir performans sergilemektedir. Son zamanlarda, çok kristalli takım uçlar kendiliğinden sinterlenen yuvalar içinde veya bir karbür altlık üzerine sinterlenmiş 0.5 mm

kalınlıkta tabakalar olarak kullanılmaya başlamıştır. Elmas, abrasif iş parçalarının işlenmesinde diğer takım malzemelere oranla yüksek performans göstermektedir [Schey, 1987].

## 4. KESME SIVILARI

Metal kesme sıvıları üzerine ilk çalışma 1882 yılında Michigan Üniversitesinin makine mühendisliği bölümü laboratuvarlarında Taylor tarafında gerçekleştirilmiştir. Metal takım üzerine su püskürterek yapılan çalışmalar sonucunda suyun iyi bir soğutucu olduğu fakat aşırı korozyona sebep olması sebebiyle, direkt kesme sıvısı olarak kullanımının uygun olmayacağı anlaşılmıştır. İlk kesme sıvısı olarak suyun kullanıldığı deneysel çalışmalarda, kesme hızlarında %30-40'luk artış sağlandığı görülmüştür [Victor, 2006]. Suyun termal kapasitesinin çok iyi olması fakat olumsuz korozif etkisi nedeniyle yağlama fonksiyonu çok iyi olan mineral yağlara yönelim olmuş, mineral yağların yağlama özelliği ile suyun soğutma özelliği birleştirilerek daha verimli sonuçlar elde edilmiştir. Mineral yağları sentetik yağlar izlemiş, sentetik yağlarla çok daha verimli sonuçlara ulaşılmıştır. Son on yıllık periyotta da doğaya faydalı, geri dönüşümü yapılabilen, işçi sağlığı açısından duyarlı olan bitkisel esaslı kesme sıvıları araştırılmaktadır. Kesme sıvılarının seçimi daha uzun takım ömrü, daha yüksek yüzey kalitesi ve daha iyi ölçüsel doğruluk gibi çeşitli faydalar sağlamaktadır.

Genel olarak kesme sıvılarının temel görevleri soğutma, yağlama ve kesme esnasında oluşan talaşı çalışma ortamından uzaklaştırmaktır. Kesme sıvısının yağlayıcılık özelliği iyi bir yüzey kalitesini sağlarken, soğutma özelliği ise iş parçasının ısıl genleşmesini önleyeceği için boyutsal hassasiyeti sağlar [Sales et al, 2001]. Talaşlı imalatta, soğutucular ve yağlayıcılar işlenebilirliği geliştirir, takım aşınmasını azaltarak ve takım ömrünü arttırarak verimliliği artırır [Nouari et al, 2003]. Kesme sıvıları; yüzey kalitesini arttırarak, kesme kuvveti ve titreşimleri azaltarak da talaşlı imalatın verimliliğini arttırmaktadır [Kuram, 2009].

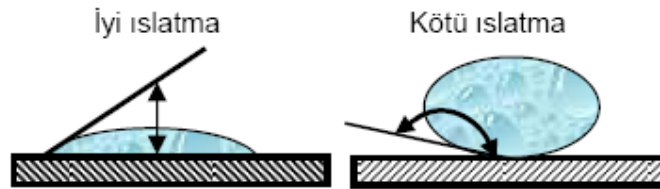
### 4.1. Kesme Sıvılarının Fonksiyonları

Kesme sıvılarının imalat esnasında temel görevleri soğutma ve yağlama fonksiyonudur. Bu sayede takım ömrünü uzatırken, ısıl gerilmeleri de önleyerek

boyut hassasiyeti ve istenen yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşım imkanı sağlarlar. Kesme sıvıları yağlama ve soğutma açısından fayda sağlarken ortam koşulları itibariyle de belirli özellikleri taşımaları gereklidir. Ekonomik açıdan faydalı olabilmeleri için uzun süre kullanılabilmesi gerekmektedir. Sürekli sıvı değişimi hem iş akışını yavaşlatacak hem de oluşacak kesme sıvısı maliyeti nedeniyle faydadan çok zarara sebep olabileceklerdir. Bu sebeple uzun süreli kullanımları önem taşımaktadır. Sıvı olmaları sebebiyle korozif etkilere yol açmamalı, iş malzemesi ile kimyasal reaksiyonlara girmemelidir. Kesme sıvıları kimyasal içerikli olmaları nedeniyle işçi sağlığı açısından tehlike oluşturmamalı, uçucu, kokucu etkileri minimize edilmelidir. Ayrıca çalışma ortamının sıcak olması nedeniyle yüksek parlama sıcaklığına sahip olmalı ve yanıcı olmamalıdır [Anlağan, 2005 ].

#### 4.1.1. Yağlama Fonksiyonu

Kesme sıvılarının yağlama görevlerini yerine getirebilmeleri için, sürtünme yüzeylerinde birkaç molekül kalınlığında, yapışmış bir sıvı tabakası oluşturmaları gerekir [Şekil 4.1]. Sıvıların bu özelliğine ıslatma kabiliyeti denir. Islatma kabiliyeti sıvının kimyasal yapısına da bağlıdır. Islatma kabiliyetlerini artırabilmek için sıvılara, katık denilen maddeler katılmaktadır. Genel olarak, yağlara istenen bazı özellikleri kazandırmak, mevcut özelliklerini geliştirmek, istenmeyen bazı özelliklerini en aza indirmek veya yok etmek amacıyla kullanılan maddelere “katık” denir. Bunların arasında, yüksek basınçlara karşı oldukça dayanıklı yapışmış bir tabaka oluşturan EP (yüksek basınç) katıklarıdır.



Şekil 4.1.İyi ve kötü ıslatma [Demir et al, 2009]

Kesme sıvısı yüzeyi iyi ıslatmalı, yüzeye yayılmalıdır. Islatma özelliği az olan sıvılarda sıvı tespih tanesi durumdadır (Şekil 4.1). İyi ıslatma özelliği olan sıvılarda, sıvı yüzeye yayılmaktadır. Bu durumda sıvı ile metal arasındaki yüzeysel gerilim sıfır olur ve sistemin enerjisi azalır. Kesme sıvısı içinde EP katkı maddeleri de varsa bunlar metal ile kimyasal reaksiyona girip sürtünmeyi azaltan iyi bir film tabakası oluştururlar [Demir et al, 2009].

#### **4.1.2. Soğutma Fonksiyonu**

Isı daima daha sıcak bir maddeden daha soğuk bir maddeye akacağı için; iş parçası, kesici takım ve talahta 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 [Dal, 2009].

Sıvıların soğutma fonksiyonlarını iyi bir şekilde yerine getirebilmeleri için yüksek ısı iletme kabiliyetine ve yüksek özgül ısıya sahip olmaları gerekir [Akkurt, 2000]. Kesme yağlarının soğutma etkisi yağın akış hızına, yağın viskozitesine, işlenen parçaya ve yağın akış yönüne bağlıdır [Şahin, 1998].

#### **4.2. Kesme Sıvısı Bileşenleri**

Kesme sıvılarının bileşenleri, mineral (petrol bazlı) yağ, bitkisel yağ ile çeşitli katkılardır. Mineral yağların yerine sentetik yağlarda kullanılmaktadır. Günümüzde mineral yağların geri kazanım maliyetlerinin yüksek olması ve çevreye olan zararlarının istenmemesi sebebiyle bitkisel (ayçiçeği, kanola, fındık) ve hayvansal yağlar önem kazanmaya başlamıştır.



Kesme sıvıları konusunda ihtiyaçların farklılaşması ve çeşitlenmesi, 15-20 çeşit malzemenin bileşiminden oluşan karışımların geliştirilmesini sağlamıştır. Geliştirilen ürünlerin teknik olarak ihtiyaçları karşılmasına özen gösterildiği gibi, son yıllarda insan sağlığı açısından ergonomik faktörlere de dikkat edilmektedir. Özellikle kanserojen esaslı içeriği bulunan malzemeler işçi sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır. Ürün formülasyonlarında kullanılacak ham maddelere ve miktarlarına getirilen sınırlamalar bu hususta önem arz etmektedir.

Kesme sıvılarının bileşiminde kullanılan kimyasal katkıların çok çeşitli fonksiyonları vardır. Bu fonksiyonların en önemlileri emülsiyeye etme, korozyon önleme, yağlama, pH düzenleme, bağlayıcılık, köpüklenme önleme, koku önleme, parlama noktasını yükseltme, yayılma ve ıslatma olarak sayılabilir [Gündoğdu, 2006].

Kesme sıvısı içinde kullanılan katkıların hepsi sıvıya bir katkıda bulunur. Bir katkının eklenmesinin etkileri kimyager tarafından gözlemlenir ve sıvının optimum özelliklerde olması sağlanır. Genelde kesme sıvısının kararlı, az köpüren ve atıklarının geri kazanılabilir ya da yok edilebilir olması istenir. Katkıların özellikleri kendilerine özgüdür. Tipik olarak eğer kesme sıvısının çok iyi biyolojik kararlılığı ve sert suda yüksek kararlılığı varsa, bu sıvının atığı zor bir şekilde geri kazanılır ya da doğaya zararsız hale getirilir. Kesme sıvısının yağlayıcılık özelliği iyi ise, sıvının temas ettiği yüzeylerden artıklarının temizlenmesi zor olur [Byers, 1994].

#### **4.2.1. Mineral Esaslı Yağlar**

Mineral yağlar, metal işleme yağlayıcıları için temel sıvı olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir [Rhenus, 1997].

Mineral yağlar ham petrolün arıtılması sonucunda petrolden elde edilen hidrokarbonlardır. Mineral yağların özellikleri zincir uzunluğuna, yapısına ve rafine etme derecesine bağlıdır [Sales et al, 2001]. Mineral yağlar saf veya karışım halinde kullanılırlar. Saf mineral yağların yağlama özellikleri ve korozyona karşı koruma

özellikleri çok iyidir. Mineral yağların soğutma özelliği iyi değildir. Bu nedenle pirinç, dökme demir ve hafif alaşımların işlenmesi gibi genellikle hafif talaşlı imalat işlemlerinde kullanılırlar [Çakır, 2000].

Mineral yağlar karbon atomlarının baskınlığına göre parafin temelli, naftenik-bazlı ve aromatik yağlar olarak üçe ayrılır. Aromatik yağlar insan sağlığına zararlarından ötürü kullanılmazlar. Hayvanlar üzerinde yapılan deneylerde aromatik yağların kanserojen etkileri olduğu görülmüştür. Yağlar üzerinde yazan, R45, kodu kansere sebep olabilir uyarısıdır. R, notasyonu riski tanımlamaktadır.

Parafinik yağlar daha iyi oksidatif kararlılık sağlar, proses esnasında daha az dumanlanmaya sebep olurlar. Fakat yağlayıcı katkıları naftenik yağlar içinde daha fazla çözünebilir ve uyumlu oldukları için naftenik yağlar tercih edilen yağlardır. Gelişim sürecine bakıldığında naftenik yağların fiyatlarının daha uygun olduğu ve parafinik yağlara göre daha kolay emülsiyeye oldukları görülür. Fakat bütün mineral bazlı yağlar petrol bazlı oldukları için arıtılmaları ve geri kazanılmaları oldukça maliyetlidir ve çevreye zehirli etkileri vardır (Zimmerman, 2003).

#### **4.2.2. Bitkisel Esaslı Yağlar**

Mineral yağların negatif etkilerinin olması araştırmacıları çevreye ve insan sağlığına zararı bulunmayan bitkisel yağları araştırmaya yönlendirmiştir. Biyolojik olarak geri kazanılabilen yağlar üzerindeki çalışmalar son 10 yılda oldukça artmıştır. Bitkisel yağların kanserojenik etkileri bulunmamakla birlikte, mineral yağlar gibi kaynakları sürekli tükenmemektedir. Aksine bitkisel yağ kaynakları sürekli kendi kendini yenilemektedir. Bu sebeplerden ötürü bitkisel yağlar üzerindeki ilgi git gide artmaktadır.

Bitkisel esaslı yağların, yağlayıcılık özelliği mineral yağlardan daha iyidir. Bitkilerin tohumlarından elde edilen yağlar, yağlayıcılık özelliğini arttıran doğal feti asitleri ve bileşikleri içerirler. Bitkisel esaslı yağlardan en çok tercih edileni kolza yağı, kunduz yağı ve hindistan cevizi yağıdır. Polar özelliklerinin yüksekliği

nedeniyle metal yüzeylerine yapışır ve kaplarlar. Bitkisel esaslı yağların çoğu doymamıştır. Oksidatif kararlılığı mineral yağlara göre daha azdır. Bu nedenle mineral yağlara göre daha fazla miktarda antioksidantlara ihtiyaç duyarlar. Antioksidantların sadece maddi boyutları olup insan sağlığına ve çevreye bir etkileri yoktur. Kolza tohumu yağının, 22 karbonlu doymuş zincirlere sahip olması sebebiyle yağlayıcılık özelliği çok iyidir. Temiz bir şekilde yanar ve duman yapmaz. Petrol bazlı yağların yanmaya olan eğilimleri ve yüksek duman oluşturmaları göz önüne alındığında bu iyi bir özelliktir [Gündoğdu, 2006].

### 4.2.3. Sentetik Esaslı Yağlar

Mineral esaslı baz yağların özellikleri, ham petrolün özellikleri ile sınırlıdır. Ayrıca; son yıllarda dünyadaki ham petrol üretiminin azalması ile petrol fiyatlarında görülen hızlı artışlar, günümüzün gelişen teknolojisi sonucu daha zor şartlarda çalışabilecek yağlara gereksinim duyulması nedeniyle sentetik yağlayıcıların kullanılması ile ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

Sentetik yağlar petrol esaslı olmayan kimyasal sentez yöntemleriyle elde edilir. Kimyasal proseste sentetik yapıyı meydana getirecek hidrokarbon moleküller boyut ve şekil bakımından birbirinin benzeri olacak biçimde tasarlanır. Sentetik yağlar özenle düzenlenmiş bu yapısı sayesinde düşük sürtünme, düşük sıcaklık, en az aşınma, enerji (yakıt) tasarrufu gibi birçok üstün özelliklere sahiptir. Çok düşük sıcaklıkta kolay akar, çok yüksek sıcaklıkta incelmezler. Yüksek oksidasyon ve ısı mukavemeti sayesinde kullanım ömrünü uzatır. Laboratuvar ortamında farklı bir teknoloji ile üretilen sentetik yağlar, mineral yağlara oranla daha yüksek ve daha düşük sıcaklıklar ile yüksek basınca karşı dayanıklıdır.

Sentetik yağlar da, kullanılan sentetik baz yağın tipine göre adlandırılır. Başlıca Sentetik Baz Yağlar:

- Polialfaolefin
- Alkali Aromatik
- Polybutenes

- Alifatik Diester
- Polyester
- Polyalkeneglycol
- Phosphate Ester

Sentetik yağların hammaddesi olan sentetik baz yağ, ileri teknoloji ile yoğun işlemlerden geçerek üretildiği için maliyeti yüksektir. Bu nedenle sentetik yağlar mineral yağlara göre daha pahalıdır [www.speedol.com.tr].

#### **4.2.4. Katkılar**

Kesme sıvılarının korozyon, uçuculuk, parlama noktası yüksekliği, bakteri – mantar önleyicilik gibi özelliklerinin sağlanabilmesi için, çoğu sıvı halde bulunan katkıların kesme sıvılarına eklenmesi gerekir. Bu katkıların içinde makine mühendisleri açısından en fazla önem arz eden katkı aşırı basınç (EP) katkıları, korozyon önleyiciler ve film katkılarıdır.

##### **4.2.4.1. Film Katkıları**

Film katkıları, kesici takım-ış parçası ara yüzlerinde emilir ve sınır yağlayıcı olarak çalışırlar. Direkt metal-metal temasını ve bölgesel kaynamaları engelleyerek iş parçası yüzeyini korurlar.

##### **4.2.4.2. Aşırı Basınç (EP) Katkıları**

Demir içeren metallerin işlenmesinde aşırı basınç katkıları çok kullanışlıdır. En çok kullanılan EP katkıları; kükürt, klor, fosfor içeren bileşiklerdir ya da iki veya daha fazla sayıdaki bu elementlerin bileşiminden oluşurlar. Aşırı basınç katkıları, demir içeren metallerin işlenmesi esnasında, takım-ış parçası kesişim ara yüzeyinde sıcaklığın çok yükselmesiyle reaksiyon tabakası oluştururlar. Bu reaksiyon tabakası

sürtünmeyi ve aşınmayı azaltır. Klorlu katkıları olarak vakslar, parafinler, olefinler esterler sayılabilir. Klorlu katkıları korozif özelliğe sahiptir [Gündoğdu, 2006].

Diğer bir EP katkı türü olan pasif aşırı basınç katkıları, kesici takım-iş parçası kesişim ara yüzeyinde karbonat partiküllerinden oluşan bir film tabakası oluşturarak görev yaparlar. Bu film tabakasının düşük kayma gerilmesi ve yüksek buharlaşma noktası vardır. Sürtünmeyi azaltırlar ve iş parçasından takıma geçen metal transferini minimize ederler. Pasif aşırı basınç katkıları kükürt, klor ve fosfor içermezler fakat kükürt içeren aşırı basınç katkıları gibi çalışırlar. Konvansiyonel aşırı basınç katkılarına göre avantajları: Daha az koroziftirler, Kullanımdan sonra daha kolay ayrıştırılırlar, Daha az köpüklenme yaparlar, Kolayca iş parçası üzerinden temizlenebilirler [Laemmle, 1991].

#### **4.2.4.3. Korozyon Önleyiciler**

Korozyon önleyiciler iş parçalarını, makine parçalarını, kesme sıvısı tankını ve püskürtme sistemini korozif etkilere karşı korumak amaçlı kullanılırlar. Geçmişte kesme sıvısı olarak sodyum nitrat kullanılmaktaydı. Sodyum nitrat kansorejen etkisi nedeniyle yerini amin-boratlar, karboksil aminler ve sülfat tuzlarına bırakmıştır. Aminler kesme sıvılarının içinde önemli bir bileşendir. Korozyon ve bakteri oluşumuna karşı koruyuculukları vardır ve suyla karıştırıldıklarında pH değerinin 9.0 ile 9.3 arasında kalmasını sağlarlar.

### **4.3. 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. Metal işlemede aşağıdaki yağlayıcılık mekanizmalarından biri veya birkaçı aynı anda kullanılabilir.

### **4.3.1. 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 imkân vermez [Gündoğdu, 2006].

### **4.3.2. 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 katkıları sınır yağlayıcı özellik gösterir. Yağlayıcı film kalınlığı 1-10 nm arasında değişir [Gündoğdu, 2006].

### **4.3.3. 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].

#### 4.4. Kesme Sıvılarının İçeriğindeki Zararlı Bileşenler, İşçi Sağlığı Açısından Taşıdığı Riskler ve Bitkisel Esaslı Kesme Sıvıları

Kesme sıvılarının içerikleri ve içerdikleri katkıları dolayısı ile insan sağlığı ve çevresel hassasiyet açısından masum olduklarını söyleyemeyiz. Kesme sıvıları metaller ile etkileşim halinde olduklarından ve korozyon, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü gibi faktörlerin arzu edilen değerlerde elde edilmesine katkı sağladıkları için bileşimlerinde çeşitli kimyasallar barındırmaktadırlar. İçerikleri itibariyle metal kesmede verimli sonuçlar elde edilse de insan sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadırlar. Uluslararası İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsüne göre, Amerika'da yılda 1 milyondan fazla işçi metal kesme sıvılarının etkisinde kalmaktadır. Buna diğer dünya ülkelerini de katarsak kesme sıvılarının etkisine maruz kalan 20 milyon insanın varlığından söz edebiliriz. Bu grup arasında metal kesme makineleri operatörleri, kesme sıvılarının kullanıldığı binalarda çalışan işçiler, mühendisler, kalite kontrol elemanları en fazla etkiye maruz kalmaktadır. İşçiler deri teması, teneffüs etme, koklama ve havada dolaşan mikro partikülleri yutma şeklinde kesme sıvılarından etkilenmektedirler (Şekil 4.2). Kesme sıvılarının insan sağlığına olan etkileri keşfedildikçe formülasyonları değiştirilerek daha güvenilir hale getirilmeye çalışılmıştır. Fakat halen insan sağlığı açısından ciddi zararlar taşımaktadırlar. Ortak olarak görülen rahatsızlıklar cilt hastalıkları, kanser türleri ve akciğer hastalıklarıdır.



Şekil 4.2. Kesme Sıvılarının Ciltteki Etkisi [Demir et al, 2009].

Bu hastalıklara sebep olan tehlikeli bileşenler nitro aminler, kirletici metal alaşımları ve biyolojik bozunmayı engelleyen katkılarıdır. Kesme ortamında, sıcaklığın çok yüksek olması sebebiyle kesme sıvısı buharlaşmaya uğramakta ve işlenen parçalardaki alaşım elementlerini de mikro düzeyde solunan havaya taşımaktadır. Kesme sıvıları çelik, alüminyum ve pirinç malzemedan imal edilen iş parçalarından kurşun elementini, paslanmaz çeliklerden nikel ve krom elementini, galvanizli çeliklerden çinko ve cıva elementini, dökme demirlerden kurşun ve bakır elementlerini ortama taşırlar. Kesme sıvılarının su ile emülsiyon edilmesi zararlı elementlerin taşınımını arttırmaktadır. Çünkü su çok çabuk buharlaşıp iş ortamının atmosferine karışabilen bir elementtir [Niosh, 2001].

#### **4.4.1. Kesme Sıvılarının Sebep Olduğu Hastalıklar**

Bitkisel esaslı kesme sıvıları haricinde kullanılan sıvıların insan sağlığına zararları iki gruba ayrılabilir. Ölümcül derecede risk faktörü taşıyanlar ve kansorejen etki taşımayanlar olarak gruplandırabiliriz. Kansorejen etkinin oluşmadığı riskler grubuna deri hastalıkları, astım, üst solunum yolu hastalıkları ve akciğer hastalıkları dahil edilebilir. Kesme sıvılarının kansorejen riski hayvanlar üzerinde denenmiş ve hayvanlarda kanser tümörlerinin oluştuğu gözlenmiştir. İnsanlar içinde gırtlak, rektum, pankreas, deri, skrotum ve mesane kanserleri riskini taşıdığı yapılan istatistiki çalışmalarla kanıtlanmıştır.

##### **4.4.1.1. Cilt Rahatsızlıkları**

Yüksek miktarlarda kesme sıvısı ile çalışan işçilerde görülen en sık rahatsızlıktır. Derinin kesme sıvısının buharı veya zerrecikleri ile temas halinde olması cilt rahatsızlıklarını tetiklemektedir. En çok görülen deri rahatsızlıkları iltihaplanma, alerjik reaksiyonlar ve nadir olarak cilt kanseridir. Sıvıyla temas eden işçilerin %14 ile %67 arasında değişen bir oranda cilt iltihaplanmasına maruz kaldığı görülmüştür [www.wa.gov/lni/sharp/].



#### **4.4.1.2. Kanser Rahatsızlıkları**

Kesme sıvılarının epidemiyoloji bilimi tarafından incelemeye başlamasıyla içeriklerinde bulunan aromatik hidrokarbonların kansere neden olduğu belirlenmiş ve aromatik hidrokarbonlar kullanımdan kaldırılmıştır. Yapılan çalışmalarla risk faktörleri azaltılmıştır. Fakat kesme sıvılarında bulunan kimyasallar direkt olarak olmasa da dolaylı olarak kanser riskini tetiklemektedir. Günümüzde kanser vakalarında görülen ciddi artışlarda bu öngörüyü desteklemektedir.

#### **4.4.1.3. Akciğer Rahatsızlıkları**

Sprey, buhar ve parçacık halinde kesme sıvılarının solunması kesme sıvılarına en yaygın maruz kalınma sebebidir. Kronik bronşit, astım, akut solunum yolu rahatsızlıkları, akciğer iltihaplanmaları ve akciğer kanseri kesme sıvılarının solunumu dolayısıyla oluşan en yaygın rahatsızlıklardır.

#### **4.4.1.4. Genetik Etkiler**

65 erkek işçi üzerinde yapılan çalışmalarda yedi farklı kesme sıvısı miktarı çalışma ortamında kullanılmış ve her bir grup işçiden alınan kan örneklerinin DNA'ları kontrol edilmiştir. İncelemeler sonucunda nitroaminlerin kanserojen etkisi olduğu ve kalıtsal olarak da etki gösterebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 1984 yılında nitroaminlerin kesme sıvılarında kullanımı yasaklanmıştır.

#### **4.4.2. Kesme Sıvılarında Modern Araştırmalar: Bitkisel Esaslı Kesme Sıvıları**

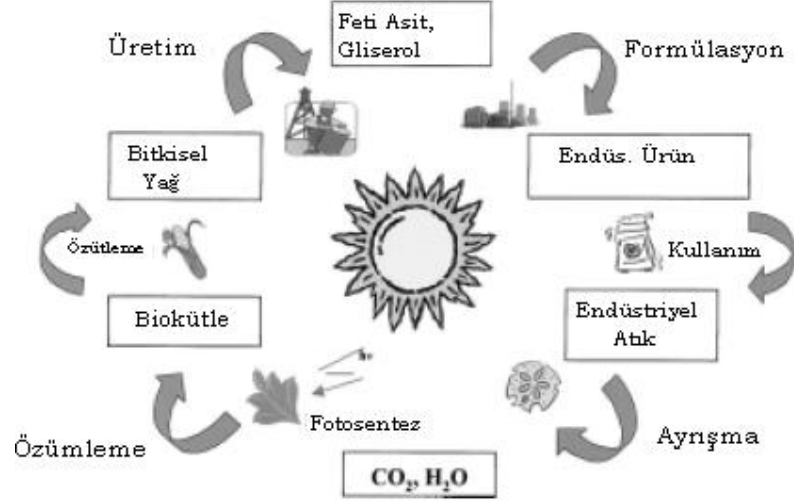
Kesme sıvıları konusunda yapılan bilimsel araştırmalara bakıldığında son 10 yıllık dönemde bitkisel esaslı kesme sıvılarının kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yapıldığı göze çaracaktır. Mineral esaslı yağların kaynaklarının azalması dünya

açısından kritik bir durum oluşturmaktadır. Dünyanın enerjiye olan ihtiyacı ve bu ihtiyacın temel olarak karşılandığı petrol rezervlerinin tükenmeye başlaması belkide ilerleyen zamanlarda çok ciddi savaflara, yıkımlara sebebiyet verebilecek bir boyuttadır. Bu sebeple devletlerin yenilenebilir enerji kaynaklarına, biyoenerji kaynaklarına yatırım yapmaları kaçınılmaz olmuştur. Şuan Türkiye’de de büyük şirketlerin enerji alanında ciddi yatırımlar yaptığı görülmektedir.

Tez çalışmamızda bitkisel esaslı kesme sıvılarının kullanılabilirliğinin araştırılmasının sebebi de bu enerji politikalarına destek vermek ve daha temiz bir çevre, daha güvenli bir iş ortamı, daha verimli bir imalat işleminin gerçekleştirilebilmesini sağlamaktır. Bitkisel esaslı kesme sıvılarında kullanılan bitkisel esaslı yağlar doğada kendini yenileyebildikleri ve geri doğaya kazanımlarının olabileceği için endüstriyel açıdan önem taşımaktadırlar. Bitkisel esaslı yağların mineral ve sentetik yağlar yerine kullanılması enerji politikaları açısından önem taşırken, organik olmaları insan sağlığını tehdit eden faktörleri de ortadan kaldırmaktadır. Geri dönüşümleri için tekrar doğaya bırakılmalarında hiçbir sorun bulunmamaktadır. Biyolojik olarak toprakta bozulmakta ve ekolojik çevrime katılabilmektedirler [Alves et al, 2008]. Her ne kadar içeriklerinde bulunan, korozyon önleyici, koku giderici vb. katışıklar çevreye zararlı olsa da bu katışıkların geri dönüşüm maliyetleri yüksek olmamaktadır (Şekil 4.3).

Kesme sıvılarında yapılan modern çalışmalar sadece bitkisel esaslı kesme sıvılarını kullanılabilirliği ile sınırlı değil, sıvının kesme bölgesine uygulanışı konusunda da araştırmalar yapılmaktadır. Kriyojenik soğutma, minimum miktarda yağlama (MQL), yüksek basınçlı soğutma, hava veya buhar ile soğutma yöntemleri modern yöntemler olarak sayılabilir. Yapılan bilimsel çalışmalarda bitkisel esaslı kesme sıvılarının kullanımı ile delme işleminde %177 oranında takım ömrünün arttığı ve itme kuvvetinin % 7 oranında azaldığı görülmüştür [Belluco and De Chiffre, 2004]. AISI 1060 çeliklerinin tornalama işlemlerinde bitkisel esaslı kesme sıvıları minimum miktarda yağlama ile kesme bölgesine püskürtülmüş ve kesme kuvvetlerinde % 10-15’lik bir azalma meydana geldiği analiz edilmiştir [Khan and Dhar, 2006]. Modern soğutma ve yağlama yöntemlerinin kesme bölgesinde sürtünme

ve ısı oluşumunu azaltarak verimliliği arttırdığı bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır [Sharma et al, 2009].

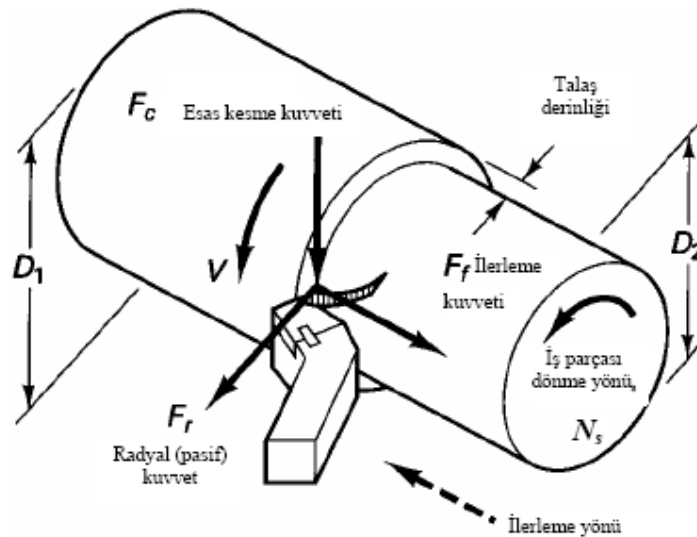


Şekil 4.3. Bitkisel Esaslı Yağların Ekolojik Çevrimi

## 5. KESME KUVVETLERİ, GÜÇ VE KUVVET ÖLÇME SİSTEMLERİ

Metal kesme işleminde malzemenin işlenmeye karşı gösterdiği direnç kesme kuvvetlerini meydana getirir (Şekil 5.1). Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [DeGarmo et al, 1997]. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerinin belirlenmesi, aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı büyük önem taşımaktadır.

- Takım tezgâhının talaş kaldırma sırasında harcadığı enerjinin tespit edilmesinde,
- Takım tezgâhının, takımların ve tutturma tertibatlarının tasarımında, bunların boyutlandırılmasında,
- Tezgâh rijitliği ve boyutlarının hesaplanmasında,
- Kesme kuvvetlerine veya harcanan enerjiye bağlı olarak talaş kaldırma sırasında optimizasyona dayalı adaptif bir kontrol sistemi oluşturmakta kullanılmaktadır [Işık and Çakır, 2000].



Şekil 5.1. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [Balcı, 2008]

Kesme kuvvetleri ölçümlenerek imalat için gerekli güç miktarına ulaşılabilir. Harcanacak gücün belirlenmesi tezgâh kapasitesinin belirlenmesinde, tezgâhlarda enerji verimliliği çalışmalarında ve imalat işlemine etki eden faktörlerin güç dağılımlarının belirlenmesinde kullanılır. Kesme kuvvetlerinin ölçümünün yapılabilmesi ise bir başka mühendislik problemidir. Araştırmalar incelendiğinde kesme kuvveti ölçme sistemleri, kurulan sistem bakımından genel olarak iki grupta toplandığı tespit edilmiştir. Birinci gruptaki ölçüm sistemlerinde, tezgâh kontrol sistemi veya kesicinin bağlı bulunduğu motordan alınan akım veya elektrik sinyallerinin analizi ile kuvvet ölçümü gerçekleştirilmiştir; ikinci grupta ise, iş parçası veya kesici üzerine yerleştirilen dönüştürücüler (gerilimölçerler, yük hücreleri, dinamometreler) sayesinde kuvvet ölçümü gerçekleştirilmiştir [Turgut and Korkut, 2009].

## 5.1. Kesme Kuvvetleri ve Güç

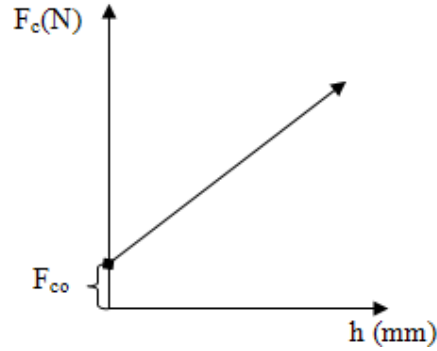
Tornalama işleminde talaş kaldırma sırasında ortaya çıkan dirençleri yenmek için gerekli talaş kaldırma kuvvetinin ( $F_z$ ) üç bileşeni vardır: Talaş yüzeyindeki direnç kuvveti ( $F_c$ ), kesme yönündeki kesme direnç kuvveti ( $F_f$ ), takımı parçadan ayırmaya çalışan radyal kuvvet ( $F_r$ ) olmak üzere üç bileşene ayrılır (Şekil 5.1).

Talaş kaldırma kuvvetinin bileşenlerinden hesap yolu ile bulunabilen tek kuvvet teğetsel kuvvettir ( $F_c$ ). Teğetsel kuvvet özgül kesme kuvveti ( $k_c$ ) ile talaş kesit alanının çarpımına eşittir. Özgül kesme kuvveti herhangi bir talaş kaldırma işlemi için güç hesabında kullanılan önemli faktörlerden biridir. Bu kuvvet  $N/mm^2$  cinsinden birim talaş kesit alanını kaldırmak için gerekli teğetsel kuvvet olarak tanımlanır. Bu kuvvetin birim talaş hacminin kaldırılması için gerekli özgül enerji ile yakın ilişkisi vardır.

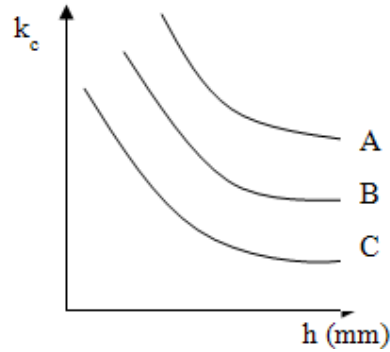
Kesme kuvveti şu şekilde ifade edilebilir:

$$F_c = k_c \times A_c \quad (5.1)$$

Özgül kesme kuvveti belirli kesme verileriyle işlenmiş, belirli koşullardaki malzemeler için geçerli olan, malzemelerin işlenebilirliğini belirleyen bir faktördür. Malzemenin kopma mukavemeti arttıkça özgül kesme kuvveti artar, dolayısıyla işlenebilirlik azalır. Örneğin işlenebilirlikleri yüksek alüminyum alaşımları için  $k_c$  değeri  $450 \text{ N/mm}^2$  iken daha zor işlenebilir paslanmaz çelikler için  $1680 \text{ N/mm}^2$  dir. Özgül kesme kuvveti kesme hızına bağlı olarak değişim gösterir, şöyle ki kesme hızı arttıkça kesme sıcaklıkları artar, bunun sonucunda  $k_c$  değeri düşer (Işık, 2009). Şekil 5.2’de deforme olmamış talaş kalınlığı ile teğetsel kuvvet arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.3’te ise (A) paslanmaz çelik, (B) alaşımlı çelik, (C) gri dökme demir malzemeler için deforme olmamış talaş kalınlığı ( $h$ ) ile özgül kesme kuvvetinin değişimi gösterilmiştir [Çakır, 2006].



Şekil 5.2. Kesme kuvveti/deforme olmamış talaş kalınlığı



Şekil 5.3. Özgül kesme kuvvetinin değişimi

Kaba tornalama işlemlerinde kesme kuvveti bileşenleri arasındaki ilişki  $F_c:F_f:F_r = 4:2:1$  şeklindedir. Teğetsel kesme kuvveti, ilerleme kuvvetinin iki, radyal kesme kuvvetinin dört katıdır. Delme işleminde bu ilişki çok daha farklıdır ve önemli ölçüde ilerlemeye bağlıdır.

Sonuç olarak kesme kuvvetlerini tüm kesme faktörlerinin etkilediği söylenebilir. En önemli faktörlerin kesme kuvveti üzerindeki etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- İş parçası malzemesini kopma mukavemeti büyüdükçe malzemenin işlenebilirliği azalır, özgül kesme kuvveti artar, teğetsel kuvvet dolayısıyla tüm kuvvet bileşenleri artar.
- Yanaşma açısının özellikle radyal ve eksenel kuvvetler üzerinde büyük etkisi vardır. Yanaşma açısı arttıkça ilerleme kuvvetinin artıp radyal kuvvetin azaldığı, yanaşma açısının azalması halinde ise tersi durumun söz konusu olduğu söylenebilir.
- Talaş açısının artması ile takımın kama açısı azalır (boşluk açısının sabit olduğu varsayılmaktadır). Bu ise daha sivri takım, parçaya daha rahat nüfuziyet, daha düşük kesme kuvvetleri demektir. Özgül kesme kuvveti ile talaş ve eğim açıları arasında ampirik bağıntılar mevcuttur.

Teğetsel kuvvetinin büyüklüğü torku, dolayısıyla talaş kaldırma için gerekli gücü etkiler. Prensip olarak teğetsel kuvvet ile kesme hızının çarpımı talaş kaldırmak için gerekli kesme gücünü verir.

$$P_c = F_c \times V_c \quad (5.2)$$

$$P_c = k_c \times A_c \times V_c \quad (5.3)$$

Kesme gücünün birimi [KW] dır. Dolayısıyla denklem 5.3'deki çarpım sonucu 60000'e bölünür.

$$P_c = k_c \times A_c \times V_c / 60000 \quad (5.4)$$

Tezgâh gücü kesme kuvvetleri ölçülerek hesaplanır [Işık, 2009].

## 5.2. Kuvvet Ölçme Sistemleri

Malzemelerin maruz kaldığı iç ve dış gerilme ölçümleri, basınç ve yükten kaynaklanan kuvvet ölçümleri, tasarımda büyük önem taşır. Bu nedenle mühendislik faaliyetlerinin sürdürüldüğü tüm alanlarda emniyetli bir çalışma ortamının gerçekleşmesi, imal edilecek sistemlerin uzun ömürlü, kaliteli, emniyetli ve ekonomik olması için sisteme etki eden tüm kuvvetlerin hassas olarak ölçülmesi gerekir [Korkut, 1996].

Talaşlı imalat işlemlerinde (tornalama, frezeleme, delme, taşlama vb.) üretilen iş parçası kalitesinin artırılması ve maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalarda kesme kuvvetlerinin tespiti ve analiz edilmesi önemli bir yer tutmaktadır [Şeker et al, 2002; Günay, 2003].

Kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da önemli bir etkidir. Mühendislik hesaplamaları ile elde edilen bazı değerlerin, etkisi tam tespit edilemeyen değişik faktörler ve çok yönlü gerilmeler sebebiyle, çoğu zaman ölçülen değerlerle uyuşmadığı görülmüştür. Söz konusu faktörlerin göz ardı edilmesinden dolayı hesaplamaların kesinlik sağlamadığı ve zorlama doğrultusunun hatasız olarak tespit edilemediği hallerde, gerilmelerin ve bu gerilmeleri doğuran kuvvetlerin deneysel olarak ölçülmesi daha doğru sonuçlar vermektedir. Böylece, hesaplamalarda kullanılan ampirik eşitliklerin doğruluk derecesi de yapılan deneylerle teyit edilebilmektedir [Demir ve Güllü, 2001; Demir ve Güllü, 2006].

Talaşlı üretim alanında kesme kuvvetlerini ölçmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda işleme tipine bağlı olmaksızın kesme kuvvetlerini ölçme



işlemi iki kategoride toplandığı görülmüştür. Bu ölçme sistemlerinden birincisi, adaptif kuvvet ölçme olarak adlandırılan, tezgâh kontrol sistemi veya kesicinin bağlı bulunduğu motordan alınan akım veya elektrik sinyallerinin analizi ile kuvvet ölçümü gerçekleştirilmiştir. Diğer kuvvet ölçme sistemi ise, iş parçası veya kesici üzerine yerleştirilen dönüştürücüler (gerilimölçerler, yük hücreleri, dinamometreler) sayesinde kuvvet ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Kesme kuvvetlerinin ölçümünde farklı yöntemler kullanılsa da en yaygın kullanılan metot uzama ölçerlerle (strain gage) yapılan kuvvet ölçümleridir. Ölçüm işleminde uzama ölçerler algılayıcı yani sensör olarak görev yapmaktadır. Yük sensörleri dediğimiz uzama telleri mekanik kuvvetleri ölçer. Birçok durumda sensör tarafından ölçülen doğrudan kuvvetin kendisi değil kuvvet tarafından oluşturulan az bir deformasyondur. Genellikle bu deformasyon çok küçüktür. Gerilme veya sıkışma deplasmanı miktarı ölçüldüğünde sistemin mekanik parametreleri kullanılarak kuvvet hesaplanabilir. Hook kanunu ile tanımlanan kuvvetin deformasyona oranı her bir malzeme için sabittir:

$$F = k * x \quad (5.5)$$

F = Uygulanan kuvvet (N)

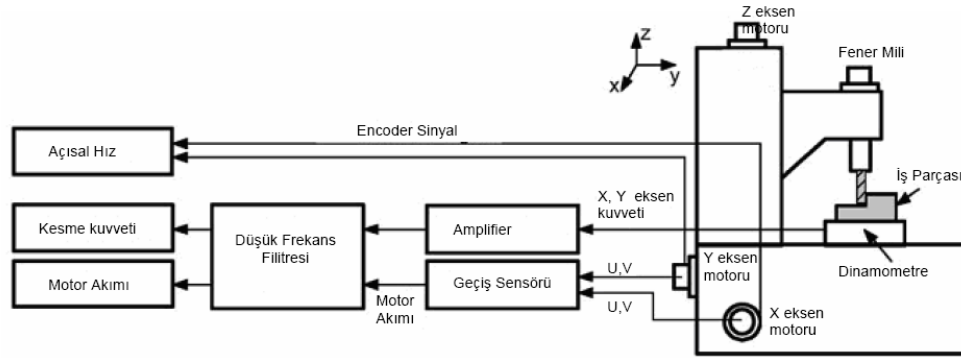
k = Malzemenin yay katsayısı, direngenliği

x = Kuvvet sonucu genişleme veya sıkışma miktarı

### 5.2.1. Adaptif Kuvvet Ölçme Sistemleri

Adaptif kuvvet ölçmede tezgâhın kontrol paneli veya kesici takımın bağlı bulunduğu motor sayesinde kuvvet ölçümü gerçekleştirilmektedir. Kesici takımın bağlı bulunduğu motorun akımı, kesme durumu ile ilgili önemli bilgiler içerir. Bu akım, birçok çalışmada kesme kuvveti ölçmede kullanılmıştır. Adaptif (dolaylı) kuvvet ölçme olarak adlandırılan bu yöntem ile düşük frekanslardaki kuvvetler de ölçülebilmektedir [Stein et al, 1990].

Jeong and Cho kesme kuvvetlerini analiz etmek için Şekil 5.4'de görülen sistemi oluşturmuşlardır. Sistem ile akım, kesme kuvveti ve motorun dönme açısı sinyalleri alınarak, kesme kuvveti ile akım arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Kesici takımın bağlı bulunduğu servo motor hareketlerini ele alarak motorun devri ve akımı ile kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi incelemiştirler [Jeong and Cho, 2002].



Şekil 5.4. Akım, kesme kuvveti ve motorun dönme açısı sinyallerini alan sistem [Jeong and Cho, 2002].

### 5.2.2. Kuvvet Dönüştürücüleri ile Kuvvet Ölçme Sistemleri

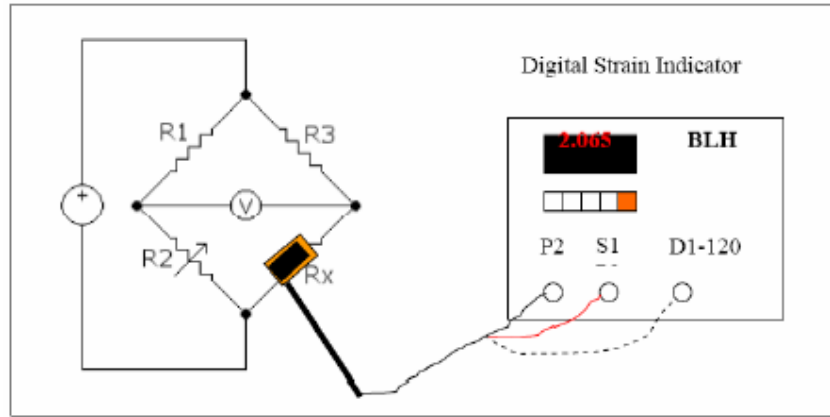
Genel bir yaklaşımla kuvvet ölçüm cihazı adıyla anılan kuvvet dönüştürücüleri, teknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kuvvet ve yük ölçme sensörleridir. Kullanıldıkları alanlara göre yük hücresi, kuvvet transdüseri, kuvvet dönüştürücüsü, dinamometre, yük reseptörü gibi farklı isimler alan bu elemanlar; küçük terazilerden kantarlara kadar uzanan yük ölçümlerinde ve çok hassas sonuçların beklendiği metrolojik çalışmalarda yoğunlukla kullanılırlar. Bu cihazlar, uygulanan yük karşısında elastik deformasyona uğrayan bir yay elemanı ve bu deformasyonu dijital veya analog olarak göstermeye yarayan bir gösterge elemanından oluşmaktadır [Kuzu ve ark, 1999].

Uzama teli kullanılan sistemlerde kuvvetlerin algılanabilmesi için, malzemelerin elastik deformasyonundan faydalanılmıştır. Gerinim (strain), cisim üzerine yük uygulandığında, birim uzunlukta oluşan deformasyon miktarı olarak tanımlanır. Başlangıç uzunluğundaki toplam deformasyonun, başlangıç uzunluğuna

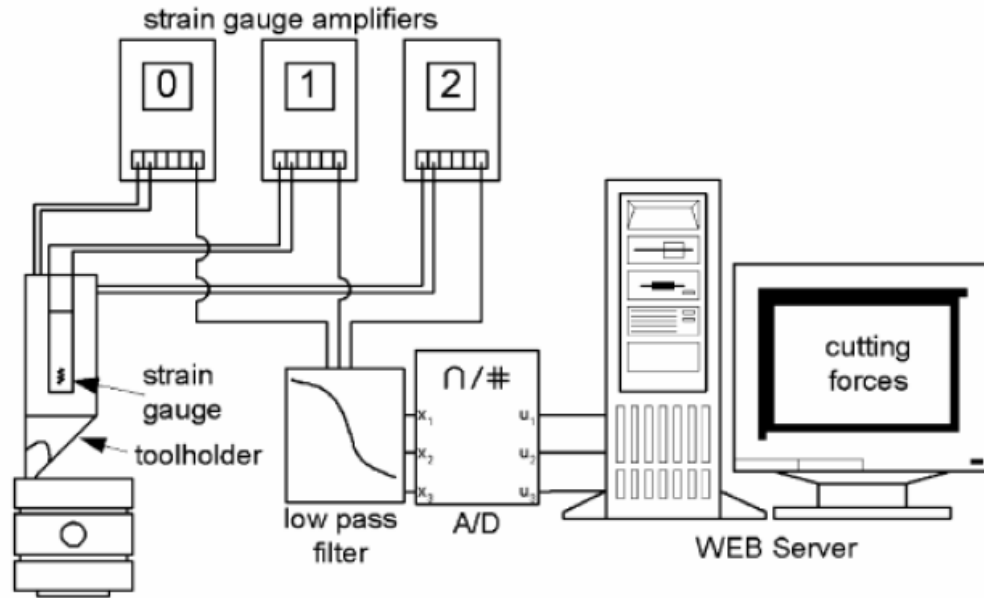
bölünmesiyle hesaplanır. Temel olarak tüm strain gage'ler mekanik hareketi elektronik sinyale çevirmek için tasarlanmışlardır. Strain gage mekanik gerininin fonksiyonu olarak değişen bir dirence sahiptir. Dirençteki değişim ohm-metre birimi cinsinden ölçülebildiği halde, birim uzama ölçüm cihazları, direnç değişimini voltaj birimine çevirir. Giriş gerinimi ile çıkış voltajı arasındaki ilişki, sistem hassasiyetinin saptanmasında kullanılabilir. Bir parça telin elektriksel direnci, telin boyu ile doğru orantılı ve kesit alanı ile ters orantılıdır. Gerinim ölçümü için, strain gage ölçümde kullanılacak yapının yüzeyine yapıştırılır. Direnç kesit alanı ve/veya uzunluğa bağlı olarak değişir. Dirençteki bu değişim, strainmetre yardımı ile ölçülür ve sonuç strain birimine dönüştürülerek görüntülenir. Her bir strain gage, üretici firma tarafından belirlenmiş olan gerinim ile direnç arasında uygunluğu sağlayan ve gage faktörü denilen, hassasiyet faktörüne sahiptir. Metalik strain gage'ler için, Gage faktörü genel olarak 2 civarındadır [<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~halit/>].

Strain gage dönüştürücüleri genellikle, Wheatstone Köprü devresi formunda elektriksel olarak bağlı dört strain gage elemanı şeklinde kullanılır (Şekil 5.5). Wheatstone köprüsü, statik veya dinamik elektriksel direnç ölçmek için kullanılan bir köprü devresidir. Şekil 5.5'teki devrede, Rx ölçülmek istenen dirençtir; R1, R2 ve R3 direnci bilinen rezistanslardır ve R2 direnci ayarlanabilir. Eğer bilinen iki koldaki iki direncin oranı ( $R2 / R1$ ) bilinmeyen iki koldaki direncin oranına ( $Rx / R3$ ) eşitse, o zaman iki orta nokta arasındaki voltaj sıfır olacaktır ve  $V_g$  galvanometresinden hiç akım geçmeyecektir. Bu koşula ulaşana kadar R2 değişir. Bu noktaya ulaşıldığında, kesinlik en üst seviyeye ulaşır. Bu yüzden, eğer R1, R2 ve R3 yüksek kesinlikli olarak biliniyorsa, o zaman Rx de yüksek kesinlikle ölçülebilir. Rx direncindeki çok küçük değişiklikler bile dengeyi bozar ve kolaylıkla sinyal saptanır [<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~halit/>].

Strain gage modüllerinin kullanımında, strain gageler direk olarak kesici takım tutucunun üzerine yapıştırılmış veya takım tutucunun bağlandığı bir bağlama elemanın üzerine yapıştırılarak sinyaller alınmıştır [Otmanbölük ve ark, 1987; Yıldız, 2005].



Şekil 5.5. Örnek Wheatstone köprü bağlantısı [<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~halit/>].

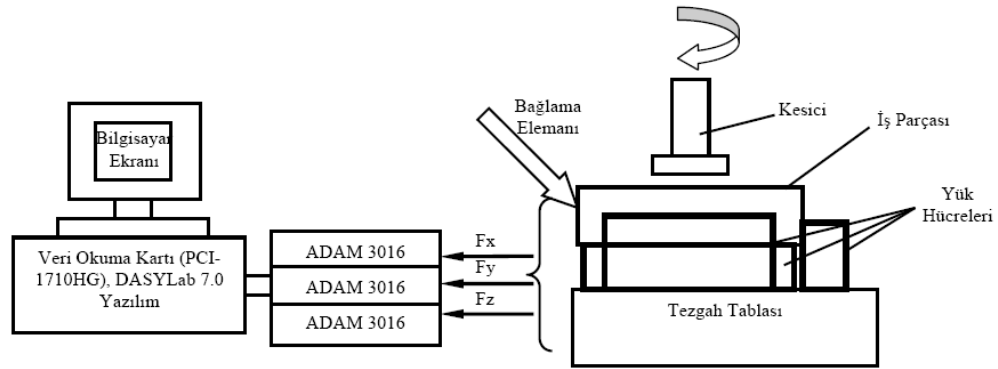


Şekil 5.6. Strain gage kullanılan kuvvet ölçüm sistemi [Scheffer and Heyns, 2004].

Strain gageden gelen sinyalleri gerekli olan kuvvet değerine dönüştürmek ve kaydetmek için sistemlerde, amplifikatör (yükselteç), Analog/Dijital (A/D) dönüştürücü kart, veri okuma kartı, bilginin işleneceği bir bilgisayar programı, hassas bir güç kaynağı kullanılır (Şekil 5.6).

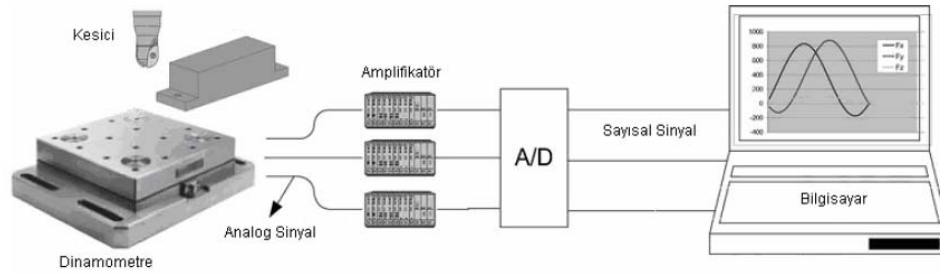
Yük hücrelerinin (Load cell) ve dinamometrelerin kullanıldığı sistemlerde ise strain gagelerin yerini bu dönüştürücüler almaktadır. Yük hücreleri ve dinamometrelerin içeriğini strain gage veya piezo elektrik kristalleri oluşturmaktadır. Yük hücrelerinin kullanıldığı sistemlerde, kaç yönde kuvvet ölçülecekse o sayıda yük

hücresi sisteme monte edilerek ölçme sistemleri oluşturulmuştur. Yük hücrelerinden alınan sinyaller milivolt düzeyindedir. Bu verileri, veri okuma kartı ile almak için sinyallerin volt düzeyine çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla, kurulan sistemlerde amplifikatörler (yükselteçler) kullanılmıştır. Bir çok çalışmada yükseleç olarak ADAM-3016 izole edilmiş gerinim ölçer girdi modülü kullanılmıştır (Şekil 5.7). Gerilim yükseltilmesi için bir adaptör vasıtasıyla 1-10 V (maksimum 60 mA) doğru akım uygulanmıştır. Sistemin temelini oluşturan yük hücresinin analog girdisi kuvvet (N) olup analog çıktısı da gerilim (V) cinsindedir. Alınan bu sinyaller (kesme kuvveti sinyalleri) veri okuma kartları sayesinde bilgisayara aktarılmıştır. Aktarılan bu sinyal verileri bir program vasıtası ile bilgisayarda kayıt edilmiş veya grafikleri oluşturulmuştur. Verileri kayıt etmek veya grafiklerini oluşturmak için hazır paket programlar kullanılmış yada paket programlar sayesinde araştırmacılar kendi veri alma programlarını oluşturmuşlardır [Demir ve ark, 2006; Kurt ve ark, 2001; Günay et al, 2006].

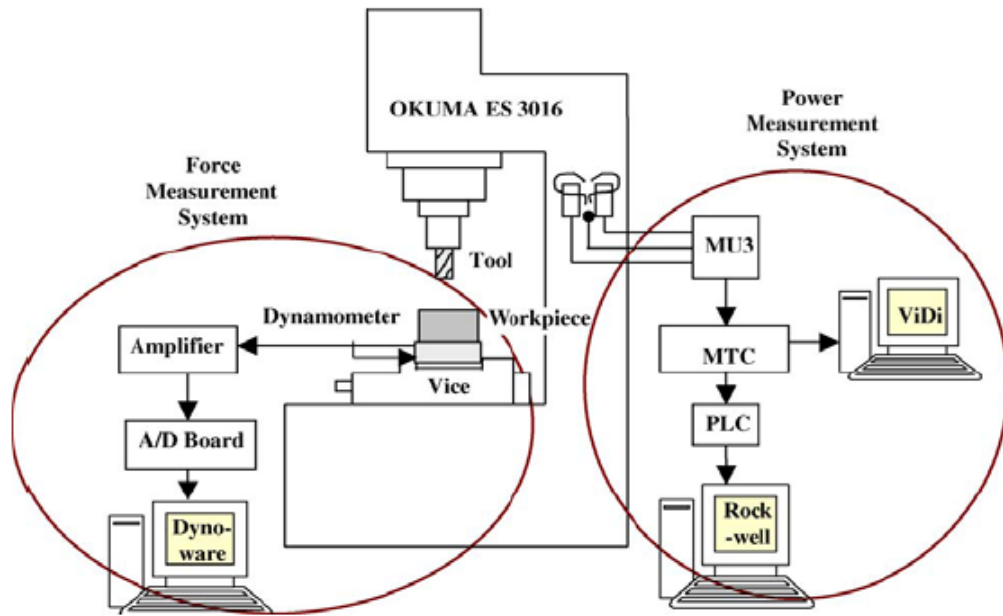


Şekil 5.7. Yük hücrelerinin kullanıldığı kesme kuvveti ölçme sistemi [Turgut ve Korkut, 2005].

Dinamometrelerin kullanıldığı kuvvet ölçme sistemlerinde, dinamometrelerin bileşen sayısı ölçülecek kuvvet bileşenleri sayısı ile değişmektedir. Oluşan kesme kuvvetlerinin kaç bileşeni ölçülecekse o sayıya göre dinamometre seçimi yapılmaktadır. Seçim işleminde ayrıca dinamometrenin ölçüm aralığı da belirleyici rol oynamaktadır. Bu dönüştürücülerden alınan sinyaller, amplifikatör, veri dönüştürme sistemi, ve bilgisayar programı ile kaydedilmektedir (Şekil 5.8) [Tounsi and Otho, 2000; Kaçal ve ark, 2008].



Şekil 5.8. Frezeleme veya delik delme işlemleri için dinamometre [Zuperl and Cus, 2004].



Şekil 5.9. Tezgah güç ünitesi ve dinamometre kullanılan sistem [Cho et al, 2005].

Bazı çalışmalarda araştırmacılar, hem tezgâh fener mili sürücü motorun hem de oluşturdukları dinamometreli sistemi kullanarak veriler elde etmişlerdir. Cho ve arkadaşları bir CNC tezgâhına kurdukları bu sistemlerle (Şekil 5.9) her iki yöntemle veri alarak, motorun kullandığı güç ile kesme kuvvetlerini ilişkilendirmişlerdir. Dinamometreli sistemde kesme kuvvetlerini ölçmek için, Kistler marka üç bileşenli dinamometre, Kistler DMA 5010 amplifikatör modülü ve Kistler Dynoware yazılım kullanmışlardır. CNC tezgâhın Fener mili sürücü motorun harcadığı enerjiden yola çıkarak kurdukları sistemde de, iki adet sensör (Artis AR100S) ile sinyaller alınmıştır. Sinyaller yükselteç (MU3) vasıtasıyla bilgisayara aktarılarak bir yazılım

ile (Artis VIDI) bilgiler bilgisayarda kaydedilmiştir. Güç sinyallerini sayısal değere dönüştürmek için bir eşitlik kullanmışlardır [Cho et al, 2005].

## 6. TAKIM AŞINMASI

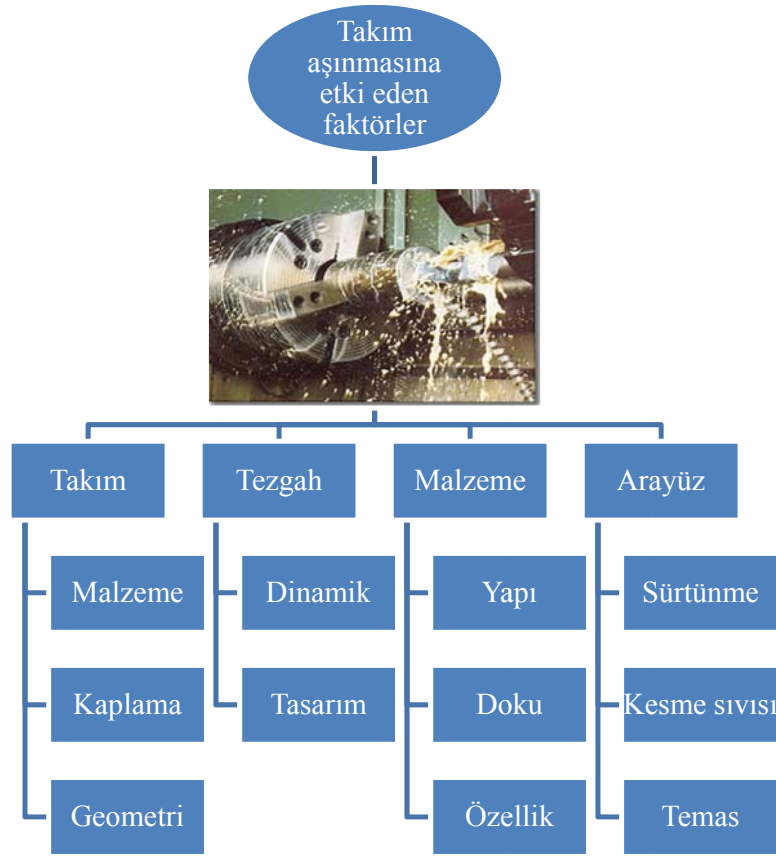
Talaşlı imalat ile ilgili yapılan araştırmalarda, talaş kaldırma sırasında takım - talaş ve takım - iş parçası ara yüzeyinde sürtünme, gerilmeler ve yüksek sıcaklıklar oluştuğu, bunun sonucunda da takımda elastik ve plastik deformasyonlar ile takım aşınmasının oluştuğu anlaşılmıştır [Ghani et al, 2004; Özdemir ve Erten, 2003]. Plastik deformasyon işlemi ve sürtünme sonucu açığa çıkan enerjinin büyük miktarı ısıya dönüşürken takım ucunda kalan kısmı kesme şartlarına, iş parçası ve takım çiftine bağlı olarak yüksek sıcaklıklar oluşturur. Takım ucunda oluşan bu yüksek sıcaklıklar ve mekanik gerilmelerden dolayı kesici takım tedrici veya ani olarak malzeme kaybına maruz kalır ve takım aşınması gerçekleşir [Şahin, 1997]. Talaş kaldırma sırasında takımda oluşan şekil değişimleri ve aşınma, talaş kaldırma işlemini olumsuz yönde etkilemektedir. Kesme takımlarının performansı; esas olarak aşınma direnci, tokluk ve ısıl direnç gibi malzeme özellikleri tarafından kontrol edilir [Ghani et al, 2004]. Takımda meydana gelen aşınmaların oluşturduğu olumsuzluklar; takım ömrünün azalması ve buna bağlı olarak da üretim maliyetlerinin artması, yüzey ve ölçü hassasiyeti kalitesinin düşmesidir. Takım ömrünü doğrulukla belirleyebilmek için takım ömrünü olumsuz yönde etkileyen takım aşınması mekanizmalarının ve bu mekanizmaların oluşma nedenlerinin bilinmesine gerek vardır. Herhangi bir kesici takım; aşınma, plastik deformasyon veya kırılma yoluyla ömrünü tamamlar [Jawaid et al,2000; Özdemir ve Erten, 2003]. İdeal bir takım, aşağıda sıralanan şu özelliklere sahip olmalıdır [Özdemir ve Erten, 2003; Şahin, 2000];

1. Yüksek sıcaklıklarda çalışma için yüksek sıcaklık sertliği,
2. Yüksek gerilmelere karşı yüksek elastik ve plastik deformasyon direnci,
3. Talaş kaldırma sırasında oluşan darbelere karşı yüksek kırılma tokluğu,
4. Difüzyon, kimyasal ve oksidasyon aşınmasına karşı direnç için özellikle yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık,
5. Takım kesme kenarındaki ısı birikimini önlemek için yüksek ısıl iletkenlik,
6. Kesintili talaş kaldırmada yüksek yorulma dayanımı,
7. Kesme sırasında oluşan ısınma ve soğumaya karşı yüksek ısıl şok direnci,
8. Boyutsal kararlılık için yüksek rijitlik,



9. Özellikle yumuşak, sünek malzemelerin işlenmesinde talaş birikmesi oluşumunu (Built -up Edge-BUE) önlemek için uygun sürtünme özellikleri.

Takım aşınmasının talaşlı imalat işleminin verimliliği üzerindeki etkisi büyüktür. Aşınma mekanizmalarıyla ilgili bilgiler ve bu bilgilerin ışığında takım ömrünün tayini talaşlı imalat için son derece önemli ve gereklidir Kesici takımın aşınmasını etkileyen faktörleri 4 ana grupta özetlenebilirler (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Takım aşınmasına etki eden faktörler.

- İş parçasının malzemesi ve fiziksel özellikleri (mekanik ve termal özellikler, mikro yapı, sertlik, vs.): İlgili kesme parametreleri için kesme kuvvetlerini ve kesme enerjisini tayin eder.
- Kesici takım - talaş etkileşimi: Endüstriyel talaş kaldırma işlemlerinin %80'inde kesme sıcaklıklarını düşürmek için kesme sıvıları kullanılmaktadır. Mineral, sentetik ve yarı sentetik esaslı kesme

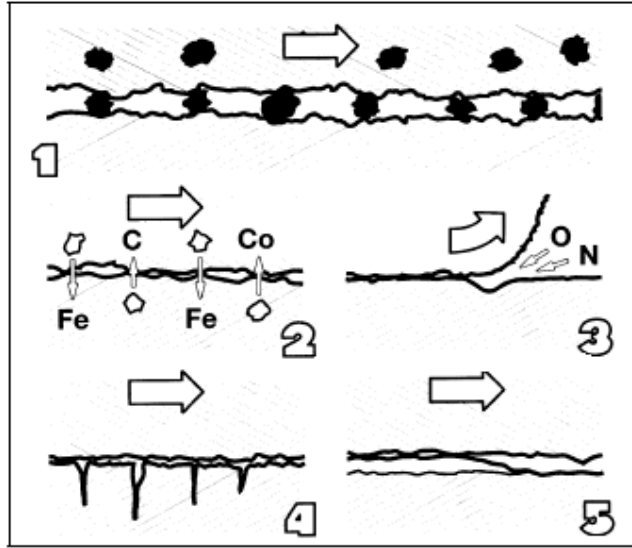
sıvılarının olumsuz etkilerini (işçi sağlığı ve çevresel faktörler açısından) önlemek için bitkisel esaslı kesme sıvılarının talaşlı imalatta kullanılabilirliği araştırılmaktadır.

- Kesici takım: Takım malzemesi, kaplama tipi ve malzemesi ve kesici takımın geometrik tasarımı (kenar yuvarlatma, pah kırma, talaş açısı, vs.) gibi takım parametrelerinin gerçekleştirilecek talaşlı imalat tipine (kaba, yarı-kaba, ince talaş kaldırma işlemleri) uygun seçilmesi gerekir. Kesici takımın optimum performansı yukarıda sayılan takım parametreleri ile kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, paso, vs.) arasındaki doğru kombinasyona bağlıdır.
- Takım tezgâhının dinamiği: Takım tezgâhının ve kesme işlemine katılan elemanlarının dinamik yapısı başarılı bir talaş kaldırma işlemi için büyük önem taşır. Rijit koşullarda gerçekleştirilmeyen bir talaşlı imalat işleminde ortaya çıkan büyük titreşimler kesici takım üzerinde değişken aşırı yüklemelere neden olur ve takım üzerinden küçük parçacıkların kopmasına veya takımın kırılmasına yol açar.

Talaş kaldırma olayında sürtünme sürekli olarak yeni yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve küçük temas alanlarında oluşur. Bu nedenle takım aşınması çeşitli aşınma şekillerini kapsayan çok karmaşık bir olaydır. Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine etki eder (Şekil 6.2). 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 6.2. Temel aşınma tipleri [Çakır, 2006].

## 6.1. Aşınma Mekanizmaları

### 6.1.1. Adhesiv Aşınma

Genellikle düşük kesme hızları, dolayısıyla takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkan bir aşınma türüdür. Takımın talaş yüzeyinde, talaşın takım yüzeyine yapışması ile ortaya çıkar ve krater aşınmasının oluşumuna neden olur. Adhesiv aşınma hızı genellikle yavaştır, dolayısıyla bu tip bir aşınma mekanizması pratikte çok önem taşıyan bir mekanizma değildir. Ancak, bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığılma kenar oluşumuna (BUE) neden olabilir [Stephenson and Agapiou, 2006]. Talaştan birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası haline alır. BUE tabakası yırtılıp (kopup) uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir.

### **6.1.2. Abrasiv Aşınma**

Abrasyon olarak tanımlanan aşınma, düşük adhezyonlu ve atomları arası metalik bağ olmayan sert mineral parçacıklarının takım yüzeyinden geçerken mekaniksel olarak takım malzemesini çizmesi, keserek raybalaması veya çarparak talaş kaldırması ile oluşan aşınmadır [Şahin, 2001]. Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır. Takım malzemesi ne kadar sert ise abrasiv aşınmaya direnci o kadar yüksektir.

### **6.1.3. Difüzyon Aşınması**

Katı hal difüzyonu, yüksek konsantrasyonda bulunan atomların, daha düşük konsantrasyonlu bölgelere gitmesidir. Bu olay artan ortam sıcaklığına şiddetle bağlıdır, difüzyon hızı artan sıcaklıkla üstel olarak artar.

Metalik malzemedan talaş kaldırma işleminde, takım ve iş parçasının sıkı temasta olduğu yerlerde, yüksek sıcaklığında bulunması dolayısı ile takım malzemesinden iş parçasına atomların difüzyon olanağı vardır. Son yapılan çalışmalar, difüzyonun aşınma mekanizmasını oluşturan elemanlardan biri olduğunu ortaya koymaktadır [Tülbentçi, 2003]. Kobalt bağlayıcılı tungsten karbür uç ve yumuşak çelik; kobaltın demire karşı yüksek ilgisinden dolayı 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.

### **6.1.4. Oksidasyon Aşınması**

Bu aşınma mekanizması difüzyon aşınması gibi yüksek sıcaklıkların ve basıncın bir sonucudur, ancak bu tip aşınma için havaya da gereksinim vardır. Bu tip aşınma takımın bileşenlerinin (özellikle bağlayıcı) atmosferik oksijen ile reaksiyonu

sonucunda ortaya çıkar. Yüksek sıcaklıklar ve oksijen birçok metal için oksidasyon demektir.

Oksidasyon aşınması özellikle kesici kenarın talaş ile birleştiği veya ayrıldığı kısımda, talaş genişliğinin sona erdiği noktada (talaş derinliğinde) havanın da etkisiyle oluşur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler meydana gelir. Bu tip aşınmada takım malzemesinde çentik civarında renk değişikliği gözlenir. Oksidasyon aşınması bugün talaşlı imalat alanında pek yaygın olmayan bir aşınma tipidir [Çakır, 2006].

### **6.1.5. Yorulma Aşınması**

Periyodik yüklenmeler sebebiyle kesici takım iç kısmında oluşan gerilme değişimleri sonucu içyapıda yorulmaların meydana gelmesi ve dolayısı ile içerde başlayıp yüzeye doğru yayılan çatlamların oluşması ve takım yüzeyinden küçük oranda malzeme ayrılması olayıdır. Yorulma etkisi genellikle eksantrik tornalama veya frezeleme gibi kesintili talaş kaldırma işleminde ortaya çıkar. Bu aşınma mekanizması modeli ile özellikle kesme yağı kullanıldığı zaman oluşan aşınmayı açıklama olanağı vardır. Bir yağ filmi olduğu zaman takım ile talaş birbirine temas etmemekte fakat tekrarlı şekil değişimi hem takım hem de iş parçasında oluşacak ve yorulma mekanizması aktif hale gelecektir [Tülbentçi, 2003].

### **6.1.6. Kimyasal ve Elektro - kimyasal Aşınma**

Kimyasal aşınma, takım ve iş parçası arasında iyon geçişiyle takım yüzeyinde oksitlenmeye sebep olur. Aynı zamanda kimyasal olarak aktif bir ortamda ve genellikle kesme sıvısı ile çalışmada iş parçası ve takım arasındaki etkileşimden meydana gelir.

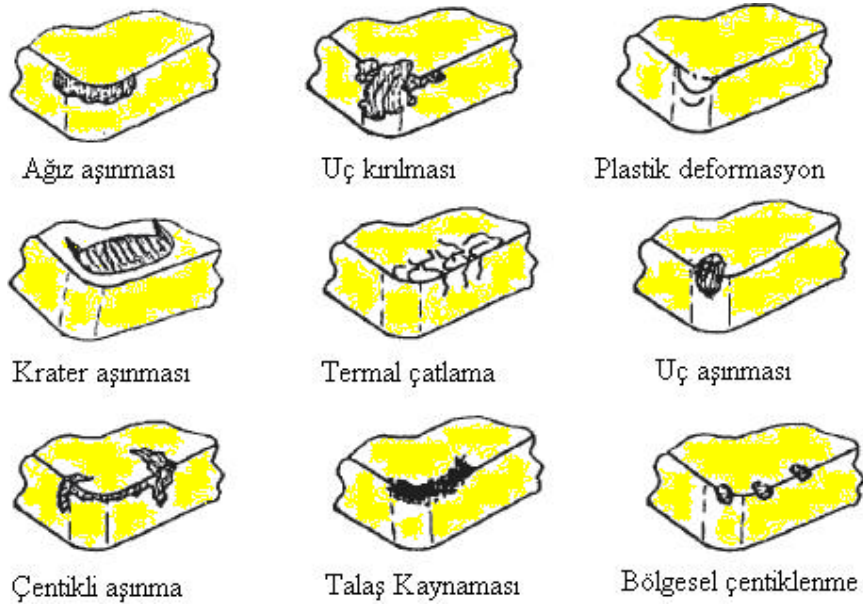
Kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklıktan ötürü, takım – iş parçası arasında bir elektrik akımı oluşur. Bunun sonucunda, iş parçası ve takım arasında iyon

alışverişi ve dolayısı ile de, takımın talaş – takım ara yüzeyinden zayıflaması gibi bir aşınma ortaya çıkar.

## 6.2. Aşınma Tipleri

Takım aşınması çeşitli aşınma mekanizmaları nedeniyle kesici kenarın çeşitli bölgelerinde ortaya çıkan değişikliklerdir. Talaşlı imalat işlemlerinde başarı elde edilmesi için aşınma tiplerinin sınıflandırılması, bu aşınma tiplerinin gözlenmesi ve gerekli düzenlemelerin zamanında yapılması şarttır.

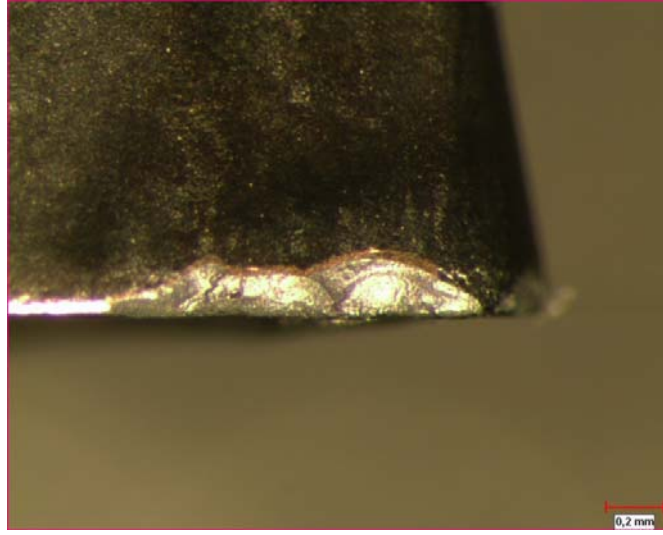
Belli başlı aşınma tipleri arasında serbest yüzey aşınması, krater aşınması, plastik deformasyon, çentik oluşumu, ısıl çatlaklar, mekanik yorulma çatlakları, kesici kenardan parçacık kopmaları, kesici ucun kırılması ve yığma kenar oluşumu sayılabilir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Kesici takımlarda görülen aşınma türleri [Tungaloy, 2000].

### 6.2.1. Serbest Yüzey Aşınması

Abrasiv ve adhesif tip aşınma mekanizmalarından kaynaklanan ve kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelen, en fazla karşılaşılan aşınma tipidir (Şekil 6.4). Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü veya paralel kenar iş parçası ile temastadır. Serbest yüzey aşınmasında belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar, kesme kuvvetleri artar, boşluk açısının azalması nedeniyle işlem esnasında ortaya çıkan ısı artar.



Şekil 6.4. Serbest yüzey aşınması.

### 6.2.2. Krater Aşınması

En genel yüzey aşınması türlerinden birisi krater aşınmasıdır. Kesici kenarın hemen yukarısında sıcak talaşın üzerinden aktığı talaş yüzeyi ile talaş arasında kimyasal etkileşim sonucu meydana gelir ve bu etkileşim takım malzemesinin talaş içine difüzyonunu meydana getirir [Şahin, 2001]. Krater aşınması talaşın şekline bağlı olup talaş – takım temas alanıyla sınırlıdır. Bu aşamada en önemli faktörler, sıcaklık ve takım ile iş parçası arasındaki mekaniksel affinite derecesidir. Esas yüzey aşınmasını etkileyen faktörler aynı zamanda krater aşınmasını da etkiler. Genellikle sürekli talaş veren yumuşak malzemelerin işlenmesinde karşılaşılan bu aşınma türü

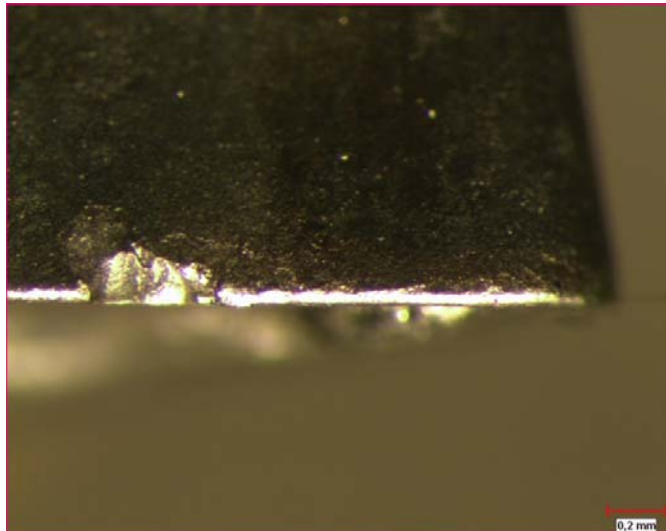
esas yüzey aşınmasından daha hızlı oluşur ve takım deformasyonunun belirlenmesinde sınırlayıcı faktördür.

### 6.2.3. Plastik Deformasyon

Plastik deformasyon kesici kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın bir kombinasyonu sonucunda oluşur. İki şekilde ortaya çıkar: kesici kenar ya aşağıya doğru işleme yönünde deforme olur, yâda serbest yüzeye doğru bir deformasyon görülür. Takım kenarının yuvarlatılması ve uygun kesici geometrisi bu tip aşınmanın önlenmesinde önemli rol oynar [Çakır, 2006].

### 6.2.4. Yardımcı Kenarda Çentik Oluşumu

Bu aşınma tipi genellikle abresiv aşınma mekanizması sonucu oluşan, kaba tornalama işlemlerinde kullanılan uçlarda karşılaşılan, takım ile işlenmemiş parça yüzeyi arasında veya talaşın serbest kenarı arasında ortaya çıkan bir aşınma türüdür (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Çentik oluşumu.

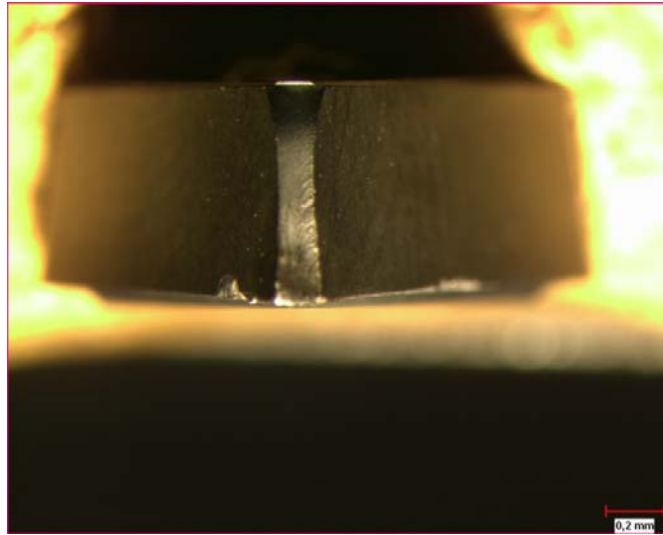


### 6.2.5. Kesici Kenardan Parça Kopması

Bu aşınma tipi kesici kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkiyen yükün sürekli üst ve alt değerler arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım yüzeyinde kopar [Çakır, 2006].

### 6.2.6. Kesici Ucun Kırılması

Kesici ucun ömrünü tamamlamasına neden olan aşınma tipidir (Şekil 6.6). İmalat parametrelerinin uygun seçilmemesi, işlenen malzemenin yüksek sertliği, darbeli çalışma, kesici uçtaki üretim hataları, aşırı yığıntı talaş oluşumu uç kırılmasına sebebiyet verebilir. Kesici uç kırılmasını önlemek için negatif talaş açıları seçilebilir, daha kalın uç kullanılabilir, kaplama türü değiştirilebilir ve köşe radyüsü arttırılabilir. İmalat parametreleri belirlenirken üretici firmanın verdiği kesme aralıklarına dikkat edilmelidir.



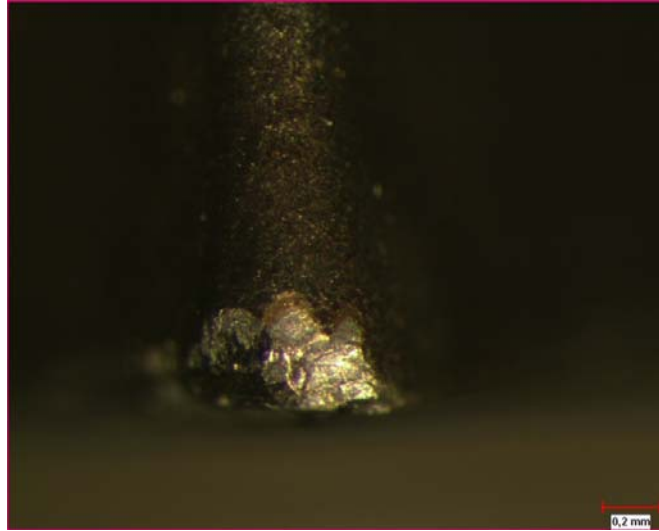
Şekil 6.6. Kesici ucun kırılması.

### 6.2.7. Yığma Kenar [BUE]

Takım yüzeyine kaynak olan malzemedan dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığma kenar istenmeyen bir durumdur. Yığma kenar oluşumuna iş parçası ve takım arasındaki afinite de etkiye bulunur. Yığma kenar genellikle düşük kesme hızlarında ortaya çıkan bir durumdur [Çakır, 2006].

### 6.2.8. Burun Aşınması

Kesici kenarın ucunda oluşan bu aşınma, esas yüzey aşınmasında olduğu gibi aynı abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Kesici kenar, tüm boyca kesme yapmadığından dolayı aşınma sadece kesme derinliğinde meydana gelmektedir [Şekil 6.7]. Burun ucunda oluşan bir çentik, gerilme arttırıcı etkisi yaparak kesici kenarın kötü bir şekilde bozulmasına sebep olur [Devries, 1992]. Bu aynı zamanda iş parçası boyutları ve kalitesini etkiler [Rao, 1986].

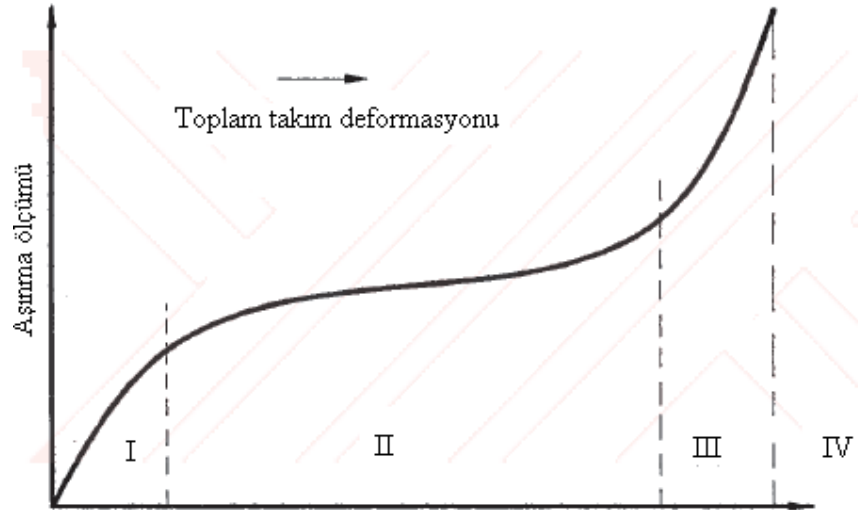


Şekil 6.7. Burun aşınması.

### 6.3. Aşınma Karakteristiği

Aşınmadaki (genellikle esas yüzey veya krater aşınması) artış, karakteristik olarak zamana karşı aşınma parametrelerinin bir fonksiyonu şeklinde gösterilebilir. Bununla ilgili olarak hazırlanan standart eğri Şekil 6.8’de görüldüğü gibi genellikle dört farklı evreye bölünebilir [Şahin, 2001].

Birinci safha genellikle kesme zamanının birkaç saniyesinden birkaç dakikasına kadar sürer ve bu aşamada aşınma üstel düzeyde değişir. Aşınma (genellikle esas yüzey) başlangıçta hızlı bir şekilde artar ve daha sonra aşınma miktarı küçük bir sabit değere düşer. İkinci evre, aşınma artışının kesme zamanıyla lineer olarak ilgili olduğu toplam efektif kesme zamanını içerir. Eğrinin bu kısmı en önemli bilgiyi sağlar ve bu nedenle takım ömrü genellikle bu evrede ölçülür.



Şekil 6.8. Aşınmaya karşı kesme zamanı eğrisi ve dört karakteristik bölge. (I- İlk aşınma bölgesi, II- Normal aşınma bölgesi, III- Hızlı aşınma bölgesi, IV- Takım bozulma bölgesi) [Küçük, 2001]

Üçüncü evre geniş bir aşınma alanıyla karakterize edilir ve genellikle kesme sıcaklığının ani yükselmesinden kaynaklanır. Dördüncü ve son aşama; geniş aşınma alanının büyük ölçüde arttığı, kesici kenar sıcaklığının hızlı bir şekilde yükseldiği ve çok kısa bir süre sonra kesici kenarın deforme olarak aşınma artışının sona erdiği

bölgedir. Takım aşınma eğrisinin en önemli kısmı, aşınmanın hemen hemen lineer olduğu veya pratik olarak böyle kabullenildiği ikinci bölgedir.

## 7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Makine parçalarının gerçek yüzeyleri; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği, kesici takımın soğutma ve yağlama durumu, iş parçasının yapısı ve bağlama durumu, kesici takımın geometrisi ve tespit şekli, takım tezgâhı, yardımcı takım ve aparatlar gibi değişik faktörlere bağlı olarak bir takım pürüz ve düzensizliklerden oluşur [Bhattacharyya and Ham, 1969]. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [Güllü, 1995].

İmalat teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sadece boyutsal tamlığın ölçülmesi yeterli olmayıp, birbiri ile ilişkili, hatta ilişkili olmayan yüzeylerin pürüzlülüklerinin ve durumlarının da ölçülmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bir yüzey yapısının kontrolünde üç önemli faktör sırasıyla; yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınmadır. İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir [Galyer and Shotbolt, 1993]. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir. Şekil 7.1’de işlenmiş bir yüzey geometrisi görülmektedir.

### 7.1. Pürüzlülük veya Kabalık

Yüzey pürüzlülüğü yüzey yapısının çok küçük düzensizliklerini ihtiva eder ve bu düzensizlikler işleme prosesinin tabii hareketinden kaynaklanır [Makine Mühendisliği El Kitabı].

## **7.2. Pürüzlülük Genişliği**

Pürüzlülük genişliği takip eden tepe veya pürüzlülüğün hakim modelini oluşturan sert noktalar arasındaki nominal yüzeye paralel mesafedir [Mike et al, 1999].

## **7.3. Pürüzlülük İzleme (cut – off) Genişliği**

Pürüzlülük izleme genişliği tekrarlanan yüzey düzensizliklerinin en büyük aralığını gösteren ortalama pürüzlülük yüksekliğinin ölçümünü ihtiva eder. 1/1000 in olarak ifade edilir. Standart cut-off değerleri 0.08, 0.25, 0.8, 2.5 mm'dir. Eğer herhangi bir değer belirtilmezse 0.8 mm kabul edilir [Mike et al, 1999].

## **7.4. Dalgalık**

Dalgalık bütün düzensizlikleri ihtiva eder. Dalgalık; otlama, titreşim, ısı davranış veya kesici takım aşınması nedeniyle meydana gelmektedir [Şahin, 2001]. Dalgalık yüzeyin geometrik şeklini karakterize eder [Neşeli, 2006].

## **7.5. Dalgalık Yüksekliği**

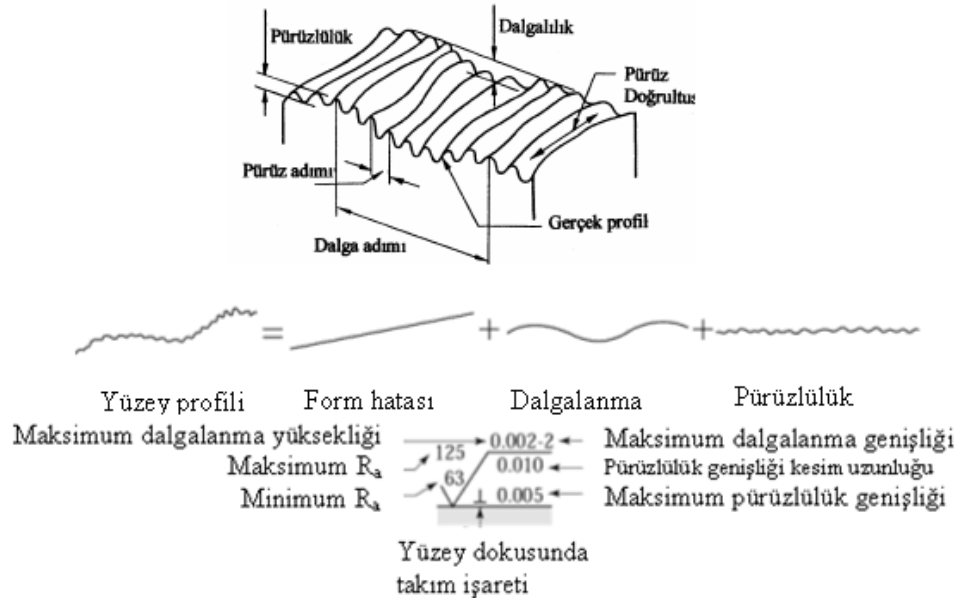
Dalgalık yüksekliği dip ve tepe değerler arasındaki mesafedir.

## **7.6. Dalgalık Genişliği**

Ardışık dalga tepe noktaları veya ardışık dalga çukur noktaları arasındaki mesafedir [Lou et al, 1999].

## 7.7. Kusur / Hata

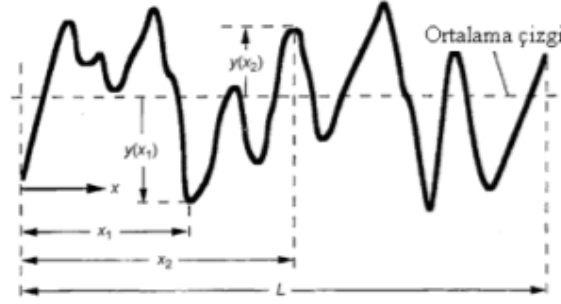
Kusurlar parça yüzeyinin tipik topografyasındaki planlanmamış, beklenmedik ve istenmeyen kesintilerdir [Mike et al, 1999].



Şekil 7.1. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri. Miktarlar  $\mu\text{m}$  cinsinden verilmiştir. (1  $\mu\text{m}$ = 40  $\mu\text{in}$ , 1  $\mu\text{in}$ = 0.025  $\mu\text{m}$ ) [Neşeli, 2006; Kalpakjian and Schmid, 2001].

## 7.8. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Şekil 7.2'de yüzey pürüzlülüğü için kullanılan parametreler tanımlanmıştır. Yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntıların alan bakımından eşitlendiği orta eksenin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arası mesafe  $R_a$ , orta eksenin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeri  $R_q$  (rms), değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalaması  $R_z$ , değerlendirme aralığındaki filtre edilmemiş pürüzlülüğün en yüksek çıkıntısı ile en derin girintisi arasındaki mesafe  $R_{\text{max}}$ , filtre edilmiş pürüzlülüğün en yüksek tepesi ile en derin girintisi arasındaki mesafe de  $R_l$  olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 7.2. Pürüzlülük için kullanılan parametreler [Stephenson and Agapiou, 2006].

### 7.8.1. Ortalama Eksen Çizgi Değeri ( $R_a$ , $Cl_a$ )

Bu parametre aritmetik ortalama pürüzlülük değeri AA (arithmetic average) veya CLA (center line average) olarak bilinir ve pürüzlülüğün en çok kullanılan parametresi olup genel olarak  $R_a$  diye tanımlanır.  $R_a$ , profil düzensizliklerinin ortalamasını vermesi sebebiyle, genel yüzey yapısı hakkında önemli bir kriterdir.  $R_a$ , ortalama profil doğrusundan y aritmetik ortalama olarak sapmasıdır [Şahin, 2001].

Matematiksel olarak şöyle açıklanır:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (7.1)$$

L: Örnekleme uzunluğu

### 7.8.2. Ortalamaların Kareleri Toplamının Karekökü ( $R_q$ , $R_s$ , $R_{ms}$ )

Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarında, eksen çizgisinin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeridir. Matematiksel olarak şöyle açıklanabilir:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx} \quad (7.2)$$



### 7.8.3. Profil Maksimum Tepe Yüksekliği ( $R_p$ )

Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en yüksek tepe (çıkıntı) ile temas eden ve eksen çizgisine paralel olan çizgi ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir. Böylece  $R_p$  değeri geniş çıkıntı ve dar girintilerden oluşan yüzeylerde küçük, dar çıkıntı ve geniş girintilerden oluşan yüzeylerde büyük olur.

$$R_p = \max y(x), 0 < x < L \quad (7.3)$$

### 7.8.4. Profil Maksimum Çukur Derinliği ( $R_v$ , $R_m$ )

Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en dip girintiye temas edecek şekilde ve eksen çizgisine paralel olarak çizilen doğru ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir.

$$R_v = |\min y(x)|, 0 < x < L \quad (7.4)$$

### 7.8.5. Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği ( $R_t$ , $R_{max}$ )

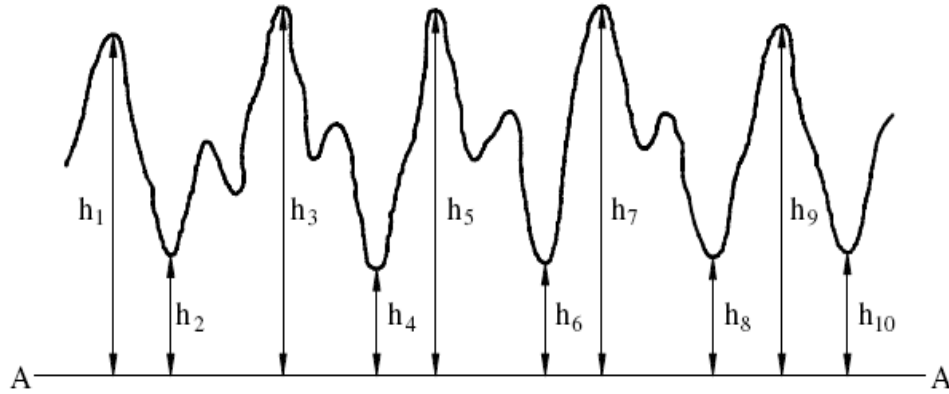
Örnekleme boyunda dikkate alınan en yüksek tepe ve en düşük dip arasındaki mesafe tepe-dip yüksekliği olarak adlandırılır. Bu  $R_t$  değeri, örnekleme boyundaki yüzey düzensizliklerinin frekansı göz önüne alınmazsa yüzey pürüzlülüğünün tam bir tanımıdır. Tepe-dip yüksekliği ortalama değerini daha da iyileştirmek için, en yüksek tepe ve en düşük dip hesaba katılmaz. Böylece örnekleme uzunluğunda çok yüksek tepe ve dibin bulunması etkili olmaz.

$$R_t = R_p + R_v \quad (7.5)$$

### 7.8.6. On Nokta Yüksekliği (Rz)

$R_z$ , 10 nokta yüksekliği olup örnekleme uzunluğu içinde 5 en derin çukur ve 5 en yüksek tepe noktaları arasında ortalama mesafeyi gösterir [Şahin, 2001] (Şekil 7.3).

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (y_{pi} - y_{vi}) \quad (7.6)$$



Şekil 7.3. On nokta yükseklik hesaplaması için ortalama ölçümler [Galyer and Shotbolt, 1993].

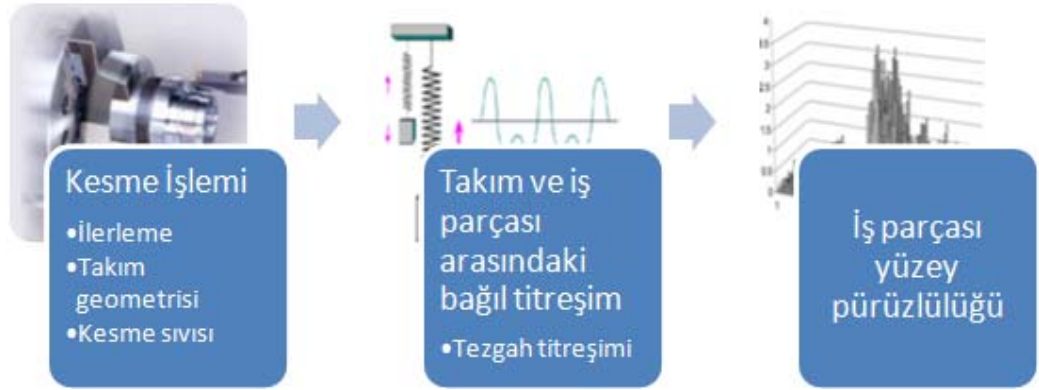
### 7.9. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler

Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

- Takım tezgâhlarının yeterli rijitlikte olmaması,
- Tezgâhın kinematik mekanizması,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan tezgâh hataları,
- Takım ucu ve takım tutucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları,
- Takım konumlama ve bağlama hataları,
- Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
- Çevrenin etkisi ile oluşan hatalar olarak sayılabilir.

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenebilmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak dört önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesme sıvısı için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır [Kwon, 2000].

Şekil 7.4’de yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır. İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi, kesme sıvısı ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere dört kısma ayrılmıştır.



Şekil 7.4. Yüzey pürüzlülüğüne etkiyen faktörler.

## 8. DENEY TASARIMI

Deneyleler dört aşamada gerçekleştirilmiştir:

İlk deney çalışmasında deney seti Taguchi  $L_{18}$  ( $3^{**}6$   $6^{**}1$ ) ortogonal dizini esas alınarak hazırlanmıştır. Bu deney setinde kesme parametreleri olarak; devir sayısı, ilerleme, talaş derinliği ve kesme sıvısı alınmıştır. Deneysel veriler Minitab 15 yazılımı yardımıyla işlenmiştir. Tormalama parametrelerinin etkisini analiz etmek için ortogonal dizin, işaret/gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

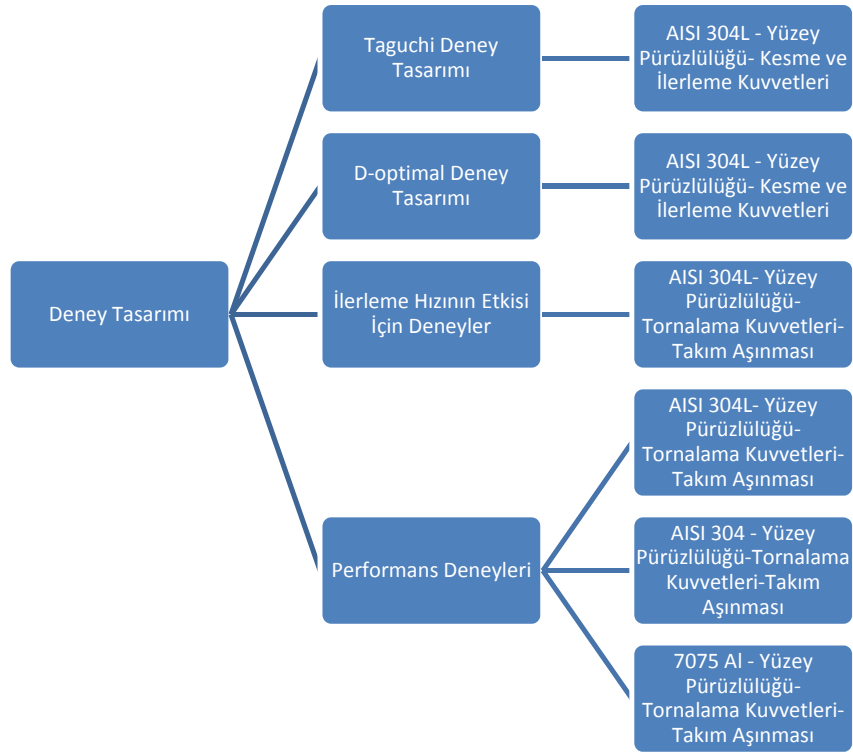
İkinci deneysel çalışma planı olarak; cevap yüzeyi metodu esaslı D-optimal deney tasarım metodu kullanılmıştır. D-optimal metodu ile 19'lu deney tasarımı hazırlanmış, devir sayısı, ilerleme ve talaş derinliği nümerik faktör, kesme sıvıları ise kategorik faktör olarak analiz edilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ve regresyon analizi ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneysel veriler Design-Expert 6.0.6 yazılımı yardımıyla işlenmiştir.

Üçüncü deneysel çalışma planı olarak ilerleme hızının etkisi değerlendirilmiştir. Her bir kesme sıvısı için sabit devir sayısı ve talaş derinliğinde, üç farklı ilerleme hızında boyuna tormalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlerleme deneyleri ile ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü, tormalama kuvvetleri, takım aşınması üzerine etkisi ve kesme sıvılarının birbirlerine göre kıyaslamalı analizleri yapılmıştır.

Dördüncü deneysel çalışmada, AISI 304L, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin ve 7075 serisi alüminyum malzemelerin boyuna tormalanmasında takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, tormalama kuvvetleri için kesme sıvılarının performansları analiz edilmiştir. Performans deneylerinde devir sayısı, ilerleme hızı ve talaş derinliği parametreleri sabit tutulmuştur (şekil 8.1).

## 8.1. Takım Tezgahı

Tornalama deneyleri Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği CAD/CAM laboratuvarında bulunan Taksan marka 12 kw motor gücüne sahip torna tezgahında yapılmıştır (Şekil 8.2). Torna tezgahı varyatörlü ve ağır tip konvansiyonel tezgahdır.



Şekil 8.1. Deney tasarımları.



Şekil 8.2. Taksan marka 12 kw motor gücüne sahip torna tezgahı.

## 8.2. İş Parçası

Deneyselerde iş parçası malzemesi olarak AISI 304, AISI 304L paslanmaz çelik ve 7075 alüminyum malzeme kullanılmıştır. AISI 304L paslanmaz çeliğin boyutları Ø80 mm x 250 mm olarak, AISI 304 paslanmaz çeliğin boyutları Ø40 mm x 400 mm olarak, 7075 alüminyum malzemenin boyutları Ø80 mm x 300 mm olarak belirlenmiştir. Malzemelerin kimyasal analizi ve sertlik ölçümü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde yaptırılmış ve analiz değerleri Tablo 8.1, Tablo 8.2 ve Tablo 8.3'te gösterilmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin sertliği 350 HV, AISI 304L malzemenin sertliği 315 HV, 7075 alüminyum malzemenin sertliği 139 HV bulunmuştur. Deney malzemeleri TS 10329 göz önünde bulundurularak boy/çap oranı 10/1'den küçük olacak şekilde temin edilmiştir.

Tablo 8.1. AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).

Çap: 40 mm SERTLİK:350 HV								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
0.068	0.487	1.56	0.0027	0.025	18.21	7,54	0.348	0.0031
Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B
0.52	0.129	0.0048	0.024	0.068	0.05	0.025	0.019	0.0024
Sn	Zn	As	Bi	Ca	Ce	Zr	La	Fe
0.03	0.029	<0.001	<0.002	0.0007	0.021	0.0062	0.0029	70.8

Tablo 8.2. AISI 304L paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).

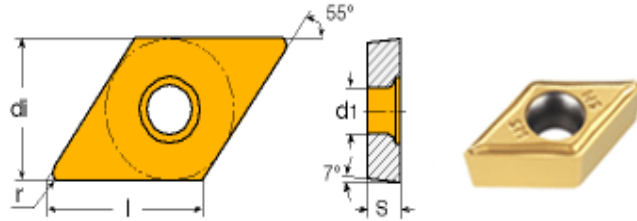
Çap: 80 mm SERTLİK:315 HV								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
0.025	0.214	1.90	0.02	0.022	19.28	8.46	0.51	0.0028
Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B
0.259	0.072	0.0039	0.022	0.04	0.017	<0.003	0.018	0.0019
Sn	Zn	As	Bi	Ca	Ce	Zr	La	Fe
0.0054	0.021	0.0095	<0.002	0.0017	0.025	0.007	0.0034	69.1

Tablo 8.3. 7075 alüminyum malzemenin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).

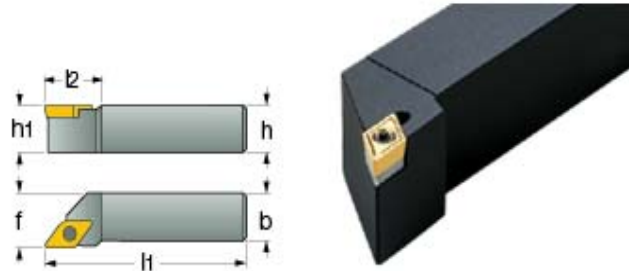
Çap: 80 mm SERTLİK:139 HV								
Li	Si	Mn	P	Sr	Cr	Ni	Na	Al
<0.0002	0.92	0.348	<0.001	<0.0001	0.093	0.057	0.003	89.0
Cu	Co	Ti	Be	V	Fe	Pb	Mg	B
1.71	<0.001	0.048	0.0003	0.009	0.55	0.018	2.00	0.0017
Sn	Zn	Ag	Bi	Ca	Cd	Zr		
0.008	5.22	0.0022	0.0018	0.0027	0.0031	0.0078		

### 8.3. Kesici Takım ve Takım Tutucu

Deneylerde Iscar firmasına ait DCMT 11T304-SM IC907 kesici uç ve mekanik tespit sistemli SDJCR 2525M-11 takım tutucu kullanılmıştır (Şekil 8.3 – 8.4). Tablo 8.4'te deneylerde kullanılan karbür kesici ucun ve takım tutucunun özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 8.3. Deneylerde kullanılan kesici uç [www.iscar.com].



Şekil 8.4. Deneylerde kullanılan takım tutucu [www.iscar.com].

Tablo 8.4. Deneyslerde kullanılan kesici ucun ve takım tutucunun özellikleri.

Kesici uç: DCMT 11T304-SM IC907					
Ürün tanımı: TiAlN PVD kaplamalı, düşük ve orta kesme hızları için uygun, sağ kesme yönlü, Alaşım ve sert malzemelerin imalatı için tasarlanmış karbür kesici uç. Ölçüler mm birimindedir.					
<b>I</b>	<b>di</b>	<b>S</b>	<b>R</b>	<b>D1</b>	
11.60	9.52	3.97	0.40	4.40	
Takım tutucu: SDJCR 2525M-11					
Ürün tanımı: Vida tespit sistemli takım tutucu. Ölçüler mm birimindedir.					
<b>H</b>	<b>h1</b>	<b>b</b>	<b>f</b>	<b>l1</b>	<b>l2</b>
25.0	25.0	25.0	32.0	150.0	20.0

## 8.4. Kesme Sıvıları

Deneysel çalışmalarda 8 çeşit kesme sıvısı kullanılmıştır. 6 tane bitkisel esaslı kesme sıvısı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilmiştir. Diğer 2 tane kesme sıvısı ise ticari olarak konsantre halinde temin edilmiştir. Deneyslerde kullanılan kesme sıvıları:

- SCF-II %8 EP – %8 Aşırı basınç katkılı rafine ayçiçek esaslı kesme sıvısı, ikili emülsifiyer.
- SCF-II %12 EP – %12 Aşırı basınç katkılı rafine ayçiçek esaslı kesme sıvısı, ikili emülsifiyer.
- CCF-II %8 EP – %8 Aşırı basınç katkılı rafine kanola esaslı kesme sıvısı, ikili emülsifiyer.
- CCF-II %12 EP – %12 Aşırı basınç katkılı rafine kanola esaslı kesme sıvısı, ikili emülsifiyer.
- CSSCF – Ticari yarı sentetik esaslı kesme sıvısı
- CMCF– Ticari mineral esaslı kesme sıvısı
- BCF-III %8 EP – %25 kanola + %25 ayçiçek + %22.5 surfaktant 1 + %13 surfaktant 2 + %8 EP + %10 korozyon önleyici



- BCF-III %12 EP – %25 kanola + %25 ayçiçek + %22.5 surfaktant 1 + %13 surfaktant 2 + %12 EP + %10 korozyon önleyici

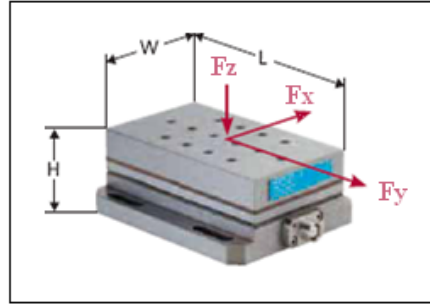
Bitkisel esaslı kesme sıvıları üretici firmanın tavsiyesi doğrultusunda %8 konsantrasyonda hazırlanmıştır. Bütün kesme sıvılarını seyreltme işleminde çeşme suyu kullanılmıştır. Çeşme suyunun sertliği, yapılan ölçümler sonucunda 128 mg CaCO<sub>3</sub>/lt olarak bulunmuştur. Kesme sıvıları için debi 6 lt/dak'dır. Kesme sıvıları tek nozullu sistem kullanılarak, kesme bölgesine 75 derecelik açı ile püskürtülmüştür. Kesme sıvısı tankının boyutları 50x30x25 cm, hacmi 37.5 litredir. Deneilerde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri Tablo 8.5'te gösterilmektedir.

Tablo 8.5. Deneilerde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri.

Kesme Sıvısı	pH	pH (%8 Emülsiyon)	d (g/ml)	d (g/ml) (%8 Emülsiyon)	Viskozite 40°C (mm <sup>2</sup> /sn)	Viskozite 40°C (%8 Emülsiyon)	Parlama Noktası (°C)	Kırlma İndisi (n <sub>d</sub> )	Kırlma İndisi (n <sub>d</sub> ) (%8 Emülsiyon)	Emülsifiyer I (%)	Emülsifiyer II (%)
SCF-II (%8 EP)	10.00	9.20	0.96	0.95	99.00	2.40	221.00	1.4775	1.3470	31.00	6.00
SCF-II (%12 EP)	9.65	9.05	0.98	0.97	97.00	2.20	227.00	1.4793	1.3471	30.00	5.00
CCF-II (%8 EP)	10.00	9.30	0.97	0.99	115.00	1.80	235.00	1.4767	1.3468	31.00	6.00
CCF-II (%12 EP)	9.80	9.00	1.00	1.00	109.00	1.80	245.00	1.4780	1.3434	30.00	5.00
CSSCF	10.15	9.18	0.98	0.99	75.00	1.70	180.00	1.4825	1.3432	-	-
CMCF	10.05	9.30	0.95	0.99	66.00	2.20	195.00	1.4942	1.3463	-	-
BCF-III (%8 EP)	9.95	9.70	0.99	0.99	79.00	2.50	178.00	1.4800	1.3467	22.50	13.00
BCF-III (%12 EP)	10.15	9.24	0.97	1.00	88.00	2.40	185.00	1.4798	1.3491	22.50	13.00

## 8.5. Dinamometre

Kesme kuvvetleri KISTLER 9257B tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 8.5). Tablo 8.6’da dinamometrenin teknik özellikleri gösterilmiştir. Dinamometre ile ölçülen kuvvet değerleri DynoWare yazılımı kullanılarak grafiksel olarak kaydedilmiştir. Her bir tornalama işlemi sırasında elde edilen kuvvetlerin ortalaması alınarak, o işlem için kuvvet değeri belirlenmiştir.



Şekil 8.5. KISTLER 9257B dinamometre.

Tablo 8.6. KISTLER 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.

ÖZELLİK	SEMBOL	BİRİM	DEĞERLER
Ölçme aralığı	$F_x, F_y, F_z$	kN	$\pm 5$
Hassasiyet	$F_x, F_y$	pC/N	$\approx -7.5$
	$F_z$	pC/N	$\approx -3.7$
Doğal frekans	$f_{nx}, f_{ny}$	kHz	$\approx 2.3$
	$f_{nz}$	kHz	$\approx 3.5$
Çalışma sıcaklığı aralığı		°C	0 ... 70
Uzunluk x Genişlik x Yükseklik	L x W x H	mm	170x100x60
Ağırlık		Kg	7.3
Koruma sınıfı (EN 60529)			IP67

### 8.5.1. Amplifikatör

Deneyleerde KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör kullanılmıştır (Şekil 8.6). Tablo 8.7’da amplifikatörün teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 8.6. KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör.

Tablo 8.7. KISTLER 5070A11100 amplifikatörün teknik özellikleri.

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

### 8.5.2. Veri Toplama Kartı (DAQ)

Deneyleerde 2855A5, PC-CARD-DAS 16/16 tipi veri toplama kartı kullanılmıştır (Şekil 8.7). Tablo 8.8’de veri toplama kartının özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 8.7. Veri toplama kartı.

Tablo 8.8. Veri toplama kartının teknik özellikleri.

ÖZELLİK	BİRİM	DEĞERLER
Ölçme kanalı sayısı		16
Çözünürlük	Bit	16
Ölçme oranı	kHz	100
Bağlantı		50-pole neg.

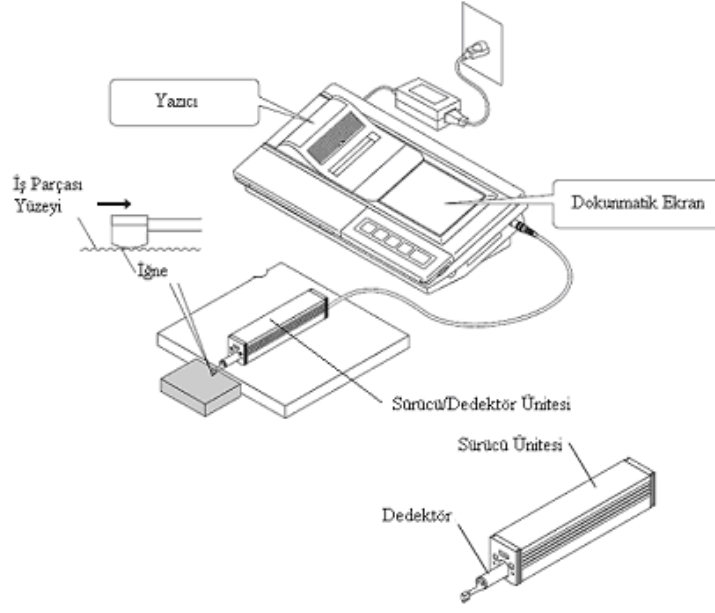
### 8.5.3. Bağlantı Kabloları

Dinamometre ile amplifikatör arasındaki bağlantı için KISTLER 1677A5 tipinde kablo, bilgisayar ile amplifikatör arasındaki bağlantı için KISTLER 1200A27 tipinde RS 232C kablolar kullanılmıştır. Amplifikatörden veri toplama kartına sinyal çıktılarını göndermek için KISTLER 1500B15 tipi bağlama kablosu kullanılmıştır.

## 8.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Tornalanmış yüzeylerin pürüzlülük ölçümü, Mitutoyo SurfTest SJ 301 tipi portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.8). Cihazın teknik özellikleri Tablo 8.9'da verilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümüne başlamadan önce yüzey pürüzlülük cihazı, yüzey pürüzlülük değeri önceden bilinen kalibrasyon numunesi ile kalibre edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde örnekleme uzunluğu (cut-off) 0.8 mm ve örnekleme sayısı 5 olarak seçilmiştir. Her bir talaş kaldırma işleminden sonra parçanın 6 farklı noktasından işleme yüzeyine dik olarak yüzey pürüzlülüğü ölçümü alınmış ve ölçülen 6 değerın ortalaması alınarak analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün 6 noktadan alınmasının sebebi örnek hacmini geniş tutarak ideal değerden sapmayı minimize edebilmektir.



Şekil 8.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

Tablo 8.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına ait teknik özellikler.

Ölçme prensibi	Stylus metodu
İzleyici uç yarıçapı	5 $\mu$ m
Ölçme kuvveti	4 mN (0.4 gf)
Filtre	Gauss
Tarama hızı	0.5 mm/s
Kesim uzunluğu ( $\lambda_c$ )	0.8 mm
Değerlendirme uzunluğu ( $l_n = \lambda_c * 5$ )	4.0 mm

## 8.7. Stereo Mikroskop

Takım aşınmaları Nikon SMZ800 mikroskop ile ölçülmüştür (Şekil 8.9). 63 kereye kadar büyütme kapasitesi ve kamera takılabilir özelliğe sahiptir. Takım aşınmaları 50X büyütme ile ölçülmüştür. Cihazın teknik özellikleri Tablo 8.10'da verilmiştir.



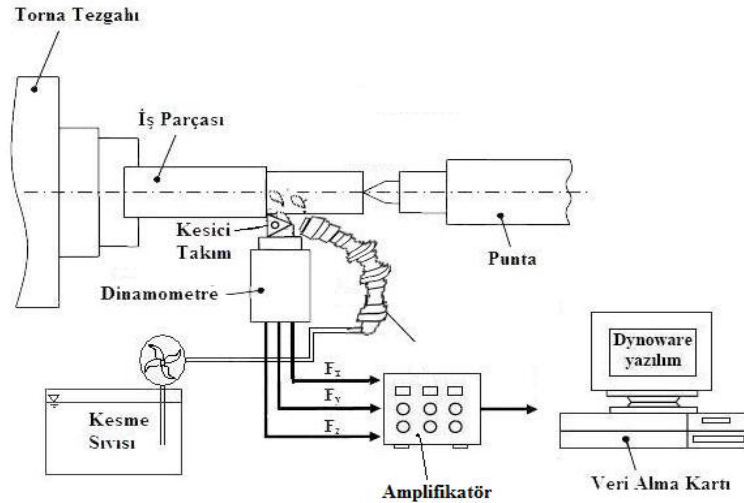
Şekil 8.9. Takım aşınması ölçümleri için kullanılan mikroskop.

Mikroskop 1X ile 6.3X zoom aralığında çalışmaktadır. Zoom aralığı görüntüyü büyütme kapasitesini belirtmektedir. Mikroskop okülerinden elde edilen 10X büyütme ile toplam büyütme kapasitesi 10X ile 63X aralığına çıkmaktadır. Tez çalışmasında takım aşınmaları 5X zoom kapasitesinde, 10X oküler büyütme kapasitesinde olmak üzere toplam 50X büyütme oranı ile ölçülmüştür.

Tablo 8.10. Stereo mikroskoba ait teknik özellikler.

Marka/Model	Nikon SMZ 800
Giriş gerilimi	100 – 240 V AC, 50/60 Hz
Zoom aralığı	1 X – 6.3 X
Çalışma akımı	2.4 A veya daha az
Lamba özellikleri	C-FID Plastik fiber – optic (12 V – 100 W halogen)
Kesim uzunluğu ( $\lambda_c$ )	0 - 40 <sup>0</sup> C arası

Şekil 8.10'da deney kurulumu şematik, Şekil 8.11'de fotoğrafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 8.10. Deney kurulumunun şematik gösterimi.

## 8.8. Deney Tasarımları

### 8.8.1. Taguchi Deney Tasarımı

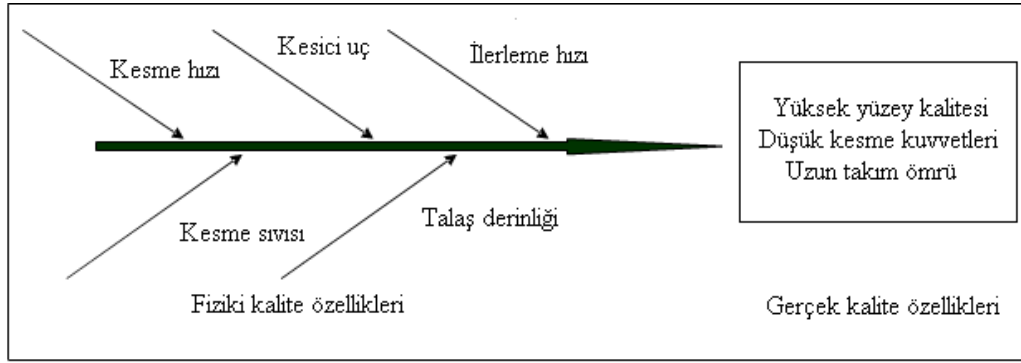
Taguchi deneysel tasarım methodu, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere üç temel kavramdan oluşur. Sistem tasarımı için imalat verimliliğine etki edecek faktörler ve verimlilik analizi için ölçülecek faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 8.12). Parametre tasarımında amaç optimal değerlerin belirlenmesidir. Parametre tasarımı, imalat sisteminin titreşim, malzeme kusurları gibi kontrol edilemeyen faktörlere karşı minimum düzeyde hassasiyet göstermesini sağlayacak belirli faktör seviyelerinin belirlenmesine olanak sağlar. Bu aşamada deneysel tasarımda sıkça kullanılan iki ana kavram ile karşılaşılır: Ortogonal gösterim ve işaret/gürültü analizi (S/N-Signal /Noise). Ortogonal gösterim tasarımları, ortogonallik özelliği nedeniyle kesirli faktörsel tasarımlardır. S/N oranı süreç değişkenliğinin bir ölçüsüdür. Taguchi'ye göre S/N oranı kullanılarak sürecin optimize edilmesiyle, optimum süreç şartlarının dinç ve kararlı olması yani minimum süreç değişkenliğine sahip olması sağlanır. Tolerans tasarımı ise optimum noktaya ulaşamadığı takdirde sistemden sapmaların belirlenerek sistemin revizyonunu içermektedir. Sistem tasarımında 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 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 [Savaşkan ve ark., 2004; Şanyılmaz, 2006].



Şekil 8.11. Deney kurulununun fotoğrafı.





Şekil 8.12. Taguchi metodu için sistem tasarımı.

Tornalama deneyleri için 6 farklı kesme sıvısı, 3 farklı kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızı belirlenmiştir. Kullanılan dört farklı parametre ve seviyeler için Taguchi'nin  $L_{18}$  ( $3 \times 6 \times 6 \times 1$ ) standart ortogonal dizisi seçilmiştir. Kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri aşağıdaki gibidir (Tablo 8.11 ve Tablo 8.12).

Tablo 8.11. Tornalama deneylerinde Taguchi deney tasarımı için belirlenen faktörler ve seviyeler.

	<b>Kontrol Faktörü</b>	<b>Birim</b>	<b>Seviye 1</b>	<b>Seviye 2</b>	<b>Seviye 3</b>	<b>Seviye 4</b>	<b>Seviye 5</b>	<b>Seviye 6</b>
<b>A</b>	Devir sayısı	dev/dak	250	355	500	-	-	-
<b>B</b>	İlerleme	mm/dev	0.24	0.28	0.32	-	-	-
<b>C</b>	Talaş derinliği	mm	0.5	1	1.5	-	-	-
<b>D</b>	Kesme sıvısı viskozitesi	mm <sup>2</sup> /sn	115	109	99	97	75	66

Tablo 8.12. Taguchi  $L_{18}$  ortogonal serisi.

<b>Deney No</b>	<b>Devir Sayısı (dev/dak)</b>	<b>Talaş Derinliği (mm)</b>	<b>İlerleme (mm/dev)</b>	<b>Viskozite (mm<sup>2</sup>/sn)</b>
1	1	1	1	1
2	2	2	2	1
3	3	3	3	1
4	1	2	1	2

5	2	3	2	2
6	3	1	3	2
7	1	1	2	3
8	2	2	3	3
9	3	3	1	3
10	1	3	3	4
11	2	1	1	4
12	3	2	2	4
13	1	3	2	5
14	2	1	3	5
15	3	2	1	5
16	1	2	3	6
17	2	3	1	6
18	3	1	2	6

### 8.8.2. D-optimal Deney Tasarımı

D-optimal deneysel tasarım methodu cevap yüzeyi metodu (RSM) temelli bir optimizasyon yöntemidir. İmalat sistemine etki eden parametreleri nümerik ve kategorik olarak ayırması, deneysel çalışmalarda araştırmacıya kolaylık sağlamaktadır. D-optimal methodu robust tasarımı sağlayabilmek için varyansı minimize edecek en az deney sayısını belirleyerek, deney sayısında optimizasyon uygulaması ile, deney tasarımını oluşturur.

Tornalama deneyleri için 6 farklı kesme sıvısı, 2 farklı kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızı belirlenmiştir. Kullanılan dört farklı parametre ve seviyeler için D-optimal tasarım lineer modeli ile deney tasarımı oluşturulmuştur. D-Optimal yöntemin çalışma mantığını basit bir şekilde açıklamak için, lineer yaklaşım modelinin en küçük kareler analizini kullanan katsayıların tahmini eşitliği Denklem 8.1’de gösterilmiştir. Kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri aşağıdaki gibidir (Tablo 8.13 ve Tablo 8.14).

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i \quad (8.1)$$

Y: Gözlem vektörü

$b_0$  ve  $b_i$ : Model katsayıları

$x_i$ : Parametre

Denklem 8.1'den model katsayılarına ulaşmak için değişkenler yer değiştirilince elde edilen denklem aşağıda verilmiştir (Denklem 8.2).

$$B = (X'X)^{-1} X'Y \quad (8.2)$$

Denklem 8.2'de  $(X'X)^{-1}$  matrisinin minimizasyonu modelin istatistiksel olarak uygunluğu arttıracaktır. İstatistiksel olarak  $(X'X)^{-1}$  ifadesini minimize etmek  $(X'X)$  matrisinin determinantını maksimize etmektir.  $(X'X)$  matrisini maksimize eden deneysel dizayna D-optimal dizayn adı verilmektedir. D ilgili matrisin determinantının ilk harfini ifade etmektedir [Erdoğan, 2007].

Tablo 8.13. Tornalama deneylerinde D-optimal deney tasarımı için belirlenen faktörler ve seviyeler.

	<b>Nümerik Kontrol Faktörü</b>	<b>Birim</b>	<b>Seviye -1</b>	<b>Seviye + 1</b>	-	-	-	-
<b>A</b>	Devir sayısı	dev/dak	355	500	-	-	-	-
<b>B</b>	İlerleme	mm/dev	0.20	0.32	-	-	-	-
<b>C</b>	Talaş derinliği	mm	1.0	1.5	-	-	-	-
	<b>Kategorik Kontrol Faktörü</b>	<b>Birim</b>	<b>Seviye 1</b>	<b>Seviye 2</b>	<b>Seviye 3</b>	<b>Seviye 4</b>	<b>Seviye 5</b>	<b>Seviye 6</b>
<b>D</b>	Kesme SIVISI	-	CMCF	CSSCF	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)

Tablo 8.14. D-optimal deney tasarımı.

Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)	Kesme Sıvısı
1	391.25	0.225	1.375	CCF-II (%8 EP)
2	500.00	0.320	1.500	SCF-II (%8 EP)
3	500.00	0.320	1.000	CMCF
4	355.00	0.200	1.500	CMCF
5	500.00	0.320	1.500	SCF-II (%8 EP)
6	391.25	0.275	1.125	CMCF
7	355.00	0.320	1.500	SCF-II (%12 EP)
8	355.00	0.200	1.000	SCF-II (%8 EP)
9	500.00	0.200	1.000	CCF-II(%12 EP)
10	463.75	0.225	1.125	CCF-II (%8 EP)
11	391.25	0.225	1.375	CCF-II (%8 EP)
12	355.00	0.320	1.000	CSSCF
13	391.25	0.225	1.125	SCF-II (%12 EP)
14	463.75	0.275	1.125	CSSCF
15	355.00	0.320	1.500	CCF-II(%12 EP)
16	355.00	0.200	1.000	SCF-II (%8 EP)
17	500.00	0.200	1.500	CSSCF
18	500.00	0.200	1.000	CCF-II(%12 EP)
19	355.00	0.320	1.500	SCF-II (%12 EP)

### 8.8.3. İlerlemenin Etkisini Belirleme Deneyleri

Her bir kesme sıvısı için ilerlemenin tornalama kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan deneylerde toplam 54 adet boyuna tornalama deneyi yapılmıştır. Her bir kesme sıvısı için 3 farklı ilerleme hızında 3'er kez boyuna tornalama deneyi yürütülmüştür. Devir sayısı ve talaş derinliği sabit alınmıştır. Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü verileri her boyuna tornalama

işleminde, takım aşınmaları ise 3 kez tormalama işlemi gerçekleştirildikten sonra ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan parametreler Tablo 8.15'te gösterilmiştir.

Tablo 8.15. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri için kesme parametreleri.

Kesme Sıvısı	İlerleme (mm/dev)	Devir Sayısı (mm/dak)	Talaş Derinliği (mm)
SCF-II (%8 EP)	0.24, 0.28, 0.32	500	1
SCF-II (%12 EP)			
CCF-II (%8 EP)			
CCF-II (%12 EP)			
CMCF			
CSSCF			

#### 8.8.4. Performans Deneyleri

Performans deneylerinde, her bir kesme sıvısı için sabit deney şartları altında ortalama 0.2 ile 0.6 mm yan kesici kenar aşınması oluşuncaya kadar boyuna tormalama işlemi yapılmıştır (Tablo 8.16). AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, AISI 304L östenitik paslanmaz çelik ve 7075 alüminyum malzeme için performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü verileri her tormalama işleminde, takım aşınmaları ise ilk 4 tormalama işleminden ve ilk 4 işlemde sonra her 4 kez boyuna tormalama işleminden sonra ölçülmüştür.

Tablo 8.16. Performans deneyleri için kesme parametreleri.

Malzeme: AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çelik		
Devir sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)
500	0.20	1.00
Malzeme: AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik		
Devir sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)
500	0.22	1.00

<b>Malzeme: 7075 Alüminyum</b>		
<b>Devir sayısı (dev/dak)</b>	<b>İlerleme (mm/dev)</b>	<b>Talaş Derinliği (mm)</b>
710	0.24	2.00

## 9. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 9.1. Taguchi Deney Tasarımı İle Kesme Sıvılarının Performans Analizi

Kesme sıvılarının performans analizi için, Taguchi deney tasarımında kesme sıvılarının viskozitesi değişken olarak deneysel plana dahil edilmiştir. Her bir kesme sıvısı için deneysel planı tekrarlamak yerine, kesme sıvılarının analize değişken olarak dahil edilmesi zaman ve maliyet açısından ekonomiklik sağlamıştır.

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 kontrol edilemeyen, istenmeyen faktörlerin payını gösterir [Savaşkan ve ark., 2004]. 3 tip S/N oranı vardır.

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

$$S/N = -10 \cdot \log \left( \frac{Y^2}{S} \right) \quad (9.17)$$

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

$$S/N = -10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (9.18)$$

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

$$S/N = -10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (9.19)$$

Y: Y değerlerinin (performans karakteristiklerinin değerlerinin) ortalaması

S: Y değerlerinin standart sapması

n: Y değerlerinin sayısı

Bu üç durumda da amaç S/N oranını maksimize etmektir. Bu oranların maksimize edilmesi, sinyali arttırırken, varyansı azaltmaktadır [Sakarya, 2005].

Bu çalışmada bitkisel esaslı kesme sıvılarının performans analizleri için kesme, ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçüldüğü için, deneylerin analizinde en küçük en iyi yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranı kullanılmıştır. Tablo 9.1'de ölçülen kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ile ölçülen değerlerin S/N oranları verilmiştir.

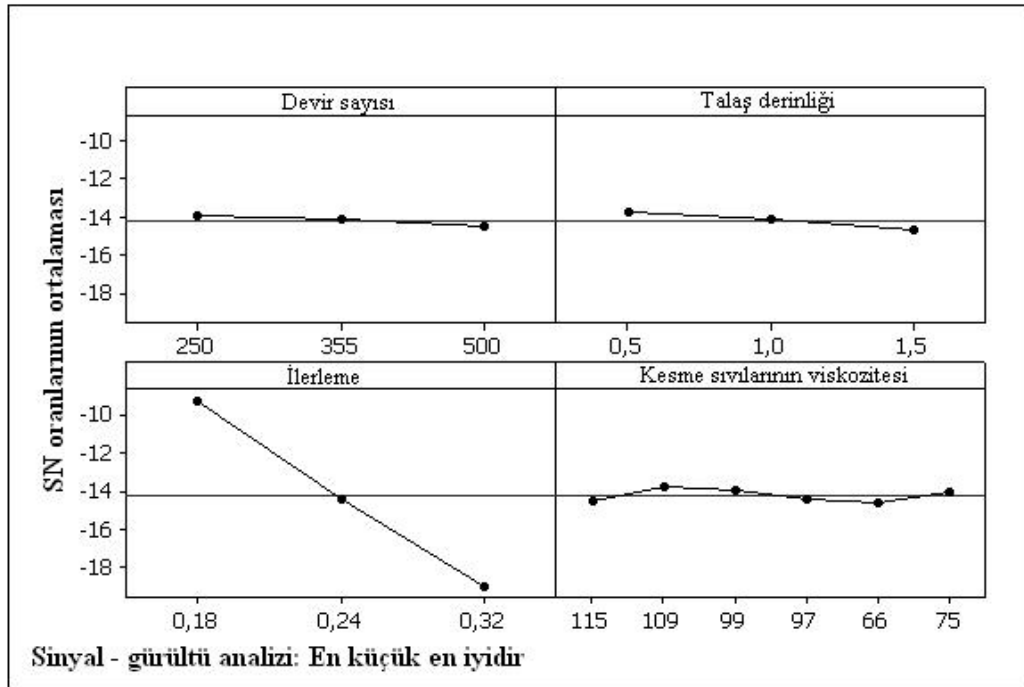
Tablo 9.1. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ve ölçülen değerlerin S/N oranları.

Deney No	R <sub>a</sub> (µm)	F <sub>c</sub> (N)	F <sub>f</sub> (N)	Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranı	Kesme kuvvetleri için S/N oranı	İlerleme kuvvetleri için S/N oranı
1	2.60	242.20	129.22	-8.2995	-47.6835	-42.2266
2	5.22	605.83	325.56	-14.3534	-55.6470	-50.2526
3	9.35	1074.11	492.93	-19.4162	-60.6210	-53.8557
4	3.09	508.89	313.38	-9.7992	-54.1325	-49.9214
5	5.63	905.14	498.01	-15.0102	-59.1343	-53.9448
6	8.78	360.48	119.60	-18.8699	-51.1376	-41.5546
7	4.87	265.34	115.71	-13.7506	-48.4761	-41.2674
8	8.82	721.09	317.66	-18.9094	-57.1598	-50.0393
9	3.39	654.06	394.59	-10.6040	-56.3124	-51.9229
10	9.48	1029.06	524.53	-19.5362	-60.2488	-54.3954
11	2.56	269.22	136.44	-8.1648	-48.6021	-42.6988
12	5.16	614.24	297.90	-14.2530	-55.7668	-49.4814
13	5.40	857.76	501.58	-14.6479	-58.6673	-54.0068
14	9.33	408.54	150.95	-19.3976	-52.2247	-43.5767
15	2.99	497.07	275.37	-9.5134	-53.9284	-48.7983
16	7.73	675.87	282.87	-17.7636	-56.5973	-49.0317

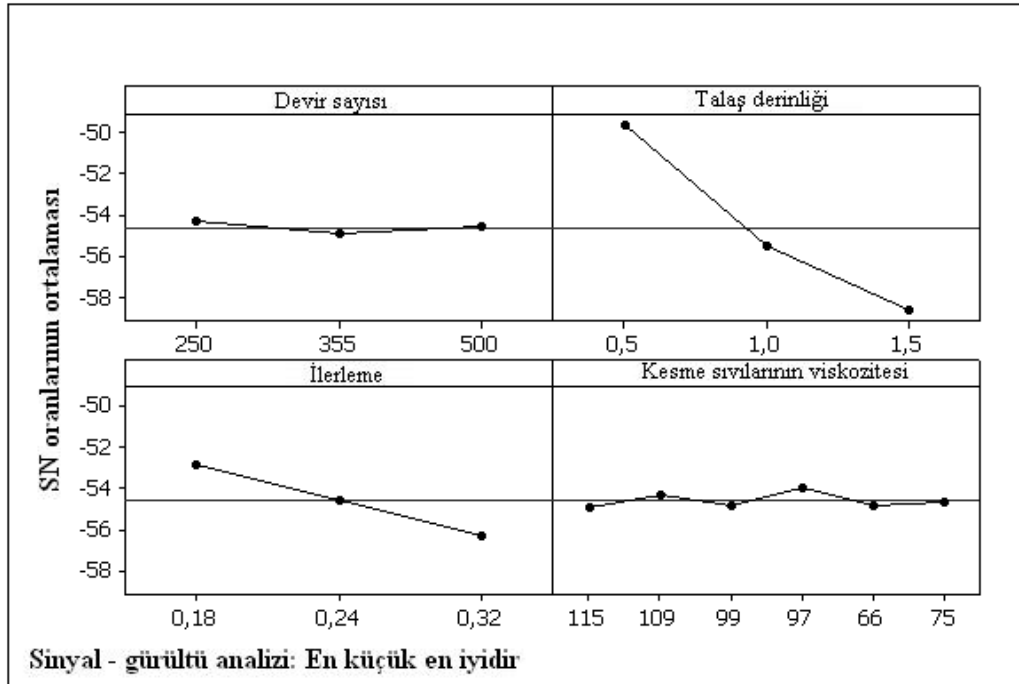


17	2.84	681.54	406.50	-9.0664	-56.6698	-52.1812
18	5.20	310.03	119.50	-14.3201	-49.8281	-41.5474

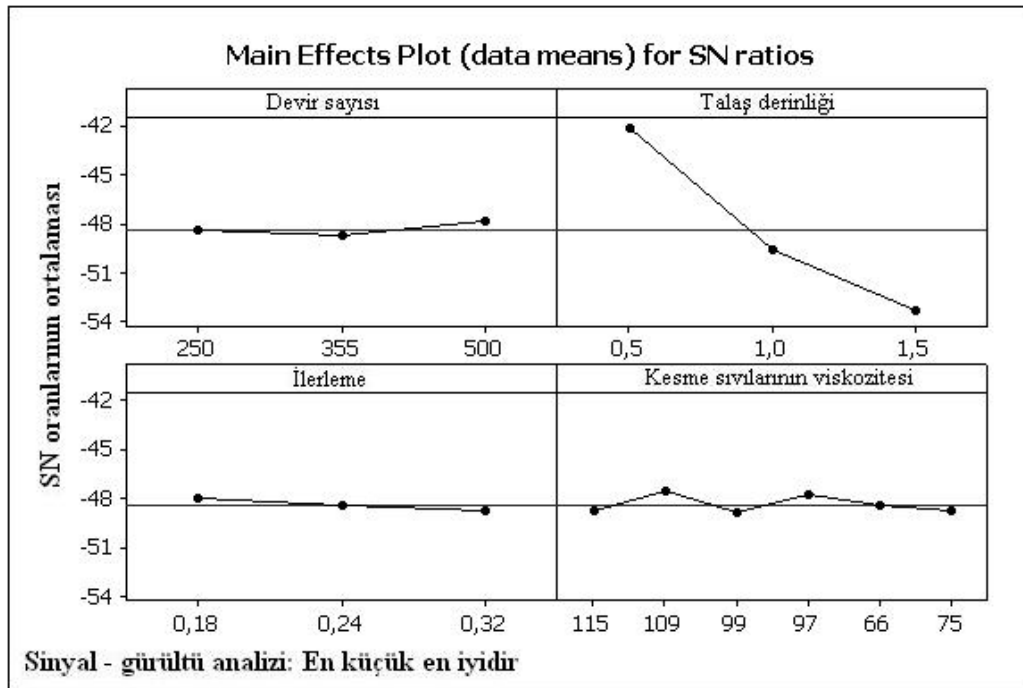
Şekil 9.1-9.3 tornalama da kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, kesme ve ilerleme kuvveti üzerindeki etkisini göstermektedir. Her faktör için hesaplanan S/N oranının en yüksek olduğu değer, en iyi deney sonucunu (kuvvetlerin ve yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu deney sonucunu) göstermektedir. Kesme parametrelerinin eğimlerinden de hangi parametrenin kesme, ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğunu analiz edebiliriz. Grafikteki eğimi fazla olan parametre, çıkış parametresi üzerinde daha fazla etkiye sahiptir. Şekil 9.1'e göre 109 mm<sup>2</sup>/sn viskozite değerine sahip CCF-II (%12 EP) bitkisel esaslı kesme sıvısı yüzey pürüzlülüğü üstüne diğer kesme sıvılarından ve devir sayısından daha fazla etkiye sahiptir. Şekil 9.2'e göre 97 mm<sup>2</sup>/sn viskozite değerine sahip SCF-II (%12 EP) bitkisel esaslı kesme sıvısı kesme kuvvetleri üstüne diğer kesme sıvılarından ve devir sayısından daha fazla etkiye sahiptir.



Şekil 9.1. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin S/N oranları.



Şekil 9.2. Ölçülen kesme kuvveti değerlerinin S/N oranları.



Şekil 9.3. Ölçülen ilerleme kuvveti değerlerinin S/N oranları.

Şekil 9.3'e göre 109 mm<sup>2</sup>/sn viskozite değerine sahip CCF-II (%12 EP) bitkisel esaslı kesme sıvısı ilerleme kuvveti üstüne diğer kesme sıvılarından, ilerleme hızı ve devir sayısından daha fazla etkiye sahiptir.

### 9.1.1. Taguchi Deneylerinde Elde Edilen Sonuçlar İçin 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].

Taguchi deney tasarımına bağlı olarak yapılan boyuna tornalama deneylerinde ölçülen kesme, ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tabloları Minitab 15 yazılımı yardımıyla hazırlanmıştır ve Tablo 9.2'den Tablo 9.4'e kadar bu sonuçlar gösterilmiştir. Tablolarda P değeri, o parametrenin deney sonuçlarına katkısının tüm parametreler içerisindeki oranını yüzde olarak göstermektedir. Tablolarda ki küçük p değeri ise hangi parametrenin fiziki ve istatistiki öneme sahip olduğu belirtmektedir. %95 güvenilirlik seviyesinde p değerinin 0.05 değerine eşit ve küçük olması, ilgili parametrenin imalat sistemi içinde fiziki ve istatistiki öneme sahip olduğunu belirtir.

Tablo 9.2'de görüldüğü gibi devir sayısı, talaş derinliği, ilerleme ve kesme sıvısı; AISI 304L malzemesinin tornalamasında yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla %0.23, %0.84, %97.40 ve %0.69 etkilemektedir. İlerleme için hesaplanan p değeri 0.05'den küçük çıktığı için ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur. Tablo 9.2'ye göre akış viskozitesi yüzey pürüzlülüğü üstüne devir sayısından daha fazla etkiye sahiptir.

Tablo 9.2. Yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri (%)	p
Devir Sayısı	2	0.257	0.128	0.82	0.23	0.495
Talaş Derinliği	2	0.953	0.477	3.03	0.84	0.124
İlerleme	2	109.898	54.949	349.73	97.40	0.000
Akışkan viskozitesi	5	0.775	0.155	0.99	0.69	0.500
Hata	6	0.943	0.157		0.84	
Toplam	17	112.825			100.00	

Tablo 9.3'te görüldüğü gibi devir sayısı, talaş derinliği, ilerleme ve kesme sıvısı; AISI 304L malzemesinin tornalamasında kesme kuvvetini sırasıyla %0.06, %81.61, %14.60 ve %2.04 etkilemektedir. İlerleme ve talaş derinliği için hesaplanan p değeri 0.05'den küçük çıktığı için ilerlemenin ve talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur. Tablo 9.3'e göre akış vizkozitesi kesme kuvvetleri üstüne devir sayısından daha fazla etkiye sahiptir.

Tablo 9.3. Kesme kuvveti değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri (%)	p
Devir Sayısı	2	642	321	0.10	0.06	0.906
Talaş Derinliği	2	933885	466943	145.63	81.61	0.000
İlerleme	2	167129	83564	26.06	14.60	0.001
Akışkan viskozitesi	5	23402	4680	1.46	2.04	0.326
Hata	6	19238	3026		1.69	
Toplam	17	1144295			100.00	

Tablo 9.4'te görüldüğü gibi devir sayısı, talaş derinliği, ilerleme ve kesme sıvısı; AISI 304L malzemesinin tornalamasında ilerleme kuvvetini sırasıyla %0.71, %95.11, %1.45 ve %1.90 etkilemektedir. İlerleme ve talaş derinliği için hesaplanan p değeri 0.05'den küçük çıktığı için ilerlemenin ve talaş derinliğinin ilerleme kuvveti üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur. Tablo 9.4'e göre akış vizkozitesi ilerleme kuvvetleri üstüne devir sayısından ve ilerleme hızından daha fazla etkiye sahiptir.

Tablo 9.4. İlerleme kuvveti değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri (%)	p
Devir Sayısı	2	2630	1315	2.69	0.71	0.147
Talaş Derinliği	2	349124	174562	356.40	95.11	0.000
İlerleme	2	5352	2676	5.46	1.45	0.045
Akışkan viskozitesi	5	6991	1398	2.85	1.90	0.117
Hata	6	2939	490		0.83	
Toplam	17	367037			100.00	

### 9.1.2. Taguchi Deneylerinde Elde Edilen Sonuçlar İçin 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. Verilen noktaları temsil eden en iyi eğriyi bulma işleminde genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılır. En küçük kareler yöntemi, hataların kareleri toplamı minimum olacak şekilde bir eğri denklemini bulma esasına dayanmaktadır [Demirayak, 2006].

Bütün kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü denklemlerinin geliştirilmesinde kesme parametrelerinin etkilerini içeren birinci dereceden denklemler oluşturulmuştur. Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü; devir sayısının, ilerlemenin ve talaş derinliğinin lineer bir kombinasyonu olduğu düşünülürse, kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü veren denklemler aşağıdaki gibi olacaktır:

$$Ra = a_0 + a_1n + a_2f + a_3a_p + a_4\eta + \varepsilon \quad (9.1)$$

$$F_c = a_0 + a_1n + a_2f + a_3a_p + a_4\eta + \varepsilon \quad (9.2)$$

$$F_f = a_0 + a_1n + a_2f + a_3a_p + a_4\eta + \varepsilon \quad (9.3)$$

Bu denklemlerde  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  ve  $a_4$  katsayılarıdır,  $\varepsilon$  ise hatadır ve Minitab 15 yazılımı yardımıyla bulunmuştur.

Yüzey pürüzlülüğü için regresyon denklemi:

$$R_a = -6.05 + 0.0011 * n + 0.458 * a_p + 43 * f + 0.0028 * \eta \quad (9.4)$$

$$R\text{-Sq} = 98.0\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 97.4\%$$

Kesme kuvveti için regresyon denklemi:

$$F_c = -447 - 0,049 * n + 558 * a_p + 1675 * f + 0.942 * \eta \quad (9.5)$$

$$R\text{-Sq} = 96.5\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 95.4\%$$

İlerleme kuvveti için regresyon denklemi:

$$F_f = -102 - 0,114 * n + 341 * a_p + 266 * f - 0.404 * \eta \quad (9.6)$$

$$R\text{-Sq} = 97.2\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 96.3\%$$

Denklemlerde  $R_a$  yüzey pürüzlülüğünü,  $F_c$  kesme kuvvetini,  $F_f$  ilerleme kuvvetini,  $n$  devir sayısını,  $f$  ilerlemeyi,  $a_p$  talaş derinliğini,  $\eta$  kesme sıvısı viskozitesini ifade etmektedir. Çoklu regresyon analizinde, regresyon katsayısı  $R^2$  (R-Sq)'nin 0.80'den büyük olması modelin tatmin edici olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada geliştirilen matematiksel modellerin tamamı tatmin edicidir ve kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü verilerini açıklamada yeterlidir.

### 9.1.3. Taguchi Analizi İçin Optimizasyon

Her faktör için hesaplanan S/N oranının en yüksek olduğu değer, en iyi deney sonucunu (kuvvetin ve yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu deney sonucunu) göstermektedir. S/N oranları kullanılarak her bir kesme sıvısı için belirlenen optimum noktadaki kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü hesaplanabilir. Elde edilen optimum kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü sonuçları Tablo 9.5'te gösterilmektedir.

Tablo 9.5. Optimum seviyeler.

Parametre	Kesme Sıvısı	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)	Optimum S/N Oranı (dB)	Optimum Değer
$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	CCF-II (%12 EP)	250	0.18	0.5	-8.96008	2.75
$F_c$ (N)	SCF-II (%12 EP)	250	0.18	0.5	-47.91400	238.74
$F_f$ (N)	CCF-II (%12 EP)	500	0.18	0.5	-41.32000	97.74

AISI 304L östenitik çelik malzemenin boyuna tormalanmasında, yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 250 dev/dak (1. Seviye) devir sayısı, 0.18 mm/dev ilerleme (1. Seviye), 0.5 mm talaş derinliği (1. Seviye) ve CCF-II (%12 EP) kesme sıvısı (2. Seviye) olmaktadır (Bkz. Şekil 9.1). Bu optimum noktada oluşması beklenen S/N oranı -8.96008, beklenen yüzey pürüzlülüğü değeri 2.75  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur.

AISI 304L östenitik çelik malzemenin boyuna tormalanmasında, kesme kuvveti için optimum nokta 250 dev/dak (1. Seviye) devir sayısı, 0.18 mm/dev ilerleme (1. Seviye), 0.5 mm talaş derinliği (1. Seviye) ve SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı (4.

Seviye) olmaktadır (Bkz. Şekil 9.2). Bu optimum noktada oluşması beklenen S/N oranı -47.9140, beklenen kesme kuvveti değeri 238.74 N olarak bulunmuştur.

AISI 304L östenitik çelik malzemenin boyuna tornalanmasında, ilerleme kuvveti için optimum nokta 500 dev/dak (3. Seviye) devir sayısı, 0.18 mm/dev ilerleme (1. Seviye), 0.5 mm talaş derinliği (1. Seviye) ve CCF-II (%12 EP) kesme sıvısı (2. Seviye) olmaktadır (Bkz. Şekil 9.3). Bu optimum noktada oluşması beklenen S/N oranı -41.32, beklenen ilerleme kuvveti değeri 97.74 N olarak bulunmuştur.

### 9.1.4. Taguchi Analizi ve Regresyon Denklemleri İçin Güvenilirlik Testi

Güvenilirlik testleri Taguchi deney tasarımında elde edilen optimum noktalar ve rastgele noktalar için ve regresyon analizi için uygulanmıştır. Güvenilirlik deneylerinin sonuçları Tablo 9.6’da görülmektedir. Regresyon değerleri Denklem 9.4 - 9.6’den hesaplanmıştır.

Tablo 9.6. Güvenilirlik deneyleri.

Test	Nokta	Taguchi metodu için			Regresyon denklemleri için		
		Yüzey pürüzlülüğü (µm)			Yüzey pürüzlülüğü (µm)		
		DeneySEL	Hesaplanmış	Hata (%)	DeneySEL	Hesaplanmış	Hata (%)
1g	Optimum A1 B1 C1 D2	2.62	2.75	4.86	2.62	2.50	4.44
2g	Rastgele A3 B3 C1 D5	3.38	3.57	5.26	3.38	3.11	7.82
3g	Rastgele A2 B2 C3 D1	8.81	8.79	1.00	8.81	8.88	0.83
	Nokta	Kesme kuvvetleri (N)			Kesme kuvvetleri (N)		
		DeneySEL	Hesaplanmış	Hata (%)	DeneySEL	Hesaplanmış	Hata (%)
4g	Optimum A1 B1 C1 D4	255.50	238.74	6.55	255.50	212.62	16.78
5g	Rastgele A3 B1 C2 D3	310.03	254.10	18.03	310.03	302.75	2.34
6g	Rastgele A2 B3 C3 D4	850.09	1034.46	17.82	850.09	999.97	14.98



	Nokta	İlerleme kuvvetleri (N)			İlerleme kuvvetleri (N)		
		Deneysel	Hesaplanmış	Hata (%)	Deneysel	Hesaplanmış	Hata (%)
7g	Optimum A3 B1 C1 D2	118.58	97.74	17.58	118.58	103.24	12.93
8g	Rastgele A3 B1 C2 D3	118.42	97.19	17.92	118.42	115.16	2.75
9g	Rastgele A2 B3 C3 D4	522.46	509.54	2.53	522.46	493.21	5.59

Tablo 9.6’da deneysel verilerle tahmini ve hesaplanmış verilerin birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Güvenilir istatistiksel analizler için hata oranları %20’den düşük olmalıdır. Elde ettiğimiz değerler güven aralığında kaldığı için deneysel çalışma kabul edilebilir düzeydedir sonucuna ulaşabiliriz.

## 9.2. D-optimal Deney Tasarımı İle Kesme Sıvılarının Performans Analizi

Kesme sıvılarının performans analizi için, D-optimal deney tasarımında kesme sıvıları kategorik değişken olarak deneysel plana dahil edilmiştir. Her bir kesme sıvısı için deneysel planı tekrarlamak yerine, kesme sıvılarının analize değişken olarak dahil edilmesi zaman ve maliyet açısından ekonomiklik sağlamıştır.

Bu çalışmada kesme kuvvetleri, ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş, Tablo 9.7’de ölçülen kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Tablo 9.7. D-optimal deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Deney No	R <sub>a</sub> (µm)	F <sub>c</sub> (N)	F <sub>f</sub> (N)
1	5,1703	860,19	453,88
2	8,9416	1192,78	522,31
3	9,8033	837,89	342,85
4	3,9488	866,33	481,91
5	8,8420	1190,56	512,22

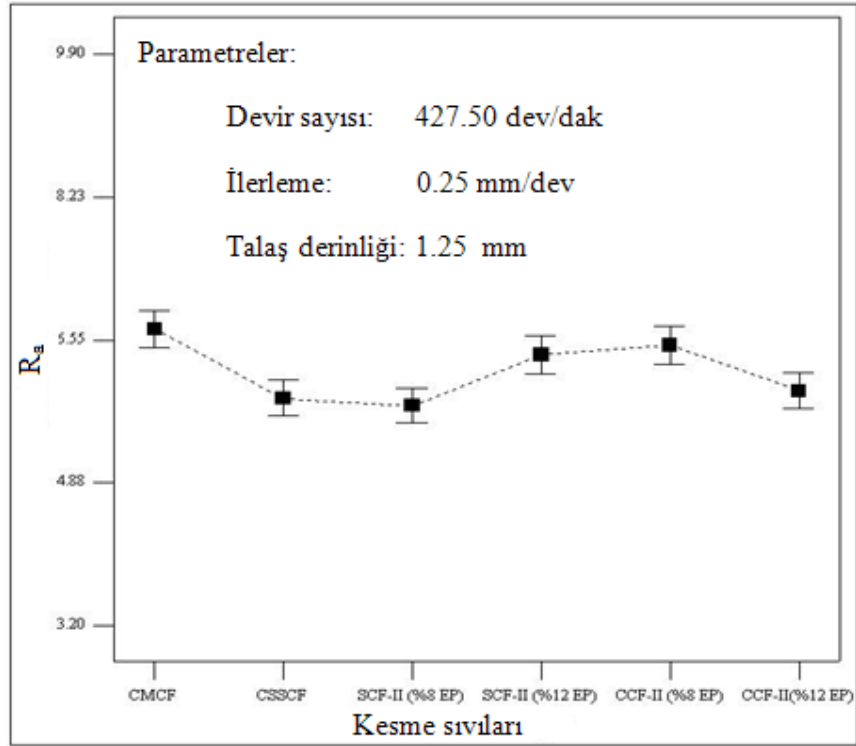
6	7,5958	824,04	384,14
7	8,5854	1084,30	541,80
8	3,3866	596,60	292,84
9	3,5866	564,29	297,26
10	5,1928	715,22	358,92
11	5,1703	860,19	453,88
12	8,6866	583,92	316,38
13	5,3517	727,04	379,67
14	6,9527	766,05	360,69
15	8,3751	1084,58	536,78
16	3,2213	585,40	290,12
17	3,3366	838,38	330,52
18	3,5866	564,29	297,26
19	8,5854	1084,30	541,80

Şekil 9.4-9.6, D-optimal deney tasarımından elde edilen sonuçlara göre tormalama da kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğü, kesme ve ilerleme kuvvetleri açısından kıyaslamalı performansını göstermektedir.

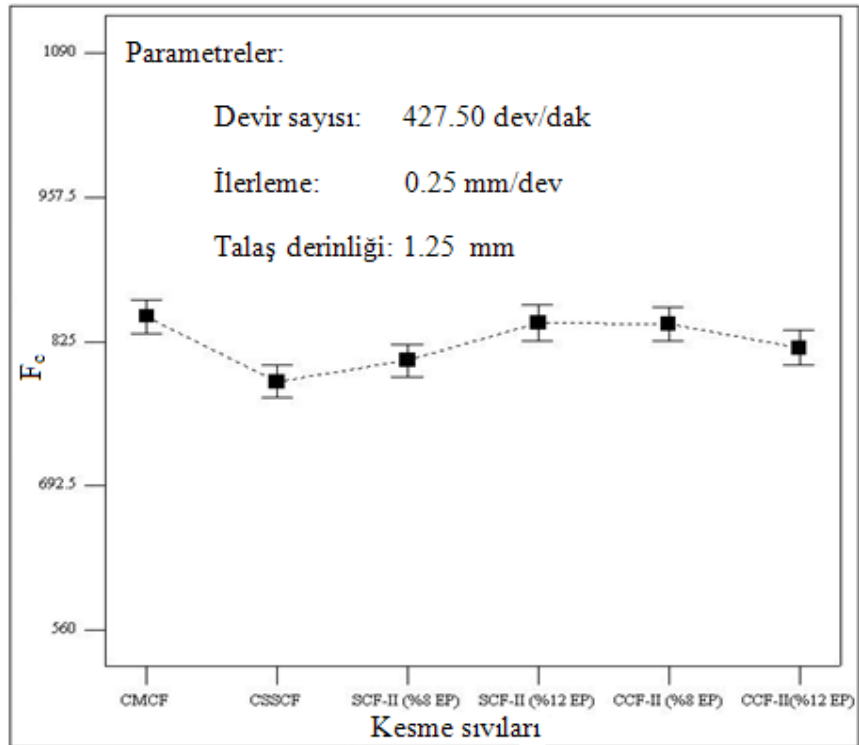
Tablo 9.8’de bitkisel esaslı kesme sıvılarının referans olarak kullanılan ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından performans oranları görülmektedir. Yeni geliştirilmiş EP katkılı bitkisel esaslı kesme sıvıları ticari mineral kesme sıvısına oranla yüzey kalitesinde % 2 ile % 14 arasında artış sağlamışlardır. Ticari yarı sentetik kesme sıvısı ise, % 8 EP katkılı bitkisel esaslı kesme sıvısı hariç, yeni geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarına oranla yüzey pürüzlülüğü açısından %1 ile %11 arasında daha yüksek performans göstermiştir.

Table 9.8. Yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Kesme sıvıları	SCF-II (8% EP)	SCF-II (12% EP)	CCF-II (8% EP)	CCF-II (12% EP)
CMCF’ye göre (%)	13.73	4.5	2.90	11.00
CSSCF’ye göre (%)	1.56	-8.90	-10.79	-1.55



Şekil 9.4. Yüzey pürüzlülüğü açısından kesme sıvılarının performansı



Şekil 9.5. Kesme kuvvetleri açısından kesme sıvılarının performansı.

Tablo 9.9’da bitkisel esaslı kesme sıvılarının referans olarak kullanılan ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre kesme kuvvetlerini düşürme açısından performans oranları görülmektedir.

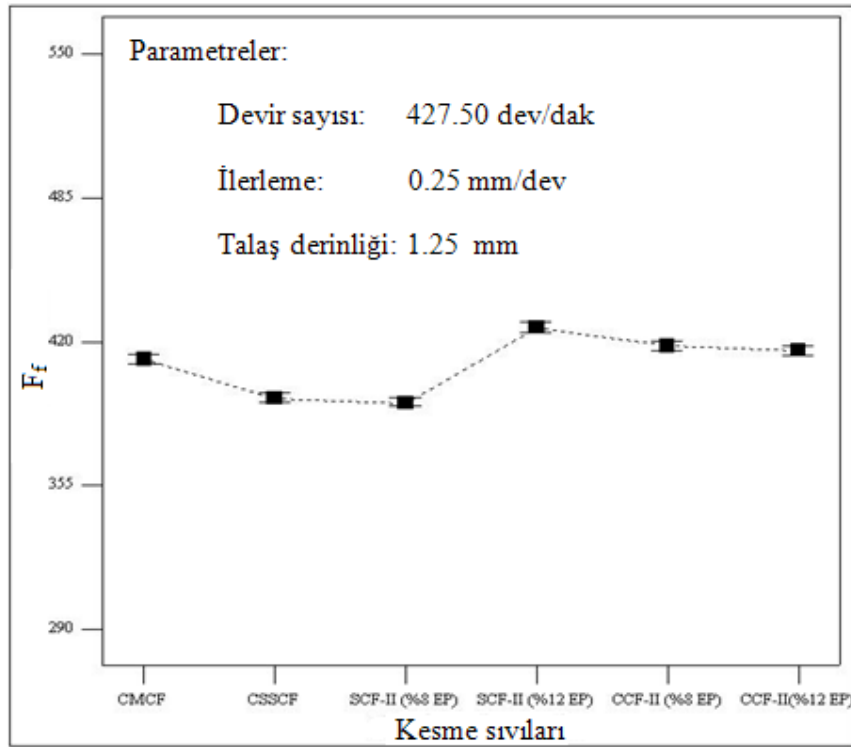
Table 9.9. Kesme kuvvetlerini düşürme açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Kesme sıvıları	SCF-II (8% EP)	SCF-II (12% EP)	CCF-II (8% EP)	CCF-II (12% EP)
CMCF’ye göre(%)	4.75	0.67	0.83	3.39
CSSCF’ye göre (%)	-2.52	-6.92	-6.75	-3.99

Tablo 9.10’da bitkisel esaslı kesme sıvılarının referans olarak kullanılan ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre ilerleme kuvvetlerini düşürme açısından performans oranları görülmektedir.

Table 9.10. İlerleme kuvvetlerini düşürme açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Kesme sıvıları	SCF-II (8% EP)	SCF-II (12% EP)	CCF-II (8% EP)	CCF-II (12% EP)
CMCF’ye göre (%)	4.78	-3.48	-1.46	-0.98
CSSCF’ye göre (%)	0.52	-8.12	-6.01	-5.51



Şekil 9.6. İlerleme kuvvetleri açısından kesme sıvılarının performansı.

### 9.2.1. D-optimal DeneYlerinde Elde Edilen Sonuçlar İçin Regresyon Analizi

Her bir kesme sıvısı için kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü denklemlerinin geliştirilmesinde kesme parametrelerinin etkilerini içeren birinci dereceden denklemler oluşturulmuştur. Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü; devir sayısının, ilerlemenin ve talaş derinliğinin lineer bir kombinasyonu olduğu düşünülürse, kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü veren denklemler aşağıdaki gibi olacaktır:

$$Ft = a_0 + a_1n + a_2f + a_3d + \varepsilon \quad (9.7)$$

$$Ra = a_0 + a_1n + a_2f + a_3d + \varepsilon \quad (9.8)$$

Bu denklemlerde  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  katsayılarıdır,  $\varepsilon$  ise hatadır ve Minitab 15 yazılımı yardımıyla bulunmuştur. Her bir kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü, kesme ve ilerleme kuvvetlerini veren regresyon denklemlerinin katsayıları Tablo 9.11-9.13’da verilmiştir.

Tablo 9.11. Yüzey pürüzlülüğü için her bir kesme sıvısına göre regresyon katsayıları

Kesme sıvısı	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
SCF-II (%8 EP)	-6.61875	+1.06189*10 <sup>-3</sup>	+50.84704	-0.61908
SCF-II (%12 EP)	-6.01302	+1.06189*10 <sup>-3</sup>	+50.84704	-0.61908
CCF-II (%8 EP)	-5.90334	+1.06189*10 <sup>-3</sup>	+50.84704	-0.61908
CCF-II (%12 EP)	-6.43807	+1.06189*10 <sup>-3</sup>	+50.84704	-0.61908
CSSCF	-6.52805	+1.06189*10 <sup>-3</sup>	+50.84704	-0.61908
CMCF	-5.71173	+1.06189*10 <sup>-3</sup>	+50.84704	-0.61908

Tablo 9.12. Kesme kuvvetleri için her bir kesme sıvısına göre regresyon katsayıları

Kesme sıvısı	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
SCF-II (%8 EP)	-397.56119	-0.022811	+2096.85276	+552.63342
SCF-II (%12 EP)	-362.91820	-0.022811	+2096.85276	+552.63342
CCF-II (%8 EP)	-364.26390	-0.022811	+2096.85276	+552.63342
CCF-II (%12 EP)	-385.98159	-0.022811	+2096.85276	+552.63342
CSSCF	-417.45227	-0.022811	+2096.85276	+552.63342
CMCF	-357.22254	-0.022811	+2096.85276	+552.63342

Tablo 9.13. İlerleme kuvvetleri için her bir kesme sıvısına göre regresyon katsayıları

<b>Kesme sıvısı</b>	<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>
SCF-II (%8 EP)	-106.47219	-0.11062	+463.92768	+344.11764
SCF-II (%12 EP)	-72.37662	-0.11062	+463.92768	+344.11764
CCF-II (%8 EP)	-80.68560	-0.11062	+463.92768	+344.11764
CCF-II (%12 EP)	-82.65584	-0.11062	+463.92768	+344.11764
CSSCF	-104.41864	-0.11062	+463.92768	+344.11764
CMCF	-86.73506	-0.11062	+463.92768	+344.11764

### 9.2.2. D-optimal Analizi İçin Optimizasyon

D-optimal metodu cevap yüzey metodu (RSM) temelli bir sistem olduğu için optimizasyon yöntemi olarak en dik iniş (steepest descent) ve en dik çıkış (steepest ascent) metodunu kullanmaktadır. Maksimizasyon için en dik çıkış yöntemi ile, minimizasyon için en dik iniş yöntemi (steepest descent) ile sistemi optimize etmektedir. En dik iniş yöntemi ve en dik çıkış yöntemi, deney sonuçlarına göre elde edilen regresyon katsayılarının oranlanmasıyla optimum noktaya adım adım ilerleyen optimizasyon metodlarıdır. Elde edilen deneysel sonuçlar tekrarlanmaya başladığı veya çok yakın aralıklarla sonuçların elde edilmeye başlandığı nokta optimum parametreleri vermektedir. Yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve ilerleme kuvvetleri için amaç fonksiyonumuz minimizasyonu amaçladığı için en dik iniş yöntemi ile optimum noktalara ulaşılmıştır.

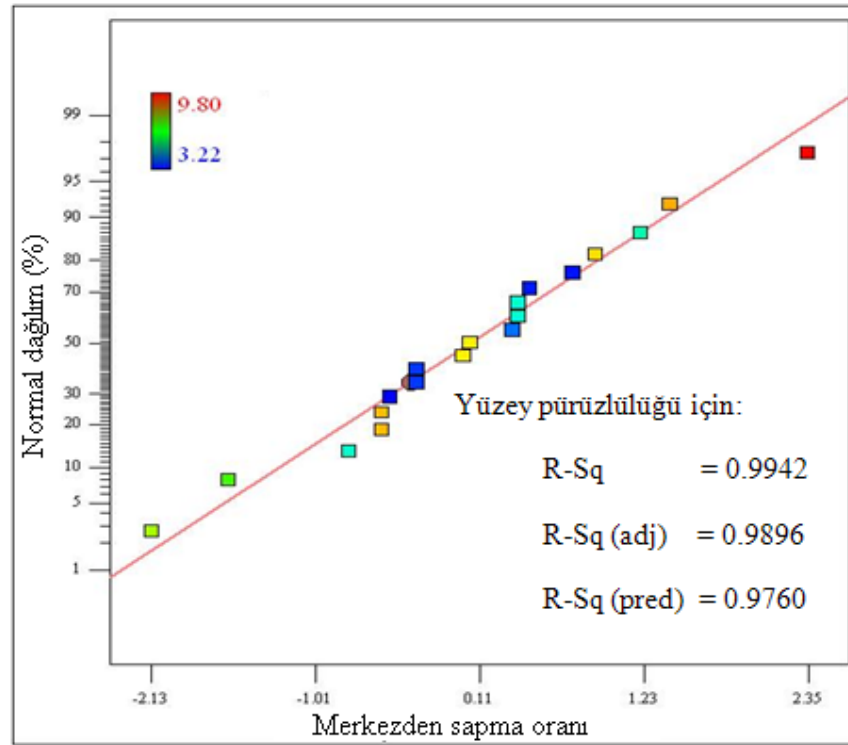
AISI 304L östenitik çelik malzemenin boyuna tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 355 dev/dak devir sayısı, 0.20 mm/dev ilerleme, 1.29 mm talaş derinliği ve SCF-II (%8 EP) kesme sıvısı olmaktadır. Bu optimum noktada oluşması beklenen yüzey pürüzlülüğü değeri 3.19  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur.

AISI 304L östenitik çelik malzemenin boyuna tornalanmasında, kesme kuvveti için optimum nokta 355 dev/dak devir sayısı, 0.21 mm/dev ilerleme, 1.00 mm talaş derinliği ve CSSCF kesme sıvısı olmaktadır. Bu optimum noktada oluşması beklenen kesme kuvveti değeri 561.794 N olarak bulunmuştur.

AISI 304L östenitik çelik malzemenin boyuna tornalanmasında, ilerleme kuvveti için optimum nokta 355 dev/dak devir sayısı, 0.20 mm/dev ilerleme 1.00 mm talaş derinliği ve SCF-II (%8 EP) kesme sıvısı olmaktadır. Bu optimum noktada oluşması beklenen ilerleme kuvveti değeri 291.159 N olarak bulunmuştur.

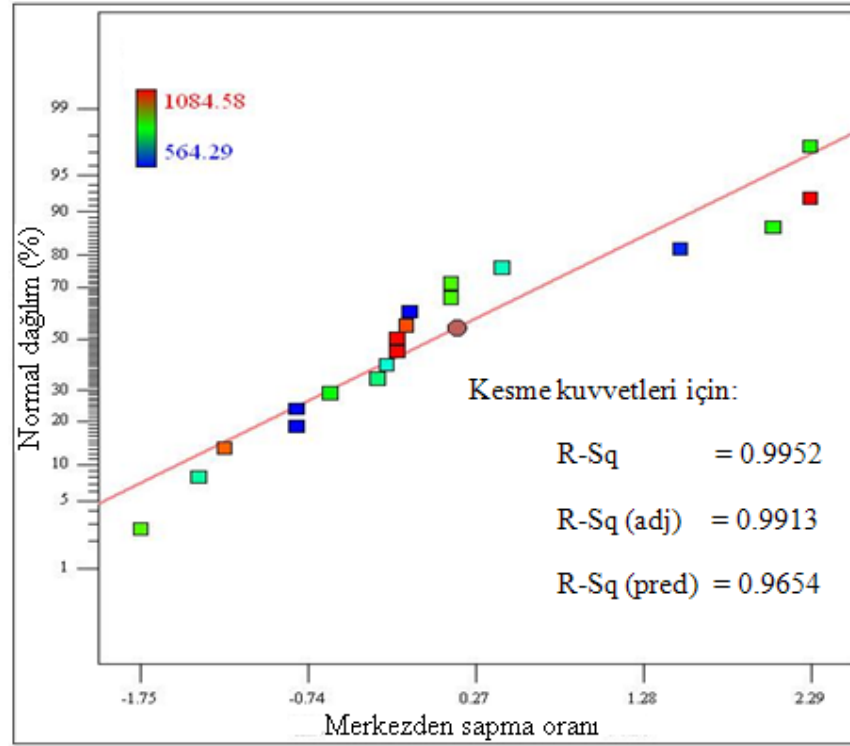
### 9.2.3. D-optimal Analizi İçin Güvenilirlik Testi

D-optimal analizinde elde edilen regresyon denklemleri ve optimum noktalar için güvenilirlik testi normal dağılım eğrisinden faydalanarak yapılmıştır. Elde edilen verilerin normal dağılıma uygun olması sistemin güvenilirliğini belirtmektedir (Şekil 9.7-9.9).

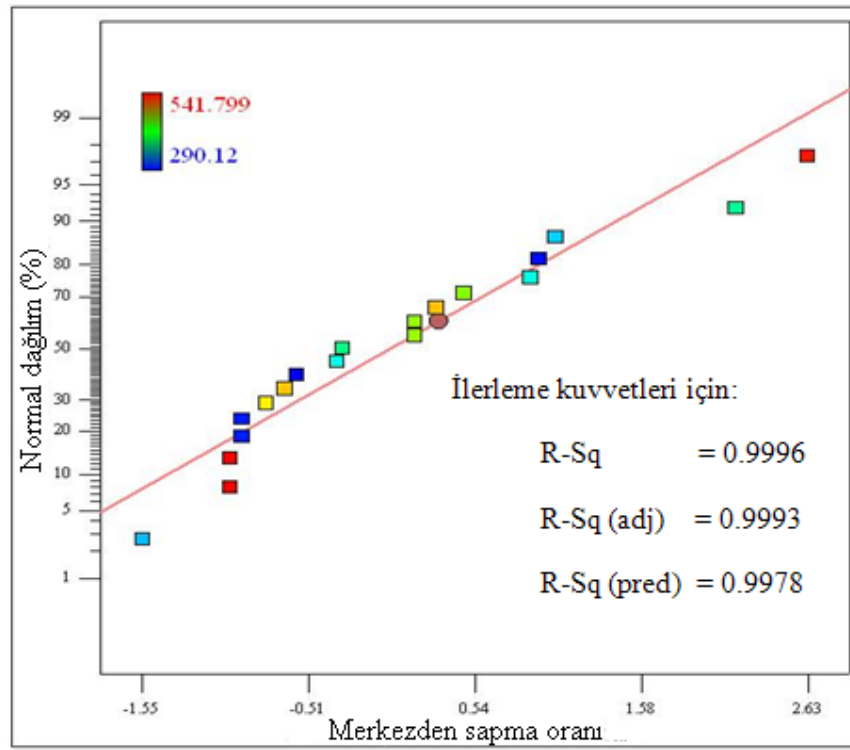


Şekil 9.7. Yüzey pürüzlülüğü için normal dağılım eğrisi

Normal dağılım eğrilerinde normal dağılıma uymayan noktanın bulunmadığı, noktaların merkez çizgi etrafında düzenli dağıldığı, bu sebeple kurulan modelin istatistiki ve fiziki öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan R-Sq değerlerinin de %80'den yüksek olması modelin güvenilirliğini desteklemektedir.



Şekil 9.8. Kesme kuvvetleri için normal dağılım eğrisi



Şekil 9.9. İlerleme kuvvetleri için normal dağılım eğrisi



### **9.3. İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Kuvveti, İlerleme Kuvveti ve Takım Aşınması Üzerindeki Etkisi**

Tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü, tornalama kuvvetleri ve takım aşınması üzerinde ilerleme hızının etkili bir parametre olması sebebiyle, kesme sıvılarının performans analizi için, deneylerde ilerlemenin etkisi incelenmiştir [Xavior and Adithan, 2009; Kuram, 2009].

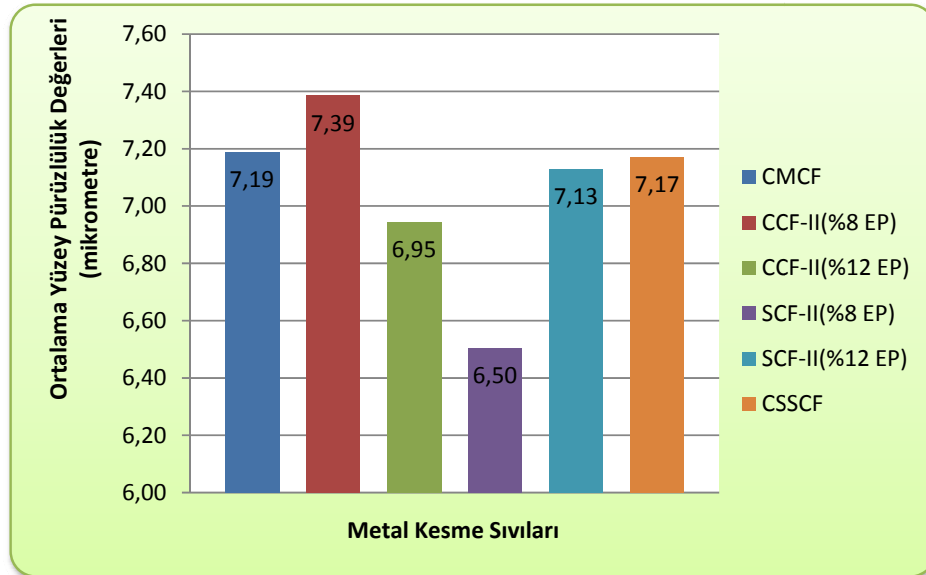
#### **9.3.1. İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi**

Her bir kesme sıvısı ile AISI 304L çeliklerinin tornalanmasında farklı ilerleme hızlarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü ortalama değerleri Tablo 9.14’de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde elde edilen sonuçlara göre %8 EP katkılı çift emülsifiyerli ayçiçeği esaslı bitkisel kesme sıvısı en iyi performansı vermiştir. En düşük performansı ise %8 EP katkılı çift emülsifiyerli kanola esaslı bitkisel kesme sıvısı vermiştir. Hassas yüzey pürüzlülüğü istenilen makine parçalarının talaşlı imalatında kesme sıvıları performanslarına göre şu sırayla kullanılabilirler (Şekil 9.10): SCF-II (%8 EP), CCF-II (%12 EP), SCF-II (%12 EP), CSSCF, CMCF, CCF-II (%8 EP).

Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde değerlerin yüksek, dolayısıyla yüzey kalitesinin düşük çıktığı görülmektedir. Değerlerin yüksek çıkmasının sebebi östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek süneklik özellikleridir. Yüksek süneklik büyük ve kararsız yığıntı talaş [BUE] oluşma eğilimini arttırır. Yığıntı talaş normalde yüzey pürüzlülüğünü arttırıcı etkiye sahiptir. Büyük ve kararsız yığıntı talaş oluşumu ise daha yüksek pürüzlülük değerlerine sebep olmaktadır [Çiftçi, 2005].

Tablo 9.14. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

İlerleme (mm/dev)	Boyuna Tornalama	Ortalama Ra Değerleri ( $\mu\text{m}$ )					
		SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
0.24	1	4,60	4,77	5,61	4,91	5,10	5,22
	2	4,49	4,77	5,64	5,05	5,12	5,30
	3	4,40	4,87	5,70	4,51	4,61	5,21
0.28	1	6,77	7,38	7,02	7,14	6,35	7,30
	2	6,74	7,40	6,60	6,42	5,40	7,15
	3	6,42	7,01	7,11	7,72	5,45	5,97
0.32	1	8,49	9,45	9,06	8,58	8,42	8,94
	2	8,29	9,16	9,85	9,07	8,56	9,76
	3	8,35	9,35	9,89	9,10	15,55	9,84



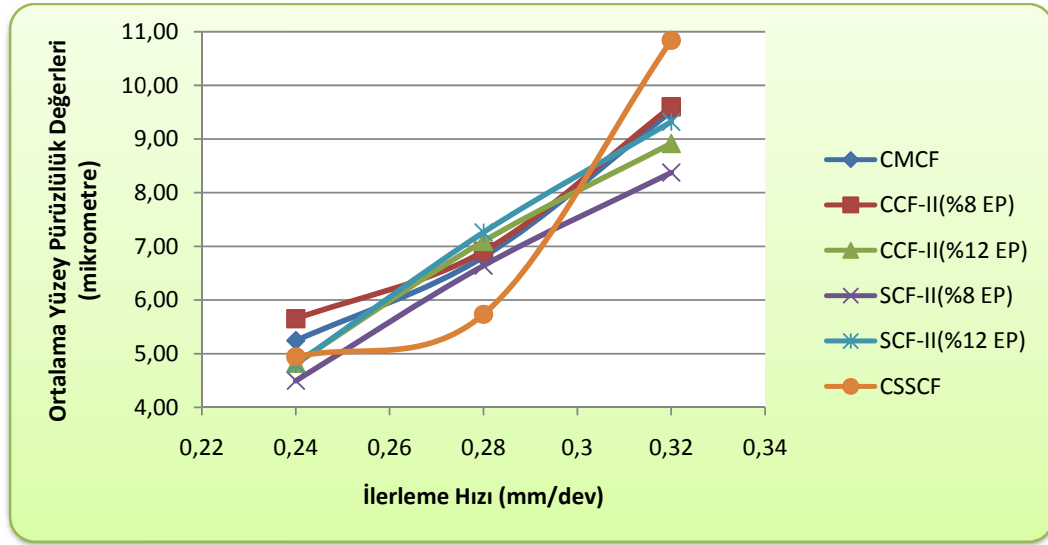
Şekil 9.10. Kesme sıvılarına göre farklı ilerleme hızlarındaki ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Kesme sıvılarının yüzey kalitesi için performansını, kesme sıvılarını birbirlerine göre referans alarak ilerleme hızının artışıyla analiz ettiğimizde 0.24 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8 EP), en düşük performansı CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı, 0.28 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı CSSCF, en düşük performansı SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı, 0.32 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8 EP), en düşük performansı CSSCF kesme sıvısı vermiştir (Şekil 9.11). Bitkisel esaslı kesme sıvılarının her bir ilerleme değeri için, ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre, yüzey pürüzlülüğü açısından performansları Tablo 9.15’de görülmektedir. Tablo 9.15’de ki pozitif değerler bitkisel esaslı kesme sıvılarının yüzey kalitesi açısından referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha iyi olduğunu göstermekte, negatif değerler ise yüzey kalitesi açısından referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha düşük performansı olduğunu göstermektedir. Tablo 9.15’deki verilerde belli bir eğilim gözükmemesinin sebebi, kesme esnasında kesiciye talaşın yapışması sonucu yüzeyin bazı kesme şartlarında kötü çıkması ile açıklanabilir.

Şekil 9.11’de görüldüğü gibi bütün kesme sıvıları ile tornalama esnasında, literatürle uyumlu olarak, ilerleme hızı arttığı zaman yüzey pürüzlülüğü artmaktadır [Xavior and Adithan, 2009; Ozcelik et al, 2009a; Kuram et al, 2010b; Kuram, 2009; Dal, 2009; Vikram and Ramamoorthy, 2007; Mendes et al, 2006; Lin et al, 2001; Gökkaya ve ark, 2004, Kumar and Choudhory, 2008]. İlerleme hızı arttıkça kaldırılan talaş hacminin ve plastik deformasyon oranının artmasıyla talaş kaldırma kuvvetleri de artmaktadır. Bu sebepten dolayı artan titreşimler nedeniyle yüzey kalitesi düşük çıkmaktadır.

Tablo 9.15. Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvıların performansı

Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Performansı	Ticari Minerale Göre (%)			Ticari Yarı Sentetiğe Göre (%)		
	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev
SCF-II (%8 EP)	14.20	2.40	11.90	8.90	-15.88	22.69
SCF-II (%12 EP)	8.30	-6.60	2.00	2.63	-26.70	14.02
CCF-II (%8 EP)	-7.70	-1.40	-0.94	-14.37	-20.50	11.43
CCF-II (%12 EP)	8.00	-4.20	6.20	2.42	-23.73	17.71



Şekil 9.11. Kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğü açısından farklı ilerleme değerleri için performans grafiği.

### 9.3.2. İlerlemenin Tortalama Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi

Tortalama kuvvetleri üç eksen içinde ölçülmüştür. Tortalama işleminde oluşan kuvvetler analiz edilirken oluşan talaş kaldırma kuvveti, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvetin imalat parametreleri (takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, titreşim vb.) üzerinde etkili olması sebebiyle üç kuvvet birimi de analize dâhil edilmiştir.

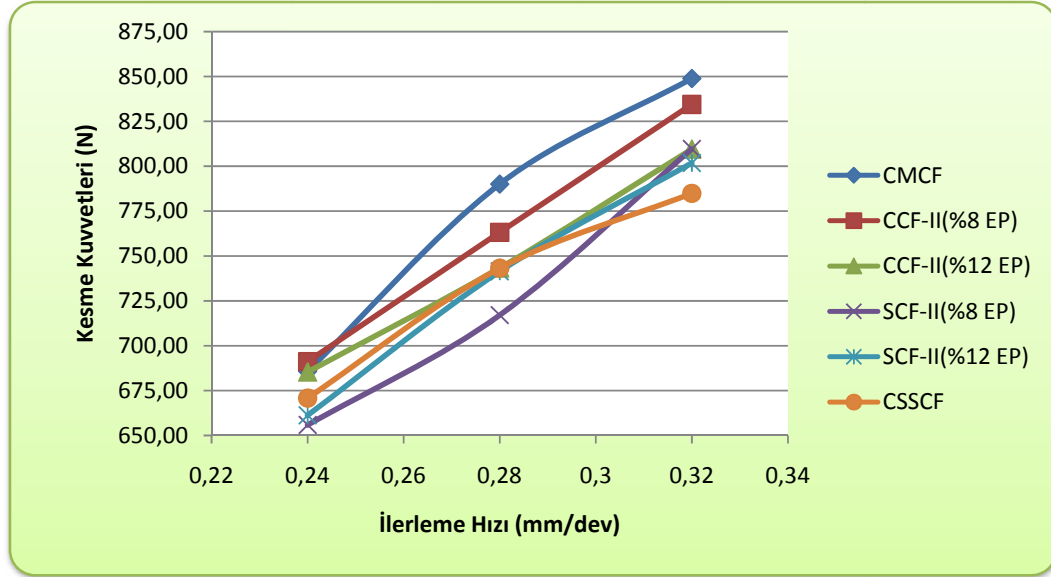
Her bir kesme sıvısı ile AISI 304L çeliklerinin tortalanmasında farklı ilerleme hızlarında elde edilen kesme kuvvetlerinin ortalama değerleri Tablo 9.16'de görülmektedir. Kesme sıvılarının kesme kuvvetleri için performansını, kesme sıvılarını birbirlerine göre referans alarak ilerleme hızının artışıyla analiz ettiğimizde, 0.24 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8 EP), en düşük performansı CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı, 0.28 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8 EP), en düşük performansı CMCF kesme sıvısı, 0.32 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı CSSCF, en düşük performansı CMCF kesme sıvısı vermiştir (Şekil 9.12). Bitkisel esaslı kesme sıvılarının her bir ilerleme değeri için, ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre, kesme kuvvetleri açısından performansları Tablo 9.17'de görülmektedir. Tablo 9.17'de ki pozitif değerler bitkisel esaslı kesme sıvılarının kesme kuvvetlerini düşürme açısından

referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha iyi olduğunu göstermekte, negatif değerler ise kesme kuvvetlerini düşürme açısından referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha düşük performansı olduğunu göstermektedir.

İlerleme hızının değişken olarak alındığı AISI 304L çeliğinin tornalama deneylerinde, farklı kesme sıvılarının kesme kuvvetine etkisi Şekil 9.12’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bütün kesme sıvıları ile tornalama esnasında artan ilerleme hızıyla beraber kesme kuvvetleri de artış göstermiştir. Literatürle uyumlu olarak ilerleme hızı arttıkça kaldırılan talaş hacminin ve plastik deformasyon oranının artmasıyla kesme kuvvetleri de artmaktadır [Kuram et al, 2010a; Kuram et al, 2010b; Kuram, 2009; Dal, 2009; Vikram and Ramamoorthy, 2007; Mendes et al, 2006; Lin et al, 2001; Kumar and Choudhury, 2008].

Tablo 9.16. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama kesme kuvveti değerleri.

İlerleme (mm/dev)	Boyuna Tornalama	Ortalama F <sub>c</sub> Değerleri (N)					
		SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
0.24	1	653,15	648,8	676,36	651,22	643,41	686,98
	2	652,5	665,11	698,18	739,14	655,53	681,97
	3	661,87	669,72	698,88	665,57	713,59	688,35
0.28	1	690,53	728,23	737,65	730,51	715,33	767,54
	2	733,89	737,89	770,1	744,26	760,78	766,32
	3	726,73	758,1	781,64	755,13	753,46	836,25
0.32	1	851,77	816,71	802,32	803,46	789,12	851,03
	2	770,49	794,06	858,99	779,53	792,95	856,53
	3	806,64	794,69	841,93	845,61	772,64	838,97



Şekil 9.12. Kesme sıvılarının kesme kuvveti değerleri için performans grafiği.

Tablo 9.17'ye göre ayçiçeği esaslı kesme sıvısında EP oranının artmasının kesme kuvvetleri üzerinde olumlu etki oluşturmadığı, kanola esaslı kesme sıvısında ise genel olarak daha olumlu sonuç verdiği görülmüştür. Ticari mineral kesme sıvısına göre kesme kuvvetlerini düşürme açısından, 0.24 mm/dev ve 0.28 mm/dev ilerleme hızlarında en iyi performansı SCF-II (%8 EP) kesme sıvısı, 0.32 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı vermiştir. Ticari yarı sentetik kesme sıvısına göre kesme kuvvetlerini düşürme açısından, 0.24 mm/dev ve 0.28 mm/dev ilerleme hızlarında en iyi performansı SCF-II (%8 EP) kesme sıvısı vermiştir. Ticari yarı sentetik kesme sıvısı 0.32 mm/dev ilerleme hızında diğer kesme sıvılarına göre kesme kuvvetlerini düşürme açısından en iyi performansı vermiş, SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı da yarı sentetik kesme sıvısına en yakın performansı göstermiştir. 0.32 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı SCF-II (%8 EP) kesme sıvısından, CCF-II (%12 EP) kesme sıvısı da CCF-II (%8 EP) kesme sıvısından daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 9.17. Referans alınan kesme sıvılarına göre kesme kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Performansı	Ticari Minerale Göre (%)			Ticari Yarı Sentetiğe Göre (%)		
	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev

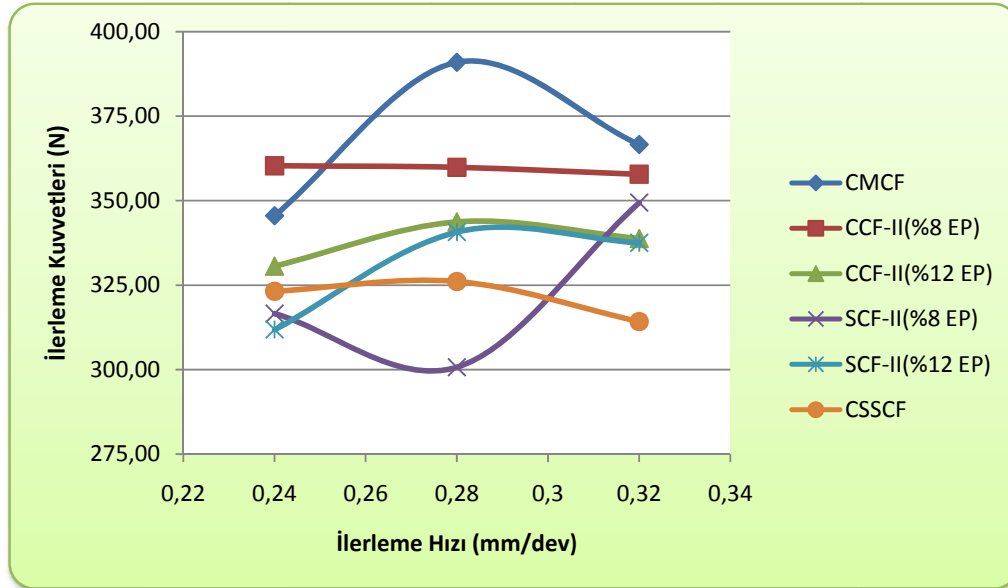
SCF-II (%8 EP)	4.36	9.23	4.61	2.23	3.51	-3.15
SCF-II (%12 EP)	3.58	6.15	5.53	1.43	0.23	-2.15
CCF-II (%8 EP)	-0.78	3.40	1.69	-3.02	-2.68	-6.30
CCF-II (%12 EP)	0.06	5.91	4.63	-2.15	-0.01	-3.13

Her bir kesme sıvısı ile AISI 304L çeliklerinin tornalanmasında farklı ilerleme hızlarında elde edilen ilerleme kuvvetlerinin ortalama değerleri Tablo 9.18’de görülmektedir. Kesme sıvılarının ilerleme kuvvetleri için performansını, kesme sıvılarını birbirlerine göre referans olarak ilerleme hızının artışıyla analiz ettiğimizde, 0.24 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%12 EP), en düşük performansı CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı, 0.28 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8 EP), en düşük performansı CMCF kesme sıvısı, 0.32 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı CSSCF, en düşük performansı CMCF kesme sıvısı vermiştir (Şekil 9.13). Bitkisel esaslı kesme sıvılarının her bir ilerleme değeri için, ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre, ilerleme kuvvetleri açısından performansları Tablo 9.19’da görülmektedir. Tablo 9.19’da ki pozitif değerler bitkisel esaslı kesme sıvılarının ilerleme kuvvetlerini düşürme açısından referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha iyi olduğunu göstermekte, negatif değerler ise ilerleme kuvvetlerini düşürme açısından referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha düşük performansı olduğunu göstermektedir.

Tablo 9.18. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama ilerleme kuvveti değerleri.

İlerleme (mm/dev)	Boyuna Tornalama	Ortalama $F_r$ Değerleri (N)					
		SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
0.24	1	311,26	295,5	343,28	302,19	297,05	343,57
	2	314,09	310,42	368,69	365,53	315,29	343,93
	3	324,39	329,56	368,99	324,11	357,2	349,09
0.28	1	275,57	322,56	337,32	324,58	304,96	356,71
	2	313,11	343,65	360,22	347,24	332,85	369,16
	3	313,48	355,97	382,05	359,34	340,44	446,95

0.32	1	399,38	333,91	339,84	327,07	303,02	364,46
	2	311,67	333,75	369,01	321,49	311,89	370,03
	3	337,24	344,88	364,57	367,84	327,75	365,35



Şekil 9.13. Kesme sıvılarının ilerleme kuvveti değerleri için performans grafiği.

Tablo 9.19'a göre ayçiçeği esaslı kesme sıvısında EP oranının artmasının ilerleme kuvvetleri üzerinde tutarlı bir etki oluşturmadığı, kanola esaslı kesme sıvısında ise genel olarak daha olumlu sonuç verdiği görülmüştür. 0.32 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı SCF-II (%8 EP) kesme sıvısından, CCF-II (%12 EP) kesme sıvısı da CCF-II (%8 EP) kesme sıvısından daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 9.19. Referans alınan kesme sıvılarına göre ilerleme kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvıların performansı

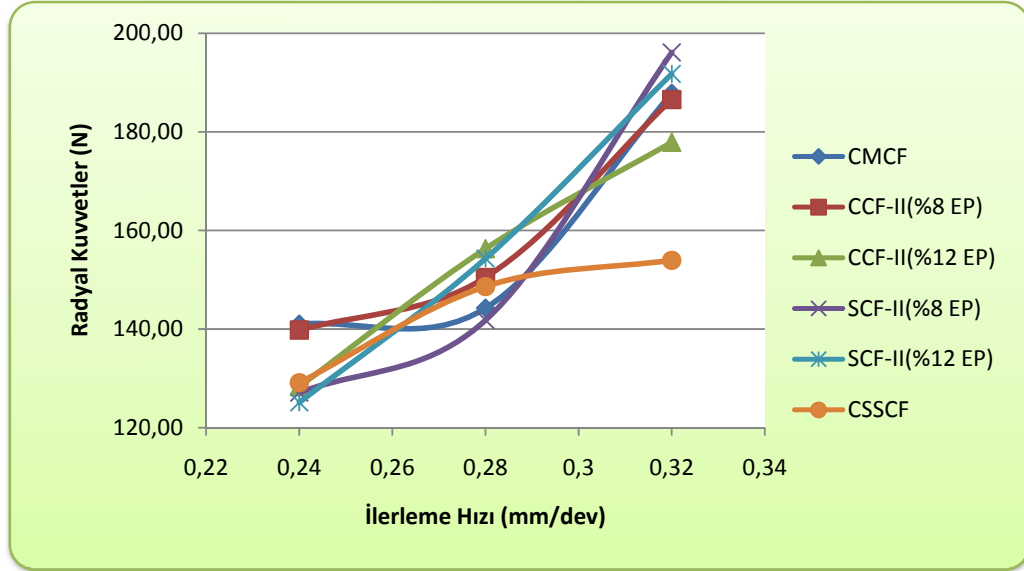
Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Performansı	Ticari Minerale Göre (%)			Ticari Yarı Sentetiğe Göre (%)		
	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev
SCF-II (%8 EP)	8.37	23.07	4.68	2.04	7.77	-11.20
SCF-II (%12 EP)	9.75	12.84	7.93	3.51	-4.49	-7.41
CCF-II (%8 EP)	-4.28	7.94	2.40	-11.49	-10.35	-13.87
CCF-II (%12 EP)	4.31	12.08	7.59	-2.29	-5.40	-7.82



Her bir kesme sıvısı ile AISI 304L çeliklerinin tornalanmasında farklı ilerleme hızlarında elde edilen radyal kuvvetlerinin ortalama değerleri Tablo 9.20’de görülmektedir. Kesme sıvılarının radyal kuvvetler için performansını, kesme sıvılarını birbirlerine göre referans alarak ilerleme hızının artışıyla analiz ettiğimizde, 0.24 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%12 EP), en düşük performansı CMCF kesme sıvısı, 0.28 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8 EP), en düşük performansı CCF-II (%12 EP) kesme sıvısı, 0.32 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı CSSCF, en düşük performansı SCF-II (%8 EP) kesme sıvısı vermiştir (Şekil 9.14). Bitkisel esaslı kesme sıvılarının her bir ilerleme değeri için, ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre, radyal kuvvetler açısından performansları Tablo 9.21’de görülmektedir. Tablo 9.21’de ki pozitif değerler bitkisel esaslı kesme sıvılarının radyal kuvvetleri düşürme açısından referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha iyi olduğunu göstermekte, negatif değerler ise radyal kuvvetleri düşürme açısında referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha düşük performansı olduğunu göstermektedir. İlerleme hızının artmasıyla radyal kuvvetlerde meydana gelen artış, plastik deformasyon oranı ve talaş hacminin artmasıyla açıklanabilir.

Tablo 9.20. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama radyal kuvvet değerleri.

İlerleme (mm/dev)	Boyuna Tornalama	Ortalama $F_r$ Değerleri (N)					
		SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
0.24	1	127,87	117,66	137,91	120,40	122,76	148,82
	2	127,58	123,69	140,67	127,82	127,30	137,78
	3	125,89	134,11	140,82	136,87	137,33	136,47
0.28	1	135,70	146,73	152,35	147,19	151,79	157,78
	2	147,20	160,43	155,80	157,06	140,25	149,59
	3	142,60	155,82	143,25	164,71	153,89	125,36
0.32	1	190,77	185,11	203,95	169,42	161,46	188,02
	2	193,58	190,22	178,75	189,91	180,44	176,07
	3	203,97	199,98	176,93	174,32	119,97	199,39



Şekil 9.14. Kesme sıvılarının radyal kuvvetler için performans grafiği.

Tablo 9.21'e göre ayçiçeği esaslı ve kanola esaslı kesme sıvısında EP oranının artmasının radyal kuvvetler üzerinde tutarlı bir etki oluşturmadığı görülmüştür. 0.32 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı SCF-II (%8 EP) kesme sıvısından, CCF-II (%12 EP) kesme sıvısı da CCF-II (%8 EP) kesme sıvısından daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 9.21. Referans alınan kesme sıvılarına göre radyal kuvvetler açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Performansı	Ticari Minerale Göre (%)			Ticari Yarı Sentetiğe Göre (%)		
	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev
SCF-II (%8 EP)	9.86	1.67	-4.40	1.56	4.58	-27.37
SCF-II (%12 EP)	11.25	-6.99	-2.09	3.07	-3.82	-24.56
CCF-II (%8 EP)	0.86	-4.31	0.68	-8.26	-1.22	-21.16
CCF-II (%12 EP)	8.98	-8.37	5.29	0.59	-5.16	-15.54

### 9.3.3. İlerlemenin Takım Aşınması Üzerine Etkisi

Metal kesme sıvılarının performansını analiz edebilmek için talaşlı imalat parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının kullanılabilirliklerini araştırmak için yapılan bu çalışmada

performans kriteri olarak takım aşınması ölçülerek analiz edilmiştir. Takım aşınması ölçümünde yan kesici kenar aşınması ve burun yarıçapı aşınması, kesme sıvılarının performans kriteri olarak incelenmiştir. Kesici uç seçiminde sürtünme katsayısını düşürücü özelliği nedeniyle titanyum nitrür (TiN) kaplamalı kesici uç tercih edilmiştir. Östenitik çeliklerin sertliği nedeniyle yığıntı talaş oluşturma eğilimleri titanyum nitrür kaplamalı takımlar kullanılarak azaltılabilir.

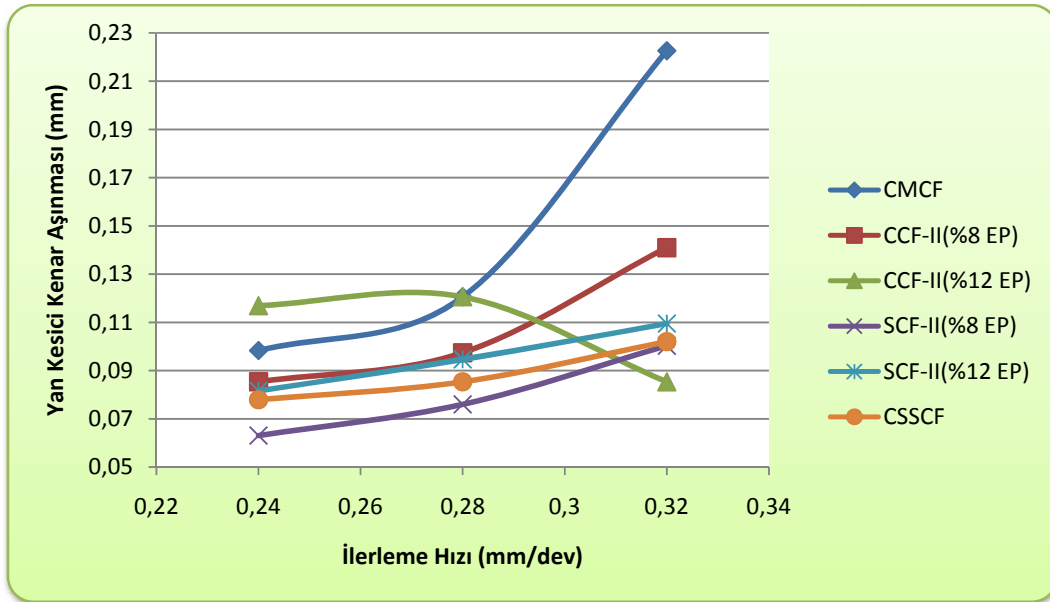
Yan kesici kenar ve burun yarıçapında meydana gelen aşınmalar abrazyon aşınması ile oluşur [Stephenson and Agapiou, 2006]. Abrazyon aşınması sert partiküllerin bir yüzeyin üzerinden geçerken yaptıkları aşınmadır [Tülbentçi ve ark., 2003]. Östenitik çelikler deformasyon sertleşme hızı yüksek olan malzemelerdir. Bu sebeple yüksek derecede şekil değiştirme sertleşmesine uğramış tanecikler talaş yüzü üzerinden kayarken abrazyon aşınmasına yol açar. Kesme sıvılarının kullanıldığı işlemlerde abrazyon aşınmasına yol açan parçacıklar kesme sıvısı ile ortamdan uzaklaştırılarak takım ömrü uzatılabilir. Kesme sıvıları takım ile talaş arasında bir yağ filmi oluşturarak teması azaltırlar. Bitkisel esaslı kesme sıvıları, yağlayıcılık özelliklerinin yüksek olması nedeniyle, takım aşınmalarını önlemede referans olarak kullanılan kesme sıvılarından genel olarak daha iyi performans göstermişlerdir (Şekil 9.15-9.19).

Her bir kesme sıvısı ile AISI 304L çeliklerinin tornalanmasında farklı ilerleme hızlarında ölçülen yan kesici kenar aşınması değerleri Tablo 9.22’de görülmektedir. Kesme sıvılarının yan kesici kenar aşınması için performansını, kesme sıvılarını birbirlerine göre referans alarak ilerleme hızının artışıyla analiz ettiğimizde, 0.24 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8 EP), en düşük performansı CCF-II (%12 EP) kesme sıvısı, 0.28 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8), en düşük performansı CMCF kesme sıvısı, 0.32 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı CCF-II (%12 EP), en düşük performansı CMCF kesme sıvısı vermiştir (Şekil 9.15). Bitkisel esaslı kesme sıvılarının her bir ilerleme değeri için, ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre, yan kesici kenar aşınmaları açısından performansları Tablo 9.23’te görülmektedir. Tablo 9.23’te ki pozitif değerler bitkisel esaslı kesme sıvılarının takım ömrünü uzatma açısından (yan kesici kenar aşınmasına göre) referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha

iyi olduğunu göstermekte, negatif değerler ise takım ömrünü uzatma açısından (yan kesici kenar aşınmasına göre) referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha düşük performansı olduğunu göstermektedir.

Tablo 9.22. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen yan kesici kenar aşınması değerleri.

İlerleme (mm/dev)	Boyuna Tornalama	Yan Kesici Kenar Aşınması Değerleri (mm)					
		SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
0.24	1	0.06308	0.08163	0.08534	0.11690	0.07792	0.09833
0.28	2	0.07600	0.09462	0.09742	0.12060	0.08534	0.12060
0.32	3	0.10030	0.10950	0.14100	0.08534	0.10200	0.22260



Şekil 9.15. Kesme sıvılarının yan kesici kenar aşınması için performans grafiği.

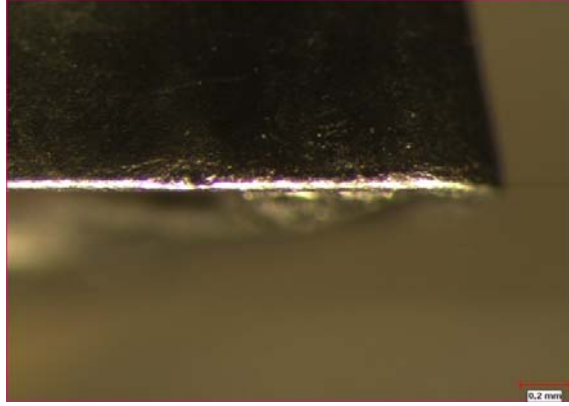
Şekil 9.15’de görüldüğü gibi bütün kesme sıvıları ile tornalama esnasında, ilerleme hızının artışıyla beraber artan kesme kuvvetleri ve artan takım ucu sıcaklığının kesici uçta plastik deformasyon oranını arttırmasıyla ve kaldırılan talaş hacminin artmasına bağlı olarak takım talaş sürtünmesinin artmasıyla, yan kesici

kenar aşınma miktarı artmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürle uyumludur [Xavior and Adithan, 2009; Kumar and Choudhory, 2008]. Şekil 9.15 incelendiğinde CCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde yan kesici kenar aşınmasının ilerleme hızının artışıyla azaldığı görülmektedir. Bu olay yığıntı talaş oluşumu (Şekil 9.16-9.18) ile açıklanabilir. Östenitik çeliklerin yüksek süneklik özellikleri yığıntı talaş oluşma eğilimini arttırmaktadır. Referans amaçlı kullanılan ticari mineral esaslı kesme sıvısı, bitkisel esaslı kesme sıvılarına göre çok düşük bir performans vermiştir. Özellikle 0.32 mm/dev ilerleme hızında yan kesici kenarda aşınmayla birlikte kesici uçtan kopmalar meydana gelmiştir (Şekil 9.19).

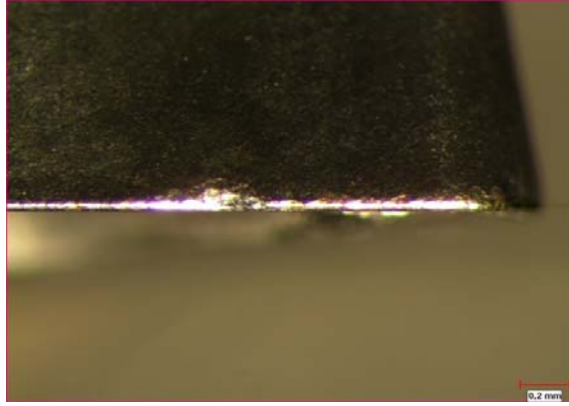
Tablo 9.23 ticari mineral esaslı sıvıya göre incelendiğinde, ayçiçeği esaslı kesme sıvısında EP oranının artması durumunda her ilerleme değeri için de kenar aşınmasının olumlu etkilenmediği, kanola esaslı kesme sıvısında ise sadece yüksek ilerleme değerinde aşınmanın olumlu etkilendiği görülmüştür. Tablo 9.25 ticari yarı sentetik sıvıya göre incelendiğinde, ayçiçeği esaslı kesme sıvısında EP oranının artması durumunda her ilerleme değeri için de kenar aşınmasının olumlu etkilenmediği, kanola esaslı kesme sıvısında ise sadece yüksek ilerleme değerinde aşınmanın olumlu etkilendiği görülmüştür.

Tablo 9.23. Referans alınan kesme sıvılarına göre takım ömrü açısından (yan kesici kenar aşınmasına göre) bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

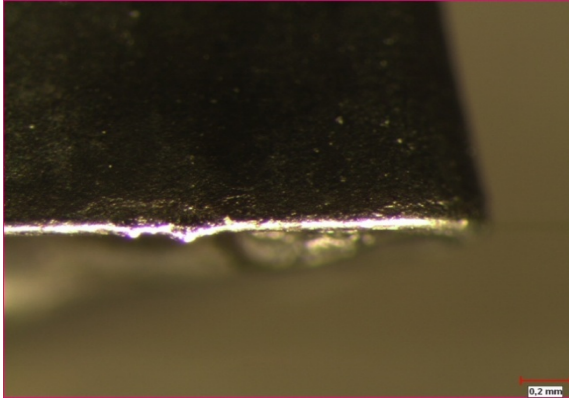
Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Performansı	Ticari Minerale Göre (%)			Ticari Yarı Sentetiğe Göre (%)		
	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev
SCF-II (%8 EP)	35.84	36.98	54.94	19.04	10.94	1.66
SCF-II (%12 EP)	16.98	21.54	50.80	-4.76	-10.87	-7.35
CCF-II (%8 EP)	13.21	19.22	36.65	-9.52	-14.51	-38.20
CCF-II (%12 EP)	-18.88	0.00	61.66	-50.02	-41.31	16.33



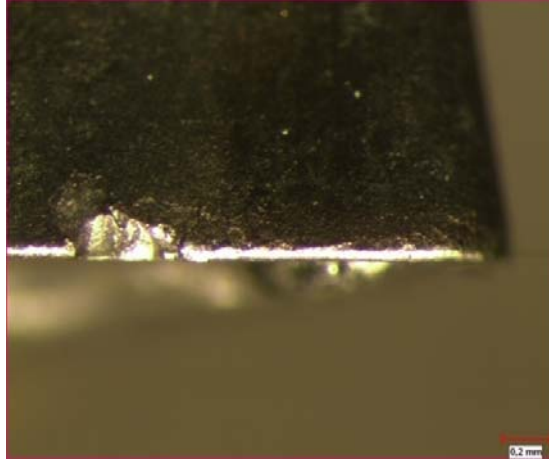
Şekil 9.16. CCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı 0.24 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan aşınma



Şekil 9.17. CCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı 0.28 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan aşınma



Şekil 9.18. CCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı 0.32 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan yığıntı talaş oluşumu

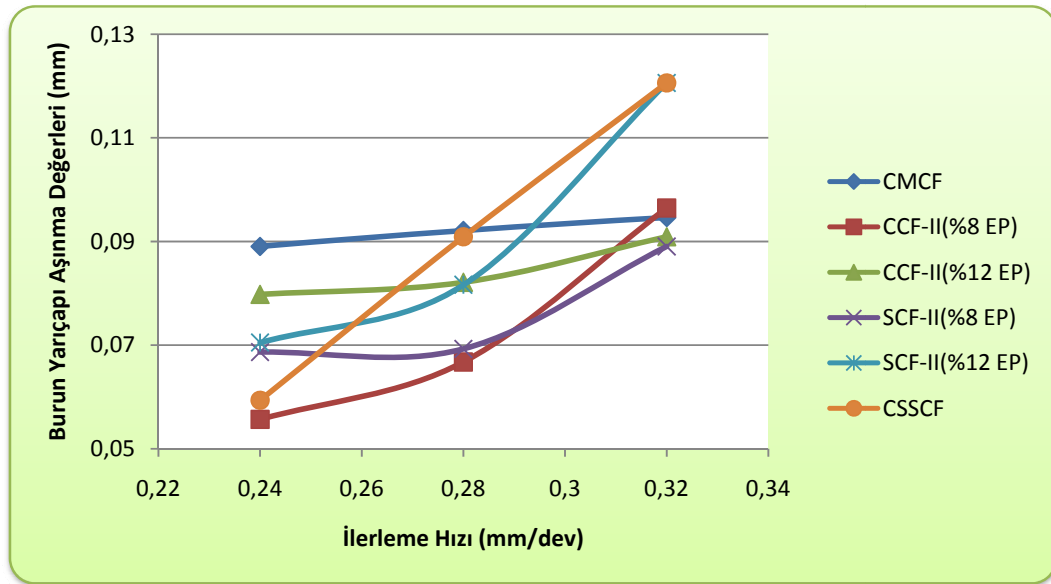


Şekil 9.19. Ticari mineral esaslı kesme sıvısının kullanıldığı 0.32 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan aşınma ve kopmalar

Takım burun yarıçapı, yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi olan geometrik bir imalat parametresidir [Chou and Song, 2004]. Burun yarıçapı aşınması abrazif aşındırma mekanizması sonucu oluştuğu için karakteristik olarak yan köşe aşınmasına benzer. Burun yarıçapında meydana gelen aşınmalar yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkileyebileceği gibi, kesme kuvvetlerinin de artışına sebep olur. Her bir kesme sıvısı ile AISI 304L çeliklerinin tornalanmasında farklı ilerleme hızlarında ölçülen burun aşınması değerleri Tablo 9.24’de görülmektedir. Kesme sıvılarının burun aşınması için performansını, kesme sıvılarını birbirlerine göre referans alarak ilerleme hızının artışıyla analiz ettiğimizde, 0.24 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı CCF-II (%8 EP), en düşük performansı CMCF kesme sıvısı, 0.28 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı CCF-II (%8 EP), en düşük performansı CMCF kesme sıvısı, 0.32 mm/dev ilerleme hızında en iyi performansı SCF-II (%8 EP), en düşük performansı CSSCF kesme sıvısı vermiştir (Şekil 9.20). Bitkisel esaslı kesme sıvılarının her bir ilerleme değeri için, ticari mineral ve ticari yarı sentetik kesme sıvılarına göre, burun aşınmaları açısından performansları Tablo 9.27’te görülmektedir. Tablo 9.25’te ki pozitif değerler bitkisel esaslı kesme sıvılarının takım ömrünü uzatma açısından (burun aşınmasına göre) referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha iyi olduğunu göstermekte, negatif değerler ise takım ömrünü uzatma açısından (burun aşınmasına göre) referans kesme sıvısına göre yüzde olarak daha düşük performansı olduğunu göstermektedir.

Tablo 9.24. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen burun aşınması değerleri.

İlerleme (mm/dev)	Boyuna Tornalama	Burun Aşınması Değerleri (mm)					
		SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
0.24	1	0.06865	0.07050	0.05566	0.07978	0.05937	0.08905
0.28	2	0.06926	0.08163	0.06674	0.08212	0.09091	0.09214
0.32	3	0.08905	0.12060	0.09647	0.09091	0.12060	0.09462



Şekil 9.20. Kesme sıvılarının burun yarıçapı aşınması için performans grafiği.

Şekil 9.20'de görüldüğü gibi bütün kesme sıvıları ile tornalama esnasında, ilerleme hızının artışıyla beraber artan burun aşınma miktarı, artan takım ucu sıcaklığının takımın mukavemetini düşürmesi ve artan kesme kuvvetlerinin adhesif aşınmaya sebep olması ile açıklanabilir. İlerleme hızının artışıyla kaldırılan talaş hacminin artışı da burun aşınmalarının artışında etkilidir.

Tablo 9.25 ticari mineral esaslı sıvıya göre incelendiğinde, ayçiçeği esaslı kesme sıvısında EP oranının artması durumunda her ilerleme değeri için de kenar

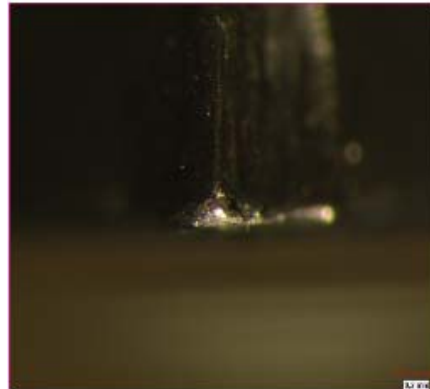


aşınmasının olumlu etkilenmediği, kanola esaslı kesme sıvısında ise sadece yüksek ilerleme değerinde aşınmanın olumlu etkilendiği görülmüştür. Tablo 9.25 ticari yarı sentetik sıvıya göre incelendiğinde, ayçiçeği esaslı kesme sıvısında EP oranının artması durumunda her ilerleme değeri için de kenar aşınmasının olumlu etkilenmediği, kanola esaslı kesme sıvısında ise sadece yüksek ilerleme değerinde aşınmanın olumlu etkilendiği görülmüştür.

Tablo 9.25. Referans alınan kesme sıvılarına göre takım ömrü açısından (burun aşınmasına göre) bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Performansı	Ticari Minerale Göre (%)			Ticari Yarı Sentetiğe Göre (%)		
	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev	0.24 mm/dev	0.28 mm/dev	0.32 mm/dev
SCF-II (%8 EP)	22.90	24.83	5.88	-15.63	23.81	26.16
SCF-II (%12 EP)	20.83	11.40	-27.45	-18.74	10.20	0.00
CCF-II (%8 EP)	37.49	27.56	-1.95	6.24	26.58	20.00
CCF-II (%12 EP)	10.40	10.87	3.92	-34.37	9.66	24.61

Deneyler de gözlenen aşınmalar ilk olarak kaplama tabakasının kalkması, sonra aşınmanın ucun burun yarıçapından yan kesici kenara doğru ilerlemesiyle oluşmuştur. Bu olay burun aşınması ile yan kesici kenar aşınma karakteristiğinin benzer olması, abrazif aşındırma mekanizmasının her iki bölgede de etkili olması ile açıklanabilir. Şekil 9.21’de ise kaplama tabakası kalkmış ve yan kesici kenara doğru ilerleyen burun aşınması görülmektedir.



Şekil 9.21. En yüksek burun aşınma miktarının ölçüldüğü CSSCF kesme sıvısının kullanıldığı 0.32 mm/dev ilerleme hızı deneyinde oluşan aşınma

## 9.4. Performans Deneyleri

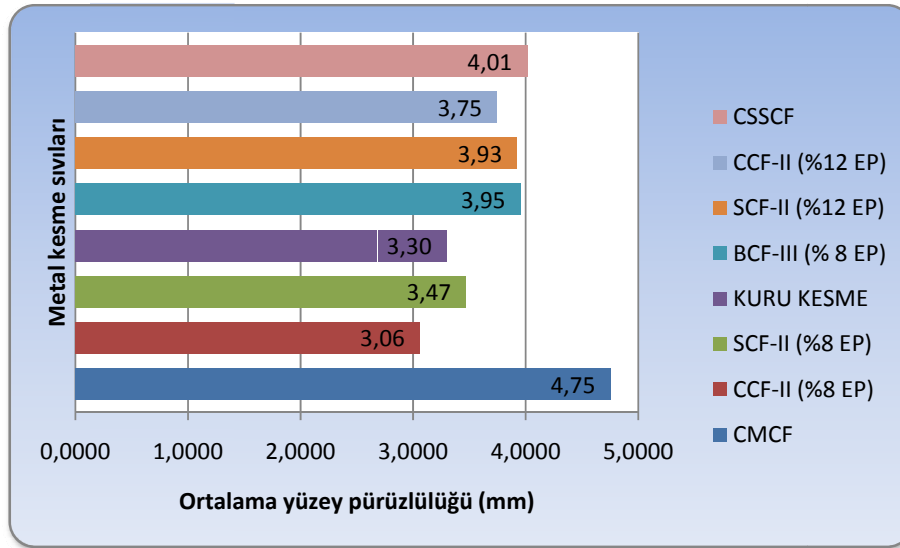
Yeni geliştirilen EP katkılı bitkisel esaslı kesme sıvılarının ve referans olarak kullanılan ticari kesme sıvılarının performans deneylerinde üç farklı malzemenin boyuna tormalamasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ), tormalama kuvvetleri ( $F_c$ ,  $F_f$  ve  $F_r$ ) ve takım aşınmaları (VC ve VB) ölçülerek analiz edilmiştir. Deneylerde 6 adet bitkisel esaslı kesme sıvısının talaşlı imalatta kullanılabilirliği incelenmiştir. Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması imalat verimliliğini etkileyen en temel faktörlerdendir. Birbirleriyle temas halinde çalışan makine parçalarının istenilen işlevi uzun süreli ve minimum enerji harcayarak gerçekleştirmesi yüzey pürüzlülüğüne dolayısıyla takım aşınmasına bağlıdır. Metal kesme işleminde malzemenin işlenmeye karşı gösterdiği direnç kesme kuvvetlerini meydana getirir. Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri ısı oluşumu, takım aşınması, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [DeGarmo, 1997]. Tormalama prosesi sıcaklık, basınç, titreşim gibi fiziksel büyüklüklerin sisteme aynı anda etki ettiği karmaşık bir fiziksel proses olduğu için kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü gibi önemli çıkış parametreleride birbirlerine bağlı olarak oluşmaktadır.

### 9.4.1. AISI 304L Östenitik Malzemenin Tormalanmasında Kesme Sıvılarının Performans Analizi

Yeni geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının AISI 304L malzemenin boyuna tormalanması işleminde performansları ticari kesme sıvıları ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Performans ölçütü olarak yüzey kalitesi, tormalama kuvvetleri ve takım aşınması referans alınmıştır. Verimli ve ekonomik bir talaşlı imalat işlemi için sağlanması gereken kriterler yüksek yüzey kalitesi, düşük tormalama kuvvetleri ve uzun takım ömrüdür.

### 9.4.1.1. AISI 304L Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü

Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama işleminden sonra ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 9.22’de gösterilmiştir.



Şekil 9.22. Performans deneyleri sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması.

Şekil 9.22’de görüldüğü gibi 500 dev/dak devir sayısı, 0.20 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliği şartları altında en iyi performansı (en düşük yüzey pürüzlülüğünü) geliştirilen CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı göstermiştir. CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı ile tornalama deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülüklerinin ortalaması 3,06  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. CMCF, CSSCF kesme sıvıları ve kuru kesme deney verileri referans olarak düşünülürse, bitkisel esaslı kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından yüzdelik performansları Tablo 9.26 ‘da verilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğünün daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CCF-II (%8 EP) , SCF-II (%8 EP), CCF-II (%12 EP), SCF-II (%12 EP), BCF-III (%8 EP), CSSCF ve CMCF. Bu sonuçlara göre geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının hepsi referans sıvılardan

yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi performans göstermiştir. Kanola esaslı kesme sıvılarının (CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı SCF-II (%8 EP)'den, CCF-II (%12 EP) kesme sıvısı SCF-II (%12 EP)'den) daha düşük pürüzlülük değeri verdiği görülmüştür. Bu olay kanola esaslı kesme sıvılarının yüksek yağlayıcılık özelliği ile açıklanabilir. Emülsiyon halinde kanolanın viskozitesi ve yüzey gerilim değeri ayçiçeğinden düşüktür. Dolayısıyla bu kanolanın yağlayıcılık özelliğinin ayçiçeğinden iyi olduğunu göstermektedir.

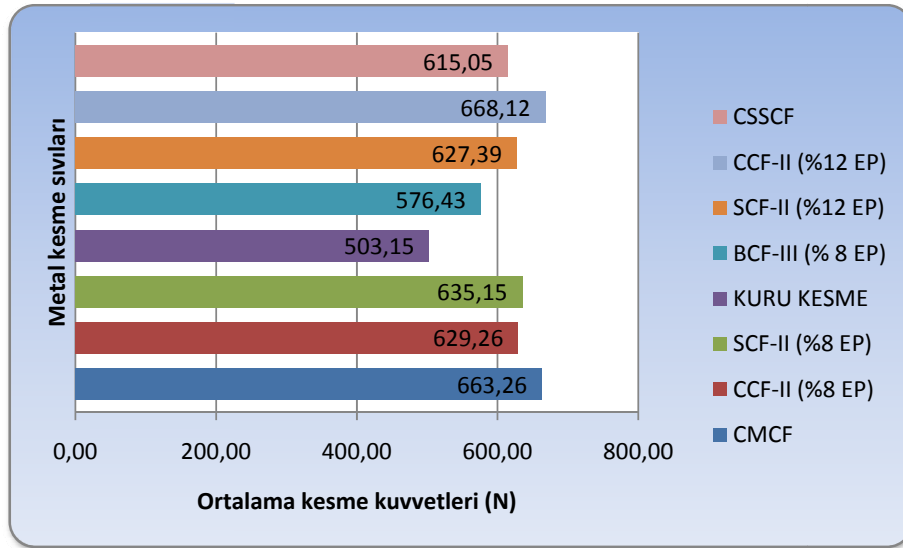
Tablo 9.26. Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvıların performansı

Kesme Sıvıları	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	BCF-III (%8 EP)
CMCF'ye göre (%)	26.94	17.26	35.57	21.05	16.84
CSSCF'ye göre (%)	13.46	2.03	23.69	1.99	1.49
Kuru kesmeye göre (%)	-5.15	-19.09	7.27	-7.5	-19.69

EP katkısı açısından bakıldığında %8 EP katkılı ayçiçeği ve kanola yağı esaslı kesme sıvısı %12 EP katkılı ayçiçeği ve kanola esaslı kesme sıvısından yüksek performans göstermiştir. EP oranının artmasıyla parça yüzeyindeki kayma gerilmelerinin düşmesi yığıntı talaş oluşumunu [BUE] artırır. Bu sebeple yüksek EP'li kesme sıvıları yüzey pürüzlülüğü açısından düşük performans göstermiştir. BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı viskozitesinin düşüklüğü nedeniyle diğer yeni geliştirilen kesme sıvılarından düşük performans göstermiş, referans kesme sıvılarından yüksek performans göstermiştir. Kuru kesme deneyinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerinin düşük olması takım aşınma tipi ile açıklanabilir. Kuru kesmede belirgin takım aşınması görülmeden takım ucu kırılmıştır. Bu sebeple yüzey pürüzlülük değerlerinde yükselme görülmemiştir.

### 9.4.1.2. AISI 304L Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Tortalama Kuvvetleri

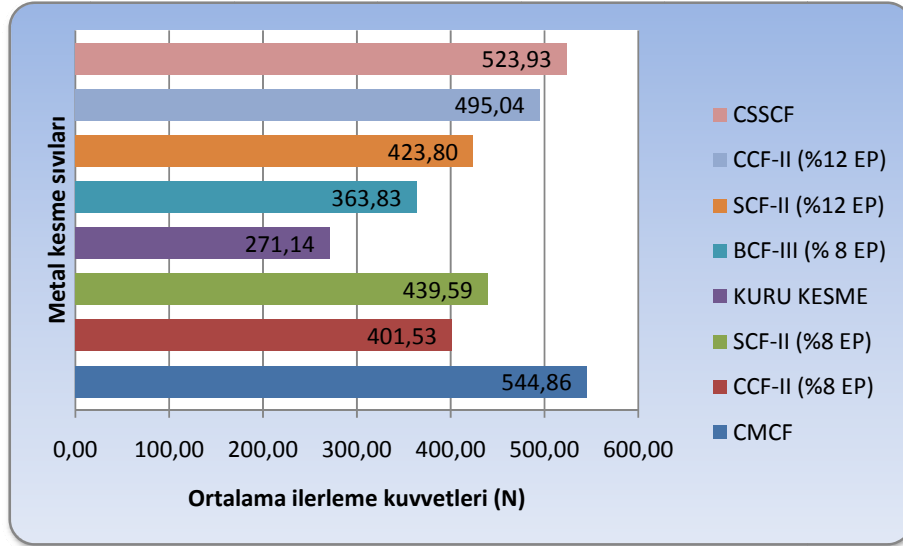
Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında ölçülen kuvvetlerin ayrı ayrı ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 9.23-9.25'te gösterilmiştir.



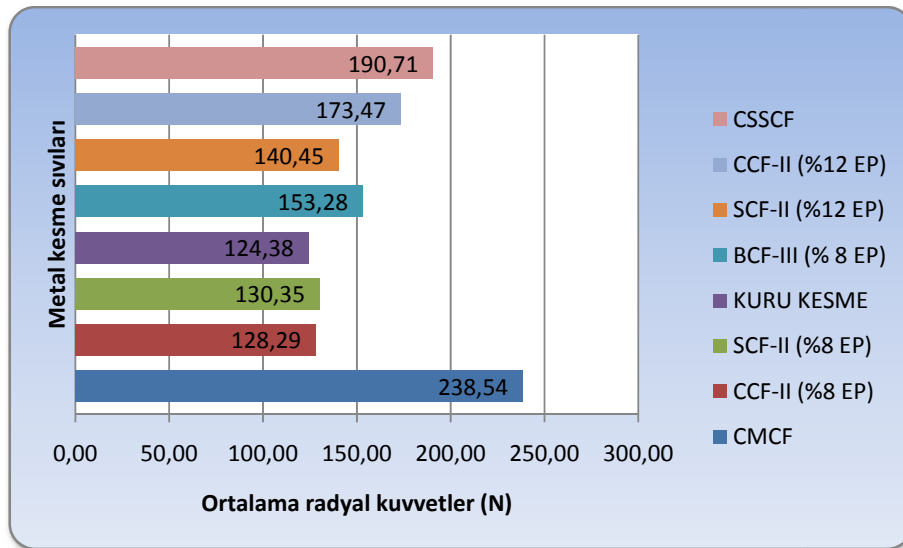
Şekil 9.23. Performans deneyleri sonucu ölçülen kesme kuvvetlerinin ortalaması.

Şekil 9.23-9.25'te görüldüğü gibi 500 dev/dak devir sayısı, 0.20 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliği şartları altında kesme, ilerleme kuvvetleri ve radyal kuvvetler açısından en düşük kuvveti kuru kesme durumu ve BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı göstermiştir. Bu durum BCF-III (%8 EP) kesme sıvısının ve kuru kesme şartlarının yüksek performansı olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır. Tortalama kuvvetlerinin ilk deney verilerinde düşük olması ve BCF-III (%8 EP) kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde ve kuru kesme şartlarında, takım ömrünün bu düşük değerlerden hemen sonra bitmesi sonuçları etkilemiştir (Şekil 9.28). Bu sebeple sadece uzun ömürlü kesme sıvıları performans sıralamasına dahil edilmiş, BCF-III (%8 EP) ve kuru kesme şartları performans sıralamasına dahil edilmemiştir. Kesme kuvvetinin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CSSCF, SCF-II (%12 EP), CCF-II (%8 EP), SCF-II (%8 EP), CMCF ve CCF-II (%12 EP). Geliştirilen SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı,

CSSCF kesme sıvısına çok yakın performans göstermiştir. CSSCF kesme sıvısı ile tornalama da kesme kuvvetlerinin ortalaması 615.05 N, geliştirilen SCF-II (%12 EP) kesme sıvısı ile tornalamada kesme kuvvetlerin ortalaması 627.39 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 9.24. Performans deneyleri sonucu ölçülen ilerleme kuvvetlerinin ortalaması.



Şekil 9.25. Performans deneyleri sonucu ölçülen radyal kuvvetlerin ortalaması.

İlerleme kuvvetinin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CCF-II (%8 EP), SCF-II (%12 EP), SCF-II (%8 EP), CCF-II (%12 EP), CSSCF ve CMCF. Bu sonuçlara göre

bitkisel esaslı kesme sıvıları CMCF ve CSSCF referans kesme sıvılarından daha iyi performans göstermiştir. Radyal kuvvetin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CCF-II (%8 EP), SCF-II (%8 EP), SCF-II (%12 EP), CCF-II (%12 EP), CSSCF ve CMCF. Radyal kuvvet pasif kuvvet olduğu için performans değerleri hakkında yorum yapılmamıştır. CSSCF ve CMCF kesme sıvıları referans olarak düşünülürse, bitkisel esaslı kesme sıvılarının tormalama kuvvetlerini düşürme açısından yüzdelik performansları Tablo 9.27 'de verilmiştir.

Tablo 9.27. Referans alınan kesme sıvılarına göre tormalama kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

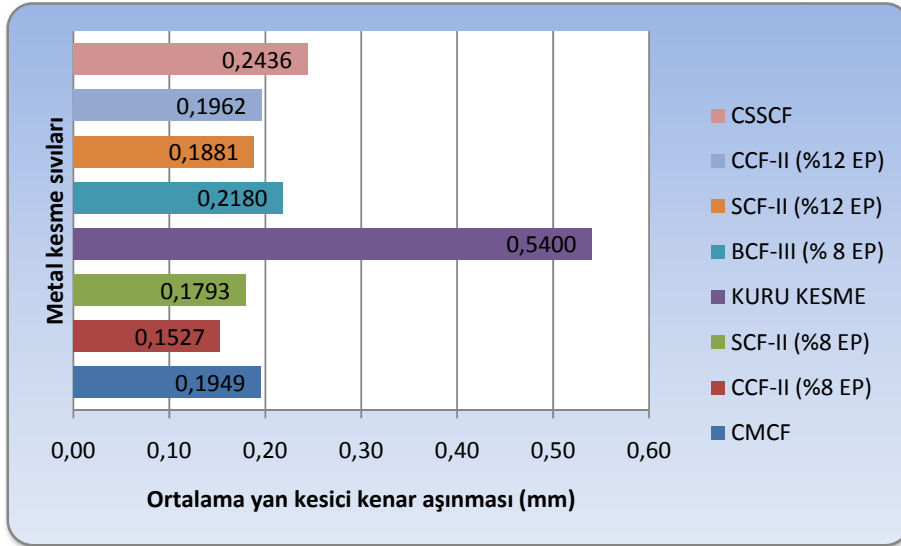
Kesme kuvvetleri açısından				
Kesme Sıvıları	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	4,24	5,41	5,13	-0,73
CSSCF'ye göre (%)	-3,26	-2,01	-2,31	-8,63
İlerleme kuvvetleri açısından				
Kesme Sıvıları	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	19,32	22,22	26,31	9,14
CSSCF'ye göre (%)	16,10	19,11	23,36	5,51
Radyal kuvvetler açısından				
Kesme Sıvıları	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	45,36	41,12	46,22	27,28
CSSCF'ye göre (%)	31,65	26,35	32,73	9,04

Kesme ve ilerleme kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansını ayçiçeği ve kanola yağı için farklı farklı değerlendirebiliriz. Kesme sıvılarının içindeki EP katkı maddesi oranı arttıkça parça yüzeyindeki kayma gerilmesinin düşmesi sebebiyle tormalama kuvvetlerinde azalış beklenir. Bu hipotez ayçiçeği esaslı kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde doğrulanmaktadır. %12 EP katkılı ayçiçeği yağı %8 EP katkılı ayçiçeği yağından kesme ve ilerleme kuvvetlerini

düşürme açısından daha yüksek performans göstermiştir. Kanola yağı esaslı kesme sıvısı ise EP oranı arttıkça tornalama kuvvetleri üstüne olumlu bir etki oluşturmadığı görülmüştür.

#### 9.4.1.3. AISI 304L Malzemenin Kullanıldığı Performans DeneYlerinde Ölçülen Takım Aşınmaları

Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında ölçülen yan kesici kenar ve burun aşınmalarının ayrı ayrı ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 9.26-9.27’de gösterilmiştir.

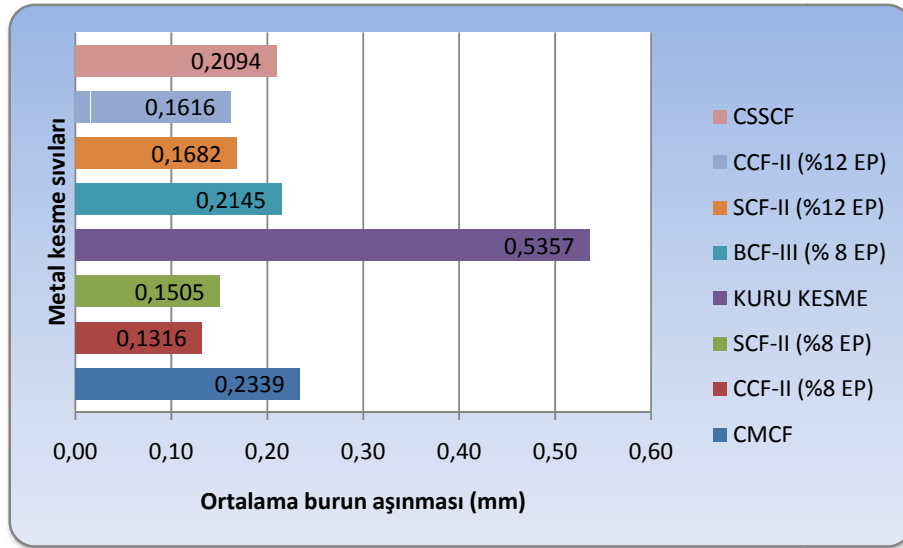


Şekil 9.26. Performans deneyleri sonucu ölçülen yan kesici kenar aşınması değerlerinin ortalaması.

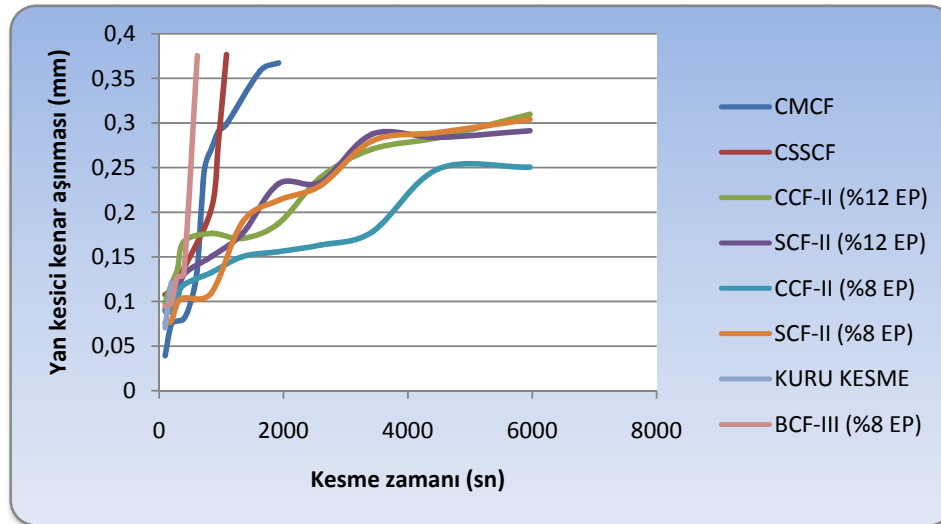
Şekil 9.26-9.27’de görüldüğü gibi 500 dev/dak devir sayısı, 0.20 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliği şartları altında yan kesici kenar ve burun aşınması açısından en iyi performansı (en düşük takım aşınmasını) geliştirilen CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı göstermiştir. CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı ile tornalama deneyleri sonucunda ölçülen yan kesici kenar aşınması ortalaması 0.1527 mm ve burun aşınması ortalaması 0.1316 mm olarak ölçülmüştür. Her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında zamana göre yan kesici kenar ve burun aşınmalarının değişimi Şekil 9.28-9.29’da gösterilmiştir. Kesme sıvılarının takım aşınması açısından



performans sıralamasını yapabilmek için ortalama aşınma miktarları aşınma sürelerine bölünerek ortalama aşınma hızları hesap edilmiştir (Tablo 9.28).



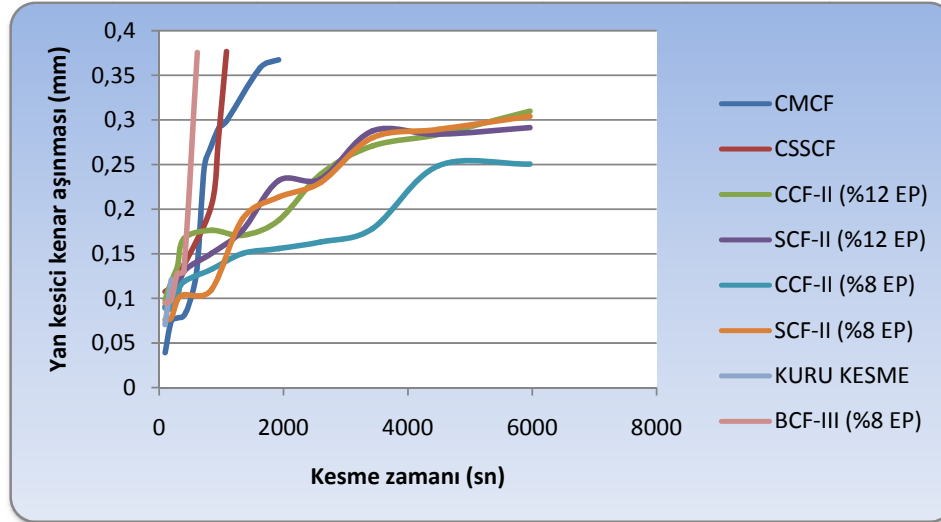
Şekil 9.27. Performans deneyleri sonucu ölçülen burun aşınması değerlerinin ortalaması.



Şekil 9.28. Kesme zamanına bağlı olarak yan kesici kenar aşınmasının değişimi.

Daha uzun takım ömrü istendiğinden yan kesici kenar aşınması açısından kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CCF-II (%8 EP) , SCF-II (%8 EP), SCF-II (%12 EP), CCF-II (%12 EP), CMCF, CSSCF VE BCF-III (%8 EP). Bu sonuçlara göre geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının BCF-III (%8 EP) hariç hepsi referans sıvılardan yan kesici kenar aşınması açısından

daha iyi performans göstermiştir. Burun aşınması açısından kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CCF-II (%8 EP) , SCF-II (%8 EP), CCF-II (%12 EP), SCF-II (%12 EP), BCF-III (%8 EP), CMCF ve CSSCF.



Şekil 9.29. Kesme zamanına bağlı olarak burun aşınmasının değişimi.

Elde edilen sonuçlara göre geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının hepsi referans sıvılardan burun aşınması açısından daha iyi performans göstermiştir. Takım aşınmalarına EP katkısı açısından bakıldığında %8 EP katkılı ayçiçeği ve kanola yağı esaslı kesme sıvısı %12 EP katkılı ayçiçeği ve kanola esaslı kesme sıvısından yüksek performans göstermiştir. Bu sonuçlar parça yüzeyinde EP katkıları sonucu kurşun sülfür, demir klorür gibi tabakaların oluşumuyla açıklanabilir. Oluşan tabakalar takımın talaş yüzeyinden geçerken abrasiv aşınma mekanizmasını hızlandıracağı için EP oranı arttıkça takım aşınma miktarı artmıştır. Kesme sıvılarının kimyasal olarak hazırlanması aşamasında takım aşınmaları ile kesme kuvvetlerini optimize edecek EP oranı belirlenmelidir. BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı viskozitesinin düşüklüğü nedeniyle diğer yeni geliştirilen kesme sıvılarından düşük performans göstermiştir. Kuru kesme deneyinde ise takım efektif kesme bölgesini çok hızlı bir şekilde geçerek deforme olmuştur.

Tablo 9.28. Kesme sıvılarına göre ortalama takım aşınma hızları.

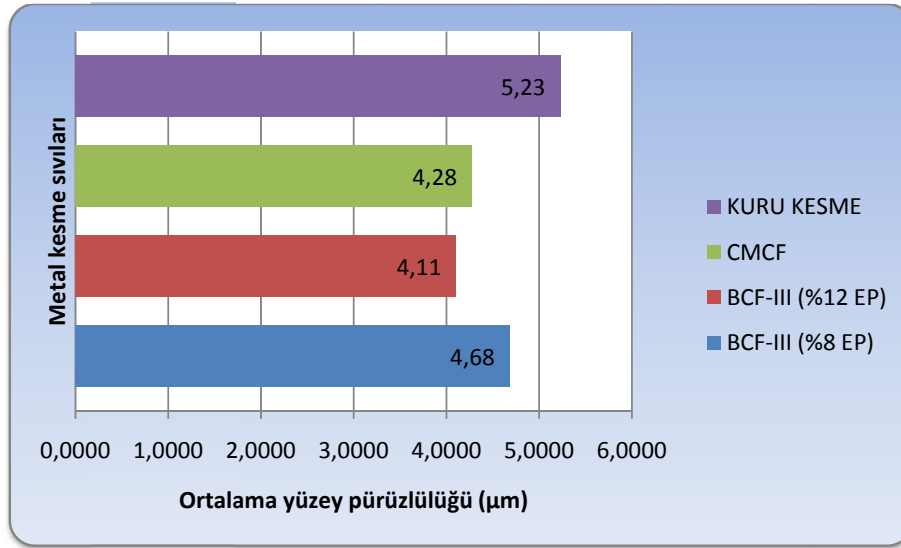
Kesme sıvıları	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	BCF-III (%8 EP)	CMCF	CSSCF	Kuru Kesme
VB hızı (mm/dak)	1805 * 10 <sup>-6</sup>	1893 * 10 <sup>-6</sup>	1537 * 10 <sup>-6</sup>	1975 * 10 <sup>-6</sup>	15562 * 10 <sup>-6</sup>	6091 * 10 <sup>-6</sup>	12075 * 10 <sup>-6</sup>	81573 * 10 <sup>-6</sup>
VC hızı (mm/dak)	1515 * 10 <sup>-6</sup>	1682 * 10 <sup>-6</sup>	1316 * 10 <sup>-6</sup>	1616 * 10 <sup>-6</sup>	15312 * 10 <sup>-6</sup>	731 * 10 <sup>-5</sup>	1038 * 10 <sup>-5</sup>	80924 * 10 <sup>-6</sup>

Şekil 9.28-9.29 incelendiğinde SCF-II (%8 EP), SCF-II (%12 EP), CCF-II (%8 EP) ve CCF-II (%12 EP) kesme sıvılarının karakteristik aşınma eğrisine uygun bir aşınma grafiği verdikleri görülmektedir. Kesme süresinin birkaç dakikasına kadar aşınma üstel ilerlemiş, sonra aşınma miktarı sabit bir değerde geniş bir kesme süresi boyunca ilerlemiştir. Bu bölge bitkisel esaslı kesme sıvıları ile sağlanan takım ömrü bölgesidir. Takım aşınmalarının artmasıyla oluşan kuvvet yükselmeleri kesme bölgesi sıcaklığını arttıracığı için grafiğin son bölgelerinde takım aşınmaları hızlı bir artış göstermeye başlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar bitkisel esaslı kesme sıvılarının tornalamada kullanılabilirliğini ve imalatta verim artırıcı etkisi olduğunu kanıtlamaktadır. 9. 4. 2. AISI 304 Östenitik Malzemenin Tornalanmasında Kesme Sıvılarının Performans Analizi

Yeni geliştirilen BCF-III (%8 EP) ve BCF-III (%12 EP) kesme sıvılarının AISI 304 malzemenin boyuna tornalanması işleminde performansları ticari mineral kesme sıvısı ve kuru kesme şartları ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Performans ölçütü olarak yüzey kalitesi, tornalama kuvvetleri ve takım ömrü referans alınmıştır. Verimli ve ekonomik bir talaşlı imalat işlemi için sağlanması gereken kriterler yüksek yüzey kalitesi, düşük tornalama kuvvetleri ve uzun takım ömrüdür.

### 9.4.2.1. AISI 304 Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü

Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama işleminden sonra ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 9.30'da gösterilmiştir.



Şekil 9.30. Performans deneyleri sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması.

Şekil 9.30'da görüldüğü gibi 500 dev/dak devir sayısı, 0.22 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliği şartları altında en iyi performansı (en düşük yüzey pürüzlülüğünü) geliştirilen BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı ile tornalama deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülüklerinin ortalaması 4.11 µm olarak ölçülmüştür. CMCF ve kuru kesme deney verileri referans olarak düşünülürse, bitkisel esaslı kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından yüzdelik performansları Tablo 9.29'da verilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğünün daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-II (%12 EP) , CMCF ve BCF-II (%8 EP). Bu sonuçlara göre geliştirilen BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı referans sıvıdan yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi performans göstermiştir. EP

katkısı açısından bakıldığında BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı BCF-III (%8 EP) kesme sıvısından yüksek performans göstermiştir. Bu durum BCF-III (%12 EP) kesme sıvısının yüksek viskozitesi ile açıklanabilir. Yüksek viskozite değerleri yüksek imalat sıcaklıklarında istikrarlı bir yağlayıcılık sağlayacaktır.

Tablo 9.29. Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvıların performansı

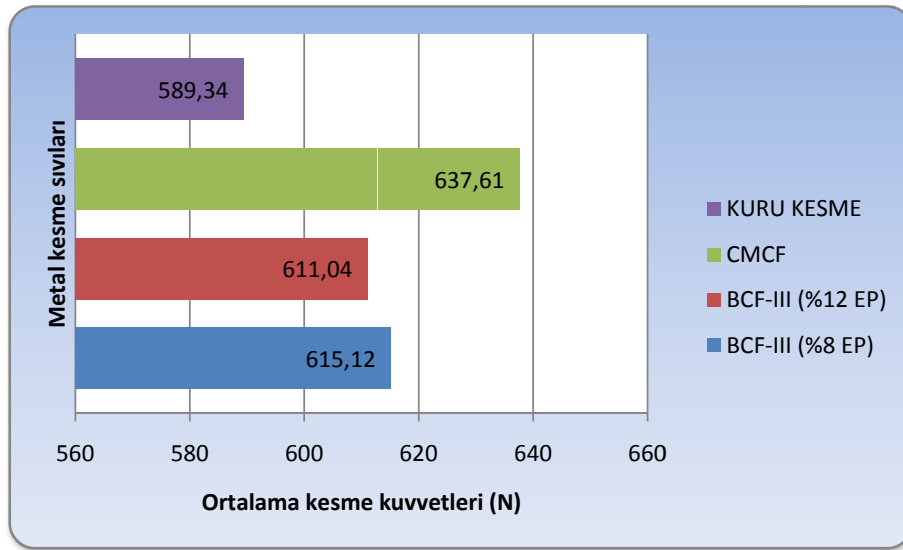
Kesme Sıvıları	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	-9.35	3.97
Kuru kesmeye göre (%)	10.52	21.41

#### 9.4.2.2. AISI 304 Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Tortalama Kuvvetleri

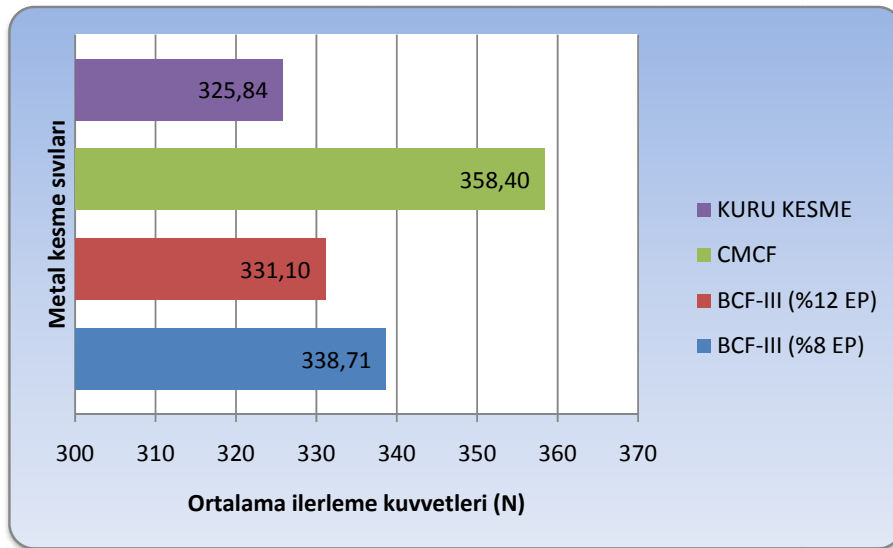
Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında ölçülen kuvvetlerin ayrı ayrı ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 9.31-9.33'te gösterilmiştir.

Şekil 9.31-9.33'te görüldüğü gibi 500 dev/dak devir sayısı, 0.22 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliği şartları altında kesme, ilerleme kuvvetleri ve radyal kuvvetler açısından en düşük kuvveti BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. Grafiklerde kuru kesme şartlarında düşük kuvvetleri görülmesi, tornalama kuvvetlerinin ilk deney verilerinde düşük olması ve kuru kesme şartlarında, takım ömrünün bu düşük değerlerden hemen sonra bitmesi ile açıklanabilir (Şekil 9.36). Bu sebeple kuru kesme şartları performans sıralamasına dahil edilmemiştir. Kesme kuvvetinin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%12 EP), BCF-III (%8 EP) ve CMCF. EP katkı maddeleri yüzeyle belirli bir sıcaklık (300-700 °C arası - EP katkı maddelerinin karakteristiğine göre) ve basınçta (yaklaşık 1500 N/mm<sup>2</sup>) kimyasal reaksiyona girdikten sonra yüzeyi absorbe ederek kayma gerilmesini düşürmektedir. EP oranı arttıkça kesme kuvvetlerinin düşmesi bu olayla açıklanabilir.

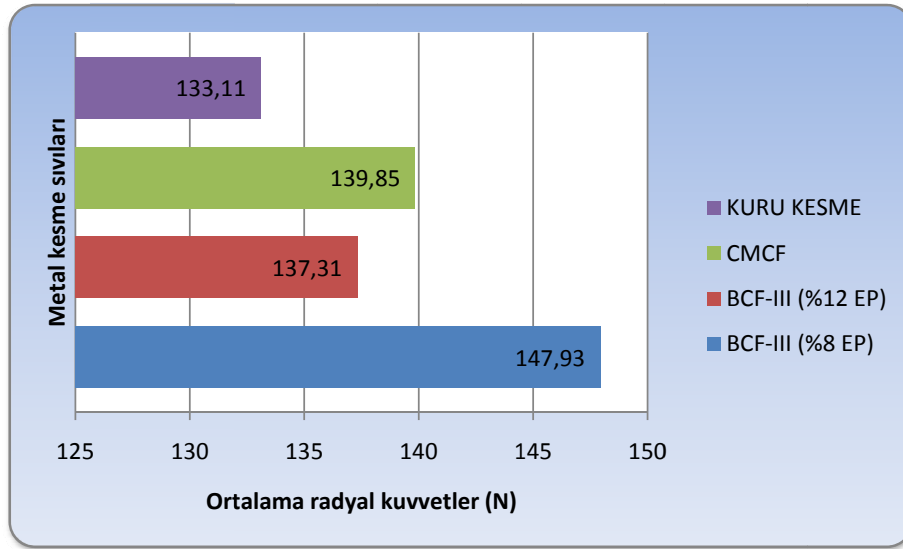
İlerleme kuvvetinin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%12 EP), BCF-III (%8 EP) ve CMCF. Radyal kuvvetin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%12 EP), CMCF ve BCF-III (%8 EP). CMCF kesme sıvısı referans olarak düşünülürse, bitkisel esaslı kesme sıvılarının tornalama kuvvetlerini düşürme açısından yüzdelik performansları Tablo 9.30'da verilmiştir.



Şekil 9.31. Performans deneyleri sonucu ölçülen kesme kuvvetlerinin ortalaması.



Şekil 9.32. Performans deneyleri sonucu ölçülen ilerleme kuvvetlerinin ortalaması.



Şekil 9.33. Performans deneyleri sonucu ölçülen radyal kuvvetlerin ortalaması.

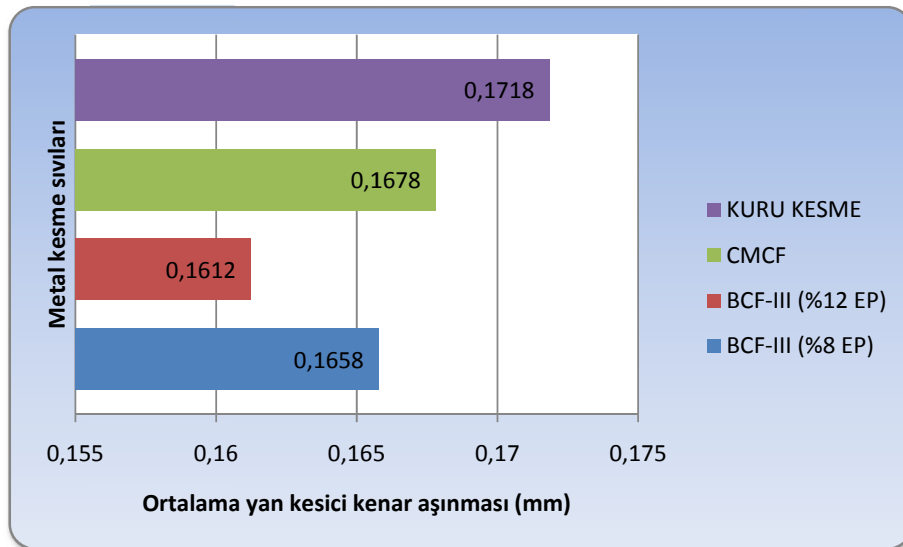
Tablo 9.30. Referans alınan kesme sıvılarına göre tornalama kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Kesme kuvvetleri açısından		
Kesme Sıvıları	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	3.53	4.17
İlerleme kuvvetleri açısından		
Kesme Sıvıları	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	5.49	7.62
Radyal kuvvetler açısından		
Kesme Sıvıları	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	-5.78	1.82

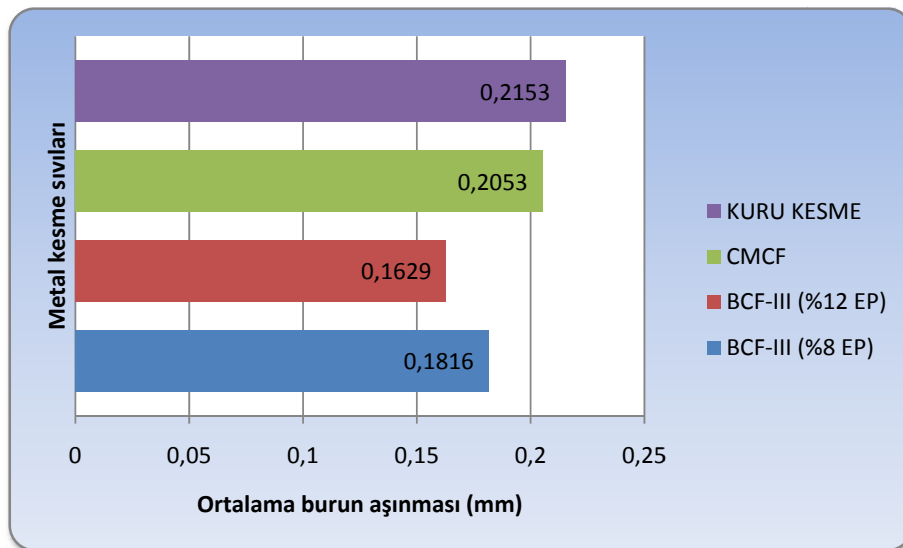
Kesme sıvılarının içindeki EP katkı maddesi oranı arttıkça parça yüzeyindeki kayma gerilmesinin düşmesi sebebiyle tornalama kuvvetlerinde azalış beklenir. Bu hipotez harman (ayçiçeği ve kanola yağı karışımı) esaslı kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde doğrulanmaktadır.

### 9.4.2.3. AISI 304 Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Takım Aşınmaları

Kesme sıvılarının performansını analizi için, her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında ölçülen yan kesici kenar ve burun aşınmalarının ortalaması alınmış ve sonuçlar Şekil 9.34-9.35’de gösterilmiştir.



Şekil 9.34. Yan kesici kenar aşınması değerlerinin ortalaması.

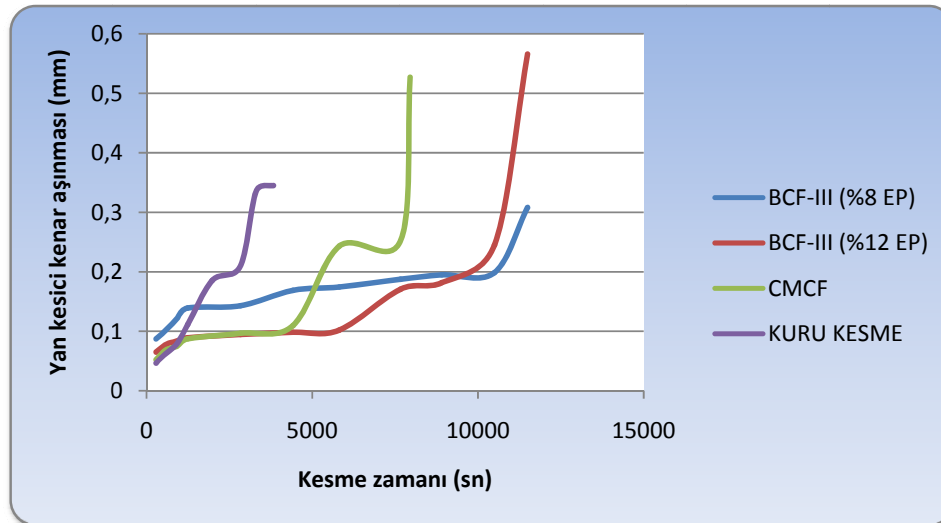


Şekil 9.35. Burun aşınması değerlerinin ortalaması.

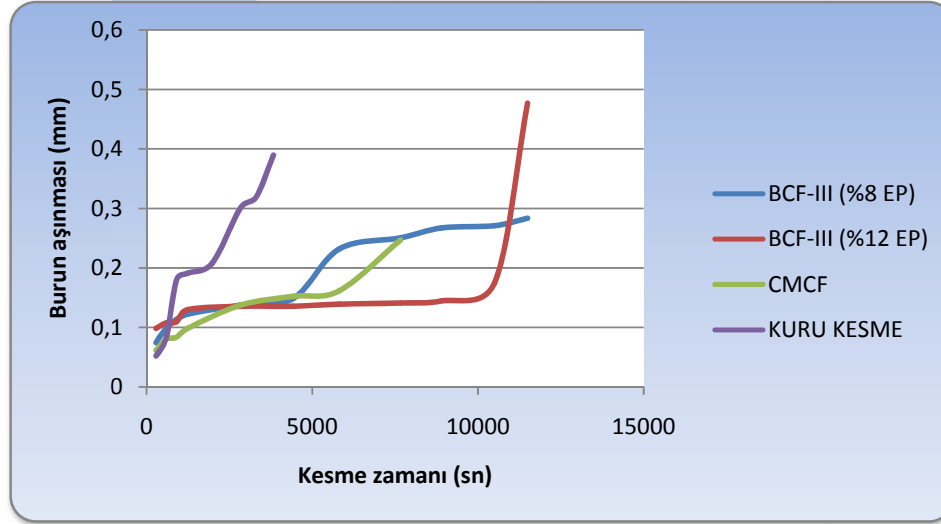


Şekil 9.34-9.35’de görüldüğü gibi 500 dev/dak devir sayısı, 0.22 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliği şartları altında yan kesici kenar ve burun aşınması açısından en iyi performansı (en düşük takım aşınmasını) geliştirilen BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı ile tormalama deneyleri sonucunda ölçülen yan kesici kenar aşınması ortalaması 0.1612 mm ve burun aşınması ortalaması 0.1629 mm olarak ölçülmüştür. Her bir kesme sıvısı ile tormalama esnasında zamana göre yan kesici kenar ve burun aşınmalarının değişimi Şekil 9.36-9.37’de gösterilmiştir. Kesme sıvılarının takım aşınması açısından performans sıralamasını yapabilmek için ortalama aşınma miktarları aşınma sürelerine bölünerek ortalama aşınma hızları hesap edilmiştir (Tablo 9.31).

Daha uzun takım ömrü istendiğinden yan kesici kenar aşınması açısından kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%12 EP), BCF-III (%8 EP) ve CMCF. Bu sonuçlara göre geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvıları CMCF referans kesme sıvısından yan kesici kenar aşınması açısından daha iyi performans göstermiştir. Burun aşınması açısından kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%12 EP), BCF-III (%8 EP) ve CMCF.



Şekil 9.36. Kesme zamanına bağlı olarak yan kesici kenar aşınmasının değişimi.



Şekil 9.37. Kesme zamanına bağlı olarak burun aşınmasının değişimi.

Tablo 9.31. Kesme sıvılarına göre ortalama takım aşınma hızları.

Kesme sıvıları	BCF-II (%8 EP)	BCF-II (%12 EP)	CMCF	Kuru Kesme
VB hızı (mm/dak)	$865 \cdot 10^{-6}$	$841 \cdot 10^{-6}$	$1314 \cdot 10^{-6}$	$2690 \cdot 10^{-6}$
VC hızı (mm/dak)	$948 \cdot 10^{-6}$	$850 \cdot 10^{-6}$	$1607 \cdot 10^{-6}$	$3371 \cdot 10^{-6}$

BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı viskozitesinin düşüklüğü nedeniyle geliştirilen BCF-III (%12 EP) kesme sıvısından düşük performans göstermiştir. Kuru kesme deneyinde ise takım efektif kesme bölgesini çok hızlı bir şekilde geçerek deforme olmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlara göre geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının hepsi referans sıvılardan burun aşınması açısından daha iyi performans göstermiştir. Bitkisel yağların moleküler olarak uzun, ağır ve iki kutuplu olması metal yüzeylere karşı kimyasal olarak afinitesini arttırmaktadır. Bitkisel esaslı kesme sıvıları belirtilen kimyasal yapılarından dolayı kesme bölgesinde ince, güçlü ve uzun ömürlü yağlama tabakası oluştururlar. Bu sayede kesme bölgesindeki basıncı absorbe ederek kesme kuvvetlerini düşürür, takım aşınmalarını azaltırlar.

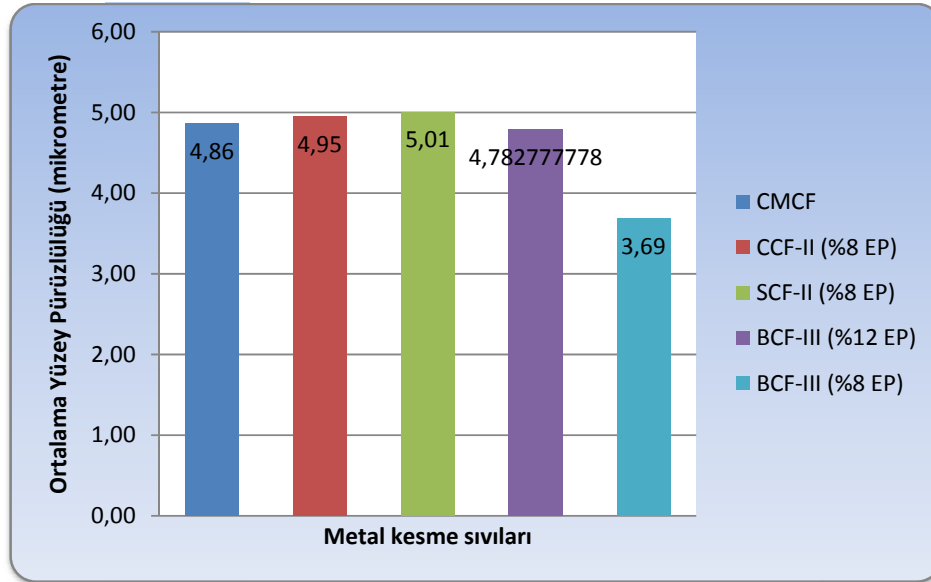
Şekil 9.36-9.37 incelendiğinde BCF-III (%8 EP) ve BCF-III (%12 EP) kesme sıvılarının karakteristik aşınma eğrisine uygun bir aşınma grafiği verdikleri görülmektedir. Kesme süresinin birkaç dakikasına kadar aşınma üstel ilerlemiş, sonra aşınma miktarı sabit bir değerde geniş bir kesme süresi boyunca ilerlemiştir. Bu bölge bitkisel esaslı kesme sıvıları ile sağlanan takım ömrü bölgesidir. Takım aşınmalarının artmasıyla oluşan kuvvet yükselmeleri kesme bölgesi sıcaklığını arttıracak için grafiğin son bölgelerinde takım aşınmaları hızlı bir artış göstermeye başlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar bitkisel esaslı kesme sıvılarının tornalamada kullanılabilirliğini ve imalatta verim arttırıcı etkisi olduğunu kanıtlamaktadır.

### **9. 4. 3. 7075 Alüminyum Malzemenin Tornalanmasında Kesme Sıvılarının Performans Analizi**

Yeni geliştirilen SCF-II (%8 EP), CCF-II (%8 EP), BCF-III (%8 EP), BCF-III (%12 EP) kesme sıvılarının 7075 alüminyum malzemenin boyuna tornalanması işleminde performansları ticari CMCF kesme sıvısı ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Performans ölçütü olarak yüzey kalitesi, tornalama kuvvetleri ve takım ömrü referans alınmıştır. Verimli ve ekonomik bir talaşlı imalat işlemi için sağlanması gereken kriterler yüksek yüzey kalitesi, düşük tornalama kuvvetleri ve uzun takım ömrüdür.

#### **9.4. 3. 1. 7075 Alüminyum Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü**

Kesme sıvılarının tornalamada ki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama işleminden sonra ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 9.38'de gösterilmiştir.



Şekil 9.38. Performans deneyleri sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması.

Şekil 9.38’de görüldüğü gibi 710 dev/dak devir sayısı, 0.24 mm/dev ilerleme ve 2 mm talaş derinliği şartları altında en iyi performansı (en düşük yüzey pürüzlülüğünü) geliştirilen BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı göstermiştir. BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı ile tornalama deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülüklerinin ortalaması 3.69  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. CMCF kesme sıvısı referans olarak düşünülürse, bitkisel esaslı kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından yüzdelik performansları Tablo 9.32’de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%8 EP) , BCF-III (%12 EP), CMCF, CCF-II (%8 EP) ve SCF-II (%8 EP).

Tablo 9.32. Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvıların performansı

Kesme Sıvıları	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)
CMCF’ye göre (%)	-3.08	-1.85	24.07	1.64

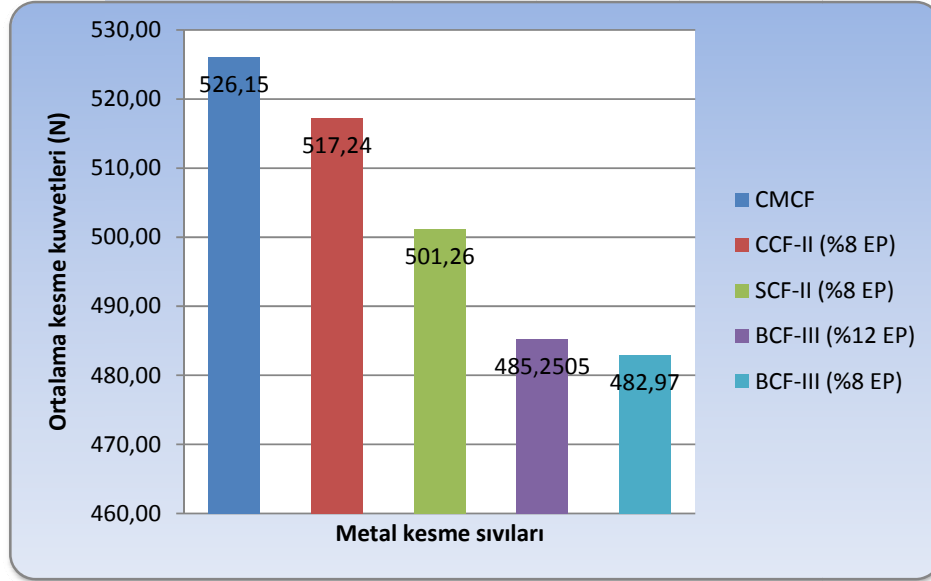
Bu sonuçlara göre geliştirilen BCF-III (%8 EP) ve BCF-III (%12 EP) kesme sıvıları referans sıvıdan yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi performans

göstermiştir. EP katkısı açısından bakıldığında BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı BCF-III (%12 EP) kesme sıvısından yüksek performans göstermiştir. Alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında çok güçlü bir birleşme olduğu bilinmektedir. Alüminyum alaşımları işlenirken oluşan talaş, kesme işlemi devam ettikçe takım üst yüzeyinde birikme yapar. Sıcaklığın etkisiyle ve alüminyum alaşımlarının sünek yapısı nedeniyle talaş kesme kenarına yapışma eğilimi gösterir. Alüminyum malzemenin kesme sıvılarıyla tornalanmasında EP oranının artmasıyla, parça yüzeyinde kayma mukavemeti düşük kurşun sülfür, demir klorür gibi tabakaların oluşması sebebiyle kayma gerilmelerinin düşmesi, yığıntı talaş oluşumunu [BUE] arttırmıştır [Durak ve ark, 2001]. Bu sebeple yüksek EP'li BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı yüzey pürüzlülüğü açısından düşük performans göstermiştir.

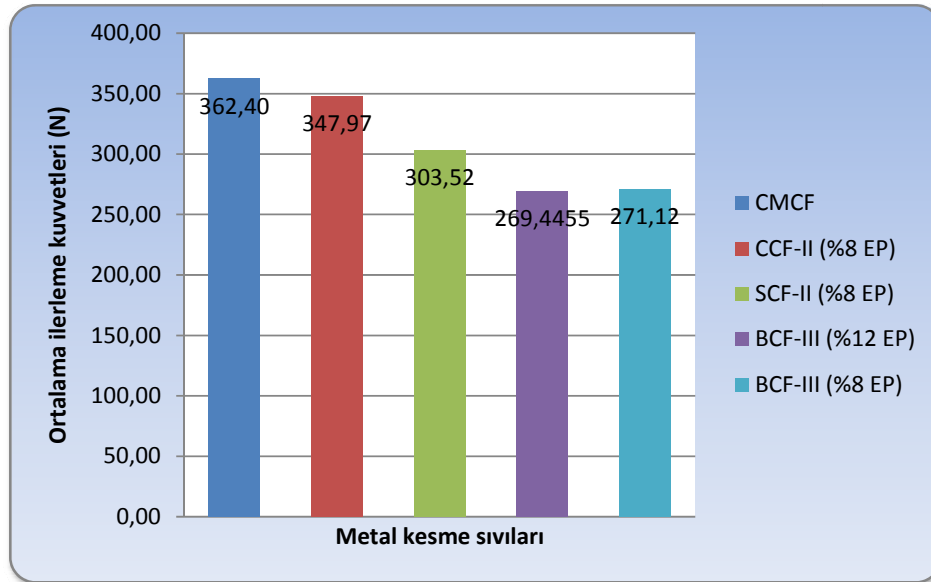
#### **9.4. 3. 2. 7075 Alüminyum Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Tortalama Kuvvetleri**

Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında ölçülen kuvvetlerin ayrı ayrı ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 9.39-9.41'de gösterilmiştir.

Şekil 9.39-9.41'de görüldüğü gibi 710 dev/dak devir sayısı, 0.24 mm/dev ilerleme ve 2 mm talaş derinliği şartları altında kesme kuvvetleri açısından en düşük kuvveti BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı, ilerleme kuvvetleri ve radyal kuvvetler açısından en düşük kuvveti BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. Kesme kuvvetinin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%8 EP), BCF-III (%12 EP), SCF-II (%8 EP), CCF-II (%8 EP) ve CMCF.



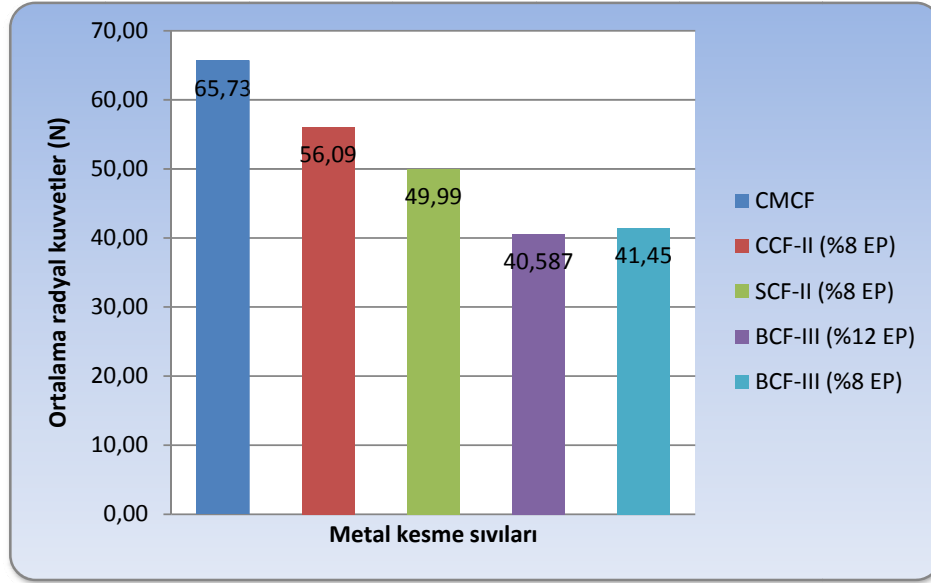
Şekil 9.39. Performans deneyleri sonucu ölçülen kesme kuvvetlerinin ortalaması.



Şekil 9.40. Performans deneyleri sonucu ölçülen ilerleme kuvvetlerinin ortalaması.

Geliştirilen kesme sıvılarının hepsi referans CMCF kesme sıvısından yüksek performans göstermiştir. Geliştirilen BCF-III (%8 EP) ve BCF-III (%12 EP) kesme sıvıları geliştirilen SCF-II (%8 EP) ve CCF-II (%8 EP) kesme sıvılarından tornalama kuvvetleri açısından yüksek performans göstermiştir. Bu sonuçlar alüminyum malzemenin işlenebilirliğinde geliştirilen BCF-III (%8 EP) ve BCF-III (%12 EP) kesme sıvılarının imalat verimliliğini arttırıcı etkisi olduğunu, alüminyum

malzemenin işlenebilirliğinde harman kesme sıvısının en uygun kesme sıvısı olduğunu göstermektedir.



Şekil 9.41. Performans deneyleri sonucu ölçülen radyal kuvvetlerin ortalaması.

İlerleme kuvvetinin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%12 EP), BCF-III (%8 EP), SCF-II (%8 EP), CCF-II (%8 EP) ve CMCF. Bu sonuçlara göre bitkisel esaslı kesme sıvıları CMCF referans kesme sıvısından daha iyi performans göstermiştir. Radyal kuvvetin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%8 EP), BCF-III (%12 EP), SCF-II (%8 EP), CCF-II (%8 EP) ve CMCF. Radyal kuvvet pasif kuvvet olduğu için performans değerleri hakkında yorum yapılmamıştır. CMCF kesme sıvısı referans olarak düşünülürse, bitkisel esaslı kesme sıvılarının tornalama kuvvetlerini düşürme açısından yüzdeler performansları Tablo 9.33'de verilmiştir.

Tablo 9.33. Referans alınan kesme sıvılarına göre tornalama kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

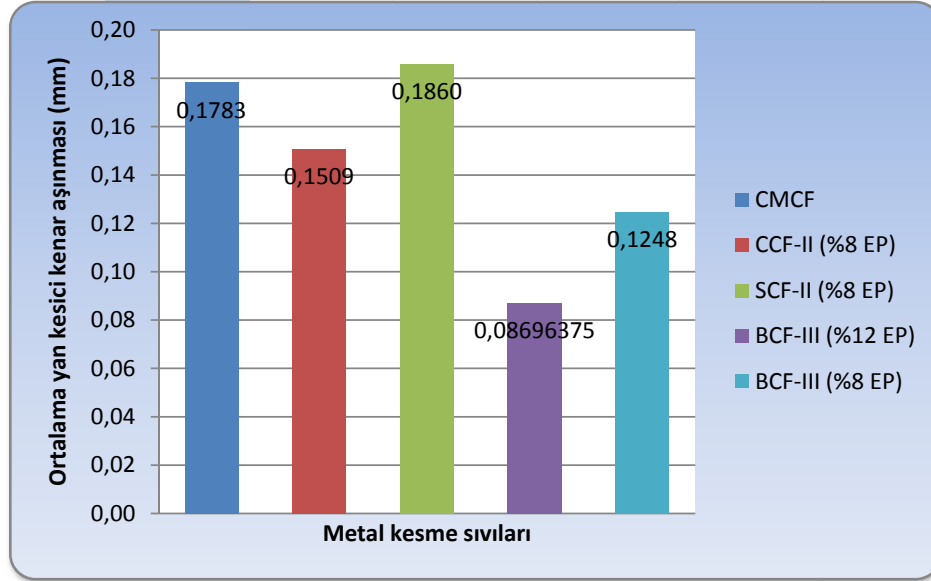
Kesme kuvvetleri açısından				
Kesme Sıvıları	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	4.73	1.69	8.21	7.77
İlerleme kuvvetleri açısından				
Kesme Sıvıları	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	16.25	3.98	25.19	25.65
Radyal kuvvetler açısından				
Kesme Sıvıları	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	23.95	14.67	36.49	38.25

#### 9.4. 2. 3. 7075 Alüminyum Malzemenin Kullanıldığı Performans Deneylerinde Ölçülen Takım Aşınmaları

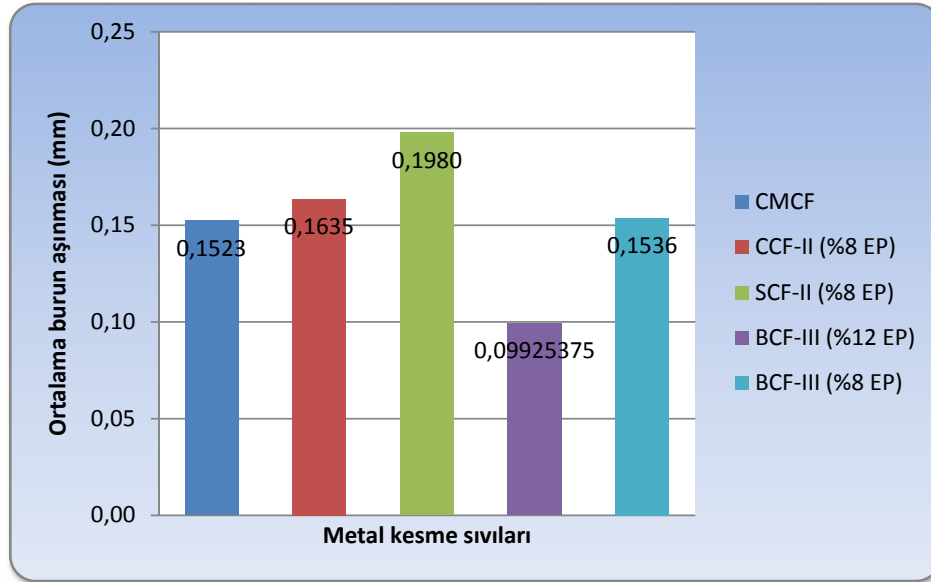
Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında ölçülen yan kesici kenar ve burun aşınmalarının ayrı ayrı ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 9.42-9.43'de gösterilmiştir.

Şekil 9.42-9.43'de görüldüğü gibi 710 dev/dak devir sayısı, 0.24 mm/dev ilerleme ve 2 mm talaş derinliği şartları altında yan kesici kenar ve burun aşınması açısından en iyi performansı (en düşük takım aşınmasını) geliştirilen BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı ile tornalama deneyleri sonucunda ölçülen yan kesici kenar aşınması ortalaması 0.0870 mm ve burun aşınması ortalaması 0.0993 mm olarak ölçülmüştür.





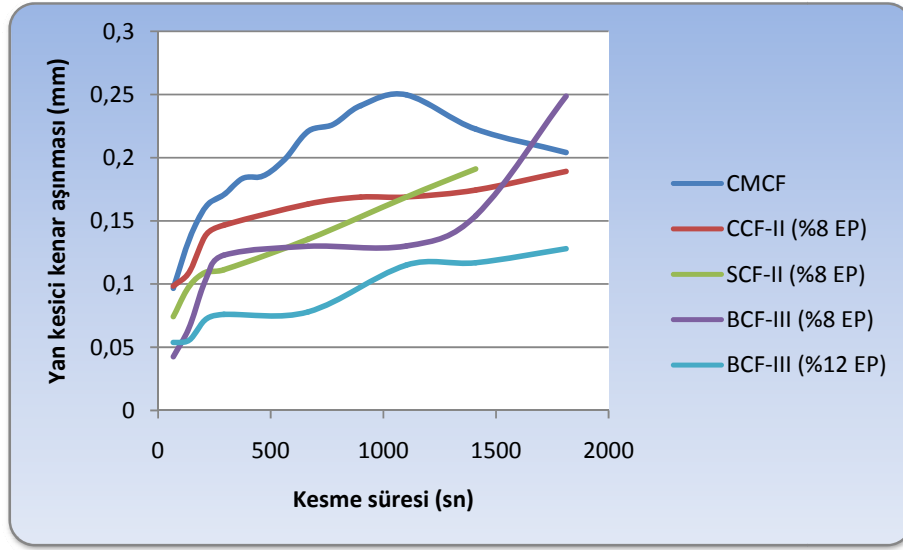
Şekil 9.42. Performans deneyleri sonucu ölçülen yan kesici kenar aşınması değerlerinin ortalaması.



Şekil 9.43. Performans deneyleri sonucu ölçülen burun aşınması değerlerinin ortalaması.

Her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında zamana göre yan kesici kenar ve burun aşınmalarının değişimi Şekil 9.44-9.45'te gösterilmiştir. Kesme sıvılarının takım aşınması açısından performans sıralamasını yapabilmek için ortalama aşınma miktarları aşınma sürelerine bölünerek ortalama aşınma hızları hesap edilmiştir (Tablo 9.34). Daha uzun takım ömrü istendiğinden yan kesici kenar aşınması

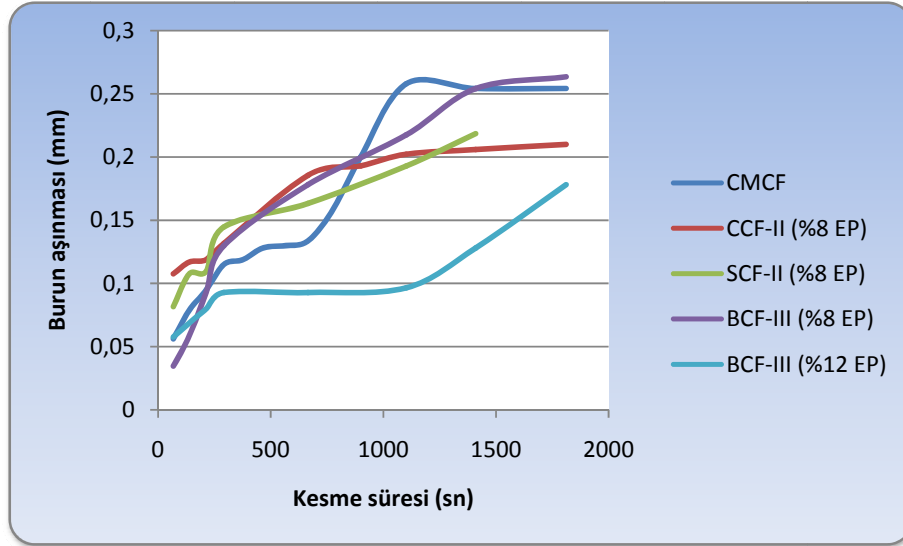
açısından kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%12 EP), BCF-III (%8 EP), CCF-II (%8 EP), CMCF ve SCF (%8 EP). Bu sonuçlara göre, SCF (%8 EP) kesme sıvısı hariç geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvıları CMCF referans kesme sıvısından yan kesici kenar aşınması açısından daha iyi performans göstermiştir. Burun aşınması açısından kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-III (%12 EP), CMCF, BCF-III (%8 EP), CCF-II (%8 EP) ve SCF (%8 EP).



Şekil 9.44. Kesme zamanına bağlı olarak yan kesici kenar aşınmasının değişimi.

BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı emülsiyon halinde viskozitesinin yüksek olması sebebiyle geliştirilen BCF-III (%12 EP) kesme sıvısından düşük performans göstermiştir. Emülsiyon halindeki viskozitesinin düşük olması BCF-III (%12 EP) kesme sıvısının yağlayıcılığını arttırmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre sadece, geliştirilen BCF-III (%12 EP) bitkisel esaslı kesme sıvısı referans sıvıdan burun aşınması açısından daha iyi performans göstermiştir. Şekil 9.44-9.45 incelendiğinde kesme sıvılarının karakteristik aşınma eğrisine uygun bir aşınma grafiği verdikleri görülmektedir. Kesme süresinin birkaç dakikasına kadar aşınma üstel ilerlemiş, sonra aşınma miktarı sabit bir değerde geniş bir kesme süresi boyunca ilerlemiştir. Bu bölge bitkisel esaslı kesme sıvıları ile sağlanan takım ömrü bölgesidir. Takım aşınmalarının artmasıyla oluşan kuvvet yükselmeleri kesme bölgesi sıcaklığını arttıracak için grafiğin son bölgelerinde takım aşınmaları hızlı bir artış göstermeye başlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar bitkisel esaslı kesme sıvılarının

tornalamada kullanılabilirliğini ve imalatta verim arttırıcı etkisi olduğunu kanıtlamaktadır. Aşınma eğrilerinin bütün kesme sıvıları için karakteristiğine uygun ilerlemesi alüminyum malzemenin işlenebilirliğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



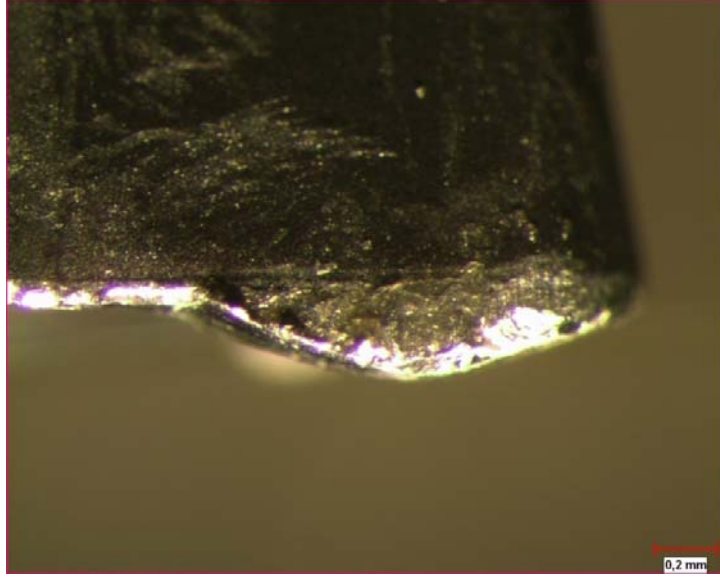
Şekil 9.45. Kesme zamanına bağlı olarak burun aşınmasının değişimi.

Tablo 9.34. Kesme sıvılarına göre ortalama takım aşınma hızları.

Kesme sıvıları	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)	CMCF
VB hızı (mm/dak)	$6162 \cdot 10^{-6}$	$4999 \cdot 10^{-6}$	$4134 \cdot 10^{-6}$	$2882 \cdot 10^{-6}$	$5907 \cdot 10^{-6}$
VC hızı (mm/dak)	$6559 \cdot 10^{-6}$	$5416 \cdot 10^{-6}$	$5088 \cdot 10^{-6}$	$3290 \cdot 10^{-6}$	$5045 \cdot 10^{-6}$

Alüminyum malzemenin iyi ısı iletme özelliği ve birçok alüminyum alaşımının düşük sıcaklıklarda erimesi (500 °C - 600 °C arası) işlenebilirliği kolaylaştırmaktadır [Stephenson and Aqapiou, 2006]. Alüminyum malzemelerin işlenmesinde karşılaşılan tipik yıgıntı talaş oluşumu sorunu ise Şekil 9.46'da görülmektedir. CMCF kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde oluşan BUE nedeniyle aşınma grafiği azalan bir ilerleme göstermiştir. BCF-III (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde de BUE oluşumu gözlenmiştir. Bu sebeple takım aşınma değerleri düşük

çıkımsı, fakat BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı kesme kuvvetleri ve takım aşınması kriterlerinde yüksek performans göstermesi sebebiyle analize dahil edilmiştir (Şekil 9.46).



Şekil 9.46. BCF-III (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde oluşan BUE.



	(%8 EP)	(%12 EP)		(%12 EP)		(%8 EP)
0.28 mm/dev	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CSSCF	CCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF
0.32 mm/dev	CSSCF	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF
AISI 304 perf.	BCF-III (%12 EP)		BCF-III (%8 EP)		CMCF	
AISI 304L perf.	CSSCF	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)	CMCF	CCF-II (%12 EP)
7075 Al perf.	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF	
<b>İlerleme kuvvetleri açısından</b>						
Taguchi	CCF-II (%12 EP)	SCF-II (%12 EP)	CMCF	CSSCF	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)
D-optimal	SCF-II (%8 EP)	CSSCF	CMCF	CCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)
0.24 mm/dev	SCF-II (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)	CSSCF	CCF-II (%12 EP)	CMCF	CCF-II (%8 EP)
0.28 mm/dev	SCF-II (%8 EP)	CSSCF	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF
0.32 mm/dev	CSSCF	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF
AISI 304 perf.	BCF-III (%12 EP)		BCF-III (%8 EP)		CMCF	
AISI 304L perf.	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
7075 Al perf.	BCF-III (%12 EP)	BCF-III (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF	
<b>Radyal kuvvetleri açısından</b>						
0.24 mm/dev	SCF-II (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CCF-II (%8 EP)	CMCF
0.28 mm/dev	SCF-II (%8 EP)	CMCF	CSSCF	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%12 EP)
0.32 mm/dev	CSSCF	CCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF	SCF-II (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)
AISI 304 perf.	BCF-III (%12 EP)		CMCF		BCF-III (%8 EP)	

AISI 304L perf.	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
7075 Al perf.	BCF-III (%8 EP)	BCF-III (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF	CMCF
<b>Yan kesici kenar aşınması açısından</b>						
0.24 mm/dev	SCF-II (%8 EP)	CSSCF	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF	CCF-II (%12 EP)
0.28 mm/dev	SCF-II (%8 EP)	CSSCF	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CMCF
0.32 mm/dev	CCF-II (%12 EP)	SCF-II (%8 EP)	CSSCF	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF
AISI 304 perf.	BCF-III (%12 EP)		BCF-III (%8 EP)		CMCF	
AISI 304L perf.	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%12 EP)	CMCF	CSSCF
7075 Al perf.	BCF-III (%12 EP)	BCF-III (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	CMCF	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)
<b>Burun aşınması açısından</b>						
0.24 mm/dev	CCF-II (%8 EP)	CSSCF	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%12 EP)	CMCF
0.28 mm/dev	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%12 EP)	CSSCF	CMCF
0.32 mm/dev	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	CMCF	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CSSCF
AISI 304 perf.	BCF-III (%12 EP)		BCF-III (%8 EP)		CMCF	
AISI 304L perf.	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)	SCF-II (%12 EP)	CMCF	CSSCF
7075 Al perf.	BCF-III (%12 EP)	CMCF	BCF-III (%8 EP)	CCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%8 EP)

- Taguchi deneylerinde yüzey pürüzlülüğü açısından elde edilen sonuçlara göre, bitkisel esaslı kesme sıvıları referans olarak kullanılan ticari mineral kesme sıvısından daha iyi performans göstermiş, CCF-II (%12 EP) ve SCF-II (%8 EP) kesme sıvıları da referans olarak kullanılan ticari yarı sentetik kesme sıvısından daha iyi performans göstermiştir. Tablo 9.2’de kesme sıvılarının

yüzey pürüzlülüğüne devir sayısından daha yüksek etkisi olduğu görülmektedir. Bu etki oranı içinde bitkisel esaslı kesme sıvıları referans sıvılardan daha iyi veya referans sıvılara yakın performans göstermişlerdir.

- Yüzey pürüzlülüğü için hesaplanan S/N oranlarına göre bitkisel esaslı kesme sıvılarının referans kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından performansları Tablo 10.2’de verilmiştir.

Table 10.2. Yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından S/N oranlarına göre bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Kesme sıvıları	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)
CMCF’ye göre (%)	3.93	0.98	0.27	5.78
CSSCF’ye göre (%)	0.24	-2.82	-3.55	2.16

- Table 10.2’de ki verilere göre yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından kesme sıvıları birbirlerine çok yakın performans göstermişlerdir. EP katkısı açısından bakıldığında ayçiçeği yağı esaslı kesme sıvılarında EP katkı maddesinin %50 artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir. Kanola yağı esaslı kesme sıvılarında %50 EP katkısı artışı performansı ancak %5.51 oranında arttırmıştır. Tablo 9.2’de varyans analizi tablosuna bakıldığında kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğüne %0.69 gibi çok düşük etkisi olması ve bu etki oranı içinde %5.51’lik bir performans artışı, EP oranı artışının yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından etkili olmadığını göstermektedir. EP katkısının artırılmasıyla oluşan maliyet, yüzey pürüzlülüğü açısından sağlanan hassasiyetin getireceği faydadan fazla olmaktadır. EP oranının artışı mühendislik ekonomisi açısından kabul edilebilir değildir.
- Taguchi deneylerinde kesme ve ilerleme kuvvetleri açısından elde edilen sonuçlara göre, %12 EP katkılı kesme sıvıları referans olarak kullanılan ticari kesme sıvılarından daha iyi performans göstermiş, %8 EP’li kesme sıvıları da referans olarak kullanılan ticari kesme sıvılarından daha düşük performans göstermiştir. Tablo 9.3’de kesme sıvılarının kesme kuvvetlerine devir sayısından daha yüksek etkisi olduğu görülmektedir. Tablo 9.4’te ise kesme sıvılarının ilerleme kuvvetlerine devir sayısından ve ilerleme hızından daha yüksek etkisi olduğu görülmektedir. Kesme sıvıları içinde, kesme kuvvetleri açısından SCF-II (%12 EP), ilerleme kuvvetleri açısından CCF-II (%12 EP) en düşük kuvvet değerlerini vermiştir. Bu sonuç bitkisel esaslı kesme



sıvılarının imalat işlemine devir sayısı ve ilerleme hızından daha yüksek oranda etkisi olduğunu göstermektedir.

- EP oranı arttıkça iş parçası yüzeyinde kayma mukavemeti düşük kurşun sülfür, demir klorür gibi tabakalar oluşacağı için plastik deformasyon kolaylaşır, kesme ve ilerleme kuvvetleride düşer [Durak, 2001]. Taguchi deney tasarımından kesme ve ilerleme kuvvetleri için elde edilen sonuçlar bu hipotezi doğrulamaktadır. %12 EP'li bitkisel esaslı kesme sıvıları kesme ve ilerleme kuvvetlerini düşürme açısından %8 EP'li bitkisel esaslı kesme sıvılarından daha yüksek performans göstermiştir. Fakat EP oranındaki artış %50 olmasına rağmen, kesme ve ilerleme kuvvetlerini düşürme açısından CCF-II için sırasıyla %0.97 ve %2.48, SCF-II için sırasıyla %1.26 ve %2.29 performans artışı görülmüştür (Tablo 10.3-10.4). Bu sonuç EP oranındaki artışın imalat işlemine verimlilik kazandırmadığını göstermektedir.

Table 10.3. Kesme kuvvetlerini düşürme açısından S/N oranlarına göre bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Kesme sıvıları	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	-0.12	1.14	-0.18	0.79
CSSCF'ye göre (%)	-0.40	1.22	-0.45	0.52

Table 10.4. İlerleme kuvvetlerini düşürme açısından S/N oranlarına göre bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı

Kesme sıvıları	SCF-II (%8 EP)	SCF-II (%12 EP)	CCF-II (%8 EP)	CCF-II (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	-0.79	1.50	-0.66	1.82
CSSCF'ye göre (%)	-0.16	2.12	-0.03	2.44

- D-optimal deney tasarımından elde edilen sonuçlar Taguchi deney tasarımı sonuçlarına benzemektedir. Bitkisel esaslı kesme sıvıları yüzey pürüzlülüğü, kesme ve ilerleme kuvvetlerini düşürme açısından ticari referans alınan kesme sıvılarından yüksek veya onlara yakın performans göstermiştir (Tablo 10.1).
- D-optimal deney tasarımından elde edilen sonuçlara göre bitkisel esaslı kesme sıvıları kendi aralarında birbirlerine çok yakın performans göstermişlerdir (Tablo 9.8-9.10). Ayçiçeği esaslı kesme sıvılarına konulan EP katkı maddesi yüzey pürüzlülüğü, kesme ve ilerleme kuvvetleri üzerinde

performans arttırıcı bir etki göstermemiştir. Kanola esaslı kesme sıvısına konulan EP katkı maddesinin oranı %50 arttırıldığı zaman yüzey pürüzlülüğü açısından %8.1, kesme kuvvetleri açısından %2.56, ilerleme kuvvetleri açısından %0.48 performans artışı gözlenmiştir. Kesme sıvılarının imalat işleminde düşük etkisi olması ve %50 EP oranı artışına karşı yüzey pürüzlülüğü, kesme ve ilerleme kuvvetlerinin azalması açısından performans artışının düşük değerlerde olması, kesme sıvılarında EP oranının arttırılmasının verimlilik sağlamadığını göstermektedir.

- Bu çalışmada kesme sıvıları ile AISI 304L malzemenin tornalanmasında kesme, ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli parametreler ANOVA kullanılarak bulunmuştur. Genel olarak ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü, talaş derinliğinin ilerleme kuvvetleri, talaş derinliği ve ilerlemenin kesme kuvvetleri üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu sonucu çıkarılmıştır.
- Taguchi ve D-optimal deney tasarımlarında yapılan güvenilirlik testlerinde deney tasarımlarının istatistiki olarak yeterli ve güvenilir olduğu belirlenmiştir.
- İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. İlerleme arttıkça, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler artar. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [7, 16, 17, 18, 23, 24, 95, 96, 97, 98, 99]. İlerleme arttıkça kuvvetler artar. Böylece titreşim artarak daha kötü bir yüzey kalitesi elde edilir.
- İlerlemenin artmasıyla ilerleme kuvvetleri önce artış sonra azalış göstermiştir. İlerleme miktarı arttıkça kesme bölgesinde artan sıcaklık sonucu malzemenin plastik deformasyona uğraması kolaylaşmaktadır.
- İlerleme arttıkça yan kesici kenar ve burun aşınması değerleri artmıştır. CCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde oluşan BUE sebebiyle takım aşınması önce artan sonra azalan bir grafik vermiştir.
- İlerleme değerlerine göre kesme sıvılarının performansını değerlendirirsek; yüzey pürüzlülüğü açısından 0.24 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%8 EP), 0.28 mm/dev ilerleme hızında CSSCF, 0.32 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%8 EP), kesme kuvvetleri açısından 0.24 mm/dev ilerleme hızında SCF-II

(%8 EP), 0.28 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%8 EP), 0.32 mm/dev ilerleme hızında CSSCF, ilerleme kuvvetleri açısından 0.24 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%12 EP), 0.28 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%8 EP), 0.32 mm/dev ilerleme hızında CSSCF, radyal kuvvetler açısından 0.24 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%12 EP), 0.28 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%8 EP), 0.32 mm/dev ilerleme hızında CSSCF, yan kesici kenar aşınması açısından 0.24 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%8 EP), 0.28 mm/dev ilerleme hızında SCF-II (%8 EP), 0.32 mm/dev ilerleme hızında CCF (%12 EP), burun aşınması açısından 0.24 mm/dev ilerleme hızında CCF-II (%8 EP), 0.28 mm/dev ilerleme hızında CCF-II (%8 EP), 0.32 mm/dev ilerleme hızında SCF (%8 EP), kesme sıvıları en iyi performansı göstermiştir.

- AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin kullanıldığı performans deneylerinde BCF-III (%8 EP), BCF-III (%12 EP), CMCF kesme sıvıları kullanılmış ve kıyaslama amacıyla kuru kesme deneyleri de yapılmıştır. Deneyler 500 dev/dak devir sayısı, 0.22 mm/dev ilerleme, 1 mm talaş derinliği şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü, tornalama kuvvetleri ve takım aşınmalarını düşürme açısından en iyi performansı BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. Bütün performans kriterleri için bitkisel esaslı kesme sıvısının performansı EP oranı arttıkça artmıştır.
- AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin kullanıldığı performans deneylerinde BCF-III kesme sıvıları karakteristik aşınma eğrisine uygun aşınma grafiği vermişlerdir.
- AISI 304L östenitik paslanmaz çelik malzemenin kullanıldığı performans deneylerinde SCF-II (%8 EP), SCF-II (%12 EP), CCF-II (%8 EP), CCF-II (%12 EP), BCF-III (%8 EP), CSSCF, CMCF kesme sıvıları kullanılmış ve kıyaslama amacıyla kuru kesme deneyleri de yapılmıştır. Deneyler 500 dev/dak devir sayısı, 0.20 mm/dev ilerleme, 1 mm talaş derinliği şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, radyal kuvvetler ve takım aşınmalarını düşürme açısından en iyi performansı CCF-II (%8 EP) kesme sıvısı göstermiştir. Kesme kuvvetleri açısından en iyi performansı CSSCF kesme sıvısı göstermiştir. Bitkisel esaslı kesme sıvıları referans olarak kullanılan ticari kesme sıvılarından yüksek veya ticari kesme

sıvılarına yakın performans göstermişlerdir. Bitkisel esaslı kesme sıvılarında EP oranının artışı imalat verimliliğine belirgin bir etki göstermemiştir.

- AISI 304L östenitik paslanmaz çelik malzemenin kullanıldığı performans deneylerinde bitkisel esaslı kesme sıvıları karakteristik aşınma eğrisine uygun aşınma grafiği vermişlerdir.
- 7075 alüminyum malzemenin kullanıldığı performans deneylerinde SCF-II (%8 EP), CCF-II (%8 EP), BCF-III (%8 EP), BCF-III (%12 EP), CMCF kesme sıvıları kullanılmıştır. Deneyler 710 dev/dak devir sayısı, 0.24 mm/dev ilerleme, 2 mm talaş derinliği şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü, ilerleme kuvvetleri ve takım aşınmalarını düşürme açısından en iyi performansı BCF-III (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler açısından en iyi performansı BCF-III (%8 EP) kesme sıvısı göstermiştir. Bitkisel esaslı kesme sıvıları referans olarak kullanılan ticari kesme sıvılarından yüksek veya ticari kesme sıvılarına yakın performans göstermişlerdir. Bitkisel esaslı kesme sıvılarında EP oranının artışı imalat verimliliğine belirgin bir etki göstermemiştir. BCF-III kesme sıvıları alüminyum malzemenin tornalanmasında bütün performans parametrelerinde yüksek performans göstermişlerdir. Bu sonuç alüminyum malzemenin tornalanmasında BCF-III kesme sıvılarının verim arttırıcı etkisi olduğunu ve imalat parametreleri üzerinde yüksek etkisi olduğunu göstermektedir.
- 7075 alüminyum malzemenin kullanıldığı performans deneylerinde bitkisel esaslı kesme sıvıları karakteristik aşınma eğrisine uygun aşınma grafiği vermişlerdir.

## 10.2. Öneriler

- Bu tezde sülfür esaslı EP katkı maddesi kullanılmıştır. Fosfor ve klor esaslı EP katkı maddeleri kullanılarak kesme sıvılarının performansına bakılabilir.
- Bitkisel esaslı kesme sıvıları ile yüksek basınçlı yağlama, minimum miktarda yağlama sistemleri için çalışma yapılabilir.

- Kesme sıvılarının soğutma fonksiyonunun tespiti ve EP katkı maddesinin aktivitesini anlayabilmek için sıcaklık ölçümü yapılabilir.
- Farklı malzemeler için en uygun kesme sıvıları belirlenebilir.
- Bu çalışmada, işlenebilirlik kriterlerinden kuvvet, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması ölçülmüştür. Bu kriterler dışında tornalama esnasında titreşim, tork ve güç tüketimi gibi veriler de ölçülebilir.
- Kesme sıvısının tatbik edildiği açı, akışkan debisi ve tatbik mesafesi değiştirilerek optimum açı ve mesafe değerleri belirlenebilir.
- Geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı taşlama, vida çekme vb. işlemlerde analiz edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] A. Bhattacharyya, I. Ham, Design of cutting tools use of metal cutting theory, American Society of Tool and Mech. Engineers, Dearborn, Michigan, (1969) 12-26.
- [2] A. D. Jayal, A. K. Balaji, Effects of cutting fluid application on tool wear in machining: Interactions with tool-coatings and tool surface features, Wear, Article In Press.
- [3] A. Güllü, Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1995.
- [4] A. Jawaid, S. Sharif, S. Koksal, Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy. Journal of Materials Processing Technology 99 (2000) 266–274.
- [5] A. Kurt, U. Şeker, İ. Çiftçi, Doğrusal hareketle talaş kaldırmada oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için 3 boyutlu bir dinamometre tasarımı ve imalatı, II. Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu, Manisa, (2001) 656- 667.
- [6] A.N. Otmanbölük, İ. Ay, Z. Aksoy, Tornalamada kesme kuvvetlerini ölçen strain gauge esaslı ortogonal ring dinamometresi ve uygulaması, Malzeme ve İmalat Sempozyumu, Denizli, (1987).
- [7] B. Balcı, AISI 304 Östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2008.
- [8] B. H. Amstead, P. F. Ostwald, M. L. Begeman, Manufacturing Processes, 8th Ed., New York: Wiley, 1987.
- [9] B. Özçelik, E. Demirbaş, E. Kuram, E. Şık, İ. N. Tansel, Geliştirilen ayçiçeği ve kanola esaslı bitkisel soğutma yağlarının AISI 304 malzemenin delinmesindeki performansları, Yıldız Teknik Üniversitesi, I. Ulusal Talaşlı İmalat sempozyumu, UTİS 2009, S:121-129, 02-03 Ekim, Beşiktaş-İSTANBUL (2009b).
- [10] B. Özçelik, E. Demirbaş, E. Kuram, E. Şık, Geliştirilen Rafine Ayçiçek Yağı Esaslı Kesme Sıvısının Delmedeki Performansının Yüzey Pürüzlülüğü Yoluyla Araştırılması, V. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, S:39-45, 17-18 Ekim, Konya (2009c).

- [11] B. Özçelik, E. Demirbaş, E. Kuram and E. Şık, Optimization of surface roughness in drilling using vegetable based cutting oils developed from sunflower oil, *Industrial Lubrication and Tribology* (2009a) (Kabul edildi).
- [12] C. Kuzu, S. Fank, Ç. Doğan, H. Parlaktürk, Kuvvet ölçme cihazlarının ölçüm belirsizliği, III. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir, (1999) 113-118.
- [13] C. Scheffer, P.S. Heyns, An industrial tool wear monitoring system for interrupted turning, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 18 (2004) 1219-1242.
- [14] D. A. Axinte, W. Belluco, L. De Chiffre, Reliable tool life measurements in turning-an application to cutting fluid efficiency evaluation, *International Journal of Machine Tools&Manufacture* 41 (2001) 1003–1014.
- [15] D. A. Stephenson, J. S. Agapiou, *Metal Cutting Theory and Practice*, Second Edition, Taylor&Francis, 2006.
- [16] E. Çevik, Tornalama işleminde kesici takım ömrünün iyileştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [17] E. Durak, E. Çulcuoğlu, F. Karaosmanoğlu, Hidrolik yağların katkıları, II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, MMO Yayın No: E/2001/278-1, Kasım, İzmir (2001).
- [18] E. Kuram, B. Özçelik, E. Demirbaş, E. Şık, Effects of the cutting fluid types and cutting parameters on surface roughness and thrust force, the World Congress on Engineering 2010, (WCE 2010), London, U.K., 30 June - 2 July (2010b) (Kabul edildi).
- [19] E. Kuram, B. T. Şimşek, B. Özçelik, E. Demirbaş, Ş. Aşkın, Optimization of the cutting fluids and parameters Using Taguchi and ANOVA in milling, The World Congress on Engineering 2010, (WCE 2010), London, U.K., 30 June - 2 July, (2010a) (Kabul edildi).
- [20] E. Kuram, Bitkisel esaslı kesme sıvılarının delmedeki performansının araştırılması, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gebze-Kocaeli, 2009.
- [21] E. M. Trent, P. K. Wright, *Metal Cutting*, Fourth Edition, Butterworth Heinemann, 2000.

- [22] E. Şık, Bitkisel tabanlı yağlardan metal kesme sıvısı eldesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 2009.
- [23] E.P. Degarmo, J.T. Black, R.A. Kohser, Materials And Processes In Manufacturing, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 214-652, 1997.
- [24] H. Demir, A. Güllü, Taşlama parametrelerinin taşlama kalitesine etkilerinin incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7: (2001) 189-198.
- [25] H. Demir, A. Güllü, U. Şeker, Düzlem taşlama işleminde taşlama kuvvetlerinin ölçülmesi için bir dinamometre tasarımı ve imalatı, Teknoloji-ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 2, (2006) 111-118.
- [26] H. Demir, H. Ulaş, M. Zeyveli, Talaşlı üretimde kullanılan kesme sıvılarından istenen özellikler, Karabük Üniversitesi, 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, IATS 2009, Karabük, (2009).
- [27] H. E. Gündoğdu, Kesme sıvılı ve kuru talaşlı işleminin iş parçası ve kesici takım üzerindeki etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [28] H. Gökkaya, G. Sur, H. Dilipak, PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Teknoloji 7 (3) (2004) 473-478.
- [29] H.E. Yeyen, İ. Korkut, Y. Turgut, İ. Çiftçi, AISI 303 Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri, 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye (2009).
- [30] <http://atlas.cc.itu.edu.tr/>
- [31] İ. Çiftçi, Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 2 (2005) 205-209.
- [32] İ. Korkut, Torna tezgahında strain gage ile ölçüm yapan bilgisayar bağlantılı dinamometre tasarımı ve imalatı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996.
- [33] J. Schey, Introduction to Manufacturing Processes, 3th Ed., Boston: McGraw-Hill, 1987.



- [34] J.A. Ghani, A. Choudhury, H. H. Masjuki, Performance of P10 TiN coated carbide tools when end milling AISI H13 tool steel at high cutting speed. *Journal of Materials Processing Technology* 153–154 (2004) 1062–1066.
- [35] J.B. Zimmerman, Formulation Evaluation of Emulsifier Systems For Petroleum and Bio-Based Semi-Synthetic Metalworking Fluids., a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the College of Engineering at the University of Michigan, 2003.
- [36] J.F.W. Galyer, C.R. Shotbolt, *Metrology For Engineers*, Cassel Publishers Limited, London, Vol. 9, pp. 191-194, 1993.
- [37] J.L. Stein, C.H. Wang, Analysis of power monitoring in ac induction drive systems, *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control* 112, (1990) 239-248.
- [38] J.P. Byers, *Metalworking Fluids*, Copyright by Marcel Dekker, Inc., 1994.
- [39] J.T. Laemmle, *ASM Handbook, Volume 18 Friction, Lubrication, and Wear Technology, Metalworking Lubricants*, 1991.
- [40] K. Chou, H. Song, Tool nose radius effects on finish hard turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 148 (2004) 259-268.
- [41] K. Kumar, S. Choudhury, Investigation of tool wear and cutting forces in cryogenic machining using design of experiments, *Journal of Materials Processing Technology* 203 (2008): 95-101.
- [42] K. Tülbentçi, E. Kaluç, N. Sarı, *Talaşlı Şekil Verme*, 4. Basım, Yıldız Basımevi, Kocaeli, 2003.
- [43] L. De Chiffre, W. Belluco, Investigations of cutting fluid performance using different machining operations, *Lubrication Engineering* 58 (10) (2002) 22-29.
- [44] M. A. Xavior, M. Adithan, 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.
- [45] M. Akkurt, *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [46] M. C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, Nobel Yayın Dağıtım, Bursa, 2006.
- [47] M. C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, VİPAŞ A.Ş., Bursa, 2000.

- [48] M. C. Çakır, Y. Işık, Takım çeliklerinin talaşlı imalatında kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasındaki ilişkinin deneysel olarak incelenmesi, 9. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, (2000) 397-403.
- [49] M. Cerit, Makine Mühendisliği El Kitabı-Üretim ve Tasarım, T.M.M.O.B. Makine Mühendisleri Odası Yayın No:170, 1996.
- [50] M. Dal, Bitkisel esaslı kesme sıvılarının frezelemedeki performansının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 2009.
- [51] M. G. Gressel, Comparison of mist generation of flood and mist application of metalworking fluids during metal cutting, Doctorate of Philosophy (Ph.D), University of Cincinnati, 2001.
- [52] M. Gunay, U. Seker, G. Sur, Design and construction of a dynamometer to evaluate the influence of cutting tool rake angle on cutting forces, *Materials and Design*, 27 (2006) 1097–1101.
- [53] M. Günay, Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [54] M. Karahan, Ham soya yağından metal kesme sıvı eldesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 2009.
- [55] M. M. A. Khan, N.R. Dhar, Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel, *Journal of Zhejiang University SCIENCE A* 7 (11) (2006) 1790–1799.
- [56] M. Nouari, G. List, F. Girod, D. Coupard, Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys, *Wear* 255 (2003) 1359–1368.
- [57] M. S. Lou, J. C. Chen, C. M. Li, Surface roughness prediction technique for CNC end-milling, *Journal of Industrial Technology* 15 (1) (1999).
- [58] N. Şahin, Tesviyecilik Meslek Teknolojisi I, Bayt Ltd. Şti, Ankara, 1998.
- [59] N. Tounsi, A. Otho, Dynamic cutting force measuring, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 40 (2000) 1157–1170.
- [60] NIOSH, Simple solutions: ergonomics for machining workers. Available at <http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/01-111.pdf>, 2001.

- [61] O. C. Mendes, R. F. Ávila, A. M. Abrão, P. Reis, J. P. Davim, The performance of cutting fluids when machining aluminium alloys, *Industrial Lubrication and Tribology* 58/5 (2006) 260–268.
- [62] O. Çakır, A. Yardımeden, T. Özben, E. Kılıçkap, Selection of cutting fluids in machining processes, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 25 (2) (2007).
- [63] P. Viktor, *Tribology of Metal Cutting*, Tribology and Interface Engineering Series, No.52, 2006.
- [64] Prof. Dr. Ömer Anlağan, *Metal Cutting Lecture Notes*, 2005.
- [65] R. F. Ávila, A. M. Abrão, The effect of cutting fluids on the machining of hardened AISI 4340 steel, *Journal of Materials Processing Technology* 119 (2001) 21-26.
- [66] R. V. Kumar, B. Ramamoorthy, Performance of tools during hard turning under minimum fluid application, *Journal of Materials Processing Technology* 185 (2007) 210-216.
- [67] Rhenus Lub GmbH & Co KG, *Cooling Lubricants Theory for the Practical Applications*, 1997.
- [68] S. Cho, S. Asfour, A. Onar, N. Kaundinya, Tool breakage detection using support vector machine learning in a milling process, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45 (2005) 241–249.
- [69] S. J. Ojolo, M. O. H. Amuda, O. Y. Ogunmola, C. U. Ononiwu, Experimental determination of the effect of some straight biological oils on cutting force during cylindrical turning, *Revista Matéria* 13 (4) (2008) 650-663.
- [70] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, International Edition, Prentice Hall International, Fourth Edition, 2001.
- [71] S. M. Alves, J. F. Gomes de Oliveira, Vegetable based cutting fluid—an environmental alternative to grinding process, 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (2008).
- [72] S. Neşeli, *Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006.
- [73] S. Yaldız, Frezeleme için bir kesme kuvveti dinamometresinin geliştirilmesi ve test edilmesi, *Cilt 8, sayı 1*, (2005) 61-68.

- [74] S.L. Mike, C.C. Josep, M.L. Cabel, Surface roughness prediction technique for CNC end-milling, *Journal of Industrial Technology*, Vol.15, No.1, (1999) 2-3.
- [75] SB. Rao, Tool wear monitoring through the dynamics of stable turning, *J. ENG. IND.* Vol. 108, no. 3, (1986) pp. 183-190.
- Society of Manufacturing Engineers, *Cutting and Grinding Fluids: Selection And Application*, Second edition, Michigan, 1992.
- [76] U. Özdemir, M. Erten, Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarlarını azaltma yöntemleri, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi Ocak Cilt1 Sayı1*, (2003) 37–50.
- [77] U. Şeker, A. Kurt, İ. Çiftçi, Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion, *Materials and Design*, 23: (2002) 355-360.
- [78] U. Zuperl, F. Cus, Tool cutting force modeling in ball-end milling using multilevel perceptron, *Journal of Materials Processing Technology* 153 (2004) 268–275.
- [79] V. S. Sharma, M. Dogra, N.M. Suri, Cooling techniques for improved productivity in turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 49 (2009) 435-453.
- [80] W. Belluco, L. De Chiffre, Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology* 148 (2004) 171–176.
- [81] W. F. Sales, A. E. Diniz, Á. R. Machado, Application of cutting fluids in machining processes, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences* 23 (2) (2001).
- [82] W. S. Lin, B. Y. Lee, C. L. Wu, Modeling the surface roughness and cutting force for turning, *Journal of Materials Processing Technology* 108 (2001) 286-293.
- [83] WR. Devries, *Analysis of material removal process*, Springer-Verlag, New York, (1991).
- [84] [www.index.gen.tr](http://www.index.gen.tr).
- [85] [www.kistler.com](http://www.kistler.com).
- [86] [www.mitutoyo.co.jp/eng/](http://www.mitutoyo.co.jp/eng/)
- [87] [www.ofismuhendis.com](http://www.ofismuhendis.com).
- [88] [www.productionmachining.com](http://www.productionmachining.com).
- [89] [www.speedol.com.tr](http://www.speedol.com.tr).

- [90] [www.tungaloy.com](http://www.tungaloy.com).
- [91] [www.wa.gov.tr/lni/sharp/](http://www.wa.gov.tr/lni/sharp/).
- [92] Y. Işık, Kesici Takım Teknolojisi, Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Bursa, 2009.
- [93] Y. Kwon, Robust control of surface roughness in a turning operation, Bell and Howell Information and Learning Company, The University of Iowa, (2000).
- [94] Y. Şahin, Talaş Kaldırma Prensipleri 1, Nobel Yayın Dağıtım (2000).
- [95] Y. Şahin, Talaş Kaldırma Prensipleri 2, Nobel Yayın Dağıtım (2001).
- [96] Y. Şahin, Talaş Kaldırma Prensipleri 2, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2001.
- [97] Y. Turgut, İ. Korkut, Talaşlı imalatta kesme kuvveti ölçme sistemleri, Karabük Üniversitesi, 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, IATS 2009, Karabük (2009).
- [98] Y.H. Jeong, D.W. Cho, Estimating cutting force from rotating and stationary feed motor currents on a milling machine, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42, (2002) 1559–1566.

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Konya’da doğdu. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği Lisans Programını tamamladı. Mezun olduğu yıl GYTE Tasarım ve İmalat Mühendisliğinde Yüksek Lisans Programına başladı. Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat Teknolojileri ABD’da araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.