

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

BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARININ
DELMEDEKİ PERFORMANSININ
ARAŞTIRILMASI

EMEL KURAM
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2009

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

BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARININ
DELMEDEKİ PERFORMANSININ
ARAŞTIRILMASI

EMEL KURAM
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE
2009



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.07.2009 tarih ve 2009/16 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28.08.2009 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Emel KURAM'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE

: Doç. Dr. Erhan DEMİRBAŞ

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Hasan KURTARAN

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Delmedeki Performansının Araştırılması.

YAZAR ADI : Emel KURAM

Bu tezde, delik delme işleminde bitkisel esaslı kesme sıvılarının ve kesme parametrelerinin delme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel olarak iş parçası malzemesi olarak AISI 304 paslanmaz çelik malzeme ve kesici takım olarak 8 mm çapında HSSE matkap ucu kullanılmıştır. Kesme sıvısı olarak 6 tane bitkisel esaslı kesme sıvısı ve 1 tane ticari mineral esaslı kesme sıvısı kullanılmıştır. Bitkisel esaslı kesme sıvılarından 5 tanesi ayçiçeği ve kanola bitkilerinden geliştirilmiştir, diğer bitkisel esaslı kesme sıvısı ise ticari olarak konsantre halinde temin edilmiştir. Deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk deney çalışmasında deney seti Taguchi L_9 (3^3) ortogonal dizini esas alınarak hazırlanmıştır. Bu deney setinde kesme parametreleri olarak; devir sayısı, ilerleme, delme derinliği alınmıştır. Deneysel data Minitab 14 yazılımı yardımıyla işlenmiştir. Delme parametrelerinin etkisini analiz etmek için ortogonal dizin, işaret/gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. İkinci deneysel çalışma planı olarak; 81 delik sayısı için sabit devir sayısı, ilerleme ve delme derinlik değerleri için performans deneyleri yapılmıştır. Üçüncü deney setinde; farklı devir sayısı ve ilerleme değerlerindeki veriler elde edilmiştir. Delme esnasında kesme kuvvetleri Kistler 9257B dinamometre ile ölçülmüştür. Kuvvet datası DAQ kartı ve Dynoware kullanıcı ara yüzü yardımıyla elde edilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Deliklerin yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo SurfTest SJ 301 ile ölçülmüştür. Her durumda yüzey pürüzlülüğü için iki ölçüm alınmıştır ve analiz için ortalama değer kullanılmıştır. Genel olarak deney sonuçları, geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmada 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 Drilling.

AUTHOR NAME : Emel KURAM

In this thesis, the effects of vegetable based cutting fluids and cutting parameters on drilling forces and surface roughnesses in the drilling were experimentally investigated. In experiments, AISI 304 stainless steel was used as workpiece material and HSSE 8 mm diameter drill was used as cutting tool. Six vegetable based cutting fluids and one commercial mineral based cutting fluid were used as cutting fluids. Five of vegetable based cutting fluids were developed from sunflower and canola (rapeseed), other vegetable based cutting fluid was bought as a commercial. The experiments were conducted at three stages. First experiment were determined by using the Taguchi L₉ (3³) orthogonal array. Spindle speed, feed rate, drilling depth were taken as cutting parameters in this experiment. The experimental data was processed with the aid of Minitab 14 software. An orthogonal array, the signal-to-noise (S/N) ratio, and the analysis of variance (ANOVA) are employed to analyze the effect of drilling parameters. As second experimental study; performance experiments were conducted at constant spindle speed, feed rate and drilling depth for 81 holes. At third experiment; data at different spindle speed and feed rate was obtained. The drilling forces were measured with a Kistler 9257B dynamometer. Force data was saved on a personal computer, acquired via a DAQ Card and Dynoware user interface. The surface roughnesses of the holes were measured with a Mitutoyo SurfTest SJ 301. Two measurements were taken for the surface roughness in each case and the average value was used for analysis. The experiment results show that in general, the performance of developed vegetable based cutting fluids was equal or better than the other commercial cutting fluids in reducing the force and the surface roughness.

TEŞEKKÜR

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

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi, tecrübe, yardım ve hoşgörüsünü benden eksik etmeyen, deneysel çalışmalarda gerekli olan cihaz ve donanımları temin eden, değerli görüşleriyle beni yönlendiren ve bilim insanı olarak model aldığım tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim. Yurt içi yüksek lisans bursiyeri olduğum TÜBİTAK'a yüksek lisansım sırasında verdiği destekten dolayı teşekkür ederim. Bitkisel esaslı kesme sınırlarını geliştiren Kimya bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Erhan Demirbaş'a, proje asistanı Emrah Şık'a, deneysel çalışmalardaki yardımlarından dolayı Bilgin Tolga Şimşek'e ve Murat Dal'a teşekkür ederim.

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

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLOLAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
3. DELİK DELME	7
3. 1. Delik Delmede Kullanılan Kesici Takımlar	7
3. 2. Matkap Çeşitleri	8
3. 3. Matkapta Uç Açıları	9
3. 4. Delik Delmede Talaş Kaldırma Parametreleri	9
3. 4. 1. Kesme Hızı	9
3. 4. 2. İlerleme ve İlerleme Hızı	11
3. 4. 3. Talaş Derinliği	12
3. 5. Delme Zamanı	12
3. 6. Talaş Debisi (Talaş Hacmi)	13
3. 7. Talaş Oluşumu	13
4. KESME SIVILARI	15
4. 1. Kesme Sıvılarından İstenen Özellikler	15
4. 2. Kesme Sıvılarının Fonksiyonları	17
4. 2. 1. Yağlama Fonksiyonu	18
4. 2. 2. Soğutma Fonksiyonu	19
4. 2. 3. Talaşı Uzaklaştırma Fonksiyonu	19
4. 3. Kesme Sıvılarının Geliştirilmesi	20
4. 4. Kesme Sıvıları Bileşenleri	20
4. 4. 1. Mineral Yağlar	20

4. 4. 2. Bitkisel Yağlar	21
4. 4. 3. Sentetik Yağlar	21
4. 4. 4. Katkı Maddeleri	22
4. 5. Kesme Sıvılarında Yağlayıcılık Mekanizmaları	22
4. 5. 1. Hidrodinamik Yağlayıcılık	22
4. 5. 2. Sınır Yağlama Mekanizması	23
4. 5. 3. Aşırı Basınç (EP) Yağlama	23
4. 6. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması	23
4. 6. 1. Saf Yağlar	24
4. 6. 2. Su Bazlı Kesme Sıvıları	24
4. 6. 2. 1. Çözünebilen Yağlar (Emülsiyonlar, Bor Yağı)	24
4. 6. 2. 2. Sentetik Kesme Sıvıları	28
4. 6. 2. 3. Yarı Sentetik Kesme Sıvıları	29
4. 7. Kesme Sıvılarının Seçimi	30
4. 7. 1. Kullanılan Kesici Takım Malzemesine Göre Seçim	31
4. 7. 1. 1. Yüksek Hız Çelikleri (HSS)	31
4. 7. 1. 2. Sert Metaller	31
4. 7. 1. 3. Kübik Bor Nitrür (CBN)	31
4. 7. 1. 4. Seramik Kesiciler	31
4. 7. 1. 5. Sementit Karbür Metaller	32
4. 7. 1. 6. Kaplamalı Karbür Metaller	32
4. 7. 1. 7. Çok Kristalli Elmas (PCD)	32
4. 7. 1. 8. Kaplamalar	32
4. 7. 2. İşlenen Malzeme Cinsine Göre Seçim	32
4. 7. 2. 1. Dökme Demirler	33
4. 7. 2. 2. Çelikler	33
4. 7. 2. 3. Alüminyum ve Alaşımları	34
4. 7. 2. 4. Bakır ve Alaşımları	35
4. 7. 2. 5. Titanyum ve Alaşımları	35
4. 7. 2. 6. Magnezyum ve Alaşımları	36
4. 7. 3. Talaş Kaldırma Şekline Göre Seçim	37
4. 7. 3. 1. Delme	37
4. 7. 3. 2. Derin Delik Delme	39
4. 7. 3. 3. Tornalama	39

4. 7. 3. 4. Frezeleme	39
4. 7. 3. 5. Taşlama	39
4. 8. Kesme Sıvılarını Uygulama Yöntemleri	40
4. 8. 1. Akıtma (Flooding)	40
4. 8. 2. Basınçlı Jet (Pressurised Jets)	42
4. 8. 3. Misting	43
4. 8. 4. Manüel Metotlar	43
5. KESME KUVVETLERİ VE GÜÇ	44
6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	48
6. 1. Yüzey Yapısı	48
6. 1. 1. Pürüzlülük veya Kabalık	48
6. 1. 2. Dalgalanma	49
6. 1. 3. İzler	49
6. 1. 4. Hatalar	49
6. 1. 5. Pürüzlülük Genişliği	49
6. 1. 6. Pürüzlülük Genişliği Kesim Uzunluğu	49
6. 1. 7. Dalgalık Yüksekliği	49
6. 1. 8. Dalgalık Genişliği	50
6. 2. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	50
6. 2. 1. Ortalama Eksen Çizgi Değeri (R_a , Cl_a)	50
6. 2. 2. Ortalamaların Kareleri Toplamının Karekökü (R_q , R_s , R_{ms})	51
6. 2. 3. Profil Maksimum Tepe Yüksekliği (R_p)	51
6. 2. 4. Profil Maksimum Çukur Derinliği (R_v , R_m)	51
6. 2. 5. Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği (R_t , R_{max})	52
6. 2. 6. On Nokta Yüksekliği (R_z)	52
6. 3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	52
7. DENEY TASARIMI	54
7. 1. Takım Tezgahı	54
7. 2. İş Parçası	54
7. 3. Kesici Takımlar	56
7. 4. Kesme Sıvıları	56
7. 5. Dinamometre	58
7. 5. 1. Amplifikatör	59
7. 5. 2. Veri Toplama Kartı (DAQ)	60

7. 5. 3. Bağlantı Kabloları	60
7. 6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı	61
7. 7. Deney Tasarımları	63
7. 7. 1. Taguchi Deney Tasarımı	63
7. 7. 2. Performans Deneyleri	64
7. 7. 3. Devir Sayısının Etkisini Belirleme Deneyleri	65
7. 7. 4. İlerlemenin Etkisini Belirleme Deneyleri	65
8. DENEY SONUÇLARI	66
8. 1. Kuvvet Sonuçları	66
8. 1. 1. Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kuvvetler	67
8. 1. 2. Performans Deneylerinde Ölçülen Kuvvetler	68
8. 1. 3. Devir Sayısının Kuvvet Üzerindeki Etkisi	71
8. 1. 4. İlerlemenin Kuvvet Üzerindeki Etkisi	73
8. 2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	75
8. 2. 1. Taguchi Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü	75
8. 2. 2. Performans Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü	76
8. 2. 3. Devir Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	79
8. 2. 4. İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	81
9. DENEY SONUÇLARININ ANALİZLERİ	84
9. 1. Regresyon Analizi	84
9. 2. S/N Oranının Analizi	86
9. 3. Varyans Analizi (ANOVA)	94
9. 4. Optimizasyon	101
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
10. 1. Sonuçlar	105
10. 2. Öneriler	110
KAYNAKLAR DİZİNİ	112
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Talaş kesit Alanı (mm ²)
AA	: Arithmetic Average
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
Al	: Alüminyum
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
a ₀ , a ₁ , a ₂ , a ₃	: Denklem Katsayıları
a _p	: Talaş Derinliği (mm)
As	: Arsenik
B	: Bor
Bi	: Bizmut
BUE	: Built Up Edge (Talaş Yığılması)
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
CBN	: Kübik Bor Nitrür
CCF-I	: Rafine Kanola Esaslı Kesme Sıvısı, Tekli Emülsifiyer
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
CSCF-II	: Ham Ayçiçeği Esaslı Kesme Sıvısı, İkili Emülsifiyer
cst	: Centistoke
Cu	: Bakır
CVCF	: Ticari Bitkisel Esaslı Kesme Sıvısı
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
d	: Önceden Delinmiş Deliğin Çapı (mm)
d	: Yoğunluk (g/ml)
D	: Matkap Çapı (mm)
DAQ	: Data Acquisition Card (Veri İzleme ve Kayıt Kartı)
DIN	: Deutsches Institut für Normung

EP	: Extreme Pressure (Aşırı Basınç)
E°	: Engler Derecesi
F _{ci}	: Kenar Başına Teğetsel Kesme Kuvveti
Fe	: Demir
F _e	: Toplam Teğetsel Kuvvet (N)
F _p	: Delme Basıncı (N)
F _{pi}	: Kenar Başına Eksenel Kuvvet
F _{ref}	: Refraktometre Sabiti
F _Z	: Thrust Force (Eksenel Kuvvet, İlerleme Kuvveti)
f	: İlerleme (mm/dev)
f _z	: Kenar Başına İlerleme (mm/dev)
h ₁	: Teorik Talaş Kalınlığı (mm)
h ₂	: Deformasyona Uğramış Talaş Kalınlığı (mm)
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
HV	: Vickers Sertliği
i	: Delik Sayısı
k _c	: Özgül Kesme Kuvveti (N/mm ²)
K _r	: Yanaşma Açısı
L	: Örnekleme Uzunluğu
L	: İşleme Stroku (mm)
La	: Lantan
l _a	: Giriş Stroku (mm)
l _u	: Çıkış Stroku (mm)
M	: Tork (Nm)
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
MQL	: 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)
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 _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-I	: Rafine Ayçiçeği Esaslı Kesme Sıvısı, Tekli Emülsifiyer
SCF-II	: Rafine Ayçiçeği Esaslı Kesme Sıvısı, İkili Emülsifiyer
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
S/N	: İşaret/Gürültü Oranı
t	: Bir Delik için Delme Zamanı
T	: Birden Fazla Delik için Delme Zamanı
Ti	: Titanyum
TiC	: Titanyum Karbür
V	: Vanadyum
V	: Talaş Debisi (mm ³ /dak)
V _c	: Kesme Hızı (m/dak)
V _f	: İlerleme Hızı (mm/dak)
W	: Wolfram (Tungsten)
WC	: Tungsten Karbür
x	: Matkabin Koni Kısmının Yüksekliği
z	: Matkap Ağız Sayısı
Zn	: Çinko

Zr	: Zirkonyum
α	: Boşluk Açısı
γ	: Uç Kenar Açısı
ε	: Hata
η	: Tezgah Verimi
μm	: Mikrometre
φ	: Matkap Uç Açısı
ω	: Açısal Hız

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Delik delme işlemi [Shaw, 2005].	7
3.2. Delik delme ve raybalama operasyonları [Kalpakjian and Schmid, 2001].	8
3.3. Spiral matkap uç yapısı [Kalpakjian and Schmid, 2001].	8
3.4. Bir matkabın kesmesini sağlayan açılar ve elemanlar [Şahin, 1998].	9
3.5. Kesme hızı-ilerleme hızı [Çakır, 2000].	10
3.6. Kesici kenar başına ilerleme ve talaş kesit alanı [Çakır, 2000].	12
3.7. Talaş derinliği [Çakır, 2000].	12
3.8. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [Çakır, 2000].	14
4.1. Metal işleme üzerine faktörlerin etkisi.	17
4.2. Yüzey gerilimi yüksek ve düşük iki damla yağ [Kavuncu, 1975].	19
4.3. Refraktometre.	28
4.4. Delik delmede kesme sıvısı akışı [Sandvik].	38
4.5. Farklı işleme operasyonlarında doğru kesme sıvısı uygulama metotları (a) tornalama (b) frezeleme (c) diş taşlama (d) delik delme [Kalpakjian and Schmid, 2001].	42
5.1. Kesme kuvvetinin bileşenleri [Çakır, 2000].	45
5.2. Delme ve çevreden kesme işleminde kuvvet faktörü [Çakır, 2000].	46
5.3. Kesme gücü [Çakır, 2000].	47
6.1. Yüzey kalitesini tanımlamak için standart terminoloji ve semboller. Miktarlar μm cinsinden verilmiştir. ($1 \mu\text{m} = 40 \mu\text{in}$, $1 \mu\text{in} = 0.025 \mu\text{m}$) [Kalpakjian and Schmid, 2001].	48
6.2. Pürüzlülük için kullanılan parametreler [Stephenson and Agapiou, 2006].	50
6.3. Rz pürüzlülük değeri [Stephenson and Agapiou, 2006].	52
7.1. DECKEL MAHO DMU 60 P beş eksen işleme merkezi.	54
7.2. İş parçası.	55
7.3. Deneylerde kullanılan gümüş serisi HSSE matkap ucu.	56
7.4. Deneylerde kullanılan kesme sıvıları.	57
7.5. Deneylerde kullanılan kesme sıvılarının su ile karıştırılması sonucu oluşan emülsiyonlar.	57

7.6. KISTLER 9257B dinamometre.	59
7.7. KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör.	59
7.8. Veri toplama kartı.	60
7.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.	61
7.10. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.	61
7.11. Deney kurulunun şematik gösterimi.	62
7.12. Deney kurulunun fotoğrafı.	63
8.1. Kesme kuvveti-zaman grafiği.	66
8.2. Delik delme esnasında oluşan tipik kuvvet grafikleri. (a) Üniform kuvvet eğrisi, (b) Artan kuvvet eğrisi, (c) Pik yapan kuvvet eğrisi.	67
8.3. Performans deneyleri sonucu ölçülen kuvvetlerin ortalaması.	70
8.4. Devir sayısı ile Fz kuvveti arasındaki ilişki.	73
8.5. İlerleme ile Fz kuvveti arasındaki ilişki.	75
8.6. Performans deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması.	78
8.7. Devir sayısı ile Ra arasındaki ilişki.	81
8.8. İlerleme ile Ra arasındaki ilişki.	83
9.1. SCF-I kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	88
9.2. SCF-II kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	89
9.3. CCF-I kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	89
9.4. CCF-II kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	89
9.5. CSCF-I kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	90
9.6. CVCF kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	90
9.7. CMCF kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.	90
9.8. SCF-I kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	91
9.9. SCF-II kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	92
9.10. CCF-I kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	92
9.11. CCF-II kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	92
9.12. CSCF-I kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	93
9.13. CVCF kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	93
9.14. CMCF kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.	93

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Emülsiyonların konsantrasyonuna göre pH dereceleri [Kavuncu, 1975].	26
4.2. Kesme yağlarının karşılaştırılması [Kavuncu, 1975].	30
4.3. Kesme yağından beklenen özellikler [Kavuncu, 1975].	33
4.4. Kesme faktörlerinde kesme yağları özellikleri [Kavuncu, 1975].	37
4.5. Delmede kesme sıvılarının malzemeye göre seçimi [Kavuncu, 1975].	38
4.6. Kesme sıvıları seçim kılavuzu [Akkurt, 2000].	41
7.1. Beş eksen işleme merkezinin teknik özellikleri.	55
7.2. AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).	56
7.3. Deneylerde kullanılan HSSE matkap ucunun özellikleri.	56
7.4. Deneylerde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri.	58
7.5. KISTLER 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.	59
7.6. KISTLER 5070A11100 amplifikatörün teknik özellikleri.	60
7.7. Veri toplama kartının teknik özellikleri.	60
7.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına ait teknik özellikler.	62
7.9. Delme deneylerinde faktörler ve seviyeler.	64
7.10. Taguchi L ₉ deney tasarımı.	64
7.11. Performans deneyleri için kesme parametreleri.	64
7.12. Devir sayısının etkisini belirleme deneyleri için kesme parametreleri.	65
7.13. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri için kesme parametreleri.	65
8.1. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.	68
8.2. Performans deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.	69
8.3. Devir sayısının etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.	72
8.4. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.	74
8.5. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.	76
8.6. Performans deneylerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.	77
8.7. Devir sayısının etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.	80

8.8. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.	82
9.1. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerlerinin S/N oranları.	88
9.2. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin S/N oranları.	91
9.3. SCF-I ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	94
9.4. SCF-II ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	95
9.5. CCF-I ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	95
9.6. CCF-II ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	96
9.7. CSCF-I ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	96
9.8. CVCF ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	97
9.9. CMCF ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.	97
9.10. SCF-I ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.	98
9.11. SCF-II ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.	98
9.12. CCF-I ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.	99
9.13. CCF-II ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.	99
9.14. CSCF-I ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.	100
9.15. CVCF ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.	100
9.16. CMCF ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.	101
9.17. Kesme sınırları ile delik delmede kuvvet için optimum seviyeler.	104
9.18. Kesme sınırları ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeler.	104
10.1. Kesme sınırları ile delik delmede kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeler.	105
10.2. Kesme sınırları ile delik delmede optimum noktalarda hesaplanan kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri.	106

1. GİRİŞ

Talaşlı imalatta, kesme sıvısı ilk olarak 1894 yılında F. W. Taylor tarafından kullanılmıştır. Taylor, 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 sağlamaktadır [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.

Bir kesme sıvısının performansı; kesme kuvvetleri, takım aşınması, sıcaklık, talaş şekli ve rengi, yüzey kalitesi ve tezgah titreşimi gibi parametreler gözlenerek belirlenebilir. Bu tezde, delik delme işleminde bitkisel esaslı kesme sıvılarının ve kesme parametrelerinin delme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 304 paslanmaz çelik malzeme ve kesici takım olarak 8 mm çapında HSSE matkap ucu kullanılmıştır. Kesme sıvısı olarak 6 tane bitkisel esaslı kesme sıvısı ve 1 tane ticari mineral esaslı kesme sıvısı kullanılmıştır. Bitkisel esaslı kesme sıvılarından 5 tanesi TÜBİTAK projesi kapsamında ayçiçeği ve kanola bitkilerinden geliştirilmiştir, diğer bitkisel esaslı kesme sıvısı ise ticari olarak konsantre halinde temin edilmiştir. Deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk deney çalışmasında deney seti Taguchi L₉ (3³) ortogonal dizini esas alınarak hazırlanmıştır. Bu deney setinde kesme parametreleri olarak; devir sayısı, ilerleme, delme derinliği alınmıştır. Deneysel data Minitab 14 yazılımı yardımıyla işlenmiştir. Delme parametrelerinin etkisini analiz

etmek için ortogonal dizin, işaret/gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. İkinci deneysel çalışma planı olarak; 81 delik sayısı için sabit devir sayısı, ilerleme ve delme derinlik değerleri için performans deneyleri yapılmıştır. Üçüncü deney setinde; farklı devir sayısı ve ilerleme değerlerindeki veriler elde edilmiştir. Delme esnasında kuvvetler Kistler 9257B dinamometre ile ölçülmüştür. Kuvvet datası DAQ kartı ve Dynoware kullanıcı ara yüzü yardımıyla elde edilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Deliklerin yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo SurfTest SJ 301 ile ölçülmüştür. Her durumda yüzey pürüzlülüğü için iki ölçüm alınmıştır ve analiz için ortalama değer kullanılmıştır.

İkinci bölümde genel olarak literatür taraması, üçüncü bölümde delik delme, kesicileri ve kesici elemanları, dördüncü bölümde kesme sıvılarının özellikleri, kesici ve işlenecek malzemeye göre seçim kriterleri, beşinci bölümde kesme kuvvetleri, altıncı bölümde yüzey pürüzlülüğü ve çeşitleri, yedinci bölümde deney tasarımı ve ölçüm cihazları, sekizinci bölümde kuvvet ve yüzey pürüzlülükleri değerleri, dokuzuncu bölümde regresyon, S/N analizi, ANOVA gibi analizler ve onuncu bölümde sonuçlar ile öneriler verilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Talaşlı imalat işlemleri işlemenin özelliğine göre kuru veya kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilir. Kesme sıvılarının geliştirilmesine yönelik farklı çalışmalar yapılmaktadır. Kesme sıvılarının geliştirilmesinde maliyet ve çevresel etkiler düşünülmektedir. Bu konuda son yapılan çalışmalar MQL [Vikram Kumar and Ramamoorthy, 2007; Zeilmann and Weingaertner, 2006; Heinemann et al, 2006; Obikawa et al, 2006; Kelly and Cotterell, 2002; Braga et al, 2002] ve bitkisel esaslı kesme sıvılarıdır. Bu tezin esasını da oluşturan bitkisel esaslı kesme sıvıları kullanılarak yapılan çalışmalar delme [Belluco and De Chiffre, 2004; De Chiffre and Belluco, 2002; Belluco and De Chiffre, 2001], tornalama [Xavior and Adithan, 2009; Axinte et al, 2001; De Chiffre and Belluco, 2002], vida çekme [Belluco and De Chiffre, 2002; De Chiffre and Belluco, 2002; Belluco and De Chiffre, 2001], raybalama [Belluco and De Chiffre, 2002; De Chiffre and Belluco, 2002; Belluco and De Chiffre, 2001; De Chiffre et al, 2001] gibi talaşlı imalat üstüne gerçekleştirilmiştir.

Delme üzerine aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

Belluco and De Chiffre çeşitli bitkisel esaslı kesme sıvılarının delik delmedeki verimliliğini araştırmıştır. Referans kesme sıvısı olarak mineral esaslı yağ ve 5 tane farklı seviyede katkılı bitkisel esaslı kesme sıvısı kullanılmıştır. Deneylerde iş parçası olarak östenitik paslanmaz çelik 316L, takım olarak da HSS-Co Ø8.8 DIN 1897 kullanılmıştır. Bu çalışmada takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvvetleri ve talaş oluşumu gözlenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) bütün ölçülen parametrelerin üzerinde farklı sıvıların etkisini incelemek için yürütülmüştür. Sonuçta bütün bitkisel esaslı kesme sıvılarının referans sıvıdan daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. En iyi performans takım ömrünü %177 artıran ve itme kuvvetini %7 azaltan kesme sıvısı ile elde edilmiştir [Belluco and De Chiffre, 2004].

Greeley and Rajagopalan çalışmasında delik delme kuvvetlerini ve sıcaklığı, yağlama ve soğutma fonksiyonunu karakterize etmek için kullanmıştır. Delme testlerinde 12.7 mm çaplı yağ delikli HSS matkap kullanılmıştır. İş parçası

malzemesi 1018 çeliğidir. Bu çalışmada tork, itme kuvveti, sıcaklık ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Sonuçta yeni kesme sıvısının en yüksek tork, itme kuvveti ve sıcaklığa sahipken, kullanılmış kesme sıvısının en düşük tork, itme kuvveti ve sıcaklığı sağladığı gözlemlenmiştir. Kalsiyum ve magnezyum gibi iyonların varlığının kesme kuvvetlerini azaltmada sorumlu olabileceği hipotezi ileri sürülmüştür. Artan hidrolik yağ kirlenmesi kesme kuvvetlerinde azalmayla sonuçlanmaktadır [Greeley and Rajagopalan, 2004].

Tornalama üzerine aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

Xavior and Adithan'ın yapmış olduğu çalışmada kesme sıvılarının, AISI 304 malzemesinin karbür uçla tornalanması esnasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Hindistan cevizi yağının performansı, emülsiyon ve saf kesme yağları ile karşılaştırılmıştır. Hindistan cevizi yağı takım aşınmasını azaltmada ve yüzey kalitesini iyileştirmede diğer iki kesme sıvısından daha iyi sonuç vermiştir. Hindistan cevizi yağı metal kesme endüstrisinde kullanılan diğer bitkisel esaslı kesme sıvıları ile karşılaştırılabilecek derecede termal ve oksidatif kararlılığa sahip olması nedeniyle bu çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada Taguchi deney tasarım metodu kullanılmıştır. Deneylerde kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme ve kesme sıvısı tipi parametre olarak düşünülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını etkileyen parametreler ANOVA prosedürü kullanılarak belirlenmiştir. Hesaplamalardan; ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde, kesme hızının da takım aşınması üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda kesme sıvısının hem yüzey pürüzlülüğü hem de takım aşınması üzerinde önemli ölçüde etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Minitab-15 yazılımı kullanılarak serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü için çoklu lineer regresyon modelleri geliştirilmiştir [Xavior and Adithan, 2009].

Khan and Dhar tornalamada bitkisel esaslı yağ ile MQL'nin (Minimum miktarda yağlamanın) kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve ölçüsel sapma üzerindeki rolünü araştırmışlardır. Deneyler farklı kesme hızı ve ilerlemelerde yürütülmüştür. İş parçası olarak AISI 1060 çeliği, kesici takım olarak kaplanmamış karbür uç kullanılmıştır. Bitkisel esaslı yağ ile MQL'nin, ortalama kesme sıcaklığını, işleme parametreleri kesme hızının ve ilerlemenin

seviyelerine bağılı olarak %5–12 azaltabileceği sonucuna varılmıştır. Böylece MQL ile işlemenin kesme performansının kuru işlemeden daha iyi olduğu gözlenmiştir. MQL çeliğin kuru işlenmesi ile karşılaştırıldığında takım aşınmasını azaltmakta, takım ömrünü arttırmakta ve daha iyi bitirme yüzeyi sağlamaktadır. Bitkisel esaslı yağ ile MQL, kesme kuvvetlerini %5–15 azaltmaktadır [Khan and Dhar, 2006].

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

Raybalama üzerine aşağıdaki çalışma yapılmıştır:

De Chiffre et al östenitik paslanmaz çeliği raybalamada su esaslı kesme sıvıları kullanarak bir çalışma yürütmüştür. Kullanılan kesme sıvıları: Mineral yağ esaslı emülsiyon, sentetik soğutucu esaslı suda çözünebilen esterler, bitkisel yağ esaslı emülsiyon, mineral yağ esaslı EP katkılı emülsiyon. Bu çalışmada kesme sıvısının kuvvetler, bitirme yüzeyi ve delik çapı üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Deneyle 3 farklı kesme derinliğinde ve 2 farklı takım tutucu kullanılarak yürütülmüştür. Deneyle sonucunda en düşük kuvvet, tork, delik çapı ve pürüzlülük değerleri bitkisel yağ esaslı emülsiyon ile elde edilmiştir [De Chiffre et al, 2001].

Farklı talaş kaldırma işlemleri için aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

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

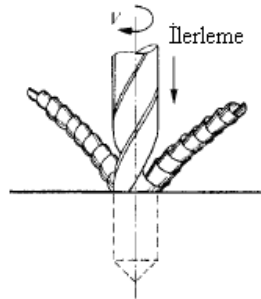
kullanılarak elde edilen sonuçlar bitkisel yağ esaslı ürünlerin üstün veya mineral yağ esaslı ürünlerle eşit olduğunu göstermiştir [De Chiffre and Belluco, 2002].

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

Belluco and De Chiffre HSS-E takımlarını kullanarak AISI 316L paslanmaz çeliğini işlemişlerdir. İşlemler delik delme, core delme, raybalama ve kılavuz çekmeyi içerir. Çalışmalarında bitkisel esaslı kesme yağlarının gelişimi ile ilgili olarak farklı yağlayıcıların kesme kuvvetleri ve güç üzerine etkisini araştırmışlardır [Belluco and De Chiffre, 2001].

3. DELİK DELME

Talaşlı imalat tekniklerinden biri olan delik delme işlemi, matkap denilen özel bir kesici takımla iş parçası üzerine silindirik delikler açmak olarak tanımlanabilir. Bu amaçla tasarlanıp imal edilmiş tezgahlara delik delme tezgahları denir [Şahin, 1998]. Delme, şartların kesme kenarı boyunca değiştiği üç boyutlu karmaşık bir kesme işlemidir [Makina Mühendisliği El Kitabı]. Delik delmede talaş kırma ve talaş tahliyesi önemlidir. Delik derinliği arttıkça, işlemi kontrol etmek zorlaşır [Korucu, 2007]. Delme sırasında kesici takım, bir dairesel kesme hareketi ve aynı zamanda dönme eksenini doğrultusunda bir ilerleme hareketi yapar [Metal Meslek Bilgisi, 2000]. Yani delme işlemi iki hareketten oluşur: Kendi eksenini etrafında dönme hareketi ve ilerleme hareketi [Sönmez, 2002]. Şekil 3.1’de bu iki hareket gösterilmektedir.



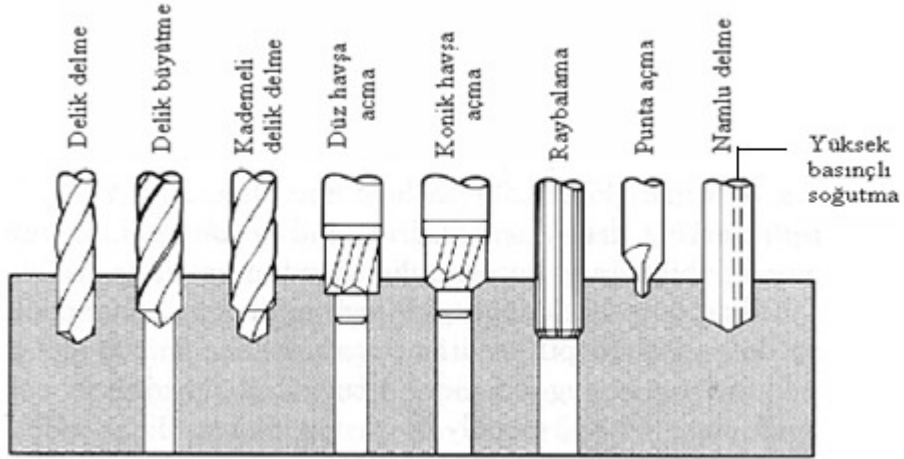
Şekil 3.1. Delik delme işlemi [Shaw, 2005].

Delinecek boy/delinecek çap oranı 5’den büyük olursa bu işleme derin delik delme denmektedir. Derin delik delme özellikle silah sanayinde kullanılmaktadır [Karaca, 1996]. Şekil 3.2’de çeşitli delik delme ve raybalama operasyonları gösterilmektedir.

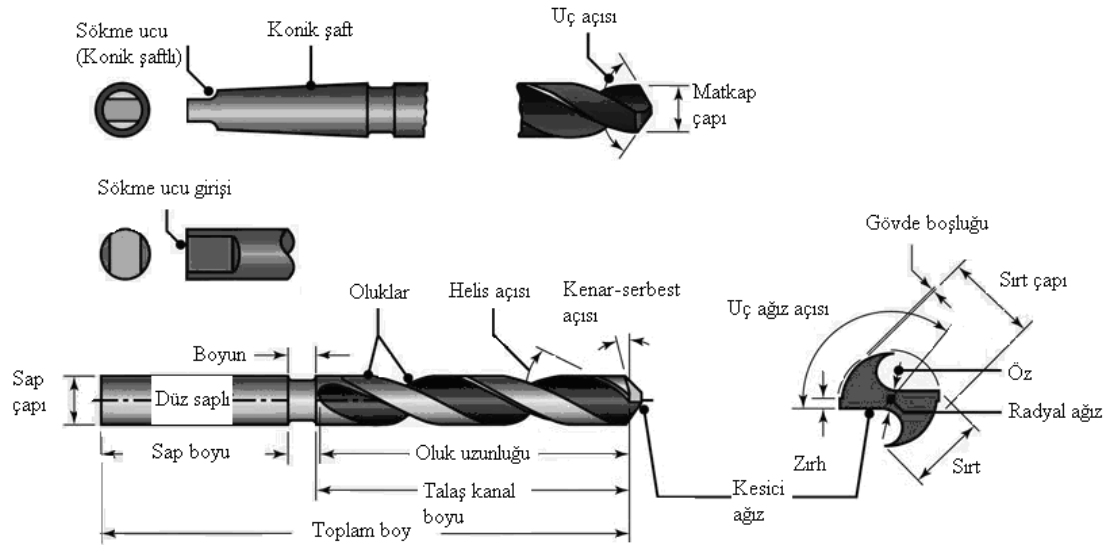
3. 1. Delik Delmede Kullanılan Kesici Takımlar

Delik delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlara matkap denir. Bir matkap ucu, sivri uç, gövde ve kesme gövdesinden oluşmaktadır. Matkap ucunun ana kısmı, üzerinde parçaları dışarıya atmak için oluklar içeren gövdedir. Oluklar, matkabı aşırı

ısınmadan korumak için kullanılan soğutucu sıvıların deliğin içine ulaşmasını sağlamaktadır. Kesme gövdesinin ana görevi, kesme işlemi için, momenti sivri noktaya doğru iletmektir [Kandilli, 2003]. Şekil 3.3'te bir spiral matkabın uç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Delik delme ve raybalama operasyonları [Kalpakjian and Schmid, 2001].



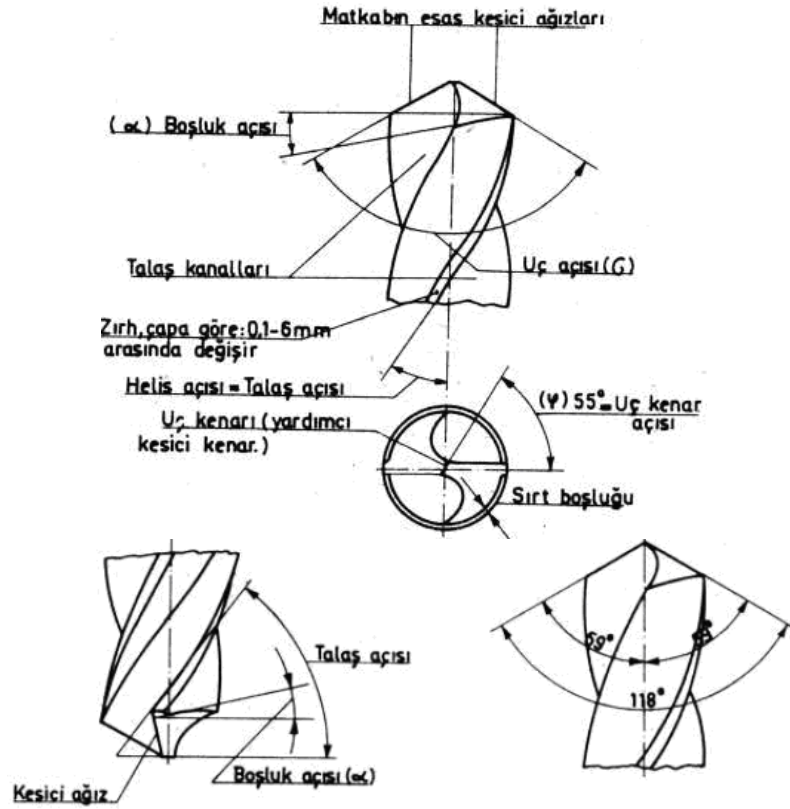
Şekil 3.3. Spiral matkap uç yapısı [Kalpakjian and Schmid, 2001].

3. 2. Matkap Çeşitleri

Matkap çeşitleri şunlardır: Helis matkaplar, punta matkapları, namlu matkapları, havşa matkapları ve adım matkapları.

3. 3. Matkapta Uç Açılıarı

Matkapta bulunan açılar şunlardır: Uç açısı, uç kenar açısı, talaş açısı ve boşluk açısı. Şekil 3.4'te bu açılar gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Bir matkabin kesmesini sağlayan açılar ve elemanlar [Şahin, 1998].

3. 4. Delik Delmede Talaş Kaldırma Parametreleri

3. 4. 1. Kesme Hızı

Kesme ağzının çapına bağlı olarak, kesme hızı ağız boyunca değişmektedir. Kesme hızı, matkabin çevresinde maksimumdur, merkezinde ise sıfırdır. Kesme hızı değişken olmasına rağmen pratikte D çapına karşılık gelen hız kesme hızı olarak kabul edilmektedir [Akkurt, 2000].

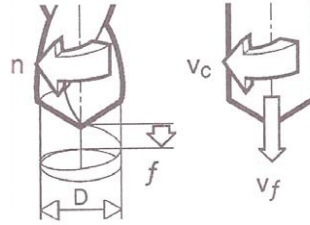
Delik delme işlemi için kesme hızı (V_c), çevresel hızdan yararlanılarak hesaplanır. Matkap bir dönüşte çevresi $\pi.D$ olan bir daire çizer (Şekil 3.5). Burada D matkap çapıdır. Eğer matkap çapı mm olarak verilmişse, kesme hızının m/dak cinsinden ifade edilebilmesi için sonuç 1000'e bölünür [Çakır, 2000].

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

V_c = Kesme Hızı (m/dak)

D = Matkap Çapı (mm)

n = Devir Sayısı



Şekil 3.5. Kesme hızı-ilerleme hızı [Çakır, 2000].

Kesme hızının artması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetlerini de azaltmaktadır [Soylu, 2007]. Kesme hızı takım ömrünü belirleyen temel faktördür ve güç tüketimini etkiler. Çok yüksek kesme hızları matkap üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına, kesme kenarlarında plastik deformasyona, düşük delik kalitesine ve tolerans dışı sonuçlara neden olur. Çok düşük kesme hızları matkap üzerinde talaş yığılması oluşumuna, talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine ve verimliliğin düşmesine neden olur [Korucu, 2007].

Kesme hızını etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

- İş parçasının ve matkap malzemesinin cinsi
- Deliğin yüzey kalitesi
- Soğutma sıvısı
- Tezgah kapasitesi
- Matkap tipi

3. 4. 2. İlerleme ve İlerleme Hızı

İlerleme hızı (parçaya nüfuziyet hızı, V_f) bir devirde veya birim zamanda alınan yol olarak tanımlanan, kesici takımın iş parçasına göre veya alternatif olarak iş parçasının takıma göre ilerlemesidir. Bu, tezgahın veya tablanın ilerleme hızı olarak da bilinir [Çakır, 2000]. İlerleme; iş parçasının cinsine, matkap malzemesinin cinsine, matkap çapına bağlıdır.

Matkabin çapı büyüdükçe ilerleme hızı da büyümektedir [Şahin, 1998]. İlerleme arttıkça helis açısı artar, boşluk açısı azalır. Boşluk açısının azalması, takımın ana serbest yüzeyinin, işlenen yüzeye sürtünmesini artırarak sürtünme kuvvetlerini böylece moment değerini arttıracaktır [Soylu, 2007]. İlerleme hızı talaş oluşumunu belirleyen faktördür ve güç tüketimini etkiler. Ayrıca mekanik ve ısıl gerilmelere yol açar. Yüksek ilerleme hızı iyi talaş kontrolü, daha az kesme süresi, daha çok matkap kırılma riski ve daha kötü delik kalitesi anlamına gelir. Düşük ilerleme hızı daha uzun talaş, kalitede iyileşme, takım aşınmasında daha hızlı artış ve daha uzun kesme süresi anlamına gelir [Korucu, 2007].

Takımda birden fazla kesici kenar olduğundan talaş kesit alanının (A) tanımında kenar başına ilerleme (f_z) değeri kullanılır (Şekil 3.6). Bu alan bir kenar tarafından kaldırılan malzemenin alanıdır. Bu alan radyal talaş derinliği ile kesici kenar başına ilerlemenin çarpımına eşittir [Çakır, 2000]. Matkap iki ağızlı bir takımdır, eğer ağız sayısı z ile ifade edilirse, bir ağza karşılık gelen ilerleme; [Akkurt, 2000]

$$f_z = f / z = f / 2 \quad (3.2)$$

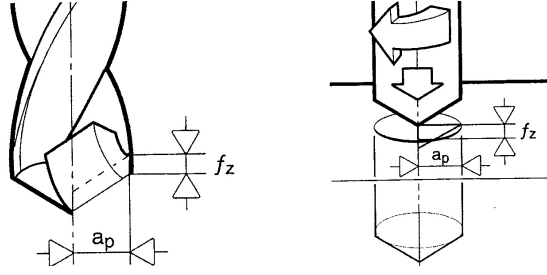
$$f_z = \text{İlerleme (mm/dev)}$$

$$A = a_p \cdot f_z \quad (3.3)$$

$$A = \text{Talaş Kesit Alanı (mm}^2\text{)}$$

$$V_f = f \cdot n = z \cdot f_z \cdot n = 2 \cdot f_z \cdot n \quad (3.4)$$

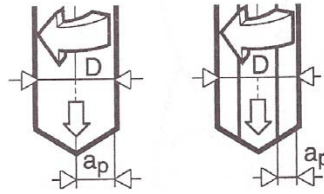
$$V_f = \text{İlerleme Hızı (mm/dak)}$$



Şekil 3.6. Kesici kenar başına ilerleme ve talaş kesit alanı [Çakır, 2000].

3. 4. 3. Talaş Derinliği

Talaş derinliği (radyal talaş derinliği, a_p) takımın temasta olduğu iş parçası yüzeyidir [Çakır, 2000]. Yarıçap cinsinden ifade edilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Talaş derinliği [Çakır, 2000].

$$a_p = \frac{D - d}{2} \quad (3.5)$$

3. 5. Delme Zamanı

Delme zamanı aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$t = \frac{L}{f \cdot n} \quad \text{Bir delik için} \quad (3.6)$$

L = İşleme Stroku (mm)

f = İlerleme (mm/dev)

n = Devir Sayısı (dev/dak)

İş parçasına giriş ve çıkış strokları dikkate alınır, L stroku;

$$L = l_a + l + l_u \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. Parçaya giriş stroku (l_a) 1 mm emniyet payı bırakarak matkapın koni kısmının x yüksekliğine bağlı olarak tayin edilmektedir [Akkurt, 2000].

$$l_a = x + 1 = \frac{D}{2 \tan(\psi / 2)} + 1 \quad (3.8)$$

Çıkış stroku (l_u) genellikle 2 mm alınmaktadır. Kör deliklerde $l_u=0$ 'dır [Akkurt, 2000].

$$T = \frac{L}{f.n} . i \quad \text{Birden fazla delik için} \quad (3.9)$$

i = Delik Sayısı

3. 6. Talaş Debisi (Talaş Hacmi)

Talaş hacmi, kesme hızı ile talaş kesit alanının çarpımıdır. Kesme hızı m/dak cinsinden verilirse, talaş debisinin mm^3/dak cinsinden ifade edilebilmesi için sonuç 1000 ile çarpılır [Çakır, 2000].

$$V = AV_c . 1000 \quad (3.10)$$

V = Talaş Debisi (mm^3/dak)

Delik delmede, yüksek talaş kaldırma oranı ve uzun matkap ömrü; verimliliği artırmak ve maliyeti azaltmak için gereklidir [Li et al, 2007].

3. 7. Talaş Oluşumu

Kısa delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar bulunmaktadır. Talaşlar, delik içerisinden talaş kanalları

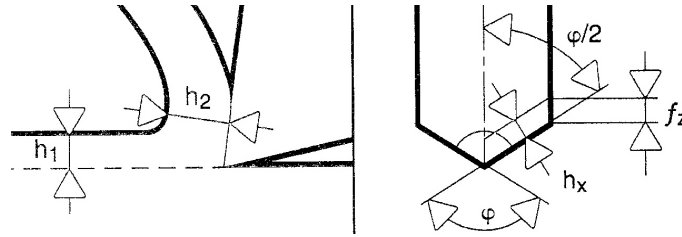
vasıtasıyla boşaltılırlar. Bu, kesme sıvısının takım içerisinde bulunan kanallar vasıtasıyla kesme bölgesine aktarılması sonucunda gerçekleşir [Çakır, 2000].

Talaş oluşumu iş parçası malzemesi, kesici takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kesme sıvısı seçiminden etkilenmektedir. Genellikle artan ilerleme ve/veya azalan kesme hızı değerleri kısa talaş oluşumuna neden olmaktadır [Çakır, 2000].

Talaş kaldırma sırasında talaşın plastik deformasyona uğraması nedeniyle, deformasyona uğramış talaş kalınlığı (h_2) teorik talaş kalınlığından (h_1) farklıdır (Şekil 3.8). Delik delmede kenar başına ilerleme ve uç aşısı (φ) arttıkça teorik talaş kalınlığı da artar [Çakır, 2000].

$$h_2 = f_z \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \quad (3.11)$$

h_2 = Deformasyona uğramış talaş kalınlığı (mm)



Şekil 3.8. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [Çakır, 2000].

4. KESME SIVILARI

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

Kesme sıvılarından ilk olarak istenen özellik talaş kaldırma işlemi sırasında takım aşınmasını azaltmak, bu sayede işlenen parçanın yüzey kalitesini iyileştirmek ve takım ömrünü arttırmaktır. Diğer önemli görevi ise, talaş akışını kolaylaştırmak ve sistemi soğutmaktır [Malyer, 2001]. Delik delme operasyonlarında, kesme sıvısının talaşları delik içerisinden tahliye etmesi önemlidir, böylece matkap kırılması önlenir [Braga et al, 2002]. Kesme sıvılarının kullanılmalarının kaçınılmaz olduğu diğer uygulamalar ise, düşük yüzey pürüzlülüklerinin ve hassas boyutsal toleransların istenildiği operasyonlardır. 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.

4. 1. Kesme Sıvılarından İstenen Özellikler

Kesme sıvılarından istenen özellikler özel uygulamalara bağlıdır. Daha iyi yağlama özelliklerinin ihtiyaç duyulduğu uygulamalar için su ile karışmayan ürünler tercih edilir. Diğer durumlarda yüksek kesme hızları ile, daha iyi soğutma özellikleri

nedeniyle su ile karışan ürünler sıklıkla tercih edilir [R. Rakić and Z. Rakić, 2002].

Kesme sıvılarından istenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Yüksek ısı iletme kabiliyetine (soğutma özelliğine) sahip olmaları
- Metalik yüzeyler üzerine yapışmış bir sıvı tabakası oluşturabilme kabiliyetine (yağlama özelliğine) sahip olmaları
- Özelliklerini uzun süre koruyabilmeleri, yani kararlı olmaları
- Paslanmaya yol açmamaları, yani anti korozyon olmaları
- İnsan sağlığına zararsız olmaları [Akkurt, 2000]
- Makineye zarar vermemesi
- Uçucu olmaması
- Köpürmemesi
- Ateşleme tehlikesi taşımamaları, yüksek parlama noktası [Anlağan, 2005]

İlk iki özellik dikkate alındığında, kesme sıvıları soğutucu ve yağlayıcı olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Soğutucu olanlar iyi bir özgül ısıya (ısı iletme kabiliyetine), yağlayıcı olanlar da iyi bir ıslatma kabiliyetine sahiptir. Soğutucu olanların arasında en iyisi sudur, yağlayıcı olanların arasında da en iyisi yağlardır. Suyun özgül ısısı 1.0 olarak alındığında, normal yağların özgül ısıları 0.45 olur; buna karşılık suyun ıslatma kabiliyeti hiç yoktur. Yüksek soğutma kabiliyetine rağmen; yağlayıcı özelliği çok düşük ve üstelik pas (oksit) yapıcı olduğundan temiz su kesme sıvısı olarak kullanılmaz. Suyun yerine su ve yağ karışımı veya bunlara aditif maddeler katılmış kesme sıvıları kullanılır [Akkurt, 2000].

Kesme sıvılarının verimliliği pek çok faktöre bağlıdır. Bu faktörler şöyledir: Kesme sıvısını uygulamada kullanılan metot, kesmede kullanılan parametreler ve işleme tipi. Kesme sıvısının rolü büyük oranda kesme hızına bağlıdır. Yüksek kesme hızları kullanıldığı zaman (örneğin tornalama ve frezeleme) kesme sıvısının soğutma özelliği daha önemli hale gelir. Tersine, vida çekme ve broşlama gibi operasyonlarda, etkili yağlama sağlama daha önemlidir [Nordic Council of Ministers, 2002; Sales et al, 2001; Li, 2006]. Kesme sıvıları kullanıldığı zaman daha yüksek devir sayıları ve ilerlemeler kullanılabilir. Bunlar da talaş kaldırma işlemlerinde parça başına maliyeti azaltmayla ve üretimi artırmayla sonuçlanmaktadır [Iowa

Waste Reduction Center, 2003]. Şekil 4.1 metal işleme operasyonları üzerine kesme hızının ve kesme sıvısının etkisini göstermektedir.

İşleme Operasyonu	Kesme Hızı	Kesme Sıvısı
Broşlama	Düşük	Yüksek
Kılavuz Çekme		
Vida Açma		
Delik Delme		
Frezeleme		
Tornalama	Yüksek	Düşük

Şekil 4.1. Metal işleme üzerine faktörlerin etkisi.

Konsantrasyon oranı da verimliliği etkiler. Yapılan çalışmalar sonucunda optimum sıvı konsantrasyonu yaklaşık olarak %7.5 değerinde elde edilmiştir [Upton, 2000].

4. 2. Kesme Sıvılarının Fonksiyonları

Kesme sıvılarının önemli fonksiyonları şunlardır:

- Takımın, iş parçasının ya da talaşın soğutulması, yani kesme bölgesindeki sıcaklığı azaltmak
- Yağlama (takımdaki sürtünmeyi ve erozyonu azaltma)
- Takım ve malzeme arasındaki sürtünmeyi azaltmak
- Takımdaki malzeme sıvanmasını kontrol etme
- Talaşları uzaklaştırmak. Bu özellikle derin delik delmede, testere ile kesmede, frezelemede ve taşlamada gerekli olup, çıkan talaşların parçanın yüzey kalitesini bozmaması yönünden önem taşır.
- İşlenen yüzeyin kalitesini artırmak
- Gerekli gücü azaltmak
- Takım ömrünü artırmak

- İş parçasını, takımı ve tezgahı korozyondan koruma

Yüksek hızlı kesme işlemlerinde, kesme sıvısı tarafından sağlanan soğutma çok önemlidir. Çünkü talaş, ısıyı parçadan uzaklaştıracak kadar zaman bulamaz [Gündoğdu, 2006]. Orta kesme hızlarında, hem soğutma hem de yağlama önemlidir, fakat düşük kesme hızlarında yağlama işlevi daha baskın özellik olur.

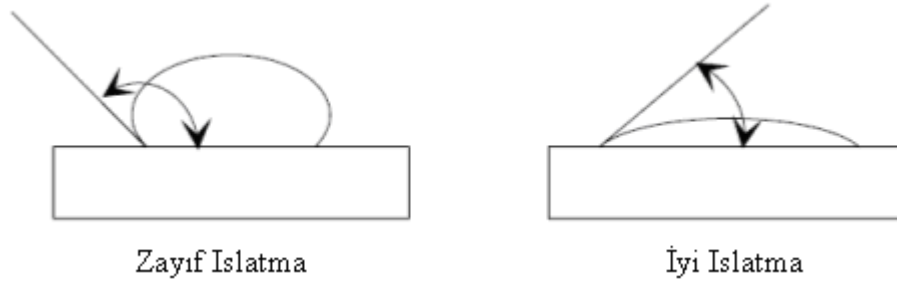
4. 2. 1. Yağlama Fonksiyonu

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

Kesme sıvıları iş parçası malzemesi ve takım arasındaki sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Sürtünmeyi azaltarak, yüzey kalitesi iyileşmekte ve takım üzerinde düzensiz köşe (BUE) oluşma eğilimi azalmaktadır [Nordic Council of Ministers, 2002]. Kesme sıvısının yağlama özelliği arttığı zaman matkap ucu üzerinde daha az BUE oluşur. Aynı zamanda, EP katkıları sürtünmeyi azaltmaya katkıda bulduklarında talaşın matkaba yapışma ve matkap oluklarını tıkama eğilimi daha az olur [Upton, 2000].

Yağlamanın amacı, kesici takım ile iş parçası arasında ince bir yağ filmi oluşturarak direkt teması önlemek ve bu yolla sürtünmeyi azaltmaktır. İyi bir yağlama, talaş kaynamasını da büyük bir oranda önlemiş olur. İyi bir yağlama hassasiyeti, yeterli bir ıslatma özelliği ile gerçekleştirilebilir. Islatma özelliği yağın yüzey gerilimi ile ifade edilir. Yüzey gerilimi küçük yağların, ıslatma özelliği ve dolayısıyla yağlama özelliği yüksek olur. Temas açısı, yağın yüzey gerilimi ile

değişir. Bu açı küçük ve sıfıra yaklaştıkça yağ yüzeyde daha çok yayılır ve ıslatma daha etkili olur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Yüzey gerilimi yüksek ve düşük iki damla yağ [Kavuncu, 1975].

4. 2. 2. Soğutma Fonksiyonu

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].

Sıcaklığın neden olduğu malzeme özelliklerindeki değişmeler sürtünme etkisi ile yakından ilişkilidir. Kesme sıvısının soğutma etkisi ve ısı dağıtımı, kesme sıvısının termal özelliklerine bağlıdır; özellikle ısı kapasitesi ve ısı transfer katsayısı. Diğer taraftan, akış şartları ve ısı transfer katsayısı önemli rol oynamaktadır. Suyun yüksek belirli ısı ve yüksek ısı transfer katsayısı, su karışabilir kesme sıvılarına su karışmaz yağlara oranla daha uygun soğutma özellikleri vermektedir [Mang and Dresel, 2007].

4. 2. 3. Talaşı Uzaklaştırma Fonksiyonu

Yüksek kesme hızları ve ilerleme oranları kullanıldığı zaman, yüksek miktarda talaş meydana gelmektedir. Bu nedenle, talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırma kesme sıvılarının önemli bir fonksiyonudur. Bu durum özellikle düşey işleme merkezleri kullanıldığı zaman veya derin ve dar kaviteler ve delikler işlendiği zaman

önemlidir [Nordic Council of Ministers, 2002]. Kesme sıvılarının talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırma kabiliyeti işleme operasyonu tipinin ve oluşan talaş tipinin yanısıra kesme sıvısının viskozitesine ve akış hacmine bağlıdır [Sales et al, 2001].

4. 3. Kesme Sıvılarının Geliştirilmesi

En iyi soğutucu yüksek ısı kapasitesi ve düşük fiyatı nedeniyle sudur [Gressel, 2001]. Mükemmel soğutma kabiliyetine rağmen suyun yağlama özelliği düşüktür ve iş parçasının yanı sıra takım tezgahının da üzerinde ciddi korozyon problemlerine neden olur. Bu nedenle, iyi yağlama ve soğutma özelliklerini sağlamak için yeni ürünler ve formüller geliştirilmiştir [Vieira et al, 2001]. Araştırmalar sonucunda hayvani yağların (fatty oils) ve özellikle domuz yağının olumlu bir sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Bu yağların en büyük dezavantajı maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca bozulmaya eğilimleri, bakteri üremesi ve gelişimine uygun olmaları ve yüksek sıcaklığın ortaya çıktığı durumlarda kısa zamanda kokuşmaları da önemli faktörlerdir. Hayvani yağlarla madeni yağlar karıştırılarak, hayvani yağların en önemli dezavantajları giderilmiş ve birçok olumlu özelliğinden de yararlanılmıştır.

4. 4. Kesme Sıvıları Bileşenleri

4. 4. 1. Mineral Yağlar

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].

4. 4. 2. Bitkisel Yağlar

Mineral yağların olumsuz etkilerinin olması araştırmacıları bitkisel esaslı yağları araştırmaya yönlendirmiştir. Biyolojik olarak geri kazanılabilen bitkisel esaslı yağların mineral yağlar gibi kaynakları sürekli tükenmemektedir, bitkisel yağ kaynakları kendini yenileyebilmektedir. Bitkisel esaslı yağlar petrol bazlı yağlara göre daha pahalıdır. Ancak kullanılmış bitkisel yağların biyolojik olarak ortadan kaldırılmaları kolaydır. Mineral bazlı yağlara göre biyolojik bozunmalara daha duyarlıdırlar.

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. 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. 4. 3. Sentetik Yağlar

Mineral yağ içermezler. Yüksek soğutma kapasitesi, yağlama, korozyon koruması için geliştirilmiştir.

Çoğu sentetik kesme sıvılarında bulunan kimyasallar:

- Korozyonu önlemek için aminler ve nitritler
- Nitrit stabilizasyonu için nitratlar
- Suyu yumuşatmak için fosfatlar ve boratlar

- Yağlama için sabun ve ıslatma ajanları
- Kimyasal yağlama için fosfor, klor ve sülfür bileşikleri
- Karıştırma ajanları olarak davranmak için glikoller
- Bakteri gelişimini kontrol etmek için mikrop öldürücü [Iowa Waste Reduction Center, 2003].

4. 4. 4. Katkı Maddeleri

Bütün sıvıların yapışma kabiliyeti yoktur. Sadece yağların bu özelliği vardır. Bu özelliklere sahip olmayan sıvılara ilave maddeler katılarak yapışma kabiliyetleri arttırılır. Yağda hiç bulunmayan veya belli bir miktarda bulunan, yağlara istenen bir takım özellikleri kazandırmak, var olan özelliklerini geliştirmek, istenmeyen bir takım özelliklerini yok etmek veya en aza indirmek amacıyla ilave edilen maddelere katık denir. Kesme sıvılarında kullanılan katkı maddeleri şunlardır: aşırı basınç (EP) katkıları, deterjanlar, sis önleyici katkıları, koku önleyiciler, köpük önleyici katkıları, korozyon önleyiciler, anti mikrobik maddeler, buharlaşma önleyici katkıları.

4. 5. 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. 5. 1. Hidrodinamik Yağlayıcılık

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

4. 5. 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. 5. 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. 6. Kesme Sıvılarının Sınıflandırılması

1. Saf yağlar (%100 yağ)
2. Su bazlı kesme sıvıları
 - Çözünebilen yağlar (%60-90 yağ)
 - Sentetikler (%0 yağ)
 - Yarı sentetikler (%2-30 yağ)

4. 6. 1. Saf Yağlar

Saf yağlar su ile sulandırılmadan, yalnız başına veya katkı maddeleri ile kullanılır [Gündoğdu, 2006]. Kesme yağları, genellikle mineral yağlar veya bunlara katılan domuz yağı, kunduz yağı gibi polar katkılı veya kükürt ve/veya klorit gibi kimyasal katkılı yağlardır. Bu bakımdan kesme yağları; saf mineral yağlar, yağlı mineral yağlar (domuz yağı, kunduz yağı), kükürtlü mineral yağlar, kloritli mineral yağlar, kükürtlü kloritli mineral yağlar olarak da adlandırılmaktadır [Akkurt, 2000]. Yağlama fonksiyonun önemli olduğu, soğutmanın göz ardı edilebileceği yerlerde kullanılır.

Mineral yağlar genellikle alüminyum, magnezyum ve kükürtlü otomat çelikleri için kullanılır. Katkılı yağlar ise, vida açma, diş açma, broşlama gibi ağır işlemlerde kullanılır. Katkılı yağların fiyatları yüksek, ateşlenme tehlikesi ve insan sağlığına zararlı olduğundan, kullanılma alanları sınırlıdır [Akkurt, 2000].

4. 6. 2. Su Bazlı Kesme Sıvıları

Belirli bir oranda su içerirler. Su nedeniyle ısıyı daha verimli bir şekilde iletirler. Bu özellik, su bazlı kesme sıvılarını saf kesme yağlarından ayıran en belirgin özelliğdir [Gündoğdu, 2006]. Soğutma etkisinin daha önemli olduğu yerlerde kullanılırlar.

4. 6. 2. 1. Çözünebilen Yağlar (Emülsiyonlar, Bor Yağı)

Suda yağ damlalarının asılması şeklinde oluşur. Bor yağı olarak da adlandırılan bu tip kesme sıvıları, madeni yağların su içinde çok küçük damlacıklar halinde dağılarak karışmasıyla oluşur. Damlacıkların boyutları 0.5-5 mikron arasındadır. %60'dan daha fazla mineral yağ içerirler. Bitkisel ve hayvansal yağların ya da esterlerin ilavesi emülsiyonların yağlayıcılık özelliğini artırır. Genelde hafif ve orta talaş kaldırma işlemlerinde kullanılırlar.

Su en etkili soğutma ortamıdır. Emülsiyonlarda suyun soğutma özelliği yağlayıcılık sağlayan katıklarla birleştirilmiştir. Bazı özel taşıma operasyonları ve ağır işlemlerde kullanılmazlar. Bunu mümkün kılmak amacıyla kükürt, klor, fosfor ve organik yağlar gibi katkıları ilave edilir. Ayrıca; köpük önleyici maddeler, bakteri oluşumunu önleyici maddeler, koku giderici maddeler vb. ilave edilebilir.

Bor yağları su ile karıştırıldığında rengi süt gibi olur. Açık mavi ya da buna benzer bir renk olduğunda bor yağı bozulmuş demektir. Rahatsız edici bir koku oluşur. Yağ ve su birbirinden ayrılır. Özelliklerini (korozyon önleyici özelliği vs.) kaybeder. Bozulmanın nedeni bor yağı içerisindeki bakterilerdir. Havasız ortamda yaşayan bu bakterilerin gelişmesine ve bor yağının bozulmasına neden olan hususlar şunlardır:

- Bor yağının içerisine karışan talaş parçacıkları ile emülsiyon arasında kimyasal reaksiyonlar sonucu hidrojen açığa çıkar ve bu hidrojen bakterilerin gelişmesini hızlandırır.
- Emülsiyonun pH değeri azaldıkça bakteriler artar [Kavuncu, 1975].

Emülsiyondaki pH değeri bor yağı miktarına bağlıdır. pH değeri azaldıkça asitlik derecesi artar ve korozyon tehlikesi açığa çıkar. pH değeri çok yüksek olan emülsiyonlar ise cilde zarar verebilir [Kavuncu, 1975].

Tablo 4.1’de su içerisindeki bor yağının miktarına göre pH dereceleri gösterilmiştir. Bor yağlarının bozulmasını önlemek için bor yağları sık sık hava ile temas ettirilmeli, içerisine nemlendirici, köpük önleyici, bakteri oluşumunu engelleyici maddeler ilave edilmeli, pH değeri 9.5 değerinin üstünde tutulmalı, tezgah temizliğine dikkat edilmeli, talaşlar filtre ile emülsiyonlardan ayırmalı, kullanılan suyun kükürt miktarına dikkat edilmelidir. Bakterilerin 26-38 °C ortamda en fazla arttığı, 18 °C’nin altında ve 71 °C’nin üstünde bakterilerin gelişmesinin yavaşladığı tespit edilmiştir. Bu nedenle soğutma özelliklerini iyileştirmek için 18 °C’nin altında tutulmalı ve sterilizasyon için 70–80 °C ısıtılmalıdır. Bor yağlarının saf yağlara kıyasla soğutma özellikleri çok yüksektir ve bu yüzden yüksek kesme

hızlarında tercih edilir. Daha ekonomiktir ve sağlık yönünden daha az zararsızdır. Bu nedenle genelde piyasada bu tip kesme sıvıları kullanılmaktadır [Kavuncu, 1975].

Tablo 4.1. Emülsiyonların konsantrasyonuna göre pH dereceleri [Kavuncu, 1975].

		pH
Bor yağı	% 10 Konsantrasyonlu	8
Bor yağı	% 15 Konsantrasyonlu	8,5
Bor yağı	% 20 Konsantrasyonlu	9
Bor yağı	% 25 Konsantrasyonlu	9,5
Taşlama yağı	% 1 Konsantrasyonlu	7,5
Taşlama yağı	% 2 Konsantrasyonlu	8,5
Üniversal soğutma macunu	% 5 Konsantrasyonlu	8

Emülsiyonların hazırlanma aşamaları şöyledir:

- Emülsiyon hazırlanmadan önce emülsiyon tankı ve makine aksamı fiziksel ve biyolojik olarak temizlenmelidir.
- Gerekli miktarlardaki suyun %95'i emülsiyon tankına alınmalı, %5'i daha sonra konsantrasyon ayarlaması yapmak ve başka bir kapta ürünü karıştırmak için ayrılmalıdır.
- Operasyona göre tespit edilmiş konsantrasyonu elde etmek için gerekli yağ miktarı ayrı bir kapta iyi bir şekilde karıştırılarak suya ilave edilmelidir. Karıştırma sırasında yağ suya ilave edilmeli, su yağa ilave edilmemelidir. İlave sırasında karıştırma devam etmelidir.
- Daha kolay bir karıştırma sağlamak için su sıcaklığının 20 °C civarında olmasına dikkat edilmelidir.
- Yağ ilavesi tamamlandıktan sonra konsantrasyon kontrol edilmeli ve gerekirse daha önce ayrılan su ile konsantrasyon istenilen değere ayarlanmalıdır.
- Emülsiyonun homojenliğinden emin olmak için işleme başlamadan en az 10 dakika daha karıştırmaya devam edilmelidir.

- Emülsiyonun hazırlandığı tarih not edilmeli, daha sonra karşılaştırmalar yapabilmek için numune alınarak analizleri yapılmalı ve sonuçlar dosyalanmalıdır.

Emülsiyonlardan çalışma sırasında yüksek performans ve uzun efektif ömür alabilmek için düzenli aralıklarla bakımlarının yapılması gerekmektedir. Emülsiyonların konsantrasyon ve pH değerleri günlük olarak kontrol edilerek kaydedilmelidir. pH ölçümü pH kağıtları veya dijital pH ölçme aletleri ile yapılabilir. Günlük pH ölçümlerinde pH kağıdı kullanılabilir, fakat ayda bir yapılacak detaylı testlerde daha kesin sonuçlar alabilmek için kalibre edilmiş elektronik bir ölçme aleti kullanılmalıdır. Günlük yapılan pH ve konsantrasyon testlerinden başka en az ayda bir emülsiyonun iletkenlik, pas, bakteri, köpürme, koku gibi testleri yapılmalı ve sonuçlara göre emülsiyonun kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmelidir. Emülsiyonların kullanım sırasındaki performansları ve efektif ömürleri kullanılan sudan etkilenmektedir. Bu nedenle emülsiyonların hazırlanmasında kullanılan suların düzenli aralıklarla test edilmeleri gerekmektedir. Emülsiyonların kullanıldığı operasyonlara göre ideal kullanım konsantrasyonları vardır ve en iyi performans bu aralıklarda elde edilir. Bu aralıkların dışında problemler çıkabilir. Bu nedenle konsantrasyon günlük olarak kontrol edilmelidir. Günlük konsantrasyon testleri refraktometre kullanılarak yapılabilir (Şekil 4.3). Ancak emülsiyonlar kullanıldıkça yabancı maddelerle kontamine olurlar ve bu refraktometrede okunan değerlerde sapmalara neden olabilir. Bu nedenle en az ayda bir konsantrasyon testi asitle ayırıştırma metodu ile yapılmalıdır.

Konsantrasyon yüksek ise;

- Parça yüzeyinde ve tezgahta yapışkan depoziteler oluşur.
- Kesme bölgesinde duman olur.
- Operatör ellerinde tahriş problemleri olabilir (Özellikle sentetik ürünlerde).

Konsantrasyon düşük ise;

- Parçalarda ve tezgahta paslanma problemleri görülebilir.

- Yağlayıcılık azalacağı için kesici takımların uçlarını bileme süresi kısalmır, yüzey kalitesi azalır.
- Bakteri üremesine karşı direnç yok.



Şekil 4.3. Refraktometre.

Emülsiyonun birkaç damlası refraktometrenin saydam uçları arasına konur. Işığa karşı tutulur ve ölçülen değer ölçek üzerinden okunur. Okunan değer °Brix halindedir. Okunan değer refraktometre faktörü ile ayrı bir konsantrasyon türüne çevrilebilir [Gündoğdu, 2006].

$$\text{Ölçülen Değer (°Brix)} \cdot F_{\text{ref}} = \text{Soğutucu Yağlayıcı Konsantrasyonu (\%)} \\ F_{\text{ref}} = \text{Refraktometre sabiti}$$

4. 6. 2. 2. Sentetik Kesme Sıvıları

Soğutmanın yağlamaya göre daha fazla ihtiyaç duyulduğu yerlerde kullanılmaktadır. Suyu seyreltiklerinde emülsiyonların sütümsü görünüşlerinin aksine yarı şeffaf ve şeffaf solüsyonlar oluştururlar. Emülsiyon yağlara göre daha saydam ve bakteri üremesine karşı daha dayanıklıdır. Bu nedenle emülsiyon yağlara göre daha uzun ömürlüdür. Mineral yağ içermezler.

Kimyasal kesme sıvıları, suya bazı kimyasal maddelerin katılması ile elde edilirler. Katkılı ve katkısız olmak üzere iki gruba ayrılır. Katkılı olanlar iyi soğutma özelliğine sahiptir. Bunun yanı sıra yağlayıcı ve korozyona karşı koruyucu özellikleri de vardır. EP katkısı ile yağlayıcı özelliği daha da iyileşir. Genellikle frezeleme, broşlama, raybalama ve testere ile kesme işlemlerinde kullanılır. Katkısız olanlar

yüksek soğutma özelliğine sahiptir, aynı zamanda korozyona karşı koruyucu özellikleri de vardır. Ancak yağlama özellikleri iyi değildir. Bu nedenle taşlama işlemlerinde kullanılırlar [Akkurt, 2000].

Sentetik kesme sıvılarının avantajları şöyle sıralanabilir:

- Çok iyi mikrobiyal kontrol ve uzun zaman küfe karşı dayanım.
- Parlamazlar, duman yapmazlar ve zehirsizlerdir.
- Korozyona karşı iyi koruma.
- Çok iyi soğutma özelliği.
- Sislenme ve köpüklenme problemleri azaltılmıştır [Iowa Waste Reduction Center, 2003].

Sentetikler iş parçasından ve talaştan kolayca ayrılırlar. İş parçasına ve talaşa yapışan kesme sıvısı miktarı azaldığı için kesme sıvısı kaybı daha az olur. Bu avantajlarının yanı sıra bir takım dezavantajları da vardır. Bunlardan en önemlisi sağlık sorunlarına yol açmasıdır. Sentetik sıvılar diğer makine yağları tarafından kolayca kirletilirler [Iowa Waste Reduction Center, 2003].

4. 6. 2. 3. Yarı Sentetik Kesme Sıvıları

Emülsiyonlara göre daha az mineral yağ içermektedirler. Emülsiyonların yağlayıcılık özellikleri ile sentetik ürünlerin soğutuculuk özelliklerine sahiptirler. Sentetik ve yarı sentetik kesme sıvılarının; magnezyum alaşımları, çinko, kadmiyum ve toryum gibi malzemelerin işlenmesinde kullanılmaları tavsiye edilmez.

Pas önleme ve yağlayıcılık özellikleri sentetik sıvılara göre daha iyidir. Çözünebilen yağlara göre bakımları daha kolaydır ve daha iyi soğutma özelliğine sahiptir. Saf yağlara ve çözünebilen yağlara oranla daha az yağ içerdiklerinden daha az duman oluştururlar [Iowa Waste Reduction Center, 2003].

4. 7. Kesme Sıvılarının Seçimi

Günümüzde çok sayıda kesme sıvısı mevcuttur. Bu nedenle en uygun kesme sıvısının seçimi önem taşımaktadır [Trent and Wright, 2000]. Laboratuvar testleri benzer ürünler arasındaki performans farklılıklarının görülebilmesi için gereklidir. Performans farklılıkları sadece tezgahlarda deneme yapmakla anlaşılamaz. Laboratuvar testleri şunları içermektedir: Korozyon önleme, elastomer uyumu, yüzey kaplama maddeleri ile uyum, yağ bünyeden uzaklaştırma özelliği, yağlayıcılık, köpük oluşumuna karşı direnç, ısı transfer kapasitesi, bakteri üremesine karşı direnç. Laboratuvar testinden sonra tavsiye edilen ürün üretim şartlarında denenmelidir. Bu, ürünün gerçek çalışma şartlarındaki performansının görülmesi açısından önemlidir [www.gemsan.com].

Tablo 4.2 kesme yağlarının karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 4.2. Kesme yağlarının karşılaştırılması [Kavuncu, 1975].

Özellikler	Susuz kesme yağları	Emülsiyon veya solüsyon sıvılar
Soğutma	Orta	Çok iyi
Yağlayıcılık	Çok iyi	Orta
Kimyasal aktivite	Çok iyi	İyi
Makinenin yağlanması üzerindeki tesiri	Cinsine uygun	Bir mahsur teşkil etmez

Genel olarak zor işlenen malzemelerde EP katkılı kesme yağları kullanılmalı, yüksek hızlarda, işlenmesi kolay malzemelerde, kolay talaş kaldırma işlemlerinde, yığılma kenar oluşumu olan imalatlarda soğutma kabiliyeti yüksek, tersi durumlarda ise yağlama kabiliyeti yüksek kesme sıvıları kullanılmalıdır. İyi bir soğutucu ve diğer kesme yağlarına göre daha ekonomik olduğundan dolayı yüksek sıcaklıklarda, ince paso derinliği ve yüksek hızlarda kesme işlemlerinin %75'inde su ile karıştırılan bor yağları kullanılır. Talaşların süpürülmesinin istenildiği durumlarda emülsiyonlar ya da ince yağlar kullanılmalıdır [Kavuncu, 1975]. Kesme sıvılarının seçimi kullanılan

kesici takım malzemesine, işlenen malzemenin cinsine ve talaş kaldırma şekline göre yapılmaktadır.

4. 7. 1. Kullanılan Kesici Takım Malzemesine Göre Seçim

Kesici takımın kalitesi ne kadar iyiye o kadar az soğutmaya ihtiyaç duyacaktır. Kaliteli bir malzemedan yapılmış kesicilerde soğutmadan çok işlenen malzemenin yüzey kalitesinin iyi olması ve talaşın malzemedan çabucak uzaklaştırılması için yağlama özelliği iyi olan kesme sıvıları kullanılmalıdır [Kavuncu, 1975].

4. 7. 1. 1. Yüksek Hız Çelikleri (HSS)

HSS için sulu işleme tavsiye edilmektedir. Su karışabilir ve su karışamaz kesme sıvıları düşük ve ortalama kesme hızları için uygundur, çok yüksek kesme hızlarında su karışabilir ürünler üstünlük vermektedir [Mang and Dresel, 2007].

4. 7. 1. 2. Sert Metaller

Devamlı ve bol soğutma yapılmalıdır.

4. 7. 1. 3. Kübik Bor Nitrür (CBN)

Kuru işleme, azaltılmış hacimde yağlama veya MQL kullanılmaktadır.

4. 7. 1. 4. Seramik Kesiciler

Genellikle kuru işlenmektedir, soğutma sıvısı kullanılmaz. Fakat su karışabilir soğutucular üniform soğutma elde etmek ve sıcaklık şoklarından kaçınmak için çok

sık kullanılmaktadır [Mang and Dresel, 2007]. Seramik kesici takımlarla tornalama işlemi yapılırken saf madeni yağlar kesme sıvısı olarak kullanılabilir. Seramik kesici takımlarla frezeleme işlemi kuru kesme şartlarında yapılmalıdır [Gündoğdu, 2006].

4. 7. 1. 5. Sementit Karbür Metaller

Kesme sıvıları kullanıldığında termal şoka duyarlılık düşünülmelidir. Saf yağlar kullanıldığı zaman, daha az soğutma etkisi nedeniyle termal şok riski su karışabilir kesme yağlarından daha azdır. TiC ile bu duyarlılık WC'den daha büyüktür [Mang and Dresel, 2007].

4. 7. 1. 6. Kaplamalı Karbür Metaller

Sementit karbürler için verilen benzer şartlar geçerlidir.

4. 7. 1. 7. Çok Kristalli Elmas (PCD)

PCD çoğunlukla kuru işlenmektedir [Mang and Dresel, 2007].

4. 7. 1. 8. Kaplamalar

CVD ve PVD kaplamalar takım aşınmasını azaltmaya çok büyük katkıda bulunmaktadır. Bunlar kuru işlenirler [Mang and Dresel, 2007].

4. 7. 2. İşlenen Malzeme Cinsine Göre Seçim

Bir metalin sürekli ve uzun talaş çıkarma kabiliyeti kesme sıvısının seçimini etkiler. Böyle malzemelerde takım aşınması dikkate alınarak kesici ağzın bozulmasını önleyecek kesme yağı kullanılması gerekmektedir. Kırık talaş çıkaran

metallerde ise metal kaynamalarını önleyebilecek katkıları içeren kesme yağı kesme sıvısı olarak kullanılmalıdır [Kavuncu, 1975]. Malzeme özelliklerine göre kesme yağlarından istenilen özellikler Tablo 4.3'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Kesme yağından beklenen özellikler [Kavuncu, 1975].

Malzeme Cinsi	Kesme Yağından İstenen Özellik
Yumuşak veya gevrek	Kuru veya soğutuculuk
Sert ve gevrek	Normal soğutuculuk Normal yağlayıcılık Normal basınç mukavemeti
Sert ve mukavim	Yüksek soğutuculuk Yüksek yağlayıcılık Yüksek basınç mukavemeti

4. 7. 2. 1. Dökme Demirler

Dökme demirler yapısal olarak kırılıgandır ve işlendiklerinde ufak talaş oluşur. Genellikle kuru işlenirler.

Dökme demir genellikle kuru işlenirse de; çıkan tozlu talaşın süpürülmesi ve iyi bir yüzey kalitesi meydana gelmesi için, bor yağı emülsiyonu ile işlenmesinde fayda vardır. Ancak bu durumda pas oluşur. Bu nedenle kullanılan emülsiyonun konsantrasyonu %12-15'den az olmamalıdır [Kavuncu, 1975]. Dökme demir malzemelerinin işlenmesinde hava jeti ile soğutma da yapılabilir, ancak matkap ile delik delme işlemlerinde daha hassas boyutlar ve daha iyi yüzey kaliteleri için sülfür katkılı kesme yağlarının kullanımı zorunludur [Gündoğdu, 2006].

4. 7. 2. 2. Çelikler

Çelik malzemelerinin çok çeşitli olması nedeniyle bu malzemelerin işlenmesinde pek çok kesme sıvısı kullanılır. Çeliklerin işlenmesi esnasında, kesme

sıvısından kaynaklanan lekelenme problemi yoktur [Gündoğdu, 2006]. eliklerde %5–10 yağ içeren yağ emülsiyonu, eğer elik çok sert ise kükürt ve klorlu yağlar kullanılır [Kavuncu, 1975].

Otomat elikleri için özellikle yağlı esterler gibi kükürt esaslı katkılar içeren su esaslı kesme sıvıları çok uygundur. Klorlu aşırı basınç katkıları genellikle uygun değildir [Makina Mühendisliği El Kitabı].

Düşük karbonlu çeliklerde emülsiyonlar ve düşük viskoziteli yağlar kullanılır. Orta ve yüksek karbonlu çeliklerde emülsiyonlar ve özellikle işleme hızı yüksekse su esaslı çözeltiler kullanılır [Makina Mühendisliği El Kitabı].

Paslanmaz elikler ısıya dayanıklı alaşımlar ve yüksek düzeyde nikel ve kobalt içerirler. İşlenme sırasında sertleşme gösterirler. Bu nedenle talaş kaldırma sırasında çok yüksek ısılar oluşur. Bu grup çelikler için, EP aşırı basınç katkıları yüksek olan saf madeni yağlar kesme sıvısı olarak kullanılmaktadır. Ancak serbest sülfür içeren yağların, nikel içeriği yüksek olan alaşımlarda, leke bıraktığını da göz önüne almak gereklidir [Gündoğdu, 2006].

4. 7. 2. 3. Alüminyum ve Alaşımları

Demir içeren metallerin işlenmesinde başarılı bir şekilde kullanılan kesme sıvıları, 3 nedenden dolayı alüminyum alaşımlarının işlenmesinde uygun değildir. Birincisi alüminyumun hızlı işlenmesi sırasında, işlenen yeni yüzeylerde alüminyum oksit film tabakası oluşur. Bu film tabakası talaşın kesici takımın kesme kenarlarına yapışmasına yol açar ve kesici takım aşınmasına neden olur. Bu nedenle, kullanılacak kesme sıvısının alüminyum oksit oluşumunu önleyecek katkılar içermesi gerekir. İkinci neden; alüminyum alaşımları büyük miktarda silisyum içerirler. Silisyum, malzemeye aşındırıcı özellik katarak işleme esnasındaki sıcaklığı arttırır, talaş kesici takıma yapışır ve BUE oluşur. Bu durumun önüne geçmek için kesme sıvısının yüksek basınç ve yağlayıcı katkıları içermesi gerekir. Üçüncü neden alüminyum ve alaşımlarının sıcaklıkla genişleme katsayılarının yüksek olmasıdır. Bu

yüzden kesme sıvısının ısıyı çok hızlı bir şekilde dağıtması istenir. Aksi takdirde işlenen parçanın ölçüsel hassasiyeti sağlanamaz [Kelly and Cotterell, 2002]. Alüminyum işlenirken, kesici takım kenarına yapışma eğiliminde olduğu için yığılma ağız oluşumuna sebep olarak takım ömrünü düşürür. Bu sebeplerden dolayı alüminyum ve alaşımlarının işlenmesinde kuru kesme tercih edilmez, minimum miktarda yağlama kullanılır [López de Lacalle et al, 2006]. Alüminyum ve alaşımlarının işlenmesinde hem saf kesme yağları, hem de su ile karışabilir yağlar kullanılabilir. Talaş kaldırma esnasında talaşın kesici takıma yapışmasını önlemek için kesme sıvısı olarak kullanılacak saf yağın viskozitesinin düşük olması gerekir. Kesme sıvısının alüminyum üzerinde leke bırakmaması için pH değerinin düşük olması ve yağlı katkı maddeleri içeren su ile karışabilir yağ olarak seçilmesi gerekir. Bazı alüminyum alaşımları yüksek miktarda silisyum içerirler (Silisyum oranı: %8-16). Bu miktardaki silisyum, alüminyumun erime noktasını ve viskozitesini düşürür. Alaşım yumuşaktır, fakat silisyum taneciklerinin sertliği sebebiyle kesici takım kısa sürede aşınır. Bu alüminyum alaşımlarında, yüksek düzeyde EP katkıları içeren su ile karışabilir yağ, kesme sıvısı olarak kullanılmalıdır [Gündoğdu, 2006].

4. 7. 2. 4. Bakır ve Alaşımları

Bakır genellikle bor yağı emülsiyonu veya ince bir madeni yağ ile işlenmelidir. Bakır alaşımlarında korozyon riski vardır. Bu riski ortadan kaldırmak için yağlama özelliği iyi olan kesme yağı seçilmelidir [Kavuncu, 1975]. Ancak sülfür oranı yüksek yağlar bakırı karartacağından kullanımından kaçınılmalıdır [Gündoğdu, 2006]. Pirinç malzemenin işlenmesinde %5 bor yağı emülsiyonu veya %5-10 organik yağ karıştırılmış madeni yağ kullanılır. Dökme pirinçler ise genellikle kuru işlenir [Kavuncu, 1975].

4. 7. 2. 5. Titanyum ve Alaşımları

Titanyum ve alaşımları, talaş kaldırma esnasında takım ile talaş arayüzeyinde üretilen çok büyük sıcaklık artışı nedeniyle işlenmesi zor malzeme olarak bilinir. Titanyum ve alaşımlarının işlenme özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Titanyum işleme sırasında oluşan çok yüksek sıcaklıklarda bile yüksek mekanik dayanımını korur.
- Takım-talaş temas bölgesi küçüktür, takım burnunda ısı üretimine neden olur.
- Titanyum karbon çelikleri ile kıyaslandığında düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Titanyum işlendiğinde, uygun kesme hızında bile takım sıcaklığı sık sık 1000 °C'nin üzerine çıkar. Bu yüksek sıcaklıklar kesici takım üzerinde abrazif, adhezif ve difüzyon aşınması gibi çeşitli aşınma tiplerini oluşturur.
- Titanyum, 500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kesici takım malzemesiyle kimyasal reaksiyona girme eğilimindedir [Hong and Ding, 2001].
- Kesintili talaş, kuvvetlerde dalgalanmalar oluşturur [Hong et al, 2001].

Titanyum, klor ve kükürt iyonlarını içermeyen kesme sıvıları kullanılarak işlenmelidir. Klor, malzeme üzerinde gerilmeli korozyona yol açmaktadır. Özellikle işlemeden sonra parça kaynak işlemi göreceksse, kesme sıvısı içinde bulunan klor veya kükürt parçaya zarar verir. Parça işlemeden sonra yıkama işlemine tabi tutularak, üzerindeki kesme sıvısı temizlenmelidir [www.supraalloys.com]. Süper alaşımların ve titanyumun yüksek hızda işlenmesinde soğutma gereklidir. Ancak, aralıklı kesmede, kesme sıvısı kullanılırsa, kesme sıvısı takım üzerinde ısı şoklarına neden olur. Bu nedenle aralıklı kesmede kuru kesme önerilir [Gündoğdu, 2006].

4. 7. 2. 6. Magnezyum ve Alaşımları

Bu alaşımların çekme mukavemetleri çok düşük olduğu için, düşük kesme hızlarında kuru işlenmeleri uygundur. Yüksek kesme hızlarında ise iş parçasını soğutmak, hassas bir işleme yapabilmek ve talaşların uzaklaştırılması bakımından kesme sıvısı kullanılması gerekli ise; sulu emülsiyon veya solüsyon kullanılmamalıdır. Çünkü magnezyumun katalizör görevi görmesi ile su ayrışır ve yanıcı hidrojen gazı açığa çıkar. Sıcaklığın etkisiyle talaşlarda kolayca tutuşma meydana gelerek yangın tehlikesi doğar. Magnezyum alaşımları için en uygun kesme sıvısı düşük viskoziteli saf madeni yağ veya %10-20 organik yağ ile madeni yağ karışımıdır. Ayrıca %4 sulu sodyum florit eriyiğide kullanılabilir.

Kullanılan yağın çok düşük asitli olması gerekir. Kuru çalışmada talaşın birikmesini önlemek için basınçlı hava kullanılabilir [Kavuncu, 1975].

4. 7. 3. Talaş Kaldırma Şekline Göre Seçim

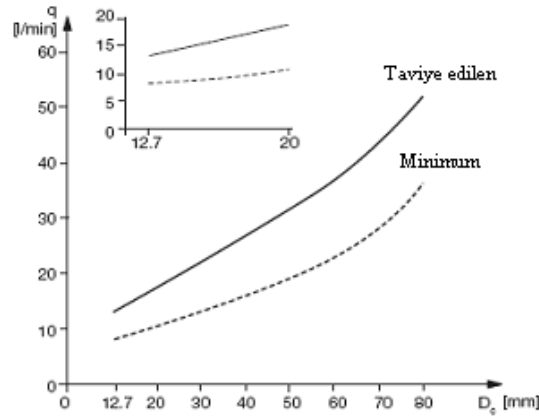
Yüksek kesme hızlarında ısı artacağı için etkili bir soğutma olması gerekmektedir. Düşük viskoziteli susuz kesme yağları, bor yağı ya da sulu bir kesme yağı seçilmelidir. Paso derinliği arttıkça takımındaki kuvvetler artacağından talaşın takım üzerine kaynamasını önlemek için EP katkılı yağlar kullanılmalıdır (Tablo 4.4) [Kavuncu, 1975].

Tablo 4.4. Kesme faktörlerinde kesme yağları özellikleri [Kavuncu, 1975].

Kesme Faktörleri Değişimi	Kesme Yağından Beklenen
Düşük kesme hızları ve küçük paso derinliğinde	Az soğutma ve az yağlama
Düşük kesme hızları ve büyük paso derinliğinde	Az soğutma ve fazla yağlama
Yüksek kesme hızları ve küçük paso derinliğinde	Fazla soğutma ve az yağlama
Yüksek kesme hızları ve büyük paso derinliğinde	Fazla soğutma ve fazla yağlama

4. 7. 3. 1. Delme

Kesici takım ve iş parçasının sürekli birbiri içine geçmiş olması ve kesme bölgesine ulaşmanın zorluğundan dolayı, mümkünse kesme sıvısını kesme bölgesine ulaştıracak kanala sahip içten soğutmalı matkaplar kullanılmalıdır [Makina Mühendisliği El Kitabı]. Bu tür matkaplarda kesme sıvısı kesici takım içerisindeki kanallar yardımıyla kesme bölgesine gönderilir ve talaşlar bu yüksek basınçlı kesme sıvısı sayesinde delik dışına atılır [Gündoğdu, 2006]. Delmede tavsiye edilen soğutucu basıncı pek çok faktöre bağlıdır. En önemli faktörler: İş parçası sertliği, ilerleme oranı, delik çapı, delik derinliği, delik toleransı ve bitirme yüzeyi [Mang and Dresel, 2007]. Şekil 4.4 kesme sıvısı basıncı ve hacmi için nominal ve minimum değerleri göstermektedir.



Şekil 4.4. Delik delmede kesme sıvısı akışı [Sandvik].

Delik delmede genellikle kesme sıvıları malzemenin cinsine göre seçilir [Ovalı, 2008]. Tablo 4.5’de delmede kesme sıvılarının seçimi gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Delmede kesme sıvılarının malzemeye göre seçimi [Kavuncu, 1975].

Malzeme Cinsi	Matkap Ucu Malzemesi	
	Takım çeliği, hız çeliği	Sert Metal
Alaşımli çelik	Kükürtlü ve organik yağ karışımı susuz kesme yağları	%5-15 konsantrasyonlu bor yağı emülsiyonu ile veya kuru olarak işlenebilir.
Alaşımız çelik		
Dökme çelik		
Temper döküm	Genellikle %5-10'luk bor yağı emülsiyonu, yüksek hızlarda ise	
Dökme demir	kükürtlü ve organik yağ katıkl kesme yağları	
Bronz, pirinç, Al alaşımları		
Mg alaşımları	Kuru veya hava emişli çalışabileceği gibi, susuz ince yağ ve %4 sulu sodyum florit eriyiği	

İçlerinden geçen sıvı hacmi daha az olan küçük çaplı matkaplar, büyük çaplı matkaplara oranla daha yüksek kesme sıvısı basıncına ihtiyaç duyar. Daha büyük çaplı matkaplar daha fazla hacimde kesme sıvısına ihtiyaç duyarlar. Matkap çapı arttıkça kesme sıvısının basınca olan gereksinimi azalır [Sandvik]. Verimli bir soğutma sistemi uygun basınçta ve akış hızında soğutma sağlamaktadır. Verimsiz soğutma sistemi delinen delikler içinde zayıf bitirme yüzeyine neden olmaktadır.

Ayrıca, talaşlar soğutucuyu kesicilere gönderen kanalları tıkayabilir. Bu durum takım kırılmasına neden olabilir [Mang and Dresel, 2007].

4. 7. 3. 2. Derin Delik Delme

Genellikle hayvansal yağlarla aşırı basınç katkı maddeli yağlar kullanılmaktadır. Malzemelerden kısa talaş çıkarabilmek için %10-20 oranında emülsiyon tavsiye edilmektedir. En iyisi 50°C’de 1.7 E° viskoziteli ve 20°C’ de 3.5 E° viskoziteli özel derin delik delme yağlarıdır. Kesme sıvısı sıcaklığı 35-55°C arasında tutulmalıdır. Bu sıcaklığın üzerinde, yağın içindekiler hızlı bir şekilde kayba uğrar ve aşırı basınç katkı maddeleri azalır [Karaca, 1996].

4. 7. 3. 3. Tornalama

Takımın iş parçası ile sürekli temas etmesinden dolayı kesme bölgesine ulaşmak çok sınırlıdır. Bu nedenle seçilecek kesme sıvısı ve katkısı düşük moleküler ağırlıklı olmalıdır. Genelde su esaslı çözeltiler ve emülsiyonlar kullanılır [Makina Mühendisliği El Kitabı].

4. 7. 3. 4. Frezeleme

Kesme hızlarının nispeten düşük olması ve kesici takıma ulaşmak kolay olduğu için, soğutmadan çok yağlama etkisi önemlidir. Bu nedenle, bileşik yağlar ve emülsiyonlar tercih edilir [Makina Mühendisliği El Kitabı].

4. 7. 3. 5. Taşlama

Taşlama taşının yüksek hızda dönmesi sebebiyle, sıvının taş ve iş parçasına temas ettiğinden emin olmak çok önemlidir. Aynı zamanda, taşlama taşının ve iş parçasının kimyasal ilişkisi de önemlidir. Genellikle esterlerin, amidlerin, kükürt

bileşiklerinin ve klor bileşiklerinin formülasyonda kullanıldığı emülsiyonlar ve su esaslı çözeltiler taşlama sıvısı olarak kullanılır [Makina Mühendisliği El Kitabı].

Tablo 4.6’da kesme sıvısı seçimi için bir kılavuz gösterilmektedir. Bu öneriler genel hatlardır. Bunlar, kesici takım malzemesi ve bileşimi, iş parçası malzemesi ve ısıl işlemi ile takım tezgahına göre değişir.

4. 8. Kesme Sıvılarını Uygulama Yöntemleri

Kesme sıvılarının takım/iş parçası ara yüzeyine doğru bir biçimde uygulanması, sıvının etkin olarak kullanılmasının temelidir (Şekil 4.5). Uygulama yöntemi yağlama, soğutma ve talaş kaldırma işleminde çıkan talaşın uzaklaştırılmasının verimliliğini etkiler.

Kesme sıvısının debisi yüksek (kesme gücünün kW başına yaklaşık 5-6 lt/dak) ve basıncı, talaşı uzaklaştırmak ve kesici takım ile iş parçası arasına nüfuz edebilmek için yeterli olmalıdır. İyi sonuçlar elde edebilmek için sıvı jeti, talaşı değil, kesici takımı ve iş parçasını soğutmaya çalışmalıdır [Akkurt, 2000].

4. 8. 1. Akıtma (Flooding)

En yaygın kullanılan yöntemdir. Frezeleme, delik delme, tornalama ve taşlama operasyonlarında kullanılmaktadır. Bu yöntem işlenen alanın kapalı bir sistemin parçası olmasını gerektirmektedir. Metal kesme operasyonlarında akıtma sistemi aynı zamanda soğutma ve kesici takım ile iş parçası arasındaki kritik alanlara kesme sıvısının iyi ulaşmasını sağlar. Bu sistem yüksek hacimde kesme sıvısı kullanmayı gerektirmektedir. Akış hızı, tornalama için 10 litre/dakikadan yüzey frezeleme için 200 litre/dakikaya değişebilmektedir [Nordic Council of Ministers, 2002]. Akıtma yönteminde kesme sıvısı kesici takım/iş parçası ara yüzeyine boru, hortum veya nozzle sistemi aracılığıyla gönderilmektedir.

Tablo 4.6. Kesme sıvıları seçim kılavuzu [Akkurt, 2000].

İşleme Yöntemleri	Çelik		Dökme Demir veya Temper Döküm	Hafif Metaller
	Normal İşlenebilen	Zor İşlenebilen		
Tornalama	E 2, %5	E(EP), %10 0, 4, 5c	E 2, %5	01, 2, 3, a, b E 2, %5
Delme	E 2, %5	E(EP)	E 2, %5	01, 2, 3, a, b E 2, %5
Derin Delme	03 b	05 b	03 b	03 b
Otomatlar	01, 2, 3 c	04, 5c	01, 2, 3c	01, 2, 3c
Frezeleme	E 5, %10	04, 5c E(EP), %10	E 2, %5	01, 2, 3b * E 2, %5
Testere	E 2, %5	E(EP), %10 E 2, %5	E 2, %5	01, 2, 3b * E 2, %5
Broşlama	02, 3 b E(EP), %10	04, 5b	E 2, %5	01, 2, 3b
Taşlama	E 1, %20	E1, %20	E 1, %3	E 1, %2
Honlama, ince	02, 3 a	04, 5b	02 a	-----
Lepleme	02, 3a, b	04, 5a, b	02 a, b	-----
Vida Açma (Torna)	03c	05c	03c E5, %10	03 b
Vida Açma (Azdırma)	03c	05c	-----	01, 3c
Vida Açma (Freze)	02, 3b, c	04, 5c	02c	01, 2, 3c
Vida Taşlama	03c	05c	-----	-----
Diş Açma (Planya Azdırma, Felow)	03c	05c	E5, %10, 02b	02, 3b
Diş Taşlama	02, 4c	04c	-----	

* Mg ve Mg alaşımları için sadece yağ kullanılır.

Semboller: E- emülsiyon (%5, %10 vs. – bu yüzdeye kadar yağ miktarı)

E(EP)-EP Aditifli emülsiyon

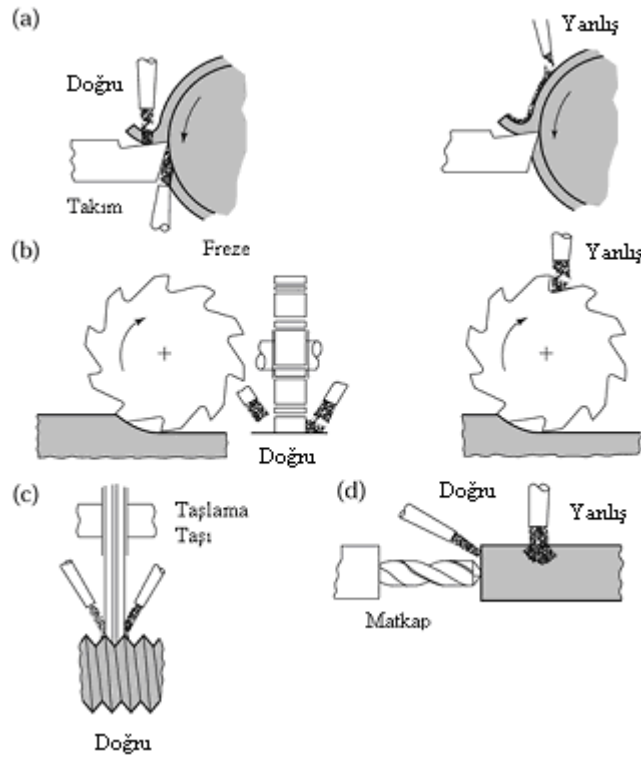
O- kesme yağı; viskozitesi : a) 3 ... 10 cst/20° (1,2 ... 1,8 E)

b) 12 ... 45 cst/20° (12,0 ... 6 E)

c) 12 ... 30 cst/20° (2,0 ... 4 E)

1-Kesme yağı; 2-EP aditifli kesme yağı; 3-Yağlı ve EP aditifli kesme yağı;

4- Çok etkili Ep aditifli kesme yağı; 5-Yağlı ve çok etkili Ep aditifli kesme yağı



Şekil 4.5. Farklı işleme operasyonlarında doğru kesme sıvısı uygulama metodları (a) tornalama (b) frezeleme (c) diş taşlama (d) delik delme [Kalpakjian and Schmid, 2001].

4. 8. 2. Basınçlı Jet (Pressurised Jets)

Taşlama ve delik delmede, oldukça yüksek basınç (0.35-10 MPa) altında yağlama maddesi kullanma avantajlar sağlamaktadır. Matkaptaki iç delikler basınçlı soğutucular ile birlikte kullanılmaktadır. Soğutucu kesme bölgesine bu deliklerden gönderilmektedir. Bu metot matkap ömrü üzerine ve delik delmenin hassasiyeti üzerine olumlu etki yapmaktadır. Taşlamada; jet, taşlama taşının dönmesinden faydalanmak için taşın hareketine paralel yönde olmalıdır [Nordic Council of Ministers, 2002]. Yüksek basınçlı jet içindeki partiküllerin iş parçası yüzeyine verdiği zarardan kaçınmak için, soğutucudaki kirletici (kontaminant) boyutu $20 \mu\text{m}$ ($800 \mu\text{in}$) yi aşmamalıdır; kesme sıvısının düzgün ve sürekli süzülmesi gereklidir [Kalpakjian and Schmid, 2001].

4. 8. 3. Misting

Kesme sıvısını ulaşılmaz bölgelere sağlama sistemidir. Özellikle taşlama operasyonlarında 70 kPa-600 kPa (10 psi-80 psi) hava basıncında etkilidir [Kalpakjian and Schmid, 2001]. Yüksek hızlı frezeleme gibi özel işlemlerde kullanılmaktadır. Kesme sıvısı kullanımı minimize edilmiştir, fakat soğutucu dolaşımı yoktur. Genellikle su temeline dayanan sıvılar kullanılmaktadır [Nordic Council of Ministers, 2002].

4. 8. 4. Manüel Metotlar

Manüel yöntemler talaş kaldırılması zor malzemeleri ve düşük hızlı işlemeyi içeren veya soğutucu sistemi olmayan tezgahlarda kullanılmaktadır. En kolay ve en az maliyetli yöntemdir. Ancak kullanım alanı sınırlıdır.

5. KESME KUVVETLERİ VE GÜÇ

Özgül kesme kuvveti (k_c -N/mm²) gerekli olan gücün, torkun ve ilerleme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Özgül kesme kuvveti belirli bir talaş açısı ve talaş kalınlığına sahip belirli bir malzemenin işlenebilirliğinin ölçüsüdür. Özgül kesme kuvveti, 1 milimetrekarelik bir talaş kesit alanını kesme için gerekli olan teğetsel kuvvetin veya efektif kesme kuvvetinin teorik talaş alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Karbon çeliği (%8 C) için bu değer 2700 N/mm², normal bir alüminyum alaşımı için 750 N/mm² dir [Çakır, 2000].

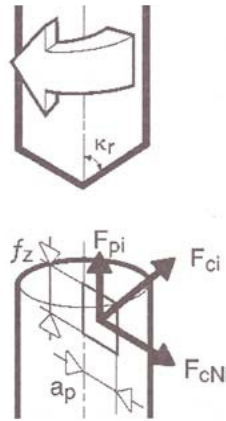
Özgül kesme kuvveti efektif talaş açısı, ortalama talaş kalınlığı ve iş parçası malzemesine bağlıdır ve tablolardan elde edilir. Özgül kesme kuvveti pozitif talaş açısı ve ortalama talaş kalınlığı arttıkça azalır. Talaş açısının her bir derecelik artışı için özgül kesme kuvveti değerindeki azalma %1-1.5 civarındadır [Çakır, 2000].

Delme işleminde meydana gelen kesme kuvvetleri kesici kenarlar, matkabın ucu, talaş yüzeyleri ve matkabın çevresinde bulunan ve kılavuzlama yapan kenarlar üzerinde etkilidir [Çakır, 2000].

Kesme kuvvetinin teorik talaş alanının merkezine etki ettiği kabul edilmektedir. Kesme kuvveti teğetsel, radyal ve aksenal yönlerde etkiyen 3 bileşenden oluşur (Şekil 5.1). Bu bileşenler iş parçası malzemesi, talaş derinliği, ilerleme ve takım geometrisi gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedirler. Kesici kenar sayısı ile kesici kenar başına aksenal kuvvetin (F_{pi}) çarpımına eşit olan toplam aksenal kuvvet ilerleme kuvvetine veya delme basıncına (F_p -N cinsinden) eşittir. Tezgah ana milinin işlem için çok yetersiz olup olmadığı ve ilerleme mekanizmasının işlem için uygun olup olmadığı ilerleme kuvvetine bağlıdır. İlerleme kuvveti K_r yanaşma açısının artmasıyla artar. Yanaşma açısı, ana kesici kenar ile ilerleme yönü arasındaki açıdır [Çakır, 2000].

$$F_p = 0,5.k_c.a_p.f_r \sin K_r \quad (5.1)$$

$$F_c = k_c.a_p.f_r \quad (5.2)$$



Şekil 5.1. Kesme kuvvetinin bileşenleri [Çakır, 2000].

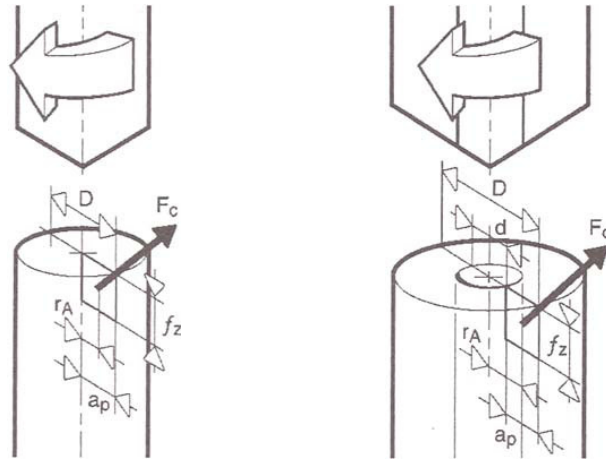
Toplam teğetsel kuvvet (F_e -N cinsinden) veya ana kesme kuvveti bir tork (M -Nm) oluşturmaktadır. Ana kesme kuvveti kesici kenar sayısı ile kenar başına teğetsel kesme kuvvetinin (F_{ci}) çarpımına eşittir. Tork her bir kesici kenardaki momentlerin toplamıdır, bu da matkabin maruz kaldığı toplam delme momentinin teğetsel kesme kuvveti ile talaş alanının merkezine olan yarıçapın (r_A) çarpımına eşit olması demektir (Şekil 5.2) [Çakır, 2000]. İlerleme, çap ve işlenen malzeme torku etkileyen faktörlerdir [Korucu, 2007]. Aşağıdaki formülde delik çapı (D) ve daha önceden delinmiş deliğin çapı (d) mm cinsindedir, ilerleme mm/dev cinsinden verildiğinde torkun Nm cinsinden ifade edilebilmesi için çarpımın sonucu 1000'e bölünür [Çakır, 2000].

$$M = F_c \cdot r_A \quad (5.3)$$

$$r_A = \frac{d}{2} + \frac{a_p}{2} = \frac{D+d}{4} \quad (5.4)$$

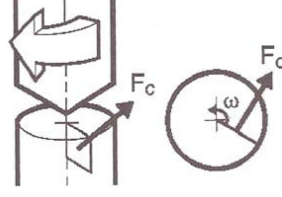
$$M = \frac{k_c \cdot f}{1000} \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{8} \quad (5.5)$$

İlerleme arttıkça talaş kalınlığı artar, buna bağlı olarak daha küçük bir özgül kesme kuvveti oluşur. Aynı zamanda talaş alanı da artar, dolayısıyla artan ilerleme toplamda daha büyük bir teğetsel kuvvet ve tork oluşumuna neden olur. Bununla beraber, uç açısı arttırılırsa (bu talaş kalınlığını da arttıracaktır) daha küçük bir k_c sayesinde teğetsel kuvvet ve tork azaltılabilir [Çakır, 2000].



Şekil 5.2. Delme ve çevreden kesme işleminde kuvvet faktörü [Çakır, 2000].

Tipik bir matkap, uç açısı, uç ağız açısı, uç ağız uzunluğu, kesme kenarı uzunluğu ve helis açısı gibi pek çok tasarım parametrelerine sahiptir. Bu parametrelerin her biri çeşitli yollarla kesme kuvvetlerini ve delinen deliğin kalitesini etkiler. Matkap, keski ağzı ve kesme kenarından oluşur. Keski ağzı itme kuvvetine katkıda bulunur. Kesme kenarları tork ve itme kuvvetinin büyük bir çoğunluğunu meydana getirir. Matkap geometrisi kesme kuvvetleri üzerinde karmaşık bir etkiye sahiptir. Buna ek olarak kesme kuvvetleri; takım-iş parçası malzemelerine ve işleme koşullarına bağlıdır [Pirtini and Lazoglu, 2005]. Takım geometrisindeki özellikle keski ağzındaki iyileşme ilerleme kuvvetini azaltmada önemli etkiye sahiptir. Geometri ne kadar iyi ise, kesme işleminin performansı da o kadar iyi olur, böylece daha az ısı oluşur ve ilerleme kuvveti azalır. Kesme kuvvetlerinin azalması aynı zamanda takım aşınmasını da azaltır. Bunun yanısıra, delik dışındaki çapakların azalması üzerinde pozitif etkiye sahiptir. Kesme kuvvetlerini azaltmak için, takım geometrisi ve işleme şartları önemlidir [Rivero et al, 2006]. Matkapın performansı, itme kuvvetini ve torku azaltacak matkap tasarlanarak geliştirilebilir. Matkap kuvvetleri, ilerleme, fener mili hızı ve iş parçası malzemesi gibi kesme parametrelerinin değişimi ile değişmektedir. Matkap kuvvetleri, matkap yapısının sehimi ile değişmektedir [Hsieh, 1992]. Soğutucu konsantrasyonu arttırıldığında ortalama delme torku azalmaktadır [Upton, 2000]. Delik delme işleminde meydana gelen kesme kuvvetleri ve tork hem kesici takımın kesme kenarlarını hem de delinen deliğin kalitesini etkilemektedir [Kaynak, 2006].



Şekil 5.3. Kesme gücü [Çakır, 2000].

P_c [kW] kesme gücü matkabın döndürme momenti ile açısal hızının (ω) çarpımına eşittir (Şekil 5.3). Üniform bir hareket sırasında açısal hız ana mil hızının 2π katıdır. Güç kilowatt cinsinden ifade edildiğinde (bu $1000 \times \text{Nm/sn}'ye$ eşittir) ve moment Nm cinsinden verildiğinde sonuç 1000'e bölünmelidir. Eğer ana mil hızı, dakikadaki devir sayısı olarak verilirse sonucu saniyeye çevirmek için bir kez de 60'a bölünür [Çakır, 2000].

Formüllerde hız ve talaş açısının kesici kenar boyunca değişimi dikkate alınmamıştır. Bu nedenle formüller yaklaşık formüllerdir. Bunun dışında kılavuzlama yapan kenarlarda talaşın deliğin cidarlarına sürtünmesi nedeniyle oluşan, moment ve gücü etkileyen sürtünme kuvvetleri de dikkate alınmamışlardır [Çakır, 2000].

$$P_c = M \cdot \omega \quad (5.6)$$

$$\omega = 2\pi \cdot n \quad (5.7)$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (5.8)$$

$$P_c = k_c \cdot \frac{f}{1000} \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{8} \cdot \frac{2\pi \cdot v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D \cdot 60 \cdot 1000} \quad (5.9)$$

$$P_c = k_c \cdot f \cdot \frac{v_c \cdot (D^2 - d^2)}{D \cdot 240000} \quad (5.10)$$

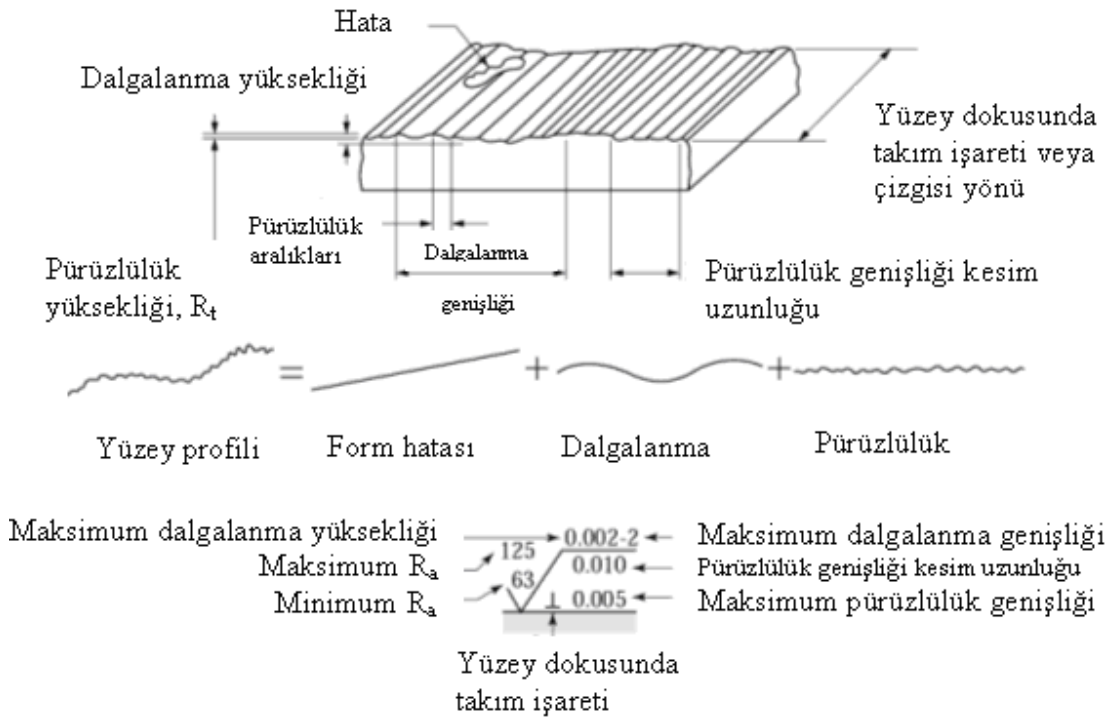
Tezgah için gerekli gücü (P-kW) hesaplarırken tezgahdaki güç kayıplarını da dikkate almak gerekir. Motor gücü delme gücünün tezgah verimine (η) bölünmesiyle elde edilir. Verim, sağlanan gücün hangi oranda kullanıldığını gösterir [Çakır, 2000].

$$P = \frac{P_c}{\eta} \quad [\text{kW}] \quad (5.11)$$

6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

6. 1. Yüzey Yapısı

Yüzey yapısı nominal bir yüzeyden sapan yüzeyin modelidir. Bu sapmalar tekrarlı veya rastgele olabilir [Lou et al, 1999]. Yüzey kalitesi; kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere 4 elemandan oluşmaktadır [Şahin, 2001]. Şekil 6.1’de yüzey kalitesini tanımlamada kullanılan standart terminoloji ve semboller gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Yüzey kalitesini tanımlamak için standart terminoloji ve semboller. Miktarlar μm cinsinden verilmiştir. ($1 \mu\text{m} = 40 \mu\text{in}$, $1 \mu\text{in} = 0.025 \mu\text{m}$) [Kalpakjian and Schmid, 2001].

6. 1. 1. Pürüzlülük veya Kabalık

Yüzey pürüzlülüğü, işleme sırasında oluşan ilerleme izleri gibi üretim işleminin doğasından kaynaklanan çok küçük düzgünsüzlüklerdir [Makina Mühendisliği El Kitabı]. Pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder [Neşeli, 2006].

6. 1. 2. Dalgalanma

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

6. 1. 3. İzler

İz, işlenmiş yüzeyde kesici takımın bırakmış olduğu desenin yönüdür.

6. 1. 4. Hatalar

Yüzey üzerinde bulunan hatalar; çatlaklar, delikler, artıklar, menteşeler ve çizgiler şeklindedir [Şahin, 2001].

6. 1. 5. Pürüzlülük Genişliği

Takip eden tepe veya pürüzlülüğün hakim modelini oluşturan sert noktalar arasındaki nominal yüzeye paralel mesafedir [Lou et al, 1999].

6. 1. 6. Pürüzlülük Genişliği Kesim Uzunluğu

Tekrarlanan yüzey düzensizliklerinin en büyük aralığını gösteren ortalama pürüzlülük yüksekliğinin ölçümünü içerir [Lou et al, 1999].

6. 1. 7. Dalgalık Yüksekliği

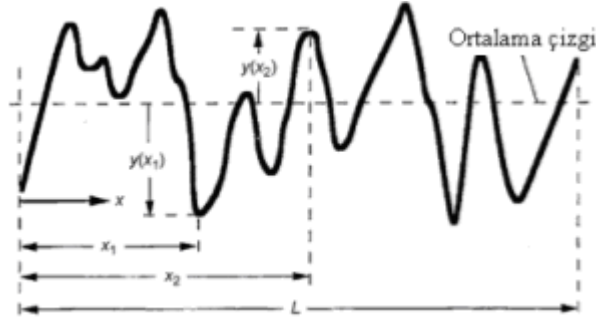
Tepe ve çukur arasındaki mesafedir.

6. 1. 8. Dalgalık Genişliği

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

6. 2. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Şekil 6.2’de yüzey pürüzlülüğü için kullanılan parametreler tanımlanmıştır.



Şekil 6.2. Pürüzlülük için kullanılan parametreler [Stephenson and Agapiou, 2006].

6. 2. 1. Ortalama Eksen Çizgi Değeri (R_a , Cl_a)

Bu parametre aynı zamanda aritmetik ortalama pürüzlülük değeri, AA (Arithmetic average) veya CLA (Center line average) olarak da bilinir. R_a en çok kullanılan pürüzlülük parametresidir [Lou et al, 1999; Gadelmawla et al, 2002]. R_a , ortalama profil doğrusundan y aritmetik ortalama olarak sapmasıdır [Şahin, 2001]. R_a değeri yalnızca ortalama sapmayı gösterir ve dalgallılığı içermez [Dursun, 2007]. Matematiksel olarak şöyle açıklanır:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (6.1)$$

L: Örnekleme uzunluğu

Ölçme yönü, pürüzlülüğü değerlendirmek için çok önemlidir ve işleme operasyonunun tipine ve iş parçasının şekline bağlıdır. R_a düzensizliklerin veya profilin şekli hakkında bilgi vermez [Kopač and Bahor, 1999].

6. 2. 2. Ortalamaların Kareleri Toplamının Karekökü (R_q , R_s , R_{ms})

R_q ortalama karekök parametresidir [Şahin, 2001]. Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarında, ortalama çizginin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeridir [Güllü, 1995]. Matematiksel olarak şöyle açıklanır:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx} \quad (6.2)$$

6. 2. 3. Profil Maksimum Tepe Yüksekliği (R_p)

R_p örnekleme uzunluğu içinde ortalama çizgiden maksimum profil yüksekliğidir [Şahin, 2001; Gadelmawla et al, 2002]. R_p değeri geniş çıkıntı ve dar girintilerden oluşan yüzeylerde küçük, dar çıkıntı ve geniş girintilerden oluşan yüzeylerde büyük olur [Güllü, 1995].

$$R_p = \max y(x), \quad 0 < x < L \quad (6.3)$$

6. 2. 4. Profil Maksimum Çukur Derinliği (R_v , R_m)

R_v merkez çizgiden aşağıdaki maksimum çukur derinliğidir [Stephenson and Agapiou, 2006; Gadelmawla et al, 2002].

$$R_v = |\min y(x)|, \quad 0 < x < L \quad (6.4)$$

6. 2. 5. Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği (R_t , R_{max})

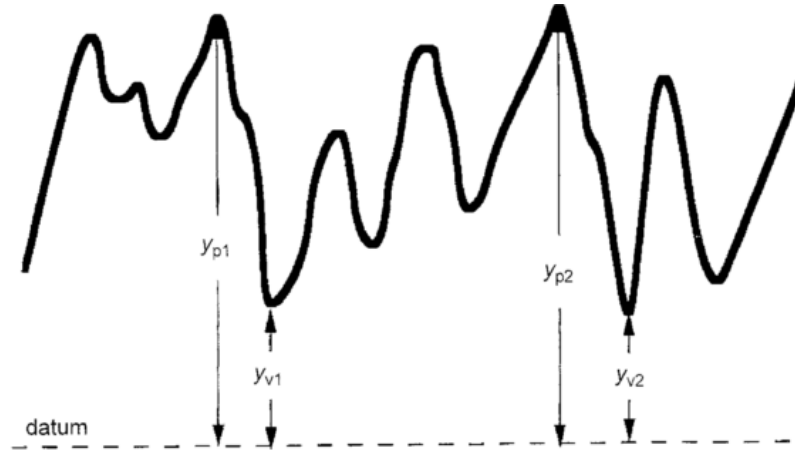
R_t , değerlendirme uzunluğu içinde maksimum tepe-çukur yüksekliğini gösterir [Şahin, 2001; Gadelmawla et al, 2002]. Tepe-çukur yüksekliği ortalama değerini iyileştirmek için, en yüksek tepe ve en düşük çukur hesaba katılmaz [Güllü, 1995].

$$R_t = R_p + R_v \quad (6.5)$$

6. 2. 6. On Nokta Yüksekliği (R_z)

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 6.3).

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (y_{pi} - y_{vi}) \quad (6.6)$$



Şekil 6.3. R_z pürüzlülük değeri [Stephenson and Agapiou, 2006].

6. 3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler şunlardır:

- İlerleme, kesme hızı, talaş derinliği
- Kesici takım geometrisi
- Talaş yapışması, kesici kenardaki aşınma
- Kesici takım ve iş parçası arasındaki titreşim [Işık, 2001].
- İş parçası malzemesi
- İşleme tipi
- Sistemin rijitliği
- Kesme sıvısı tipi [Sanjay and Jyothi, 2006]. Sıvı konsantrasyonu arttırıldığında R_a değeri azalmaktadır [Upton, 2000].

7. DENEY TASARIMI

Deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk deney çalışmasında deney seti Taguchi L_9 (3^3) ortogonal dizini esas alınarak hazırlanmıştır. Bu deney setinde kesme parametreleri olarak; devir sayısı, ilerleme, delme derinliği alınmıştır. Deneysel data Minitab 14 yazılımı yardımıyla işlenmiştir. Delme parametrelerinin etkisini analiz etmek için ortogonal dizin, işaret/gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. İkinci deneysel çalışma planı olarak; 81 delik sayısı için sabit devir sayısı, ilerleme ve delme derinlik değerleri için performans deneyleri yapılmıştır. Üçüncü deney setinde; farklı devir sayısı ve ilerleme değerlerindeki veriler elde edilmiştir.

7.1. Takım Tezgahı

Delik delme deneyleri Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği CAD/CAM laboratuvarında bulunan DECKEL MAHO DMU 60 P beş eksen işleme merkezinde yapılmıştır (Şekil 7.1). İşleme merkezinin teknik özellikleri Tablo 7.1’de gösterilmektedir.



Şekil 7.1. DECKEL MAHO DMU 60 P beş eksen işleme merkezi.

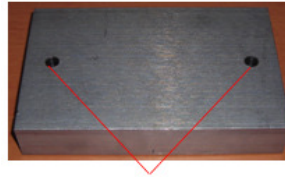
7.2. İş Parçası

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 304 paslanmaz çelik kullanılmıştır (Şekil 7.2). Paslanmaz çeliğin boyutları 160x100x30 mm olarak belirlenmiştir. Malzemelerin kimyasal analizi ve sertlik ölçümü, Gebze Yüksek

Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde yaptırılmış ve analiz değerleri Tablo 7.2’de gösterilmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin sertliği 300 HV bulunmuştur.

Tablo 7.1. Beş eksen işleme merkezinin teknik özellikleri.

ÇALIŞMA SAHASI	
X Ekseni / Y Ekseni / Z Ekseni	600 mm / 700 mm / 550 mm
PARÇA BAĞLAMA TERTİBATLARI	
NC Eğimli Döner Tabla Bağlama Yüzeyi	Ø 360 mm
Dönüş Aralığı	360°
Eğilme Aralığı (İş Miline Doğru)	-45/30°
Taşıma Kapasitesi	500 kg
ANA TAHRİK	
Tahrik Türü	Devir ayarlı, entegre iş mili dijital kumandalı AC servo motor
Devir Sayısı	20-12000 dev/dak
İş Mili Yataklama Çapı (Önde)	80 mm
Takım Tutucu	ISO 40 DIN 6987
Çektirme Pimi	DIN 69872-B
Çektirme Kuvveti	11 kN
İLERLEME TAHRİKLERİ	
Tahrik Türü	Fırçasız, dijital kumandalı AC servo motorlar
İlerleme Hızı	1-10000 mm/dak
Hızlı Hareket	24 m/dak
İlerletme Kuvveti	10/10/10 kN



Dinamometre Bağlama Delikleri

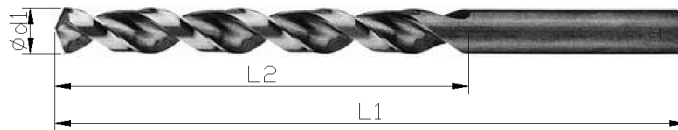
Şekil 7.2. İş parçası.

Tablo 7.2. AISI 304 paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
0.034	0.64	1.89	0.041	0.013	18.75	8.23	0.398	0.0028
Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B
0.69	0.105	0.0064	0.023	0.071	0.026	<0.0030	0.018	0.0019
Sn	Zn	As	Bi	Ca	Ce	Zr	La	Fe
0.014	0.022	0.012	<0.0020	0.0006	0.025	0.0074	0.0027	69.0

7.3. Kesici Takımlar

Bütün delik delme deneylerinde Makine Takım Endüstrisinin (MTE) üretimini yaptığı 8 mm çapında gümüş serisi HSSE matkap ucu kullanılmıştır (Şekil 7.3). Tablo 7.3'te deneylerde kullanılan HSSE matkap ucunun özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Deneylerde kullanılan gümüş serisi HSSE matkap ucu.

Tablo 7.3. Deneylerde kullanılan HSSE matkap ucunun özellikleri.

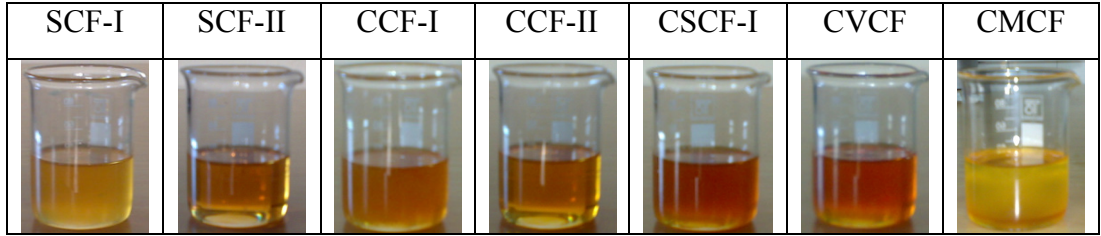
DIN 338 HSSE 130° Gümüş Seri Taşlanmış		
Ürün Tanımı: TS ISO 235, HSSE % 5 Co alaşımlı yüksek hız çeliği, özel profil, uç açısı 130°, çap toleransı h8, sağ kesme yönlü		
d1 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)
8	117	75

7.4. Kesme Sıvıları

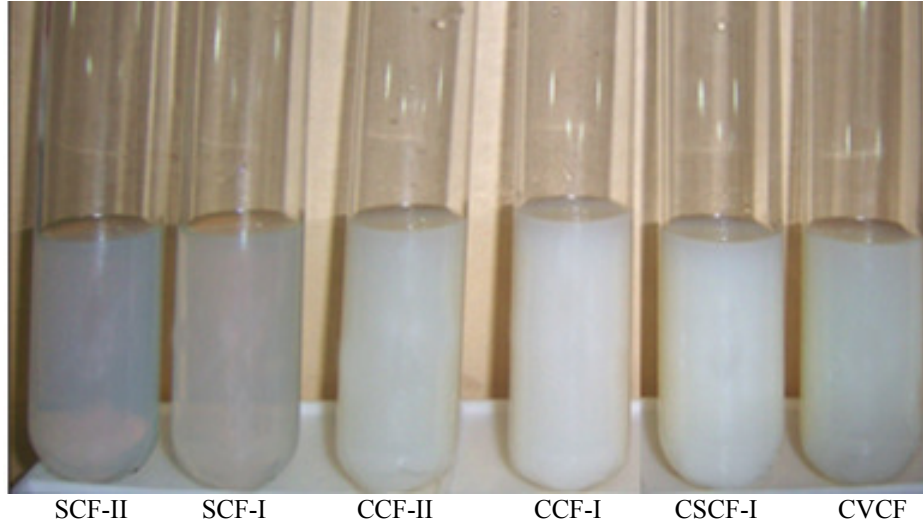
Deneysel çalışmalarda 7 çeşit kesme sıvısı kullanılmıştır (Şekil 7.4, Şekil 7.5). 5 tane bitkisel esaslı kesme sıvısı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilmiştir.

Diğer 2 tane kesme sıvısı ise ticari olarak konsantre halinde temin edilmiştir. Deneyleerde kullanılan kesme sıvıları:

- SCF-I– Rafine ayçiçek esaslı kesme sıvısı, tekli emülsifiyer
- SCF-II– Rafine ayçiçek esaslı kesme sıvısı, ikili emülsifiyer
- CCF-I– Rafine kanola esaslı kesme sıvısı, tekli emülsifiyer
- CCF-II– Rafine kanola esaslı kesme sıvısı, ikili emülsifiyer
- CSCF-I– Ham ayçiçek esaslı kesme sıvısı, tekli emülsifiyer
- CVCF– Ticari bitkisel esaslı kesme sıvısı. Mineral yağ içermez. %45-60 bitkisel yağ, %25-45 emülsifiyer ve %7-10 polar ve EP katkısı içermektedir.
- CMCF– Ticari mineral esaslı kesme sıvısı



Şekil 7.4. Deneyleerde kullanılan kesme sıvıları.



Şekil 7.5. Deneyleerde kullanılan kesme sıvılarının su ile karıştırılması sonucu oluşan emülsiyonlar.

Deneyleerde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri Tablo 7.4’te gösterilmektedir.

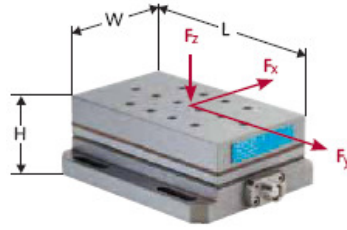
Tablo 7.4. Deneyleerde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri.

Kesme Sıvısı	pH	pH (%5 Emülsiyon)	d (g/ml)	d (g/ml) (%5 Emülsiyon)	Viskozite 40°C (mm ² /sn)	Viskozite 40°C (%5 Emülsiyon)	Parlama Noktası (°C)	Kırılma İndisi (n _d)	Kırılma İndisi (n _d) (%5 Emülsiyon)
SCF-I	9.60	9.10	0.980	0.960	74	1.5	199	1.4740	1.3430
SCF-II	9.40	9.00	0.975	0.980	75	1.7	170	1.4750	1.3423
CCF-I	8.30	8.53	0.962	0.940	78	2.0	223	1.4730	1.3437
CCF-II	8.80	8.94	0.960	0.940	77	2.3	200	1.4740	1.3431
CSCF-I	8.30	8.50	0.960	0.980	82	1.2	215	1.4750	1.3445
CVCF	9.26	9.32	0.960	0.950	85	1.2	205	1.4760	1.3452
CMCF	9.75	9.65	0.906	1.013	29	1.2	-	1.4816	1.3352

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 CaCO₃/lt olarak bulunmuştur. Kesme sıvıları için debi 6.4 lt/dak'dır. Kesme sıvısı kesici takım talaş yüzeyine bütün deneylerde 15 cm uzaklıktan gelecek şekilde uygulanmıştır. Kesme sıvısı tankının boyutları 50x30x25 cm, hacmi 37.5 litredir.

7. 5. Dinamometre

Kesme kuvvetleri KISTLER 9257B tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 7. 6). Tablo 7.5'de dinamometrenin teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 7.6. KISTLER 9257B dinamometre.

Tablo 7.5. KISTLER 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.

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

Dinamometre ile ölçülen kuvvet değerleri DynoWare yazılımı kullanılarak grafiksel olarak kaydedilmiştir. Her bir deliğin delinmesi sırasında elde edilen kuvvetlerin ortalaması alınarak, o delik için kuvvet değeri belirlenmiştir.

7. 5. 1. Amplifikatör

Deneylerde KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör kullanılmıştır (Şekil 7.7). Tablo 7.6'da amplifikatörün teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 7.7. KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör.

Tablo 7.6. KISTLER 5070A11100 amplifikatörün teknik özellikleri.

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

7. 5. 2. Veri Toplama Kartı (DAQ)

Deneylerde 2855A5, PC-CARD-DAS 16/16 tipi veri toplama kartı kullanılmıştır (Şekil 7.8). Tablo 7.7’de veri toplama kartının özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 7.8. Veri toplama kartı.

Tablo 7.7. Veri toplama kartının teknik özellikleri.

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

7. 5. 3. Bağlantı Kabloları

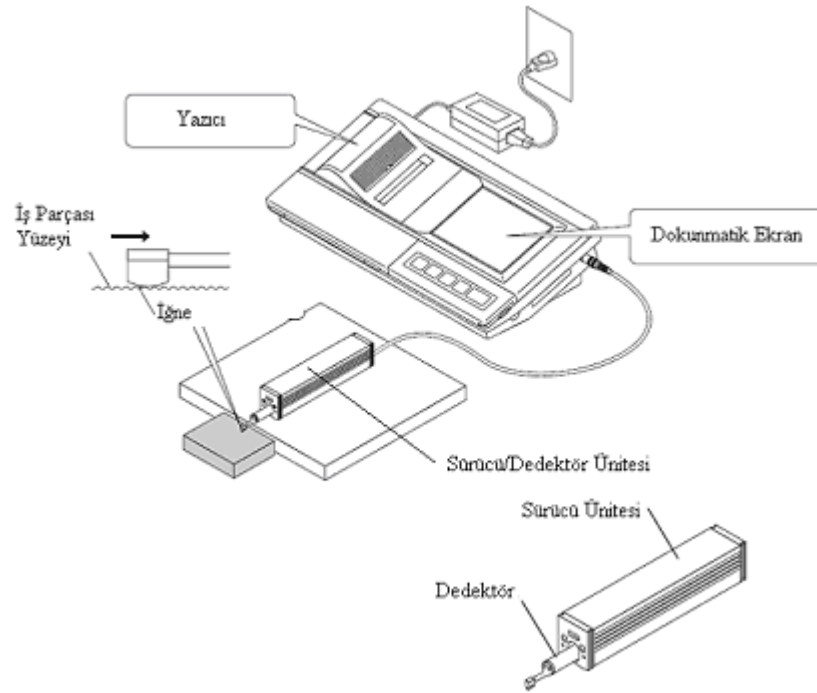
Dinamometre ile amplifikatör arasındaki bağlantı için KISTLER 1677A5 tipinde kablo, bilgisayar ile amplifikatör arasındaki bağlantı için KISTLER 1200A27 tipinde RS 232C kablolar kullanılmıştır. Amplifikatörden veri toplama kartına sinyal çıktılarını göndermek için KISTLER 1500B15 tipi bağlama kablosu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

7. 6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Deneyler sonucunda delik yüzeylerinin pürüzlülük ölçümü, Mitutoyo Surftest SJ 301 tipi portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.9, Şekil 7.10). Cihazın teknik özellikleri Tablo 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.



Şekil 7.10. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

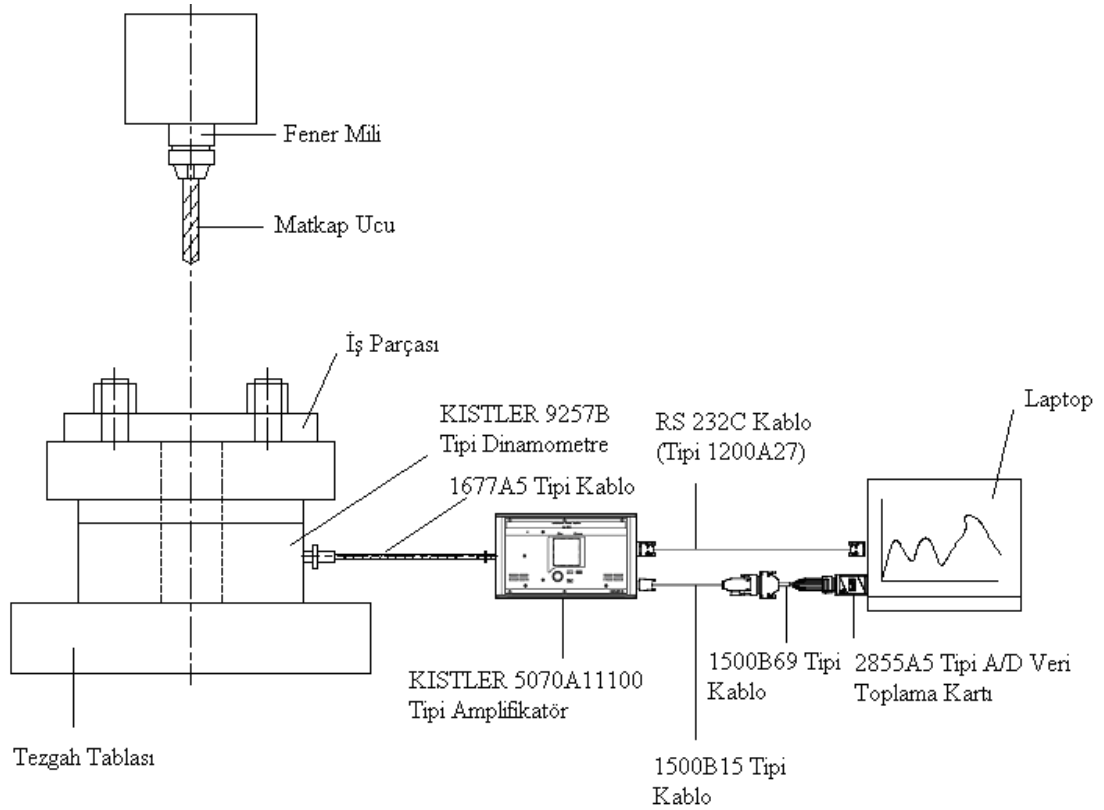
Yüzey pürüzlülüğü ölçümüne başlamadan önce yüzey pürüzlülük cihazı, yüzey pürüzlülük değeri önceden bilinen kalibrasyon numunesi ile kalibre edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde örnekleme uzunluğu (cut-off) 0.8 mm ve örnekleme sayısı 3 olarak seçilmiştir. Ölçme işlemi delik eksenine paralel olarak yapılmış olup, işlenmiş yüzeylerden 2 adet ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) ölçülmüştür.

İşlenen yüzey 180° döndürülerek 2. ölçüm alınmıştır. Daha sonra pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Tablo 7.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına ait teknik özellikler.

Ölçme prensibi	Stylus metodu
İzleyici uç yarıçapı	5 μ m
Ölçme kuvveti	4 mN (0.4 gf)
Filtre	Gauss
Tarama hızı	0.5 mm/s
Kesim uzunluğu (λ_c)	0.8 mm
Değerlendirme uzunluğu ($l_n = \lambda_c * 3$)	2.4 mm

Şekil 7.11'de deney kurulumu şematik, Şekil 7.12'de fotoğrafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 7.11. Deney kurulumunun şematik gösterimi.



Şekil 7.12. Deney kurulumunun fotoğrafı.

7. 7. Deney Tasarımları

7. 7. 1. Taguchi Deney Tasarımı

Taguchi tasarımına göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar şöyledir:

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

Delme deneyleri üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve üç farklı delme derinliği için ayrı ayrı yapılmıştır. Kullanılan üç farklı parametre ve üç farklı seviye için Taguchi'nin L_9 (3^3) standart ortogonal dizisi seçilmiştir. Kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri aşağıdaki gibidir (Tablo 7.9, Tablo 7.10).

Tablo 7.9. Delme deneylerinde faktörler ve seviyeler.

	Kontrol Faktörü	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Devir sayısı (dev/dak)	320	420	520
B	İlerleme (mm/dev)	0.10	0.12	0.14
C	Delme derinliği (mm)	15	18	21

Tablo 7.10. Taguchi L₉ deney tasarımı.

Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Derinlik (mm)
1	320	0.10	15
2	320	0.12	18
3	320	0.14	21
4	420	0.10	18
5	420	0.12	21
6	420	0.14	15
7	520	0.10	21
8	520	0.12	15
9	520	0.14	18

7. 7. 2. Performans Deneyleri

Performans deneylerinde, her bir kesme sıvısı için sabit deney şartları altında 81 adet delik delinmiştir (Tablo 7.11). Taguchi deneylerinde kullanılan matkap ucu ile delme işlemine devam edilmiştir. Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü verileri 2 delikte bir alınmıştır.

Tablo 7.11. Performans deneyleri için kesme parametreleri.

Devir sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
520	0.14	21

7. 7. 3. Devir Sayısının Etkisini Belirleme Deneyleri

Devir sayısının kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan deneylerde toplam 45 adet delik delinmiştir. Bu deneylerde tek matkap ucu kullanılmıştır. İlerleme ve delme derinliği sabit alınmıştır. 3 farklı devir sayısında deneyler yürütülmüştür. Her bir devir sayısı için 15 adet delik delinmiştir. Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü verileri 2 delikte bir alınmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler Tablo 7.12’de gösterilmiştir.

Tablo 7.12. Devir sayısının etkisini belirleme deneyleri için kesme parametreleri.

Devir sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
520	0.12	21
620		
720		

7. 7. 4. İlerlemenin Etkisini Belirleme Deneyleri

İlerlemenin kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan deneylerde toplam 45 adet delik delinmiştir. Bu deneylerde tek matkap ucu kullanılmıştır. Devir sayısı ve delme derinliği sabit alınmıştır. 3 farklı ilerleme değerinde deneyler yürütülmüştür. Her bir ilerleme için 15 adet delik delinmiştir. Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü verileri 2 delikte bir alınmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler Tablo 7.13’te gösterilmiştir.

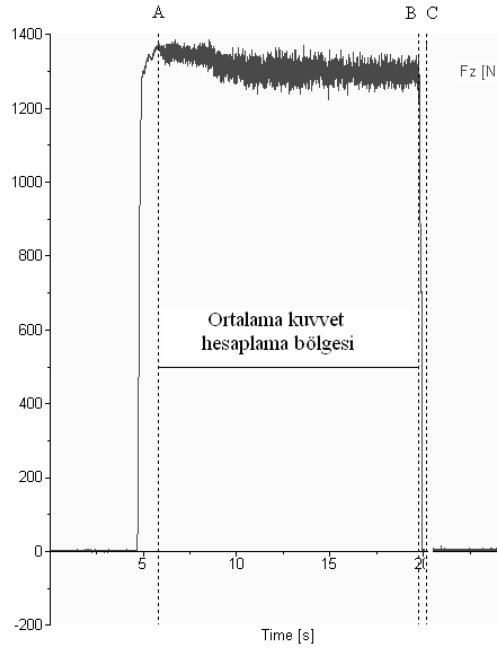
Tablo 7.13. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri için kesme parametreleri.

İlerleme (mm/dev)	Devir sayısı (dev/dak)	Delme Derinliği (mm)
0.08	620	21
0.12		
0.16		

8. DENEY SONUÇLARI

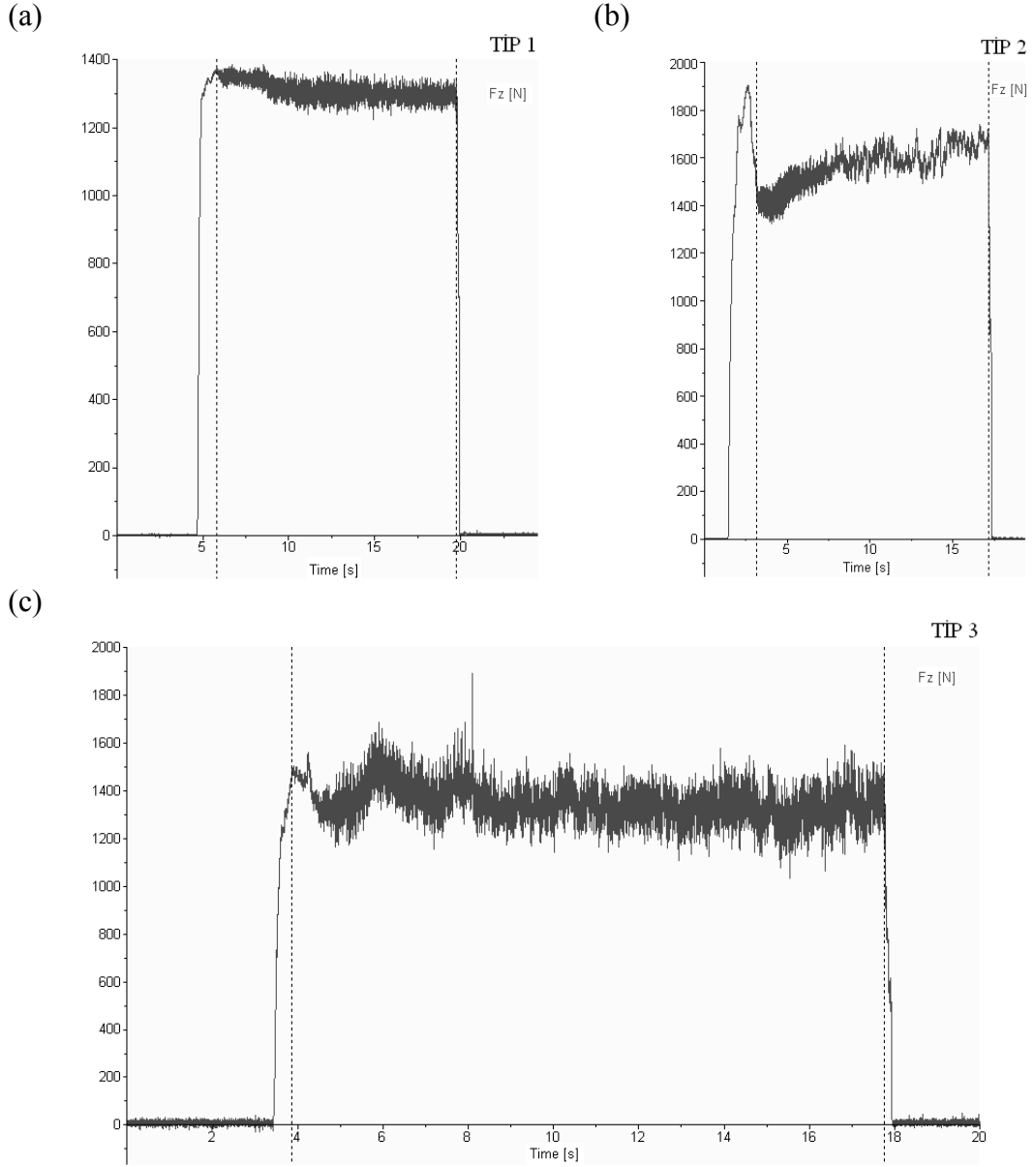
8. 1. Kuvvet Sonuçları

Şekil 8.1’de örnek bir kesme kuvveti-zaman grafiği gösterilmektedir. Matkap ucunun konik yüzeyi ile iş parçasının tamamı temas edene (A aşamasına) kadar kuvvetler hızla artar. Matkap zırhının delik yüzeyi ile sürtünmesi ve delik içerisinden talaş tahliyesinin zorluğu kuvvetleri arttırabilir. A ve B aşaması arasında kuvvetler stabil hale gelir. B ve C aşaması arasında matkap kesme ağzının iş parçası ile teması kesildiği için kuvvetler hızla azalır.



Şekil 8.1. Kesme kuvveti-zaman grafiği.

Genel olarak kuvvet eğrisi 3 tipte olabilir: Şekil 8.2 (a) giriş ve çıkış arasında hiçbir önemli farkın bulunmadığı tipik bir üniform kuvvet eğrisini göstermektedir (TİP 1). Şekil 8.2 (b) devamlı olarak talaş tıkanmasının meydana geldiği artan kuvvet eğrisini göstermektedir (TİP 2). Bazı deliklerde, deliğin iç kısmında talaşlar matkap olukları boyunca tahliye edilemez, bu da Şekil 8.2 (c) de gösterildiği gibi delinmiş deliğin içinde kuvvette pik oluşumuna neden olur.



Şekil 8.2. Delik delme esnasında oluşan tipik kuvvet grafikleri. (a) Üniform kuvvet eğrisi, (b) Artan kuvvet eğrisi, (c) Pik yapan kuvvet eğrisi.

Bu çalışmada delik delme işlemi yapıldığı için, Fz kuvveti (thrust force, aksenal kuvvet, ilerleme kuvveti) dikkate alınmıştır.

8. 1. 1. Taguchi Deneylerinde Ölçülen Kuvvetler

Farklı kesme sıvıları ile Taguchi deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen ortalama kuvvet değerleri Tablo 8.1’de verilmiştir.

Tablo 8.1. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.

Deney No	Ortalama Fz Değerleri (N)						
	SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
1	1531.80	1292.25	1337.11	1238.27	1397.58	1473.38	1407.06
2	1571.05	1517.16	1561.27	1420.22	1503.01	1634.20	1550.80
3	2023.00	1650.10	1664.99	1625.07	1745.22	1815.35	1674.51
4	1430.67	1343.75	1270.47	1285.15	1436.86	1484.00	1263.32
5	1550.60	1541.92	1540.09	1447.58	1542.61	1615.25	1366.55
6	1894.54	1583.31	1737.80	1580.49	1740.07	1733.52	1530.89
7	1411.04	1355.20	1357.47	1303.71	1376.43	1550.73	1182.53
8	1577.08	1423.03	1654.35	1461.82	1532.21	1606.85	1241.97
9	1769.88	1609.41	1752.72	1578.89	1707.47	1691.20	1484.54

Taguchi deneylerinde ölçülen kuvvet değerlerinin detaylı analizi 9. bölümde yapılmıştır.

8. 1. 2. Performans Deneylerinde Ölçülen Kuvvetler

Farklı kesme sıvıları ile performans deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen ortalama kuvvet değerleri Tablo 8.2’de verilmiştir. Matkap ucunun yeni olduğu ilk deliklerde yüksek kuvvet değişimi gözlenmiştir. Takım ömrünün ilk aşamasında bazen yüksek kuvvet gözlenir. Bu ilk aşamada, yeni matkap ucunun yüzey pürüzlülüğü kenar üzerinde daha yüksek sürtünme meydana getirir. Bu da daha yüksek kuvvetle sonuçlanır. Tablodan, Fz kuvvetinde büyük bir dalgalanmanın olduğu görülmektedir. Fz kuvveti için bazen düşme bazen yükselme görülmüştür. Bunun anlamı şudur: Kesme sıvıları ile AISI 304 malzemesine delik delinirken kararlı bir talaş kaldırma olayı gerçekleşmemiş; kesici takımın ve işleme şartlarının durumuna göre performans değişmiştir.

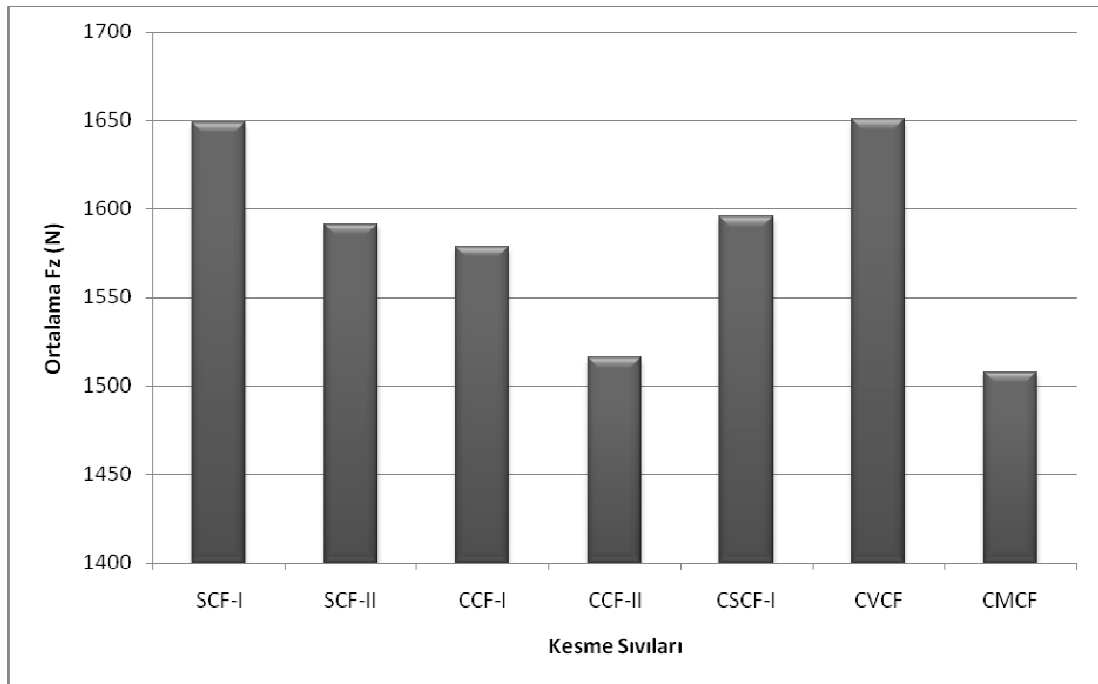
Tablo 8.2. Performans deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.

Delik Sayısı	Ortalama Fz Değerleri (N)						
	SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
1	1748.32	1649.39	1650.16	1589.79	1691.21	1650.52	1547.13
3	1772.98	1571.85	1676.35	1550.94	1732.67	1671.90	1549.59
5	1661.68	1557.42	1626.46	1449.88	1640.79	1667.85	1469.96
7	1644.25	1578.14	1589.13	1506.06	1596.97	1583.17	1554.35
9	1763.46	1606.97	1642.05	1541.88	1644.19	1613.86	1509.30
11	1730.77	1585.18	1556.16	1475.16	1646.28	1691.55	1442.16
13	1699.92	1566.90	1579.74	1567.15	1619.53	1681.06	1477.03
15	1561.75	1580.34	1526.66	1482.45	1566.41	1622.44	1535.51
17	1651.86	1629.08	1657.18	1507.45	1619.99	1603.01	1427.76
19	1714.36	1648.87	1615.35	1583.33	1641.33	1687.60	1462.81
21	1657.90	1636.59	1591.80	1510.03	1641.78	1651.09	1467.16
23	1699.22	1555.89	1595.45	1470.24	1583.97	1651.44	1425.07
25	1576.56	1591.07	1573.79	1447.57	1573.58	1658.84	1569.20
27	1684.96	1652.64	1588.68	1511.29	1564.71	1693.99	1573.52
29	1657.47	1588.26	1568.07	1550.24	1616.88	1690.64	1543.44
31	1597.25	1608.09	1614.91	1540.26	1599.49	1623.41	1469.65
33	1563.63	1645.78	1566.52	1472.59	1584.89	1642.76	1392.82
35	1591.92	1578.33	1596.99	1491.64	1531.94	1655.90	1562.24
37	1702.53	1526.17	1544.91	1563.48	1623.15	1653.69	1474.76
39	1635.50	1562.41	1564.41	1574.86	1582.65	1683.78	1508.93
41	1670.07	1478.61	1530.80	1501.44	1551.50	1612.72	1529.76
43	1598.45	1657.12	1514.34	1482.60	1590.94	1592.99	1533.89
45	1637.59	1550.85	1605.04	1523.53	1566.29	1663.87	1550.85
47	1662.90	1613.01	1525.86	1502.95	1586.01	1658.93	1553.75
49	1630.40	1552.31	1553.16	1508.05	1596.17	1653.75	1563.68
51	1585.94	1616.62	1571.29	1517.29	1581.07	1643.57	1455.06
53	1564.79	1669.23	1529.54	1549.19	1567.67	1680.11	1523.03
55	1676.69	1593.12	1561.27	1577.65	1649.87	1690.37	1546.08
57	1688.75	1524.00	1577.62	1487.96	1589.76	1664.92	1562.96

Tablo 8.2 Devam. Performans deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.

59	1584.51	1588.57	1584.96	1456.44	1535.51	1664.29	1561.43
61	1627.10	1537.68	1511.13	1521.61	1531.38	1650.40	1514.98
63	1620.16	1611.91	1574.67	1527.79	1569.98	1641.29	1531.01
65	1659.26	1571.80	1602.97	1542.50	1571.48	1658.66	1505.32
67	1626.85	1613.00	1585.64	1516.41	1570.77	1637.81	1510.89
69	1630.51	1618.48	1546.29	1487.95	1555.25	1649.38	1442.34
71	1650.56	1594.74	1587.51	1545.99	1571.13	1621.98	1527.72
73	1675.14	1595.71	1570.64	1560.16	1606.97	1674.74	1478.89
75	1636.11	1580.93	1572.52	1468.14	1567.78	1658.01	1524.26
77	1613.75	1575.54	1546.36	1488.19	1615.53	1628.35	1428.87
79	1612.61	1631.86	1505.99	1523.21	1600.81	1630.78	1503.48
81	1620.95	1554.42	1634.00	1489.61	1546.82	1616.66	1499.00

Kesme sıvılarının delik delmedeki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile delik delme esnasında ölçülen kuvvetlerin ayrı ayrı ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 8.3'te gösterilmiştir.



Şekil 8.3. Performans deneyleri sonucu ölçülen kuvvetlerin ortalaması.

Şekil 8.3'te görüldüğü gibi 520 dev/dak devir sayısı, 0.14 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği şartları altında en iyi performansı (en düşük kuvveti) CMCF kesme sıvısı göstermiştir. Geliştirilen CCF-II kesme sıvısı, CMCF kesme sıvısına çok yakın performans göstermiştir. CMCF kesme sıvısı ile 81 delik delme sonucunda kuvvetlerin ortalaması 1507.552 N, geliştirilen CCF-II kesme sıvısı ile kuvvetlerin ortalaması 1516.218 N olarak ölçülmüştür. CVCF kesme sıvısı için kuvvetlerin ortalaması ise 1650.539 N'dir. CVCF kesme sıvısı referans sıvı olarak düşünülürse CMCF kesme sıvısına en yakın performansı gösteren CCF-II kesme sıvısı, kuvveti %8.14 azaltmıştır. SCF-I kesme sıvısı kuvveti %0.12, SCF-II kesme sıvısı %3.58, CCF-I kesme sıvısı %4.37, CSCF-I kesme sıvısı %3.32 azaltmıştır. Kuvvetin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CMCF, CCF-II, CCF-I, SCF-II, CSCF-I, SCF-I ve CVCF. Bu sonuçlara göre bütün kesme sıvıları CVCF referans sıvıdan daha iyi performans göstermiştir. Ancak bütün kesme sıvıları CMCF referans sıvıdan daha kötü performans göstermiştir.

Deney sonuçlarından kanola esaslı kesme sıvılarının (CCF-II ve CCF-I) ayçiçeği esaslı kesme sıvılarından (SCF-II, SCF-I ve CSCF-I) daha düşük kuvvet değeri verdiği görülmüştür. Emülsifiyer sayısına göre karşılaştırma yapılırsa, kuvvetler çift emülsifiyerli kesme sıvılarında (SCF-II, CCF-II) tek emülsifiyerli kesme sıvılarına (SCF-I, CCF-I) göre daha düşük çıkmıştır. SCF-II, kuvveti SCF-I'e göre %3.46; CCF-II, kuvveti CCF-I'e göre %3.94 azaltmıştır. Rafine ve ham kesme sıvılarını karşılaştırırken SCF-I ve CSCF-I sıvısı dikkate alınmıştır. Ham bitkisel esaslı kesme sıvısı rafine bitkisel esaslı kesme sıvısından daha düşük kuvvet değeri vermiştir. CSCF-I, kuvveti SCF-I'e göre %3.2 azaltmıştır.

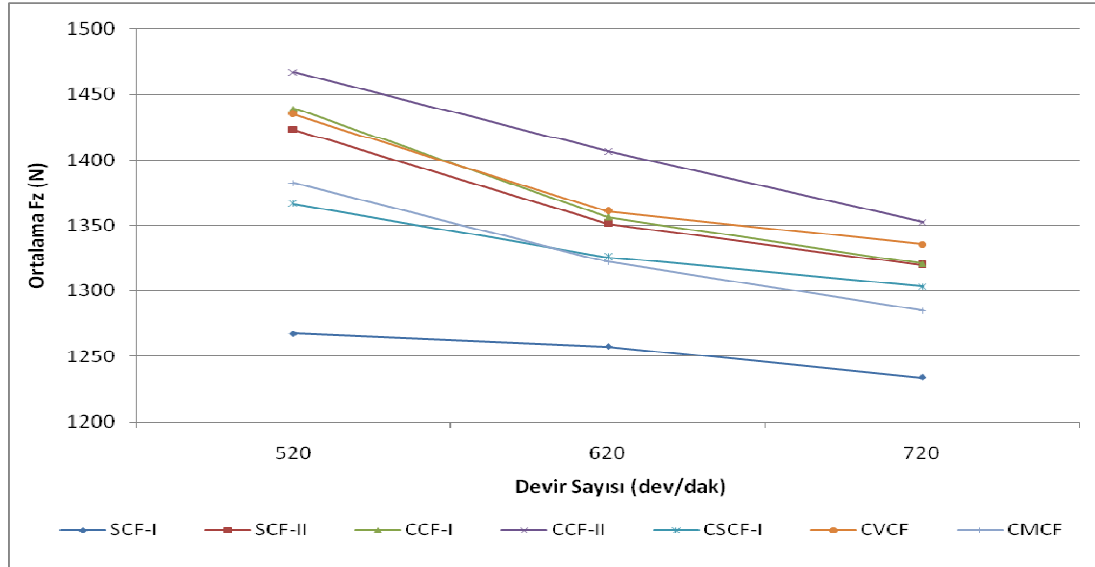
8. 1. 3. Devir Sayısının Kuvvet Üzerindeki Etkisi

Deneylerde ilerleme ve delme derinliği sabit tutulmuştur, devir sayısı değiştirilmiştir. Farklı kesme sıvıları ile deneyler yapıldıktan sonra elde edilen ortalama kuvvet değerleri Tablo 8.3'te verilmiştir.

Tablo 8.3. Devir sayısının etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.

Devir Sayısı (dev/dak)	Delik Sayısı	Ortalama Fz Değerleri (N)						
		SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
520	1	1323.43	1449.53	1459.70	1462.42	1398.64	1462.52	1415.78
	3	1227.77	1424.02	1442.69	1472.13	1421.09	1434.32	1400.95
	5	1210.59	1386.75	1491.58	1503.61	1375.12	1426.70	1397.63
	7	1302.13	1317.50	1444.61	1495.10	1330.57	1440.06	1349.69
	9	1309.27	1388.29	1464.57	1496.53	1372.71	1439.97	1336.93
	11	1292.11	1545.18	1387.38	1464.13	1329.61	1465.26	1399.67
	13	1235.48	1455.42	1391.92	1457.82	1396.70	1435.18	1419.27
	15	1239.47	1418.95	1430.79	1383.31	1305.54	1371.09	1339.87
620	1	1331.84	1343.79	1368.59	1427.68	1341.76	1369.24	1352.96
	3	1234.38	1349.59	1385.25	1423.10	1296.62	1365.40	1338.34
	5	1256.76	1381.34	1335.07	1419.17	1342.45	1355.95	1292.12
	7	1266.87	1336.61	1346.16	1370.06	1313.43	1338.02	1318.34
	9	1253.36	1347.37	1318.01	1389.11	1309.86	1339.18	1280.18
	11	1222.58	1379.11	1383.95	1401.96	1321.60	1377.56	1312.49
	13	1228.54	1365.18	1354.79	1439.67	1365.06	1354.21	1329.41
	15	1268.47	1308.72	1359.60	1380.89	1316.32	1385.05	1351.30
720	1	1239.47	1377.14	1332.08	1353.92	1300.78	1332.15	1286.12
	3	1179.82	1297.06	1302.15	1307.25	1302.94	1355.99	1273.07
	5	1249.14	1283.77	1315.82	1337.80	1306.24	1297.91	1241.82
	7	1275.74	1358.13	1330.27	1375.30	1340.69	1331.78	1298.65
	9	1236.56	1313.11	1313.21	1361.36	1285.79	1324.73	1319.01
	11	1201.86	1327.04	1300.96	1365.22	1294.72	1336.48	1324.42
	13	1257.33	1279.52	1315.30	1344.21	1282.69	1353.71	1249.28
	15	1234.80	1320.55	1356.31	1374.84	1314.76	1351.58	1288.58

Devir sayısının kuvvet üzerindeki etkisini belirleyebilmek için, her bir devir sayısı ile delik delme esnasında ölçülen kuvvetlerin ortalaması ayrı ayrı alınmıştır ve sonuçlar Şekil 8.4'te gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Devir sayısı ile Fz kuvveti arasındaki ilişki.

Şekil 8.4'te görüldüğü gibi bütün kesme sıvıları ile delik delme esnasında devir sayısı arttığı zaman Fz kuvveti azalmaktadır. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [Davim et al, 2006; Kumar and Ramamoorthy, 2007; Mendes et al, 2006; Özlü, 2007; Shetty et al, 2009]. Devir sayısı ile kesme hızı doğru orantılıdır. Kesme hızının düşük olması talaş kıvrılma yarıçapını düşürmekte ve talaş kalınlığını arttırmaktadır. Talaş kalınlığının artması kayma açısını düşürerek malzemenin daha zor deforme olmasını sağlar. Daha zor deforme olan malzemede kesme bölgesinde gerilim artar ve bu olay titreşimin, sıcaklığın ve kuvvetlerin artmasına yol açar. 0.12 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği şartları altında en düşük kuvvet değerleri SCF-I sıvısı ile, en yüksek kuvvet değerleri CCF-II sıvısı ile elde edilmiştir.

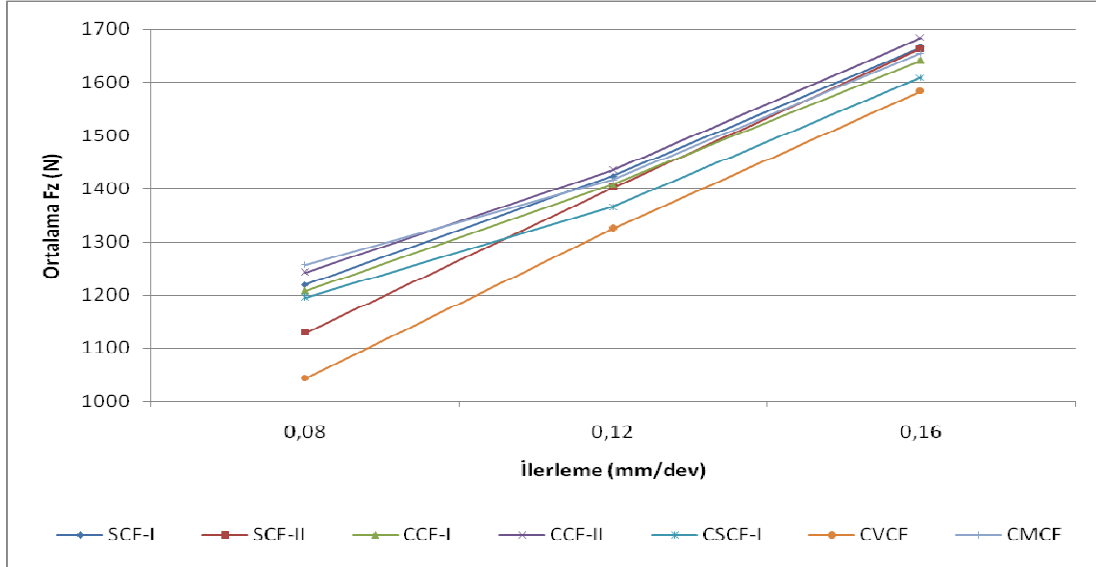
8. 1. 4. İlerlemenin Kuvvet Üzerindeki Etkisi

Deneylerde devir sayısı ve delme derinliği sabit tutulmuştur, ilerleme değiştirilmiştir. Farklı kesme sıvıları ile deneyler yapıldıktan sonra elde edilen ortalama kuvvet değerleri Tablo 8.4'te verilmiştir.

Tablo 8.4. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerleri.

İlerleme (mm/dev)	Delik Sayısı	Ortalama Fz Değerleri (N)						
		SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
0.08	1	1227.70	1238.78	1212.95	1223.45	1165.53	1026.05	1150.71
	3	1219.28	1046.34	1213.08	1230.65	1156.40	1134.15	1254.23
	5	1224.49	1109.73	1180.14	1242.47	1268.87	1099.00	1293.10
	7	1196.82	1104.87	1231.86	1238.52	1208.17	1000.13	1285.89
	9	1243.29	1029.10	1212.84	1255.94	1210.80	1051.73	1336.12
	11	1236.44	1164.41	1176.96	1265.61	1208.06	1002.38	1284.10
	13	1228.29	1180.73	1223.40	1243.47	1175.00	1031.52	1265.55
	15	1172.53	1155.06	1222.46	1240.33	1169.54	1001.92	1183.37
0.12	1	1414.97	1380.15	1408.14	1440.75	1365.71	1321.93	1373.42
	3	1379.66	1354.28	1448.53	1456.38	1360.87	1344.21	1466.98
	5	1451.85	1436.50	1387.90	1448.09	1359.24	1234.85	1394.24
	7	1434.14	1413.62	1411.64	1384.65	1354.04	1285.75	1440.34
	9	1372.54	1412.88	1390.41	1442.64	1351.33	1336.81	1377.75
	11	1434.01	1396.68	1412.79	1414.81	1365.83	1359.06	1435.68
	13	1427.62	1420.67	1401.78	1462.91	1399.43	1312.98	1419.09
	15	1477.18	1398.66	1401.12	1433.66	1368.40	1402.53	1425.57
0.16	1	1646.29	1676.35	1644.81	1676.56	1603.94	1633.32	1662.03
	3	1632.02	1674.24	1622.59	1635.06	1607.78	1608.93	1648.43
	5	1681.08	1663.52	1648.61	1717.11	1597.98	1567.59	1663.66
	7	1686.92	1702.48	1642.13	1718.13	1624.02	1615.06	1681.17
	9	1669.50	1675.45	1646.13	1694.16	1605.71	1621.13	1670.07
	11	1681.68	1663.96	1630.43	1706.58	1586.35	1550.67	1648.41
	13	1630.54	1649.62	1633.11	1665.14	1625.93	1538.53	1637.91
	15	1700.62	1603.02	1664.68	1655.52	1624.33	1537.59	1627.30

İlerlemenin kuvvet üzerindeki etkisini belirleyebilmek için, her bir ilerleme ile delik delme esnasında ölçülen kuvvetlerin ortalaması ayrı ayrı alınmıştır ve sonuçlar Şekil 8.5’de gösterilmiştir.



Şekil 8.5. İlerleme ile Fz kuvveti arasındaki ilişki.

Şekil 8.5’de görüldüğü gibi bütün kesme sıvıları ile delik delme esnasında ilerleme arttığı zaman Fz kuvveti artmaktadır. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [Kumar and Ramamoorthy, 2007; Lin et al, 2001; Mendes et al, 2006; Rivero et al, 2006; Soylu, 2007; Tsao, 2007]. 620 dev/dak devir sayısı ve 21 mm delme derinliği şartları altında en düşük kuvvet değerleri CVCF sıvısı ile, en yüksek kuvvet değerleri CCF-II sıvısı ile elde edilmiştir.

8. 2. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

8. 2. 1. Taguchi Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü

Farklı kesme sıvıları ile Taguchi deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 8.5’de verilmiştir.

Tablo 8.5. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Deney No	Ortalama Ra Değerleri (μm)						
	SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
1	1.56	1.10	1.06	1.300	1.785	1.71	2.375
2	1.91	1.49	1.60	1.540	2.010	2.39	2.910
3	2.08	1.75	1.87	1.780	2.535	2.67	3.910
4	1.51	1.01	1.26	1.285	1.790	1.70	2.260
5	1.57	1.28	1.69	1.540	1.990	2.12	2.490
6	1.94	1.59	1.81	1.560	2.305	2.13	3.605
7	1.20	1.03	1.24	1.250	1.720	1.67	2.145
8	1.74	1.12	1.50	1.370	1.910	2.14	2.850
9	1.93	1.57	1.68	1.520	2.100	2.25	3.470

Taguchi deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin detaylı analizi 9. bölümde yapılmıştır.

8. 2. 2. Performans Deneylerinde Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü

Farklı kesme sıvıları ile performans deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 8.6'da verilmiştir.

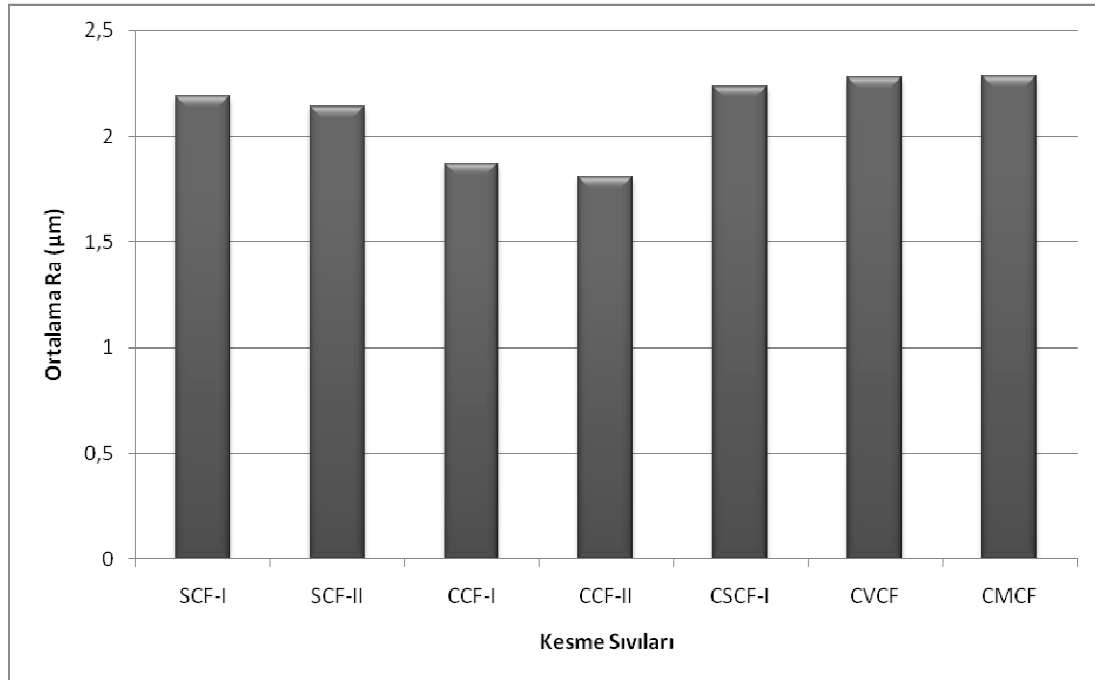
Tablo 8.6. Performans deneylerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Delik Sayısı	Ortalama Ra Değerleri (µm)						
	SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
1	1.860	1.760	1.845	1.080	1.790	1.925	2.360
3	1.810	2.765	1.710	1.445	1.615	2.840	2.465
5	2.250	2.430	1.850	1.605	1.590	2.115	1.995
7	2.420	1.810	1.905	1.720	2.770	2.110	2.385
9	1.590	2.165	1.355	2.255	1.985	1.735	2.065
11	1.420	2.495	1.840	1.865	2.520	1.985	2.570
13	1.875	2.765	1.330	1.620	1.805	1.620	1.860
15	1.765	2.825	1.390	1.470	1.610	2.035	2.405
17	2.030	1.555	1.520	1.535	2.835	2.340	2.215
19	2.130	2.365	1.710	2.305	2.290	2.105	1.765
21	2.090	2.200	1.875	1.445	1.680	3.170	2.100
23	2.185	2.090	1.440	2.180	1.530	2.055	2.585
25	2.760	2.510	1.630	1.740	1.650	2.290	2.325
27	2.410	2.430	1.615	1.485	2.850	2.560	1.795
29	2.480	2.160	2.035	1.695	2.450	1.935	3.275
31	2.250	2.730	1.920	1.460	1.720	2.255	1.710
33	1.810	2.565	1.960	1.845	2.100	2.220	2.430
35	2.605	2.530	1.605	1.345	2.200	2.045	1.765
37	3.315	2.185	2.045	1.865	2.295	1.790	1.980
39	2.825	2.365	2.250	3.540	3.020	2.890	1.915
41	2.165	2.305	1.615	1.295	1.690	1.995	2.545
43	1.835	2.275	2.190	1.880	3.135	2.350	2.030
45	2.495	2.230	1.900	1.725	2.530	2.435	2.200
47	1.650	1.565	1.665	2.015	1.945	2.440	2.425
49	2.130	1.665	2.125	1.665	1.685	2.110	1.805
51	1.720	2.325	1.775	1.285	1.950	2.215	2.575
53	2.440	1.545	2.965	2.065	2.605	2.440	1.590
55	2.765	1.930	1.385	1.390	2.215	1.780	2.830
57	1.670	2.375	1.985	1.880	2.720	1.890	1.910

Tablo 8.6 Devam. Performans deneylerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

59	2.375	1.465	1.860	2.250	2.285	2.780	2.450
61	2.735	1.670	3.220	1.555	2.775	2.730	2.255
63	2.060	2.140	1.575	1.920	2.845	2.505	2.570
65	2.810	1.565	1.900	2.030	2.305	2.395	2.370
67	2.770	2.365	2.020	1.700	2.920	1.855	2.030
69	2.740	2.095	1.650	1.725	2.315	2.990	2.770
71	1.970	2.120	2.095	1.575	2.240	2.595	2.375
73	1.690	1.670	2.185	1.575	2.160	2.515	2.410
75	2.200	2.105	1.835	3.250	2.335	3.090	2.160
77	2.260	1.940	1.845	1.910	2.750	2.005	2.385
79	1.685	2.195	2.220	1.930	2.625	1.700	3.060
81	1.665	1.565	1.740	1.965	1.400	2.465	2.985

Kesme sıvılarının delik delmedeki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile delik delmede ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 8.6'da gösterilmiştir.



Şekil 8.6. Performans deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması.

Şekil 8.6’da görüldüğü gibi 520 dev/dak devir sayısı, 0.14 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği şartları altında en iyi performansı (en düşük yüzey pürüzlülüğünü) geliştirilen CCF-II kesme sıvısı göstermiştir. CCF-II kesme sıvısı ile 81 delik delme sonucunda yüzey pürüzlülüklerinin ortalaması 1.807 μm olarak ölçülmüştür. CVCF kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüklerinin ortalaması 2.276 μm , CMCF kesme sıvısı için 2.285 μm ’dir. CVCF kesme sıvısı referans sıvı olarak düşünülürse, CCF-II kesme sıvısı CVCF kesme sıvısına oranla yüzey pürüzlülüğünü %20.60 azaltmıştır. SCF-I kesme sıvısı yüzey pürüzlülüğünü %3.84, SCF-II kesme sıvısı %5.88, CCF-I kesme sıvısı %17.92, CSCF-I kesme sıvısı %1.68 azaltmıştır. CMCF kesme sıvısı referans sıvı olarak düşünülürse, geliştirilen CCF-II kesme sıvısı CMCF kesme sıvısına oranla yüzey pürüzlülüğünü %20.93 azaltmıştır. SCF-I kesme sıvısı yüzey pürüzlülüğünü %4.25, SCF-II kesme sıvısı %6.28, CCF-I kesme sıvısı %18.27, CSCF-I kesme sıvısı %2,09 azaltmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CCF-II, CCF-I, SCF-II, SCF-I, CSCF-I, CVCF ve CMCF. Bu sonuçlara göre geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının hepsi referans sıvılardan daha iyi performans göstermiştir. Kanola esaslı kesme sıvılarının (CCF-II ve CCF-I) ayçiçeği esaslılardan (SCF-II, SCF-I ve CSCF-I) daha düşük pürüzlülük değeri verdiği görülmüştür. Emülsifiyer sayısına göre karşılaştırma yapılırsa, yüzey pürüzlülüğü çift emülsifiyerli kesme sıvılarında (SCF-II, CCF-II) tek emülsifiyerlilere (SCF-I, CCF-I) göre daha düşük çıkmıştır. SCF-II, yüzey pürüzlülüğünü SCF-I’e göre %2.12; CCF-II, yüzey pürüzlülüğünü CCF-I’e göre %3.26 azaltmıştır. Rafine ve ham kesme sıvılarını karşılaştırırken SCF-I ve CSCF-I sıvısı dikkate alınmıştır. Ham bitkisel esaslı kesme sıvısı rafine bitkisel esaslı kesme sıvısından daha yüksek pürüzlülük değeri vermiştir. SCF-I, pürüzlülüğü CSCF-I’e göre %2.2 azaltmıştır.

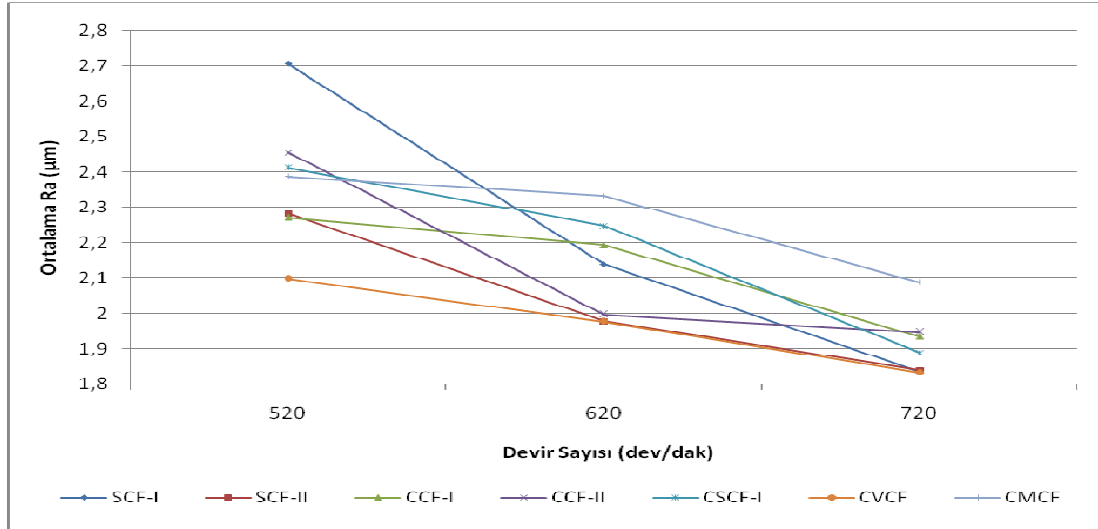
8. 2. 3. Devir Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Deneylerde ilerleme ve delme derinliği sabit tutulmuştur, devir sayısı değiştirilmiştir. Farklı kesme sıvıları ile deneyler yapıldıktan sonra elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 8.7’de verilmiştir.

Tablo 8.7. Devir sayısının etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Devir Sayısı (dev/dak)	Delik Sayısı	Ortalama Ra Değerleri (µm)						
		SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
520	1	2.715	2.110	2.205	3.865	2.005	2.210	1.735
	3	2.490	2.730	2.385	2.450	1.960	2.195	2.180
	5	2.395	2.225	1.855	2.345	2.495	1.850	2.510
	7	3.600	1.925	2.095	2.425	2.790	1.915	2.415
	9	2.360	2.250	2.020	1.995	2.925	1.780	2.500
	11	2.645	2.440	1.920	2.800	2.195	2.480	3.080
	13	2.435	2.345	2.740	1.885	2.425	2.735	2.140
	15	3.005	2.235	2.945	1.870	2.500	1.615	2.540
620	1	1.805	2.175	2.105	1.765	2.065	1.980	1.970
	3	2.725	1.975	1.915	1.765	1.760	1.645	3.075
	5	2.670	1.885	2.170	2.465	2.705	2.075	2.790
	7	1.795	2.115	3.035	1.815	2.500	2.430	2.060
	9	2.185	2.010	2.310	1.760	2.430	2.175	2.430
	11	2.520	1.795	1.655	2.250	2.590	1.765	1.740
	13	1.705	2.075	1.795	2.115	2.030	1.820	1.880
	15	1.700	1.790	2.555	2.035	1.900	1.920	2.710
720	1	2.320	1.865	1.395	2.255	2.250	1.720	1.755
	3	1.825	1.750	2.275	1.750	2.505	1.760	1.825
	5	1.440	1.970	2.730	1.745	2.145	1.715	2.145
	7	1.460	1.875	1.925	1.670	1.670	1.555	2.325
	9	1.535	2.010	1.535	2.355	1.575	2.140	2.420
	11	1.870	1.675	2.090	1.990	1.600	2.270	1.900
	13	1.895	1.885	2.165	1.860	1.660	1.475	2.145
	15	2.335	1.690	1.360	1.950	1.710	2.035	2.190

Devir sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirleyebilmek için, her bir devir sayısı ile delik delmede ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması ayrı ayrı alınmıştır ve sonuçlar Şekil 8.7’de gösterilmiştir.



Şekil 8.7. Devir sayısı ile Ra arasındaki ilişki.

Şekil 8.7’de görüldüğü gibi bütün kesme sıvıları ile delik delme esnasında devir sayısı arttığı zaman yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [Altinkaya, 2006; Basavarajappa et al, 2008; Çaydaş ve Hasçalık, 2005; Davim et al, 2006; Demirayak, 2006; Gökkaya ve ark., 2004; Hüseyinoğlu, 2008; Mendes et al, 2006; Ramulu et al, 2002; Şan, 2007]. Bu durum, kesme hızındaki artışa bağlı olarak artan sıcaklığa, iş parçası malzemesinin daha kolay deforme edilmesine ve akma bölgesi oluşmasına bağlanabilir. Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için, devir sayısının artırılması literatürde kullanılan en yaygın uygulamadır. 0.12 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği şartları altında en düşük yüzey pürüzlülük değerleri CVCF kesme sıvısı ile, en yüksek değerler ise CMCF kesme sıvısı ile elde edilmiştir.

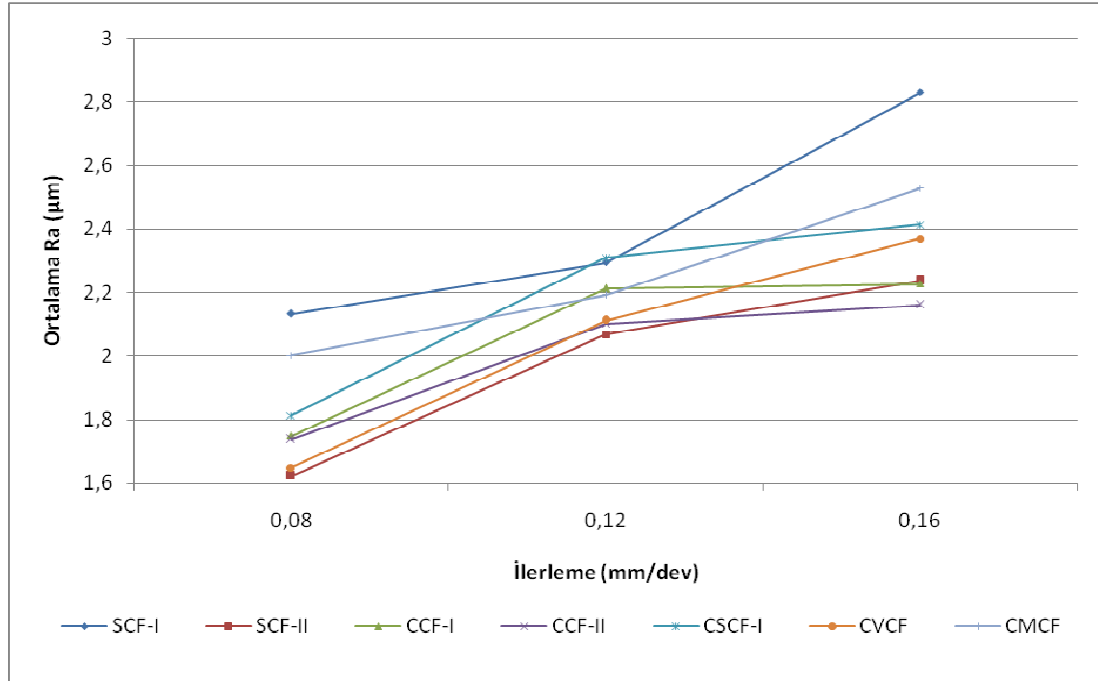
8. 2. 4. İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Deneylerde devir sayısı ve delme derinliği sabit tutulmuştur, ilerleme değiştirilmiştir. Farklı kesme sıvıları ile deneyler yapıldıktan sonra elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 8.8’de verilmiştir.

Tablo 8.8. İlerlemenin etkisini belirleme deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

İlerleme (mm/dev)	Delik Sayısı	Ortalama Ra Değerleri (µm)						
		SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
0.08	1	2.470	1.245	1.900	1.710	1.835	1.330	2.040
	3	2.485	1.885	1.630	1.915	1.585	1.995	2.405
	5	1.980	2.250	1.545	1.955	1.850	1.020	1.830
	7	1.675	1.790	1.950	1.835	1.950	2.310	1.845
	9	1.950	1.500	1.690	1.745	1.960	1.445	1.785
	11	2.225	0.930	1.795	1.630	1.725	2.315	1.825
	13	2.205	1.845	1.870	1.515	1.630	1.405	2.250
	15	2.070	1.535	1.615	1.600	1.975	1.370	2.040
0.12	1	1.915	2.050	2.370	1.910	1.835	1.975	1.900
	3	2.360	2.015	2.240	2.040	1.585	2.435	2.105
	5	2.510	2.035	1.825	1.845	1.850	2.400	1.840
	7	2.070	2.280	1.965	2.300	1.950	2.230	1.965
	9	2.825	1.865	1.925	1.980	1.960	2.020	2.935
	11	2.315	1.905	2.405	2.520	1.725	1.830	2.340
	13	2.310	2.205	2.850	2.295	1.630	2.255	2.335
	15	2.050	2.195	2.120	1.925	1.975	1.745	2.120
0.16	1	2.385	2.625	2.335	2.465	1.610	1.890	2.180
	3	2.730	2.105	2.190	1.795	2.900	2.360	2.730
	5	2.885	2.115	1.770	1.990	2.450	2.550	2.535
	7	2.455	2.505	2.125	2.320	2.860	2.155	2.485
	9	2.980	2.190	2.085	2.190	3.170	2.120	2.720
	11	3.120	2.015	2.330	2.245	1.615	2.430	2.840
	13	2.910	2.115	2.045	1.760	2.295	2.850	2.630
	15	3.160	2.230	2.940	2.520	2.415	2.600	2.105

İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirleyebilmek için, her bir ilerleme ile delik delmede ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması ayrı ayrı alınmıştır ve sonuçlar Şekil 8.8’de gösterilmiştir.



Şekil 8.8. İlerleme ile Ra arasındaki ilişki.

Şekil 8.8’de görüldüğü gibi bütün kesme sıvıları ile delik delme esnasında ilerleme arttığı zaman yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [Altınkaya, 2006; Basavarajappa, 2008; Çaydaş ve Haşçalık, 2005; Demirayak, 2006; Gökkaya ve ark., 2004; Güllü ve Özdemir, 2003; Hüseyinoğlu, 2008; Kumar and Ramamoorthy, 2007; Lin et al, 2001; Mendes et al, 2006; Ramulu et al, 2002; Sakarya, 2005; Şan, 2007; Xavior and Adithan, 2009]. İlerleme arttıkça kuvvetler ve kesici takımın bir devirde aldığı talaş miktarı artar. Böylece titreşim artarak daha kötü bir yüzey kalitesi elde edilir. Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için, ilerleme değerlerinin düşürülmesi literatürde kullanılan yaygın bir uygulamadır. 620 dev/dak devir sayısı ve 21 mm delme derinliği şartları altında en düşük yüzey pürüzlülük değerleri SCF-II sıvısı ile, en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri SCF-I sıvısı ile elde edilmiştir.

9. DENEY SONUÇLARININ ANALİZLERİ

9. 1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz tekniğidir. 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 delme derinliğinin lineer bir kombinasyonu olduğu düşünülürse, kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü veren denklemler aşağıdaki gibi olacaktır:

$$Fz = a_0 + a_1n + a_2f + a_3d + \varepsilon \quad (9.1)$$

$$Ra = a_0 + a_1n + a_2f + a_3d + \varepsilon \quad (9.2)$$

Bu denklemlerde a_0 , a_1 , a_2 ve a_3 katsayılarıdır, ε ise hatadır ve Minitab 14 yazılımı yardımıyla bulunmuştur.

SCF-I kesme sıvısı için kuvvet değerini veren denklem:

$$Fz = 602,3 - 0,6131n + 10949f - 1,04d \quad (9.3)$$

$$R-Sq = 87.9\% \quad R-Sq(adj) = 80.7\%$$

SCF-II kesme sıvısı için kuvvet değerini veren denklem:

$$Fz = 429,63 - 0,11978n + 7096,8f + 13,813d \quad (9.4)$$

$$R-Sq = 98.4\% \quad R-Sq(adj) = 97.4\%$$

CCF-I kesme sıvısı için kuvvet değerini veren denklem:

$$Fz = 377,2 + 0,3353n + 9920f - 9,262d \quad (9.5)$$

$$R-Sq = 95.0\% \quad R-Sq(adj) = 92.0\%$$

CCF-II kesme sıvısı için kuvvet değerini veren denklem:

$$Fz = 342,21 + 0,10143n + 7977,7f + 5,321d \quad (9.6)$$

$$R-Sq = 98.4\% \quad R-Sq(adj) = 97.4\%$$

CSCF-I kesme sıvısı için kuvvet değerini veren denklem:

$$Fz = 598 - 0,0495n + 8182,4f - 0,311d \quad (9.7)$$

$$R-Sq = 95.9\% \quad R-Sq(adj) = 93.5\%$$

CVCF kesme sıvısı için kuvvet değerini veren denklem:

$$Fz = 775,1 - 0,1236n + 6099,7f + 9,31d \quad (9.8)$$

$$R-Sq = 93.7\% \quad R-Sq(adj) = 90.0\%$$

CMCF kesme sıvısı için kuvvet değerini veren denklem:

$$Fz = 1037 - 1,2055n + 6975,3f + 2,426d \quad (9.9)$$

$$R-Sq = 95.8\% \quad R-Sq(adj) = 93.2\%$$

Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili regresyon analiz sonuçları:

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

$$Ra = 0,902 - 0,00113n + 14,0f - 0,0217d \quad (9.10)$$

$$R-Sq = 92.2\% \quad R-Sq(adj) = 87.6\%$$

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

$$Ra = -0,259 - 0,00103n + 14,7f + 0,0139d \quad (9.11)$$

$$R-Sq = 96.4\% \quad R-Sq(adj) = 94.2\%$$

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

$$Ra = -0,630 - 0,000183n + 15,0f + 0,0239d \quad (9.12)$$

$$R-Sq = 91.6\% \quad R-Sq(adj) = 86.6\%$$

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

$$Ra = 0,432 - 0,000800n + 8,54f + 0,0189d \quad (9.13)$$

$$R-Sq = 98.1\% \quad R-Sq(adj) = 97.0\%$$

CSCF-I kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = 0,546 - 0,00100n + 13,7f + 0,0136d \quad (9.14)$$

$$R-Sq = 92.4\% \quad R-Sq(adj) = 87.8\%$$

CVCF kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = 0,134 - 0,00118n + 16,4f + 0,0267d \quad (9.15)$$

$$R-Sq = 82.7\% \quad R-Sq(adj) = 72.4\%$$

CMCF kesme sıvısı için yüzey pürüzlülüğü değerini veren denklem:

$$Ra = -0,518 - 0,00122n + 35,0f - 0,0158d \quad (9.16)$$

$$R-Sq = 93.3\% \quad R-Sq(adj) = 89.3\%$$

Denklemlerde Fz aksenal kuvveti, Ra yüzey pürüzlülüğünü, n devir sayısını, f ilerlemeyi ve d delme derinliğini 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. 2. S/N Oranının Analizi

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

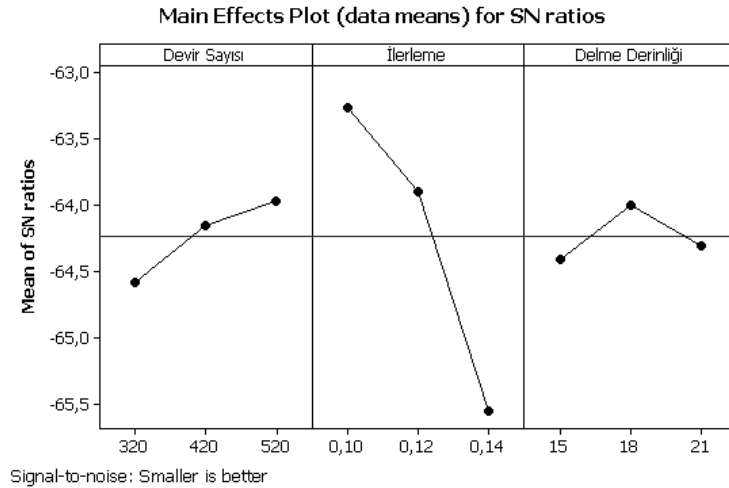
Bu çalışmada kuvvetler ve yüzey pürüzlülüğü ölçüldüğü için, deneylerin analizinde en küçük en iyi yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranı kullanılmıştır.

Tablo 9.1'de bütün kesme sınırları için ölçülen kuvvet değerlerinin S/N oranları verilmiştir.

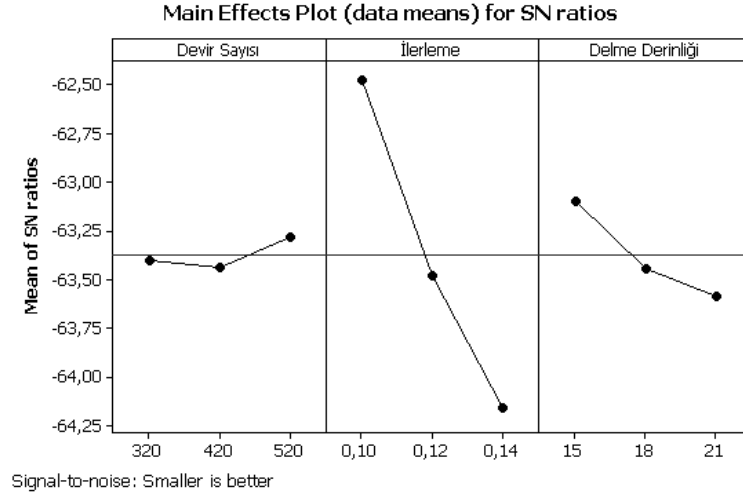
Tablo 9.1. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama kuvvet değerlerinin S/N oranları.

Deney No	S/N Oranları (dB)						
	SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
1	-63.7040	-62.2269	-62.5233	-61.8563	-62.9075	-63.3662	-62.9663
2	-63.9238	-63.6206	-63.8696	-63.0471	-63.5392	-64.2661	-63.8111
3	-66.1199	-64.3502	-64.4282	-64.2174	-64.8370	-65.1792	-64.4778
4	-63.1108	-62.5664	-62.0793	-62.1791	-63.1483	-63.4287	-62.0303
5	-63.8100	-63.7612	-63.7509	-63.2129	-63.7651	-64.1648	-62.7125
6	-65.5501	-63.9913	-64.8000	-63.9758	-64.8113	-64.7786	-63.6989
7	-62.9908	-62.6401	-62.6546	-62.3036	-62.7751	-63.8107	-61.4562
8	-63.9571	-63.0643	-64.3725	-63.2979	-63.7064	-64.1195	-61.8822
9	-64.9589	-64.1333	-64.8743	-63.9670	-64.6471	-64.5639	-63.4318

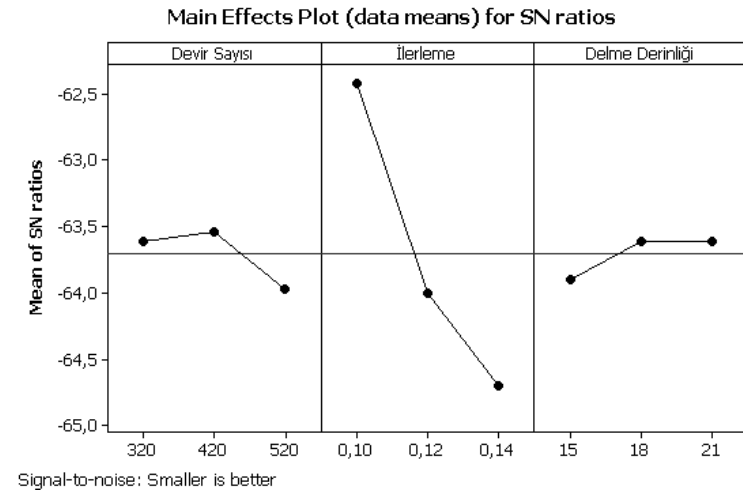
Şekil 9.1-9.7 kesme sıvıları ile delmede kesme parametrelerinin kuvvet üzerindeki etkisini göstermektedir. Her faktör için hesaplanan S/N oranının en yüksek olduğu değer, en iyi deney sonucunu (kuvvetin en düşük olduğu deney sonucunu) göstermektedir.



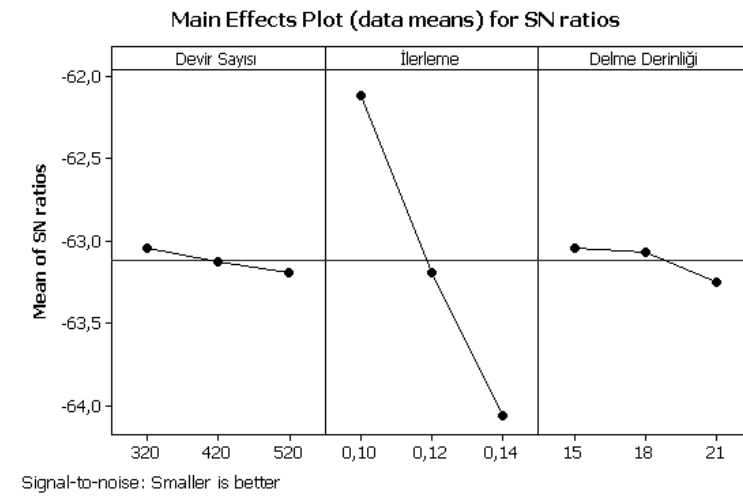
Şekil 9.1. SCF-I kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.



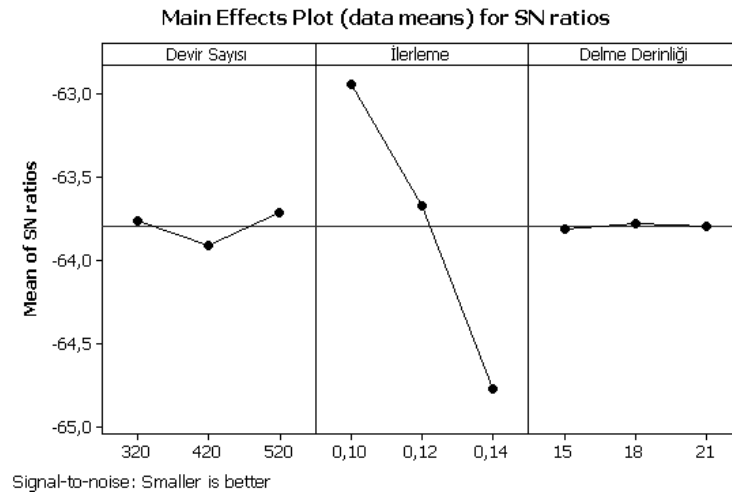
Şekil 9.2. SCF-II kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.



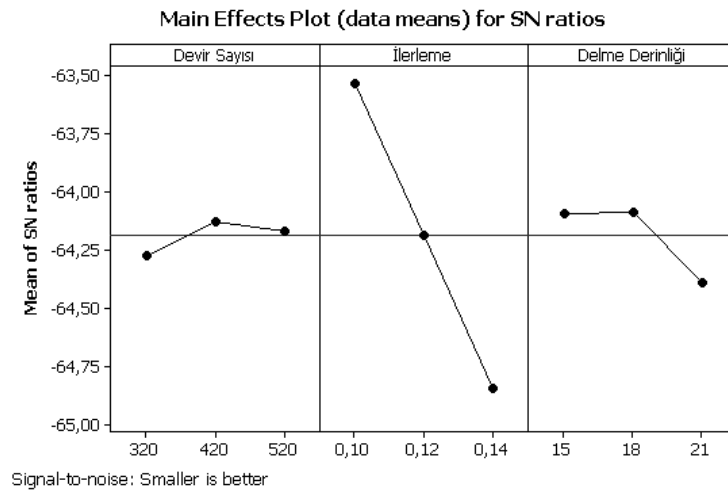
Şekil 9.3. CCF-I kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.



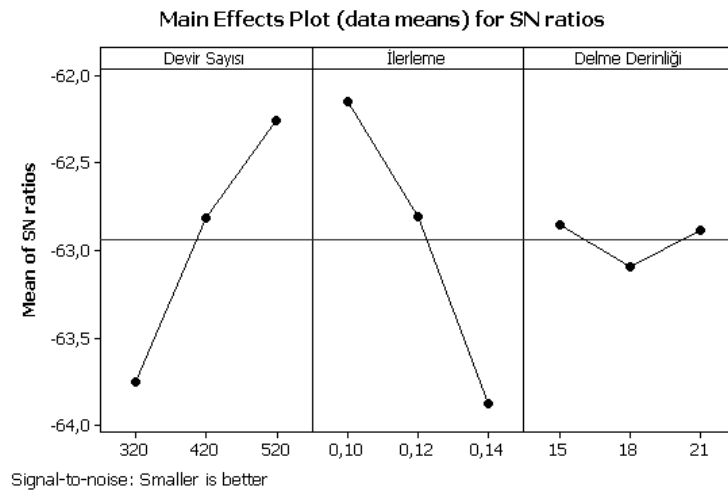
Şekil 9.4. CCF-II kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.



Şekil 9.5. CSCF-I kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.



Şekil 9.6. CVCF kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.



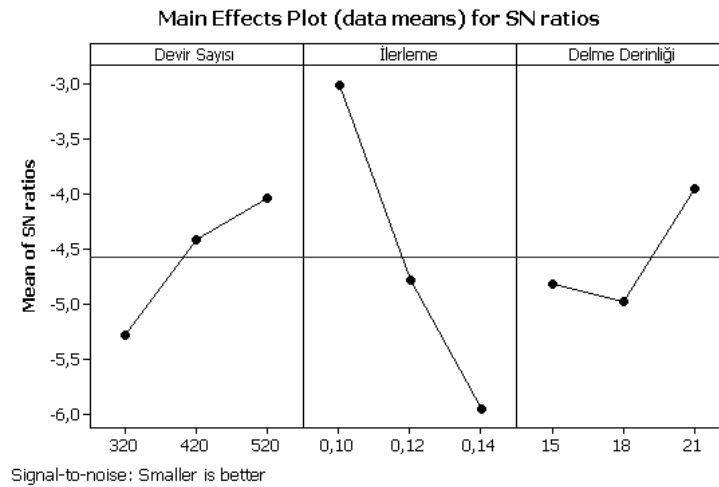
Şekil 9.7. CMCF kesme sıvısı ile ölçülen kuvvetlerin S/N oranları.

Tablo 9.2’de bütün kesme sınırları için ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin S/N oranları verilmiştir.

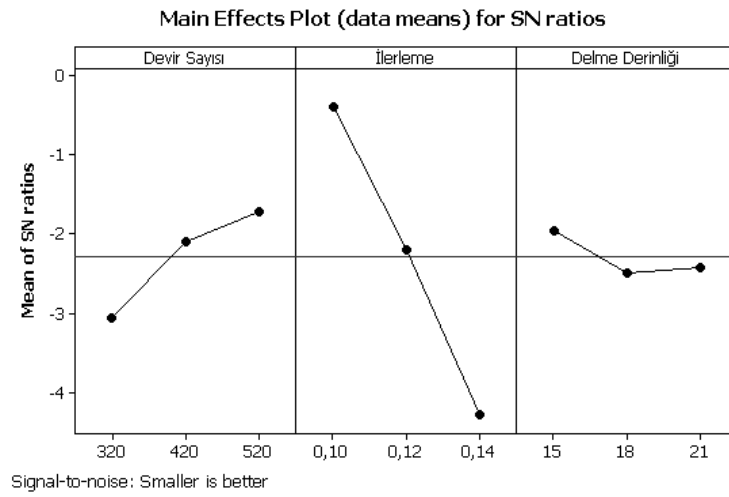
Tablo 9.2. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin S/N oranları.

Deneý No	S/N Oranları (dB)						
	SCF-I	SCF-II	CCF-I	CCF-II	CSCF-I	CVCF	CMCF
1	-3.86249	-0.82785	-0.50612	-2.27887	-5.03276	-4.65992	-7.5133
2	-5.62067	-3.46373	-4.08240	-3.75041	-6.06392	-7.56796	-9.2779
3	-6.36127	-4.86076	-5.43683	-5.00840	-8.07956	-8.53023	-11.8435
4	-3.57954	-0.08643	-2.00741	-2.17806	-5.05706	-4.60898	-7.0822
5	-3.91799	-2.14420	-4.55773	-3.75041	-5.97706	-6.52672	-7.9240
6	-5.75603	-4.02794	-5.15357	-3.86249	-7.25342	-6.56759	-11.1381
7	-1.58362	-0.25674	-1.86843	-1.93820	-4.71057	-4.45433	-6.6285
8	-4.81098	-0.98436	-3.52183	-2.73441	-5.62067	-6.60828	-9.0969
9	-5.71115	-3.91799	-4.50619	-3.63687	-6.44439	-7.04365	-10.8066

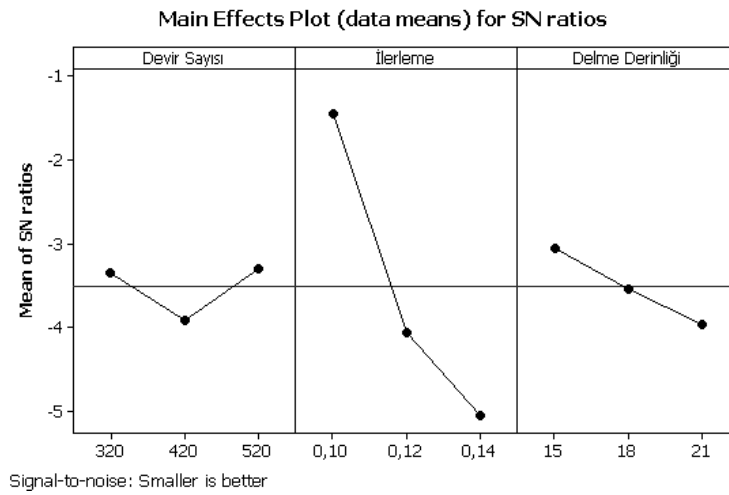
Şekil 9.8-9.14 kesme sınırları ile delmede kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini göstermektedir. Her faktör için hesaplanan S/N oranının en yüksek olduğu değer, en iyi deney sonucunu (yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu deney sonucunu) göstermektedir.



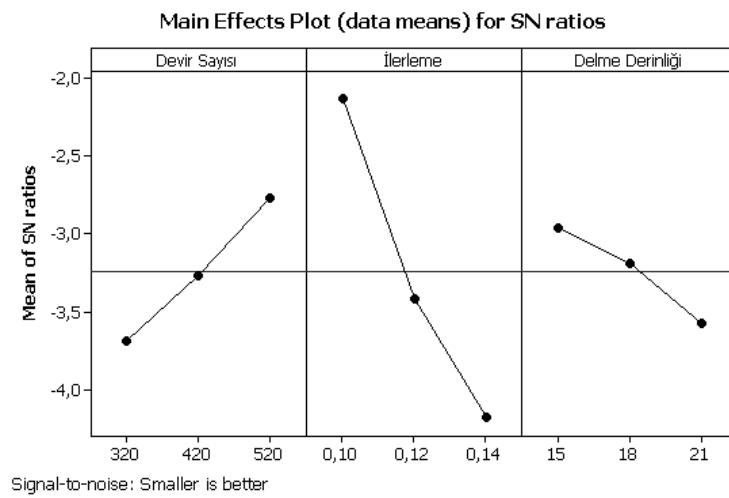
Şekil 9.8. SCF-I kesme sınırları ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.



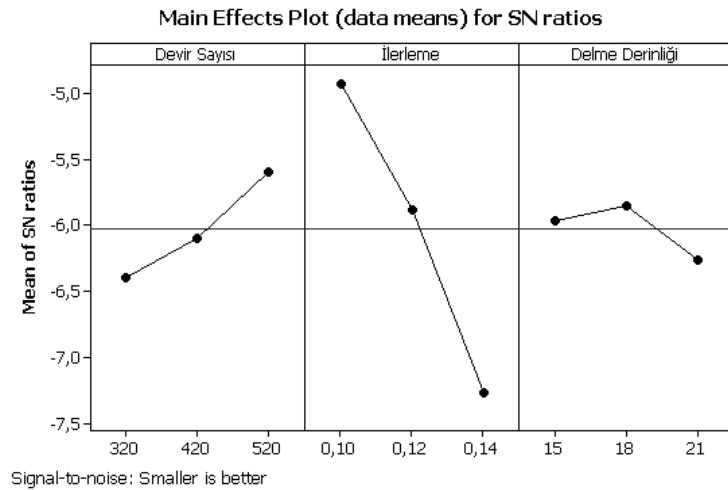
Şekil 9.9. SCF-II kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.



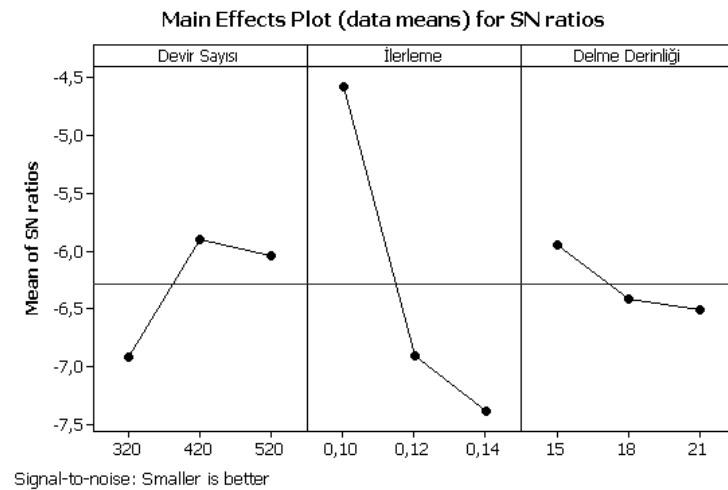
Şekil 9.10. CCF-I kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.



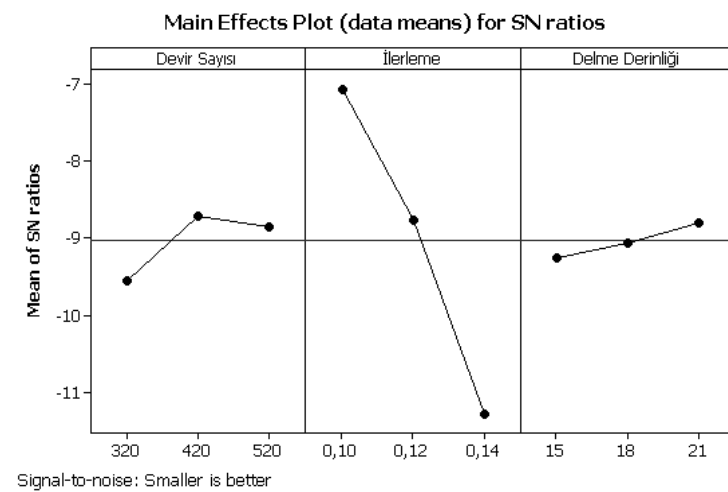
Şekil 9.11. CCF-II kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.



Şekil 9.12. CSCF-I kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.



Şekil 9.13. CVCF kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.



Şekil 9.14. CMCF kesme sıvısı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğünün S/N oranları.

9.3. Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizi ile hangi işlem üzerinde hangi faktörlerin ne derecede etkili oldukları istatistiksel olarak ortaya konur. Varyans analizinde amaç, incelenen faktörlerin, kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerlerini ne oranda etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe neden olduklarını ortaya koyabilmektir. Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir [Savaşkan ve ark., 2004]. Bütün kesme sınırları ile delik delmede ölçülen kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu Minitab 14 yazılımı yardımıyla hazırlanmıştır ve Tablo 9.3'ten Tablo 9.16'ya kadar bu sonuçlar gösterilmiştir. Tablolarda P değeri, o parametrenin deney sonuçlarına katkısının tüm parametreler içerisindeki oranını yüzde olarak göstermektedir.

%95 güvenilirlik seviyesinde, gruplar arası serbestlik derecesi 2 ve grup içi serbestlik derecesi 2 için $F_{0,05;2;2}=19$ değeri standart F tablolarından bulunmuştur. Hesaplanan F değerleri ve tablodan elde edilen F değeri karşılaştırılmıştır.

Tablo 9.3'te görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; SCF-I kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde kuvveti sırasıyla %6.4085, %89.4359 ve %2.9141 etkilemektedir. SCF-I kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.3), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.3. SCF-I ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	0.5931	0.2966	5.16	%6.4085
İlerleme	2	8.2772	4.1386	72.04	%89.4359
Delme Derinliği	2	0.2697	0.1348	2.35	%2.9141
Hata	2	0.1149	0.0574		%1.2415
Toplam	8	9.2549			%100

Tablo 9.4'te görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; SCF-II kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde kuvveti sırasıyla %0.8842, %90.8104 ve %8.0459 etkilemektedir. SCF-II kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme ve delme derinliği için hesaplanan F değerleri (Tablo 9.4), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin ve delme derinliğinin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.4. SCF-II ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	0.04177	0.02089	3.41	%0.8842
İlerleme	2	4.28990	2.14495	349.90	%90.8104
Delme Derinliği	2	0.38009	0.19005	31.00	%8.0459
Hata	2	0.01226	0.00613		%0.2595
Toplam	8	4.72402			%100

Tablo 9.5'de görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CCF-I kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde kuvveti sırasıyla %3.5984, %94.0987 ve %1.9204 etkilemektedir. CCF-I kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.5), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.5. CCF-I ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	0.3133	0.1566	9.39	%3.5984
İlerleme	2	8.1928	4.0964	245.67	%94.0987
Delme Derinliği	2	0.1672	0.0836	5.01	%1.9204
Hata	2	0.0333	0.0167		%0.3825
Toplam	8	8.7066			%100

Tablo 9.6'da görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CCF-II kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde kuvveti sırasıyla %0.5731, %96.9307 ve %1.2559 etkilemektedir. CCF-II kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.6), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

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

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	0.03352	0.01676	0.46	%0.5731
İlerleme	2	5.66905	2.83452	78.15	%96.9307
Delme Derinliği	2	0.07345	0.03672	1.01	%1.2559
Hata	2	0.07254	0.03627		%1.2403
Toplam	8	5.84856			%100

Tablo 9.7'de görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CSCF-I kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde kuvveti sırasıyla %1.2349, %97.6708 ve %0.0265 etkilemektedir. CSCF-I kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.7), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.7. CSCF-I ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	0.06378	0.03189	1.16	%1.2349
İlerleme	2	5.04460	2.52230	91.47	%97.6708
Delme Derinliği	2	0.00137	0.00069	0.02	%0.0265
Hata	2	0.05515	0.02758		%1.0678
Toplam	8	5.16490			%100

Tablo 9.8’de görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CVCF kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde kuvveti sırasıyla %1.1925, %88.8074 ve %6.1602 etkilemektedir. CVCF kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.8), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.8. CVCF ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	0.03432	0.01716	0.31	%1.1925
İlerleme	2	2.55586	1.27793	23.13	%88.8074
Delme Derinliği	2	0.17729	0.08865	1.60	%6.1602
Hata	2	0.11051	0.05525		%3.8399
Toplam	8	2.87798			%100

Tablo 9.9’da görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CMCF kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde kuvveti sırasıyla %42.0632, %55.4791 ve %1.2688 etkilemektedir. CMCF kesme sıvısı ile delik delmede devir sayısı ve ilerleme için hesaplanan F değerleri (Tablo 9.9), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin ve devir sayısının kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.9. CMCF ile ölçülen kuvvet değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	3.4247	1.7124	35.37	%42.0632
İlerleme	2	4.5170	2.2585	46.65	%55.4791
Delme Derinliği	2	0.1033	0.0516	1.07	%1.2688
Hata	2	0.0968	0.0484		%1.1889
Toplam	8	8.1418			%100

Tablo 9.10'da görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; SCF-I kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla %13.6578, %73.1904 ve %9.9994 etkilemektedir. SCF-I kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.10), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.10. SCF-I ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	2.4453	1.2226	4.33	%13.6578
İlerleme	2	13.1040	6.5520	23.22	%73.1904
Delme Derinliği	2	1.7903	0.8952	3.17	%9.9994
Hata	2	0.5644	0.2822		%3.1524
Toplam	8	17.9040			%100

Tablo 9.11'de görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; SCF-II kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla %10.6994, %85.2475 ve %1.9758 etkilemektedir. SCF-II kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.11), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

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

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	2.8365	1.4183	5.15	%10.6994
İlerleme	2	22.5998	11.2999	41.04	%85.2475
Delme Derinliği	2	0.5238	0.2619	0.95	%1.9758
Hata	2	0.5507	0.2754		%2.0773
Toplam	8	26.5108			%100

Tablo 9.12’de görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CCF-I kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla %3.0227, %89.6117 ve %5.2597 etkilemektedir. CCF-I kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.12), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.12. CCF-I ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	0.6894	0.3447	1.44	%3.0227
İlerleme	2	20.4382	10.2191	42.56	%89.6117
Delme Derinliği	2	1.1996	0.5998	2.50	%5.2597
Hata	2	0.4803	0.2401		%2.1059
Toplam	8	22.8075			%100

Tablo 9.13’te görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CCF-II kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla %15.1749, %77.6550 ve %6.8785 etkilemektedir. CCF-II kesme sıvısı ile delik delmede devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği için hesaplanan F değerleri (Tablo 9.13), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için devir sayısının, ilerlemenin ve delme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.13. CCF-II ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	1.2436	0.6218	52.09	%15.1749
İlerleme	2	6.3639	3.1820	266.59	%77.6550
Delme Derinliği	2	0.5637	0.2818	23.61	%6.8785
Hata	2	0.0239	0.0119		%0.2916
Toplam	8	8.1951			%100

Tablo 9.14'te görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CSCF-I kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla %10.1012, %84.3437 ve %2.6300 etkilemektedir. CSCF-I kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.14), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.14. CSCF-I ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	0.9821	0.4910	3.45	%10.1012
İlerleme	2	8.2004	4.1002	28.84	%84.3437
Delme Derinliği	2	0.2557	0.1278	0.90	%2.6300
Hata	2	0.2843	0.1422		%2.9241
Toplam	8	9.7226			%100

Tablo 9.15'de görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CVCF kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla %11.2610, %82.8923 ve %3.2772 etkilemektedir. CVCF kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.15), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

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

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	1.8363	0.9181	4.38	%11.2610
İlerleme	2	13.5170	6.7585	32.26	%82.8923
Delme Derinliği	2	0.5344	0.2672	1.28	%3.2772
Hata	2	0.4190	0.2095		%2.5695
Toplam	8	16.3067			%100

Tablo 9.16’da görüldüğü gibi devir sayısı, ilerleme ve delme derinliği; CMCF kesme sıvısı ile AISI 304 malzemesine delik delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla %4.1759, %92.9085 ve %1.0699 etkilemektedir. CMCF kesme sıvısı ile delik delmede ilerleme için hesaplanan F değeri (Tablo 9.16), standart tablodan elde edilen F değerinden büyük olduğu için ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

Tablo 9.16. CMCF ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Devir Sayısı	2	1.1971	0.5985	2.26	%4.1759
İlerleme	2	26.6340	13.3170	50.34	%92.9085
Delme Derinliği	2	0.3067	0.1534	0.58	%1.0699
Hata	2	0.5291	0.2645		%1.8457
Toplam	8	28.6669			%100

9. 4. 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.

SCF-I kesme sıvısı ile delik delmede Fz kuvveti için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 18 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.1). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -62.7630, beklenen kuvvet 1354.45 N olarak bulunmuştur.

SCF-II kesme sıvısı ile delik delmede Fz kuvveti için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 15 mm delme derinliği olmaktadır

(Bkz. Şekil 9.2). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -62.1058, beklenen kuvvet 1266.67 N olarak bulunmuştur.

CCF-I kesme sıvısı ile delik delmede Fz kuvveti için optimum nokta 420 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.3). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -62.1620, beklenen kuvvet 1275.04 N olarak bulunmuştur.

CCF-II kesme sıvısı ile delik delmede Fz kuvveti için optimum nokta 320 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 15 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.4). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -61.9617, beklenen kuvvet 1254.60 N olarak bulunmuştur.

CSCF-I kesme sıvısı ile delik delmede Fz kuvveti için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 18 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.5). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -62.8453, beklenen kuvvet 1384.45 N olarak bulunmuştur.

CVCF kesme sıvısı ile delik delmede Fz kuvveti için optimum nokta 420 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 18 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.6). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -63.3726, beklenen kuvvet 1471.32 N olarak bulunmuştur.

CMCF kesme sıvısı ile delik delmede Fz kuvveti için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 15 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.7). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -61.3752, beklenen kuvvet 1157.92 N olarak bulunmuştur.

Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili olarak sonuçlar:

SCF-I kesme sıvısı ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.8). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -1.84171, beklenen yüzey pürüzlülüğü 1.232 μm olarak bulunmuştur.

SCF-II kesme sıvısı ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 15 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.9). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı 0.514353, beklenen yüzey pürüzlülüğü 0.903 μm olarak bulunmuştur.

CCF-I kesme sıvısı ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 15 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.10). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -0.788749, beklenen yüzey pürüzlülüğü 1.070 μm olarak bulunmuştur.

CCF-II kesme sıvısı ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 15 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.11). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -1.38499, beklenen yüzey pürüzlülüğü 1.147 μm olarak bulunmuştur.

CSCF-I kesme sıvısı ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 520 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 18 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.12). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -4.32726, beklenen yüzey pürüzlülüğü 1.609 μm olarak bulunmuştur.

CVCF kesme sıvısı ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 420 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 15 mm delme derinliği olmaktadır (Bkz. Şekil 9.13). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -3.85018, beklenen yüzey pürüzlülüğü 1.497 μm olarak bulunmuştur.

CMCF kesme sıvısı ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 420 dev/dak devir sayısı, 0.10 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği olmaktadır

(Bkz. Şekil 9.14). Bu optimum noktalarda oluşması beklenen S/N oranı -6.51900, beklenen yüzey pürüzlülüğü 2.112 μm olarak bulunmuştur.

Yukarıda elde edilen optimum kuvvet sonuçları Tablo 9.17’de, optimum yüzey pürüzlülüğü sonuçları Tablo 9.18’de gösterilmektedir.

Tablo 9.17. Kesme sıvıları ile delik delmede kuvvet için optimum seviyeler.

Kesme Sıvısı	Devir Sayısı	İlerleme	Delme Derinliği	Optimum S/N Oranı	Optimum Kuvvet
SCF-I	520	0.10	18	-62.7630	1354.45
SCF-II	520	0.10	15	-62.1058	1266.67
CCF-I	420	0.10	21	-62.1620	1275.04
CCF-II	320	0.10	15	-61.9617	1254.60
CSCF-I	520	0.10	18	-62.8453	1384.45
CVCF	420	0.10	18	-63.3726	1471.32
CMCF	520	0.10	15	-61.3752	1157.92

Tablo 9.18. Kesme sıvıları ile delik delmede yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeler.

Kesme Sıvısı	Devir Sayısı	İlerleme	Delme Derinliği	Optimum S/N Oranı	Optimum Yüzey Pürüzlülüğü
SCF-I	520	0.10	21	-1.841710	1.232
SCF-II	520	0.10	15	0.514353	0.903
CCF-I	520	0.10	15	-0.788749	1.070
CCF-II	520	0.10	15	-1.384990	1.147
CSCF-I	520	0.10	18	-4.327260	1.609
CVCF	420	0.10	15	-3.850180	1.497
CMCF	420	0.10	21	-6.519000	2.112

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10. 1. Sonuçlar

Yapılan deneylerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Taguchi deneylerinde elde edilen kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına regresyon analizi yapılmıştır. Kesme sıvıları ile AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye delik delinmesi sonucunda ölçülen kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü verileri geliştirilen matematiksel modellerle %80'nin üzerinde açıklanmıştır. En iyi sonuç, kuvveti %98.4, yüzey pürüzlülüğünü %98.1 açıklayabilen CCF-II bitkisel esaslı kesme sıvısı ile elde edilmiştir.
- S/N oranları kullanılarak her bir kesme sıvısı için optimum noktalar belirlenmiştir. Kesme sıvıları için optimum noktalar Tablo 10.1'de gösterilmiştir.

Tablo 10.1. Kesme sıvıları ile delik delmede kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü için optimum seviyeler.

Kuvvet		Yüzey Pürüzlülüğü	
Kesme Sıvıları	Optimum Nokta	Kesme Sıvıları	Optimum Nokta
SCF-I	A3 B1 C2	SCF-I	A3 B1 C3
SCF-II	A3 B1 C1	SCF-II	A3 B1 C1
CCF-I	A2 B1 C3	CCF-I	A3 B1 C1
CCF-II	A1 B1 C1	CCF-II	A3 B1 C1
CSCF-I	A3 B1 C2	CSCF-I	A3 B1 C2
CVCF	A2 B1 C2	CVCF	A2 B1 C1
CMCF	A3 B1 C1	CMCF	A2 B1 C3

- S/N oranları kullanılarak her bir kesme sıvısı için belirlenen optimum noktadaki kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü hesaplanabilir. Kesme sıvıları için optimum noktalarda hesaplanan kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 10.2'de gösterilmiştir.

Tablo 10.2. Kesme sıvıları ile delik delmede optimum noktalarda hesaplanan kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Kesme Sıvıları	Optimum Noktada Hesaplanan Kuvvet Değeri (N)	Optimum Noktada Kuvvet için Hesaplanan S/N Oranı
SCF-I	1354.45	-62.7630
SCF-II	1266.67	-62.1058
CCF-I	1275.04	-62.1620
CCF-II	1254.60	-61.9617
CSCF-I	1384.45	-62.8453
CVCF	1471.32	-63.3726
CMCF	1157.92	-61.3752
Kesme Sıvıları	Optimum Noktada Hesaplanan Yüzey Pürüzlülüğü Değeri (μm)	Optimum Noktada Yüzey Pürüzlülüğü için Hesaplanan S/N Oranı
SCF-I	1.232	-1.841710
SCF-II	0.903	0.514353
CCF-I	1.070	-0.788749
CCF-II	1.147	-1.384990
CSCF-I	1.609	-4.327260
CVCF	1.497	-3.850180
CMCF	2.112	-6.519000

- F testi sonucunda SCF-II ve CMCF kesme sıvısı hariç bütün kesme sıvılarında ilerlemenin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur. SCF-II için ilerlemenin ve delme derinliğinin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur. CMCF kesme sıvısında ise devir sayısının ve ilerlemenin kuvvet üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.
- F testi sonucunda CCF-II bitkisel esaslı kesme sıvısı hariç bütün kesme sıvılarında ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur. CCF-II bitkisel esaslı kesme sıvısında

devir sayısının, ilerlemenin ve delme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel ve fiziksel öneme sahip olduğu bulunmuştur.

- Bu çalışmada kesme sıvıları ile AISI 304 malzemeye delik delmede kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli parametreler ANOVA kullanılarak bulunmuştur. Genel olarak ilerlemenin hem kuvvet hem de yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu sonucu çıkarılmıştır.
- Kuvvetin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CMCF, CCF-II, CCF-I, SCF-II, CSCF-I, SCF-I ve CVCF. Bu sonuçlara göre bütün kesme sıvıları CVCF referans sıvıdan daha iyi performans göstermiştir. Ancak bütün kesme sıvıları CMCF referans sıvıdan daha kötü performans göstermiştir. Performans deneyleri sonucunda en iyi performans, CVCF kesme sıvısına oranla kuvveti %8.14, yüzey pürüzlülüğünü %20.60 azaltan CCF-II kesme sıvısı ile elde edilmiştir. Geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvıları ile yüzey pürüzlülüğündeki azalma kuvvete nazaran daha fazladır. Bitkisel esaslı kesme sıvıları ile ilgili yapılan çalışmalarda da kuvvetteki azalma düşük olmuştur. Belluco ve De Chiffre'nin yapmış olduğu çalışmada iş parçası malzemesi olarak AISI 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır ve en iyi performans itme kuvvetini %7 azaltan bitkisel esaslı kesme sıvısı ile elde edilmiştir [Belluco and De Chiffre, 2004]. Bir diğer çalışmada AISI 1060 çeliğine bitkisel esaslı kesme sıvısı ile MQL sistemi kullanılarak tornalama işlemi yapılmıştır. Bu çalışmada farklı kesme hızlarında ve ilerlemelerde kesme kuvvetleri kuru işlemeyle karşılaştırılmıştır. Bitkisel esaslı kesme sıvıları kesme kuvvetini kuru kesmeye nazaran %5 ile %15 arasında değişen oranlarda azaltmıştır [Khan and Dhar, 2006].
- Performans deneylerinde kanola esaslı kesme sıvılarının (CCF-II ve CCF-I) ayçiçeği esaslı kesme sıvılarından (SCF-II, SCF-I ve CSCF-I) daha düşük kuvvet değeri verdiği görülmüştür.
- Performans deneylerinde emülsifiyer sayısına göre karşılaştırma yapılırsa, kuvvetler çift emülsifiyerli kesme sıvılarında (SCF-II, CCF-II) tek emülsifiyerli kesme sıvılarına (SCF-I, CCF-I) göre daha düşük çıkmıştır.

SCF-II, kuvveti SCF-I'ye göre %3.46; CCF-II, kuvveti CCF-I'ye göre %3.94 azaltmıştır.

- Performans deneylerinde rafine ve ham kesme sıvıları karşılaştırılırken SCF-I ve CSCF-I sıvısı dikkate alınmıştır. Ham bitkisel esaslı kesme sıvısı rafine bitkisel esaslı kesme sıvısından daha düşük kuvvet değeri vermiştir. CSCF-I, kuvveti SCF-I'ye göre %3.2 azaltmıştır.
- Devir sayısı ile kuvvet arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Devir sayısı arttığı zaman kuvvet azalır. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [Davim et al, 2006; Kumar and Ramamoorthy, 2007; Mendes et al, 2006; Özlü, 2007; Shetty et al, 2009]. Devir sayısı ile kesme hızı doğru orantılıdır. Kesme hızının düşük olması talaş kıvrılma yarıçapını düşürmekte ve talaş kalınlığını arttırmaktadır. Talaş kalınlığının artması kayma açısını düşürerek malzemenin daha zor deforme olmasını sağlar. Daha zor deforme olan malzemede kesme bölgesinde gerilim artar ve bu olay titreşimin, sıcaklığın ve kuvvetlerin artmasına yol açar.
- 0.12 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği şartları altında (devir sayısının kuvvet üzerindeki etkisini belirleme deneylerinde) en düşük kuvvet değerleri SCF-I sıvısı ile, en yüksek kuvvet değerleri CCF-II sıvısı ile elde edilmiştir.
- İlerleme ile kuvvet arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. İlerleme arttıkça, kuvvet artar. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [Kumar and Ramamoorthy, 2007; Lin et al, 2001; Mendes et al, 2006; Rivero et al, 2006; Soylu, 2007; Tsao, 2007].
- 620 dev/dak devir sayısı ve 21 mm delme derinliği şartları altında (ilerlemenin kuvvet üzerindeki etkisini belirleme deneylerinde) en düşük kuvvet değerleri CVCF kesme sıvısı ile, en yüksek kuvvet değerleri CCF-II sıvısı ile elde edilmiştir.
- Düşük ilerleme ve yüksek devir sayısı kombinasyonunun kuvveti azaltmada ve kontrol etmede en etkili metot olduğu bulunmuştur.
- İlerlemenin Fz kuvvetine etkisinin devir sayısından daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Yani Fz kuvvetini etkileyen en önemli parametrenin ilerleme olduğu bulunmuştur.

- Yüzey pürüzlülüğünün daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: CCF-II, CCF-I, SCF-II, SCF-I, CSCF-I, CVCF ve CMCF. Bu sonuçlara göre bütün geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvıları referans sıvılardan daha iyi performans göstermiştir. CVCF kesme sıvısı referans sıvı olarak düşünülürse, geliştirilen CCF-II kesme sıvısı CVCF kesme sıvısına oranla yüzey pürüzlülüğünü %20.60 azaltmıştır. SCF-II kesme sıvısı yüzey pürüzlülüğünü %5.88, SCF-I kesme sıvısı %3.84, CCF-I kesme sıvısı %17.92, CSCF-I kesme sıvısı %1.68 azaltmıştır. CMCF kesme sıvısı referans sıvı olarak düşünülürse, geliştirilen CCF-II kesme sıvısı CMCF kesme sıvısına oranla yüzey pürüzlülüğünü %20.93 azaltmıştır. SCF-II kesme sıvısı yüzey pürüzlülüğünü %6.28, SCF-I kesme sıvısı %4.25, CCF-I kesme sıvısı %18.27, CSCF-I kesme sıvısı %2,09 azaltmıştır.
- Performans deneylerinde kanola esaslı kesme sıvılarının (CCF-II ve CCF-I) ayçiçeği esaslı kesme sıvılarından (SCF-II, SCF-I ve CSCF-I) daha düşük pürüzlülük değeri verdiği görülmüştür.
- Performans deneylerinde emülsifiyer sayısına göre karşılaştırma yapılırsa, yüzey pürüzlülüğü çift emülsifiyerli kesme sıvılarında (SCF-II, CCF-II) tek emülsifiyerli kesme sıvılarına (SCF-I, CCF-I) göre daha düşük çıkmıştır. SCF-II, yüzey pürüzlülüğünü SCF-I'ye göre %2.12; CCF-II, yüzey pürüzlülüğünü CCF-I'ye göre %3.26 azaltmıştır.
- Performans deneylerinde rafine ve ham kesme sıvıları karşılaştırılırken SCF-I ve CSCF-I sıvısı dikkate alınmıştır. Ham bitkisel esaslı kesme sıvısı rafine bitkisel esaslı kesme sıvısından daha yüksek pürüzlülük değeri vermiştir. SCF-I, yüzey pürüzlülüğünü CSCF-I'ye göre %2.2 azaltmıştır.
- Devir sayısı ile yüzey pürüzlülüğü arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [Altınkaya, 2006; Basavarajappa et al, 2008; Çaydaş ve Haşçalık, 2005; Davim et al, 2006; Demirayak, 2006; Gökkaya ve ark., 2004; Hüseyinoğlu, 2008; Mendes et al, 2006; Ramulu et al, 2002; Şan, 2007]. Devir sayısı arttıkça kesme hızı artar. Kesme hızının artması sıcaklığı artırır ve bunun sonucunda titreşimi artıran kuvvetlerin genliği azalır. Böylece daha iyi yüzey kalitesi elde edilir. Bu durum, kesme

hızındaki artışa bağlı olarak artan sıcaklığa, iş parçası malzemesinin daha kolay deforme edilmesine ve akma bölgesi oluşmasına da bağlanabilir.

- 0.12 mm/dev ilerleme ve 21 mm delme derinliği şartları altında (devir sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirleme deneylerinde) en düşük yüzey pürüzlülük değerleri CVCF kesme sıvısı ile, en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri mineral esaslı kesme sıvısı ile elde edilmiştir.
- İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. İlerleme arttıkça, yüzey pürüzlülüğü artar. Elde edilen bu sonuç, literatürle uyumludur [Altinkaya, 2006; Basavarajappa, 2008; Çaydaş ve Hasçalık, 2005; Demirayak, 2006; Gökkaya ve ark., 2004; Güllü ve Özdemir, 2003; Hüseyinoğlu, 2008; Kumar and Ramamoorthy, 2007; Lin et al, 2001; Mendes et al, 2006; Ramulu et al, 2002; Sakarya, 2005; Şan, 2007; Xavior and Adithan, 2009]. İlerleme arttıkça kuvvetler artar. Böylece titreşim artarak daha kötü bir yüzey kalitesi elde edilir.
- 620 dev/dak devir sayısı ve 21 mm delme derinliği şartları altında (ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirleme deneylerinde) en düşük yüzey pürüzlülük değerleri SCF-II sıvısı ile, en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri SCF-I sıvısı ile elde edilmiştir.
- Daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksek devir sayılarında ve daha düşük ilerlemelerde elde edilmiştir.
- Literatürle uyumlu olarak, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin devir sayısından daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Yani yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin ilerleme olduğu bulunmuştur.

10. 2. Öneriler

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Talaşlı imalatta bitkisel esaslı kesme sıvıları kullanılarak kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü azaltılabilir.
- Fz kuvvetini azaltmak için ilerleme düşük, devir sayısı yüksek seçilmelidir.

- Proses planlama uygulandığı zaman, optimum Fz kuvveti değerini sağlamak için devir sayısını maksimize eden fakat ilerlemeyi minimize eden önlemler alınmalıdır.
- Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için, devir sayısı arttırılmalı, ilerleme değerleri düşürülmelidir.
- Proses planlama uygulandığı zaman, optimum yüzey pürüzlülüğü değerini sağlamak için devir sayısını maksimize eden fakat ilerlemeyi minimize eden önlemler alınmalıdır.

Bu çalışmada araştırılmayan ve araştırılması önerilen konular şunlardır:

- Bu çalışmada, TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının delik delmedeki performansı araştırılmıştır. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının tornalamada, frezelemede, kılavuz çekmede ve raybalamada da performansı incelenebilir.
- Bu çalışmada, işlenebilirlik kriterlerinden kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Bu kriterler dışında delik delme esnasında sıcaklık, titreşim, tork ve güç tüketimi gibi veriler de ölçülebilir.
- Bitkisel esaslı kesme sıvılarının konsantrasyon oranları değiştirilerek talaşlı imalat üzerindeki etkileri ölçülebilir. Böylece bitkisel esaslı kesme sıvılarının optimum çalışma konsantrasyonu belirlenebilir.
- Bitkisel esaslı kesme sıvıları ile minimum miktarda yağlama (MQL) sistemi kullanılabilir.
- Matkap malzemesi olarak seramik ve karbür kesici takımlar kullanılabilir.
- Matkap çapı değiştirilerek çapın delme performansına etkisi belirlenebilir.
- İçten ve dıştan soğutmalı matkaplar kullanılarak bunların delme performansına etkisi belirlenebilir.
- Kesme sıvısı basıncı ve akış debisi parametre olarak düşünülebilir.
- Kör delik yerine boydan boya delik delinerek delik sonundaki çapak yüksekliği ölçülebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Akkurt M. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları. İstanbul: Birsen Yayınevi; 2000.
- [2] Altınkaya E. AISI 316 östenitik çeliğin işlenmesinde kesme değerlerinin ve takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [3] Alves SM, Gomes de Oliveira JF. Vegetable based cutting fluid—an environmental alternative to grinding process. 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering 2008.
- [4] Anlağan Ö. Metal Cutting Lecture Notes. 2005.
- [5] Axinte DA, Belluco W, De Chiffre L. Reliable tool life measurements in turning—an application to cutting fluid efficiency evaluation. International Journal of Machine Tools&Manufacture 2001; 41:1003-1014.
- [6] Ávila RF, Abrão AM. The effect of cutting fluids on the machining of hardened AISI 4340 steel. Journal of Materials Processing Technology 2001; 119:21-26.
- [7] Basavarajappa S, Chandramohan G, Davim JP. Some studies on drilling of hybrid metal matrix composites based on taguchi techniques. Journal of Materials Processing Technology 2008; 196:332-338.
- [8] Belluco W, De Chiffre L. Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel. Journal of Materials Processing Technology 2004; 148:171-176.
- [9] Belluco W, De Chiffre L. Surface integrity and part accuracy in reaming and tapping stainless steel with new vegetable based cutting oils. Tribology International 2002; 35:865–870.
- [10] Belluco W, De Chiffre L. Testing of vegetable-based cutting fluids by hole making operations. Lubrication Engineering 2001; 57 (1):12-16.
- [11] Braga DU, Diniz AE, Miranda GWA, Coppini NL. Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloys. Journal of Materials Processing Technology 2002; 122:127-138.
- [12] Cutting Fluid Management for Small Machining Operations, A Practical Pollution Prevention Guide. 3rd ed. Iowa: Iowa Waste Reduction Center, University of Northern Iowa; 2003.

- [13] Çakır MC. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri. Bursa: VİPAŞ A.Ş.; 2000.
- [14] Çakır O, Yardımeden A, Özben T, Kılıçkap E. Selection of cutting fluids in machining processes. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 2007; 25 (2).
- [15] Çaydaş U, Haşçalık A. CNC tornalamada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Teknoloji* 2005; 8 (2):167-172.
- [16] Davim JP, Sreejith PS, Gomes R, Peixoto C. Experimental studies on drilling of aluminium (AA1050) under dry, minimum quantity of lubricant, and flood-lubricated conditions. *Proc. IMechE Part B: J. Engineering Manufacture* 2006; 20:1605-1611.
- [17] De Chiffre L, Belluco W. Investigations of cutting fluid performance using different machining operations. *Lubrication Engineering* 2002; 58 (10):22-29.
- [18] De Chiffre L, Belluco W, Zeng Z. An investigation of reaming test parameters used for cutting fluid evaluations. *Lubrication Engineering* 2001; 57 (7):24-28.
- [19] Demirayak İ. Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2006.
- [20] Dursun M. Titanyum ve inconel 718 malzemelerinin frezelenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2007.
- [21] Gadelmawla ES, Koura MM, Maksoud TMA, Elewa IM, Soliman, HH. Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology* 2002; 123:133-145.
- [22] Gökkaya H, Sur G, Dilipak H. PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Teknoloji* 2004; 7 (3):473-478.
- [23] Greeley M, Rajagopalan N. Impact of environmental contaminants on machining properties of metalworking fluids. *Tribology International* 2004; 37:327-332.
- [24] Gressel MG. Comparison of mist generation of flood and mist application of metalworking fluids during metal cutting. Doctorate of Philosophy (Ph.D), University of Cincinnati, 2001.
- [25] Güllü A. Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1995.

- [26] Güllü A, Özdemir A. Prizmatik parçaların frezelenmesinde kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkilerin deneysel olarak bulunması. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 2003; 16 (1):127-134.
- [27] Gündoğdu HE. 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] Heinemann R, Hinduja S, Barrow G, Petuelli G. Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling. International Journal of Machine Tools&Manufacture 2006; 46:1-6.
- [29] Hong SY, Ding Y. Cooling approaches and cutting temperatures in cryogenic machining of Ti-6Al-4V. International Journal of Machine Tools & Manufacture 2001; 41:1417-1437.
- [30] Hong SY, Markus I, Jeong W. New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V. International Journal of Machine Tools & Manufacture 2001; 41:2245-2260.
- [31] Hsieh HF. Investigation of the thrust and torque generated during drilling processes. Master of Science Thesis, University of Maryland, USA, 1992.
- [32] Hüseyinoğlu M. 7075 alüminyum alaşımının freze ile işlenmesinde minimum soğutma sıvısı kullanmanın performans karakteristiklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008.
- [33] Işık Y. Takım ömrü süresince kesici takım davranışlarının incelenmesi ve kırılma anının önceden tahmini için bir erken uyarı modelinin geliştirilmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2001.
- [34] Kalpakjian S, Schmid SR. Manufacturing Engineering and Technology. 4th ed. Prentice Hall International; 2001.
- [35] Kandilli İ. Kesme işlemlerinde kesici takım aşınmasının gerçek zamanda gözlemleyen sistem geliştirilmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2003.
- [36] Karaca MM. Derin delik delmede kesme parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [37] Kavuncu İ. Metal İşlemede Kesme Yağları. T.M.M.O.B. Makine Mühendisleri Odası Yayın No:96; 1975.

- [38] Kaynak Y. Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [39] Kelly JF, Cotterell MG. Minimal lubrication machining of aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology* 2002; 120:327-334.
- [40] Khan MMA, Dhar NR. 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* 2006; 7 (11):1790-1799.
- [41] Kopač J, Bahor M. Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product. *Journal of Materials Processing Technology* 1999; 92-93: 381-387.
- [42] Korucu S. Delik işlemlerinde kesiciler üzerine etki eden gerilmelerin matematiksel olarak modellenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [43] Kumar RV, Ramamoorthy B. Performance of tools during hard turning under minimum fluid application. *Journal of Materials Processing Technology* 2007; 185:210-216.
- [44] Li K. Predictive modeling of near dry machining: mechanical performance and environmental impact. Doctor of Philosophy, Georgia Institute of Technology, 2006.
- [45] Li R, Hegde P, Shih AJ. High-throughput drilling of titanium alloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 2007; 47:63-74.
- [46] Lin WS, Lee BY, Wu CL. Modeling the surface roughness and cutting force for turning. *Journal of Materials Processing Technology* 2001; 108:286-293.
- [47] López de Lacalle LN, Angulo C, Lamikiz A, Sánchez JA. Experimental and numerical investigation of the effect of spray cutting fluids in high speed milling. *Journal of Materials Processing Technology* 2006; 172:11-15.
- [48] Lou MS, Chen JC, Li CM. Surface roughness prediction technique for CNC end-milling. *Journal of Industrial Technology* 1999; 15 (1).
- [49] Makina Mühendisliği El Kitabı, Üretim ve Tasarım Cilt 2. 2. Baskı. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No:170.
- [50] Malyer E. Kesici takımlarda aşınma. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2001.

- [51] Mang T, Dresel W. Lubricants and Lubrication. 2nd ed. WILEY-VCH; 2007.
- [52] Mendes OC, Ávila RF, Abrão AM, Reis P, Davim JP. The performance of cutting fluids when machining aluminium alloys. *Industrial Lubrication and Tribology* 2006; 58 (5):260-268.
- [53] Metal Meslek Bilgisi. İstanbul: M.E.B; 2000.
- [54] Neşeli S. Tornalamada takım geometrisi ve turlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006.
- [55] Nordic Council of Ministers, IVL Swedish Environmental Research Institute; VTT. Environmentally Acceptable Metalworking Processes. 2002.
- [56] Nouari M, List G, Girof F, Coupard D. Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys. *Wear* 2003; 255:1359-1368.
- [57] Obikawa T, Kamata Y, Shinozuka J. High-speed grooving with applying MQL. *International Journal of Machine Tools&Manufacture* 2006; 46:1854-1861.
- [58] Ojolo SJ, Amuda MOH, Ogunmola OY, Ononiwu CU. Experimental determination of the effect of some straight biological oils on cutting force during cylindrical turning. *Revista Matéria* 2008; 13 (4):650-663.
- [59] Ovalı S. Metal kesme işleminde soğutucu akışkanın ısı analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2008.
- [60] Özlü B. Mikroalaşımli çeliklerin mikro yapısını değiştirerek işlenebilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2007.
- [61] Pirtini M, Lazoglu I. Forces and hole quality in drilling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 2005; 45:1271-1281.
- [62] Rakić R, Rakić Z. Tribological aspects of the choice of metalworking fluid in cutting processes. *Journal of Materials Processing Technology* 2002; 124:25-31.
- [63] Ramulu M, Rao PN, Kao H. Drilling of (Al₂O₃)p/6061 metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology* 2002; 124:244-254.
- [64] Rivero A, Aramendi G, Herranz S, López de Lacalle LN. An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on the dry drilling performance of aluminium alloys. *Int J Adv Manuf Technol* 2006; 28:1-11.

- [65] Sakarya N. Cep işlemede takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2005.
- [66] Sales WF, Diniz AE, Machado ÁR. Application of cutting fluids in machining processes. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences* 2001; 23 (2).
- [67] Sandvik Metalcutting Technical Guide E-Drilling.
- [68] Sanjay C, Jyothi C. A Study of surface roughness in drilling using mathematical analysis and neural Networks. *Int J Adv Manuf Technol* 2006; 29:846-852.
- [69] Savaşkan M, Taptık Y, Ürgen M. Deneysel tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu. *itüdergisi/d mühendislik* 2004; 3 (6):117-128.
- [70] Shaw MC. *Metal Cutting Principles*. 2nd ed. New York: Oxford University Press; 2005.
- [71] Shetty R, Pai R, Rao SS. Experimental studies on turning of discontinuously reinforced aluminium composites under dry, oil water emulsion and steam lubricated conditions using taguchi's technique. *G.U. Journal of Science* 2009; 22 (1):21-32.
- [72] Soylu A. Bir delme dinamometresi tasarım ve imalatı ile HSS-1040 malzeme çiftinde ilerleme kuvveti ve döndürme momentinin analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007.
- [73] Sönmez M. Kesici takım aşınma durumunu gözlemlenme. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2002.
- [74] Stephenson DA, Agapiou JS. *Metal Cutting Theory and Practice*. 2nd ed. Taylor&Francis; 2006.
- [75] Şahin N. *Tesviyecilik Meslek Teknolojisi I*. Ankara: Bayt Ltd. Şti; 1998.
- [76] Şahin Y. *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım; 2001.
- [77] Şan S. Mikroalaşımli çeliklerin işlenebilirliğinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [78] Şanyılmaz M. Deneysel tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde taguchi yöntemi ile bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [79] Trent EM, Wright PK. *Metal Cutting*. 4th ed. Butterworth Heinemann; 2000.
- [80] Tsao CC. An experiment study of hard coating and cutting fluid effect in milling aluminum alloy. *Int J Adv Manuf Technol* 2007; 32:885-891.

- [81] Upton DP. Optimization of cutting fluid performance. *International Journal of Production Research*, 2000; 38 (5):1219-1223.
- [82] Vieira JM, Machado AR, Ezugwu EO. Performance of cutting fluids during face milling of steels. *Journal of Materials Processing Technology* 2001; 116:244-251.
- [83] www.gemsan.com.
- [84] www.kistler.com.
- [85] www.makinatakim.com.tr.
- [86] www.mitutoyo.co.jp/eng/.
- [87] www.supraalloys.com.
- [88] www.theworks-works.com, Water-Soluble Metalworking Fluids, General Information Booklet.
- [89] Xavior MA, Adithan M. Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology* 2009; 209:900-909.
- [90] Zeilmann RP, Weingaertner WL. Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant. *Journal of Materials Processing Technology* 2006; 179:124-127.

ÖZGEÇMİŞ

Emel KURAM 14.08.1984 yılında Gebze’de doğmuştur. İlkokulu Zeki Gezer İlkokulu’nda ortaokulu ise 1998 yılında Servet Çambol İlköğretim Okulu’nda tamamlamıştır. STFA Anadolu Teknik Lisesi Makine bölümünden 2002 yılında mezun olmuştur. 2002 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü’nde lisans eğitimine başlamıştır ve 2006 yılında teknik öğretmen unvanı ile mezun olmuştur. Aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Tasarım ve İmalat Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. İngilizce bilmektedir.

YAYIN LİSTESİ

ULUSAL BİLDİRİ

1. B. Özçelik, E. Demirbaş, E. Kuram, E. Şık, İ.N. Tansel, “*Geliştirilen Ayçiçeği ve Kanola Esaslı Bitkisel Soğutma Yağlarının AISI 304 Malzemenin Delinmesindeki Performansları*”, I. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu UTİS 2009, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2-3 Ekim 2009, kabul edildi.

2. 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, Konya, 17-18 Ekim 2009, kabul edildi.