

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AISI 304 PASLANMAZ ÇELİKLERİN FREZELENMESİNDE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ ve
TAHMİN MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

Murat OK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

KONYA, 2009

Bu tez 31 / 08 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Doç. Dr. Hacı SAĞLAM

Yrd. Doç. Dr. A Serhat

ERSOYOĞLU

(Danışman)

(Üye)

(Üye)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin Frezelenmesinde İşlenebilirliğin İncelenmesi ve
Tahmin Modellerinin Oluşturulması

Murat OK

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

2009, 197 Sayfa

Jüri: Doç. Dr. Hacı SAĞLAM

Yrd. Doç. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU

İmalat sektöründe kullanılan malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin, iyileştirilmesi sürekli araştırma konusu olmuştur. Korozyon direnci, süneklilik ve çekme mukavemetinin yüksek olması paslanmaz çeliklerin sahip oldukları temel özelliklerdendir ve bu malzemelerin içerdiği krom, nikel ve molibden gibi alaşım elementleri, işlenebilirliklerini olumsuz olarak etkilemektedir. Paslanmaz çelikler işlenmesi zor malzemeler sınıfına girmektedir. Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde farklı takımlar kullanılarak işlenebilirlikleri ve takım

performansları incelenmiştir. Kesme parametrelerinin etkisinde takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri deneysel olarak belirlenmiş ve paslanmaz çeliklerin işlenmesinde optimum kesme koşullarının belirlenmesi, adaptif kontrol ve takım durumunun izlenmesi çalışmalarına temel teşkil etmek üzere tahmin modelleri tayin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 304, İşlenebilirlik, Frezeleme, Yapay Sinir Ağları, Cevap Yüzey Metodu

ABSTRACT

M.Sc Thesis

The Determination of Predictive Models and The Investigation of Machinability in
Milling of AISI 304 Stainless Steel

Murat OK

SELCUK UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machinal Education

Advisor: Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

2009, 197 Page

Jury: Doç. Dr. Hacı SAĞLAM

Yrd. Doç. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU

Improving of machinability properties of the materials which are used in manufacturing industry has been research issue. High corrosion resistance, ductility and tension strength are the essential properties of stainless steels. Stainless steels contain alloy elements such as crom, nickel and molibden which are affect their machinability negatively. For this reason the machining of stainless steels are very difficult. In this study we investigate the machinability of AISI 304 stainless steel using different cutting tools and performance of the used tools. Tool life, surface roughness and cutting forces have been determined experimentally and performed

prediction models to constitute the base of determination of optimum cutting conditions, adaptive controls and tool condition monitoring studies.

Key words : AISI 304, Machinability, Milling, Artificial Neural Networks, Response Surface Methodology

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında, beni destek ve tecrübeleriyle yönlendirerek araőtırmamın gerektirdiği amaçlara en iyi Şekilde ulaőmasını sağlayan danıőmanım Sayın Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR'a, tecrübeleriyle bana teknik destek ve araç gereç sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU'na, bu çalıőmamı bitirmemde desteğini hiç esirgemeyen değerli Müdürüm Doç. Dr. Ercan ÖZGAN'a, deney aőamasındaki yardımlarından dolayı Azem HAYAL'e ve maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim çok değerli aileme, katkılarından dolayı teőekkürü bir borç bilir saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xv
SİMGELER KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği.....	2
2.2. Takım Ömrü.....	7
2.3. Serbest Yüzey Aşınması ve Takım Ömrü İlişkisi.....	8
2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi	9
2.5. Literatür Araştırmalarının Değerlendirilmesi	11
3. TALAŞ KALDIRMA MODELİ.....	13
4. TALAŞ OLUŞUMU	19
4.1. Giriş.....	19
4.2. Talaş Oluşumu	22
5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ ve KAPLAMALARI	28
5.1. Giriş.....	28
5.2. Sinterlenmiş Karbür	31
5.3. Sinterlenmiş Karbürlerin Sınıflandırılması.....	33
5.4. Kaplamalı Sinterlenmiş Karbürler	35
5.5. Kaplamalar ve Kaplama Teknolojileri.....	36
5.5.1. ETA Fazı.....	38
5.5.2. Kimyasal Buhar Biriktirme CVD	40
5.5.3. Fiziksel Buhar Biriktirme PVD	41
5.6. Kaplamalar ve Özellikleri	45

6. TAKIM ÖMRÜ.....	49
6.1. Giriş.....	49
6.2. Takım Ömrü.....	50
6.3. Taylor Takım Ömrü Denkleminin Elde Edilmesi.....	52
7. KESİCİ TAKIMLARDA AŞINMA	55
7.1. Giriş.....	55
7.2. Kesici Takımlarda Aşınma Mekanizmaları	56
7.2.1. Abrziv Aşınma	57
7.2.2. Difüzyon Aşınması	58
7.2.3. Oksidasyon Aşınması	59
7.2.4. Yorulma Aşınması	59
7.2.5. Adeziv Aşınma	60
7.3. Kesici Takımlarda Aşınma Tipleri.....	61
7.3.1. Serbest Yüzey Aşınması	61
7.3.2. Krater Aşınması	62
7.3.3. Plastik Deformasyon.....	62
7.3.4. Yardımcı Kenarda Çentik Oluşumu	63
7.3.5. Isıl Çatlaklar.....	63
7.3.6. Mekanik Yorulma Çatlakları	64
7.3.7. Kesici Kenardan Parçacık Kopması (Dökülme).....	64
7.3.8. Kesici Kenarın Kırılması	65
7.3.9. Yığılma Kenar	66
7.4. Aşınmanın Oluşumu	66
7.5. Serbest Yüzey ve Krater Aşınması	68
7.6. Kesici Takımlarda Aşınma ve Kırılma Öncesi Davranışlar	71
7.7. Takım Aşınmasının Belirlenmesi	72
8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	73
8.1. Yüzeylerde Şekil Sapmaları.....	74
8.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	75
8.3. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	76
8.3.1. İlerleme ve Köşe Radüsünün Etkisi.....	77
8.3.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi	78

8.3.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi.....	78
9. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	79
9.1. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....	80
9.1.1. Martensitik Paslanmaz Çelikler.....	80
9.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	81
9.1.3. Duplex (Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler.....	81
9.1.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	82
9.2. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi.....	84
9.2.1. Karbon (C).....	85
9.2.2. Mangan (Mn).....	85
9.2.3. Silisyum (Si).....	85
9.2.4. Fosfor (P).....	85
9.2.5. Kükürt (S).....	86
9.2.6. Krom (Cr).....	86
9.2.7. Nikel (Ni).....	86
9.2.8. Molibden (Mo).....	87
9.2.9. Vanadyum (V).....	87
9.2.10. Wolfram (W).....	87
9.2.11. Kurşun (Pb).....	88
9.2.12. Bor (B).....	88
9.2.13. Alüminyum (Al).....	88
9.2.14. Bakır (Cu).....	88
9.3. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği.....	88
9.3.1. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirlik Problemleri.....	90
9.3.2. İşlenebilirliğin İyileştirilmesi.....	92
10. YAPAY SİNİR AĞLARI ve CEVAP YÜZEY METODU.....	94
10.1. Yapay Sinir Ağları.....	94
10.1.1. YSA'ların Üstünlükleri.....	97
10.1.2. Yapay Sinir Ağının Oluşumu.....	98
10.1.3. YSA'larda Öğrenme.....	99
10.1.4. Öğrenme Oranının Ağ Üzerindeki Etkisi.....	100
10.1.5. Momentum Teriminin Ağ Üzerindeki Etkisi.....	100

10.1.6. Gizli Katman Sinir Sayısının Ağ Üzerindeki Etkisi.....	100
10.1.7. Hata Farkı Değişkeninin Ağ Üzerindeki Etkisi.....	101
10.1.8. Danışmanlı Geri Yayılımlı Bir YSA Modeli.....	101
10.2.Cevap Yüzey Metodu	107
10.2.1. Birinci Derece Modeller	113
10.2.1.1. İki Seviyeli Faktoriyel Dizayn	113
10.2.1.2. Fraksiyonel Faktoriyel Dizayn.....	115
10.2.1.3. Ortogonal Dizayn.....	115
10.2.1.4. Dizayn Merkezinde İlave Noktalı 2^k Faktoriyel Dizayn.....	117
10.2.1.5. Birinci Derece Model İçin Güvenilirlik Aralığı.....	118
10.2.1.6. Birinci Derce Modelin Yeterliliği ve Varyans Analizi	119
11. MATERYAL ve METOT	122
11.1.İş Parçası Özellikleri ve Şekli	122
11.2.Kesici Takım ve Takım Tutucu	122
11.3.Deneylerin Yapılışı	125
12. DENEY SONUÇLARI	128
12.1.IC 808 Tam Faktoriyel Deney Sonuçları	128
12.2.IC 830 Yarım Faktoriyel Deney Sonuçları	147
12.3.IC 808 Yarım Faktoriyel Deney Sonuçları	157
12.4.IC 330 Yarım Faktoriyel Deney Sonuçları	167
13. TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ	177
13.1.Yapay Sinir Ağları Tahmin Modelinin Geliştirilmesi	177
13.1.1. Model Faktörlerinin Belirlenmesi	177
13.1.2. Ağın Hazırlanması ve Eğitilmesi.....	178
13.2.Cevap Yüzey Metodu Tahmin Modelinin Geliştirilmesi.....	183
13.2.1. Birinci Derece Modelle Takım Ömrü Denkleminin Tahmini	184
13.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Denkleminin Tahmini.....	184
13.2.3. Kuvvet Denklemlerinin Tahmini.....	185
14. DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA.....	188
15. SONUÇ VE ÖNERİLER	191
16. KAYNAKLAR	193

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 3.1.	Talaş kaldırma modeli.....	14
Şekil 3.2.	Eğik kesme modeli.....	15
Şekil 3.3.	Dik ve eğik kesme modeli.....	16
Şekil 3.4.	Kalın Kesme Modeli.....	17
Şekil 4.1.	Talaş Tipleri.....	20
Şekil 4.2.	Hareketsiz bölge ve akış bölgesi.....	21
Şekil 4.3.	Talaşın oluşumu ve makaslanması.....	22
Şekil 4.4.	Ortogonal ve eğik kesme.....	23
Şekil 4.5.	İki temel talaş tipi – dairesel ve spiral talaş.....	23
Şekil 4.6.	Tipik bir talaş kırma işlemi.....	24
Şekil 4.7.	Talaş kırılma biçimleri.....	24
Şekil 4.8.	Talaş kırma alanı.....	26
Şekil 4.9.	Farklı talaş derinliği / ilerlemeler için talaş tipleri.....	26
Şekil 4.10.	Tek ve çift taraflı kesici uçlar.....	27
Şekil 5.1.	Talaşlı imalat alanında kullanılan kesici takımlar.....	28
Şekil 5.2.	Kesici takım malzemelerinin gelişimi ve işleme zamanı.....	29
Şekil 5.3.	Takım seçimini etkileyen faktörler.....	30
Şekil 5.4.	Çeşitli sinterlenmiş karbür yapıları.....	33
Şekil 5.5.	Uygulama alanları ve kaliteler.....	33
Şekil 5.6.	İş parçası malzemesi tipleri.....	34
Şekil 5.7.	Kaplamalı ve kaplamasız karbürlerin karşılaştırılması.....	35
Şekil 5.8.	A – Tek, B – İki, C – Çok katlı katmanlar.....	36
Şekil 5.9.	Kaplama tabakalarının özellikleri.....	37
Şekil 5.10.	Kimyasal buhar biriktirme.....	41
Şekil 5.11.	Fiziksel buhar biriktirme.....	42
Şekil 5.12.	PVD vakum kaplama makinesi örneği.....	43
Şekil 5.13.	TiAlCN tipi kaplamada kafes yapısı.....	45
Şekil 6.1.	Taylor bağıntısı.....	54
Şekil 7.1.	Tipik aşınma bölgeleri.....	56
Şekil 7.2.	Kesici takımda meydana gelen aşınma prosesleri.....	57
Şekil 7.3.	Abraziv aşınma.....	58
Şekil 7.4.	Difüzyon aşınması.....	58
Şekil 7.5.	Malzemede yorulma aşınması.....	60
Şekil 7.6.	Adeziv aşınma.....	61
Şekil 7.7.	Serbest yüzey aşınması.....	62
Şekil 7.8.	Krater aşınması.....	62
Şekil 7.9.	Plastik deformasyon.....	63
Şekil 7.10.	Çentik oluşumu.....	63
Şekil 7.11.	Isıl çatlaklar.....	64
Şekil 7.12.	Mekanik yorulma çatlakları.....	64
Şekil 7.13.	Dökülme.....	65
Şekil 7.14.	Kırılma.....	65
Şekil 7.15.	Yığılma kenar oluşumu.....	66

Şekil 7.16.	VB'nin takım ömrü süresince gelişimi	67
Şekil 7.17.	Serbest yüzey aşınması	69
Şekil 7.18.	Krater aşınması.....	69
Şekil 7.19.	Takımda oluşan aşınma ve kırılmalar	71
Şekil 8.1.	Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi	74
Şekil 8.2.	Çeşitli işleme yöntemlerinde yüzey profilleri: a) Tornalama; b) Matkapla delme; c) Frezeleme; d) Taşlama; e) Raybalama; f) Broşlama; g) Elmas tornalama; h) Honlama; i) Lepleme; k) Hassas taşlama; l) Polisaj....	75
Şekil 8.3.	İlerleme ve köşe radüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri	77
Şekil 10.1.	Yapay bir sinir (düğüm).....	96
Şekil 10.2.	Dört katmanlı bir YSA	99
Şekil 10.3.	Tek çıkışlı iki – katmanlı geri yayımlı YSA	101
Şekil 10.4.	Yerel minimum noktası.....	107
Şekil 11.1.	Iscar T290 LNMT 050204-TR geometrik özellikleri	122
Şekil 11.2.	Iscar T290 ELN D12-02-C12-05 takım tutucu geometrik özellik	123
Şekil 11.3.	IC 330 iç yapısı ve kaplama tabakaları	123
Şekil 11.4.	IC 808 ve IC 830 iç yapısı ve kaplama tabakaları	124
Şekil 11.5.	(a) Mazak Variaxis 500 – 5x CNC dik işleme merkezi (b) Dinamometre üzerine bağlanmış olan iş parçası	126
Şekil 11.6.	a) Sinyal yükseltici b) Yüzey pürüzlülük cihazı c) Mikroskop	126
Şekil 12.1.	IC 808 Tam faktoriyel 1. Deney aşınma grafikleri	129
Şekil 12.2.	IC 808 Tam faktoriyel 1. Deney kuvvet grafikleri.....	129
Şekil 12.3.	IC 808 Tam faktoriyel 2. Deney aşınma grafikleri	130
Şekil 12.4.	IC 808 Tam faktoriyel 2. Deney kuvvet grafikleri.....	130
Şekil 12.5.	IC 808 Tam faktoriyel 3. Deney aşınma grafikleri	131
Şekil 12.6.	IC 808 Tam faktoriyel 3. Deney kuvvet grafikleri.....	131
Şekil 12.7.	IC 808 Tam faktoriyel 4. Deney aşınma grafikleri	132
Şekil 12.8.	IC 808 Tam faktoriyel 4. Deney kuvvet grafikleri.....	132
Şekil 12.9.	IC 808 Tam faktoriyel 5. Deney aşınma grafikleri	133
Şekil 12.10.	IC 808 Tam faktoriyel 5. Deney kuvvet grafikleri.....	133
Şekil 12.11.	IC 808 Tam faktoriyel 6. Deney aşınma grafikleri	134
Şekil 12.12.	IC 808 Tam faktoriyel 6. Deney kuvvet grafikleri.....	134
Şekil 12.13.	IC 808 Tam faktoriyel 7. Deney aşınma grafikleri	135
Şekil 12.14.	IC 808 Tam faktoriyel 7. Deney kuvvet grafikleri.....	135
Şekil 12.15.	IC 808 Tam faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri	136
Şekil 12.16.	IC 808 Tam faktoriyel 8. Deney kuvvet grafikleri.....	136
Şekil 12.17.	IC 808 Tam faktoriyel 9. Deney aşınma grafikleri	137
Şekil 12.18.	IC 808 Tam faktoriyel 9. Deney kuvvet grafikleri.....	137
Şekil 12.19.	IC 808 Tam faktoriyel 10. Deney aşınma grafikleri	138
Şekil 12.20.	IC 808 Tam faktoriyel 10. Deney kuvvet grafikleri.....	138
Şekil 12.21.	IC 808 Tam faktoriyel 11. Deney aşınma grafikleri	139
Şekil 12.22.	IC 808 Tam faktoriyel 11. Deney kuvvet grafikleri.....	139
Şekil 12.23.	IC 808 Tam faktoriyel 12. Deney aşınma grafikleri	140
Şekil 12.24.	IC 808 Tam faktoriyel 12. Deney kuvvet grafikleri.....	140
Şekil 12.25.	IC 808 Tam faktoriyel 13. Deney aşınma grafikleri	141
Şekil 12.26.	IC 808 Tam faktoriyel 13. Deney kuvvet grafikleri.....	141
Şekil 12.27.	IC 808 Tam faktoriyel 14. Deney aşınma grafikleri	142
Şekil 12.28.	IC 808 Tam faktoriyel 14. Deney kuvvet grafikleri.....	142

Şekil 12.29.	IC 808 Tam faktoriyel 15. Deney aşınma grafikleri	143
Şekil 12.30.	IC 808 Tam faktoriyel 15. Deney kuvvet grafikleri.....	143
Şekil 12.31.	IC 808 Tam faktoriyel 16. Deney aşınma grafikleri	144
Şekil 12.32.	IC 808 Tam faktoriyel 16. Deney kuvvet grafikleri.....	144
Şekil 12.33.	IC 808 Tam faktoriyel 17_a. Deney aşınma grafikleri	145
Şekil 12.34.	IC 808 Tam faktoriyel 17_a. Deney kuvvet grafikleri.....	145
Şekil 12.35.	IC 808 Tam faktoriyel 17_b. Deney aşınma grafikleri	146
Şekil 12.36.	IC 808 Tam faktoriyel 17_b. Deney kuvvet grafikleri.....	146
Şekil 12.37.	IC 830 Yarım faktoriyel 2. Deney aşınma grafikleri	147
Şekil 12.38.	IC 830 Yarım faktoriyel 2. Deney kuvvet grafikleri.....	147
Şekil 12.39.	IC 830 Yarım faktoriyel 3. Deney aşınma grafikleri	148
Şekil 12.40.	IC 830 Yarım faktoriyel 3. Deney kuvvet grafikleri.....	148
Şekil 12.41.	IC 830 Yarım faktoriyel 5. Deney aşınma grafikleri	149
Şekil 12.42.	IC 830 Yarım faktoriyel 5. Deney kuvvet grafikleri.....	149
Şekil 12.43.	IC 830 Yarım faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri	150
Şekil 12.44.	IC 830 Yarım faktoriyel 8. Deney kuvvet grafikleri.....	150
Şekil 12.45.	IC 830 Yarım faktoriyel 9. Deney aşınma grafikleri	151
Şekil 12.46.	IC 830 Yarım faktoriyel 9. Deney kuvvet grafikleri.....	151
Şekil 12.47.	IC 830 Yarım faktoriyel 12. Deney aşınma grafikleri	152
Şekil 12.48.	IC 830 Yarım faktoriyel 12. Deney kuvvet grafikleri.....	152
Şekil 12.49.	IC 830 Yarım faktoriyel 14. Deney aşınma grafikleri	153
Şekil 12.50.	IC 830 Yarım faktoriyel 14. Deney kuvvet grafikleri.....	153
Şekil 12.51.	IC 830 Yarım faktoriyel 15. Deney aşınma grafikleri	154
Şekil 12.52.	IC 830 Yarım faktoriyel 15. Deney kuvvet grafikleri.....	154
Şekil 12.53.	IC 830 Yarım faktoriyel 17_a. Deney aşınma grafikleri.....	155
Şekil 12.54.	IC 830 Yarım faktoriyel 17_a. Deney kuvvet grafikleri	155
Şekil 12.55.	IC 830 Yarım faktoriyel 17_b. Deney aşınma grafikleri	156
Şekil 12.56.	IC 830 Yarım faktoriyel 17_b. Deney kuvvet grafikleri.....	156
Şekil 12.57.	IC 808 Yarım faktoriyel 2. Deney aşınma grafikleri	157
Şekil 12.58.	IC 808 Yarım faktoriyel 2. Deney kuvvet grafikleri.....	157
Şekil 12.59.	IC 808 Yarım faktoriyel 3. Deney aşınma grafikleri	158
Şekil 12.60.	IC 808 Yarım faktoriyel 3. Deney kuvvet grafikleri.....	158
Şekil 12.61.	IC 808 Yarım faktoriyel 5. Deney aşınma grafikleri	159
Şekil 12.62.	IC 808 Yarım faktoriyel 5. Deney kuvvet grafikleri.....	159
Şekil 12.63.	IC 808 Yarım faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri	160
Şekil 12.64.	IC 808 Yarım faktoriyel 8. Deney kuvvet grafikleri.....	160
Şekil 12.65.	IC 808 Yarım faktoriyel 9. Deney aşınma grafikleri	161
Şekil 12.66.	IC 808 Yarım faktoriyel 9. Deney kuvvet grafikleri.....	161
Şekil 12.67.	IC 808 Yarım faktoriyel 12. Deney aşınma grafikleri	162
Şekil 12.68.	IC 808 Yarım faktoriyel 12. Deney kuvvet grafikleri.....	162
Şekil 12.69.	IC 808 Yarım faktoriyel 14. Deney aşınma grafikleri	163
Şekil 12.70.	IC 808 Yarım faktoriyel 14. Deney kuvvet grafikleri.....	163
Şekil 12.71.	IC 808 Yarım faktoriyel 15. Deney aşınma grafikleri	164
Şekil 12.72.	IC 808 Yarım faktoriyel 15. Deney kuvvet grafikleri.....	164
Şekil 12.73.	IC 808 Yarım faktoriyel 17_a. Deney aşınma grafikleri.....	165
Şekil 12.74.	IC 808 Yarım faktoriyel 17_a. Deney kuvvet grafikleri	165
Şekil 12.75.	IC 808 Yarım faktoriyel 17_b. Deney aşınma grafikleri	166
Şekil 12.76.	IC 808 Yarım faktoriyel 17_b. Deney kuvvet grafikleri.....	166

Şekil 12.77.	IC 330 Yarım faktoriyel 2. Deney aşınma grafikleri	167
Şekil 12.78.	IC 330 Yarım faktoriyel 2. Deney kuvvet grafikleri.....	167
Şekil 12.79.	IC 330 Yarım faktoriyel 3. Deney aşınma grafikleri	168
Şekil 12.80.	IC 330 Yarım faktoriyel 3. Deney kuvvet grafikleri.....	168
Şekil 12.81.	IC 330 Yarım faktoriyel 5. Deney aşınma grafikleri	169
Şekil 12.82.	IC 330 Yarım faktoriyel 5. Deney kuvvet grafikleri.....	169
Şekil 12.83.	IC 330 Yarım faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri	170
Şekil 12.84.	IC 330 Yarım faktoriyel 8. Deney kuvvet grafikleri.....	170
Şekil 12.85.	IC 330 Yarım faktoriyel 9. Deney aşınma grafikleri	171
Şekil 12.86.	IC 330 Yarım faktoriyel 9. Deney kuvvet grafikleri.....	171
Şekil 12.87.	IC 330 Yarım faktoriyel 12. Deney aşınma grafikleri	172
Şekil 12.88.	IC 330 Yarım faktoriyel 12. Deney kuvvet grafikleri.....	172
Şekil 12.89.	IC 330 Yarım faktoriyel 14. Deney aşınma grafikleri	173
Şekil 12.90.	IC 330 Yarım faktoriyel 14. Deney kuvvet grafikleri.....	173
Şekil 12.91.	IC 330 Yarım faktoriyel 15. Deney aşınma grafikleri	174
Şekil 12.92.	IC 330 Yarım faktoriyel 15. Deney kuvvet grafikleri.....	174
Şekil 12.93.	IC 330 Yarım faktoriyel 17_a. Deney aşınma grafikleri.....	175
Şekil 12.94.	IC 330 Yarım faktoriyel 17_a. Deney kuvvet grafikleri.....	175
Şekil 12.95.	IC 330 Yarım faktoriyel 17_b. Deney aşınma grafikleri	176
Şekil 12.96.	IC 330 Yarım faktoriyel 17_b. Deney kuvvet grafikleri.....	176
Şekil 13.1.	YSA eğitimindeki MSE hata değişimi grafiği	178

TABLO LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Tablo 10.1.	Lineer model için hata ve regrasyon karaları toplamı.....	119
Tablo 11.1.	AISI 304 paslanmaz çelik kimyasal özellikleri.....	122
Tablo 11.2.	Tam faktoriyel deneysel planda kullanılan kesme değerleri.....	127
Tablo 11.3.	Yarım faktoriyel deneysel planda kullanılan kesme değerleri.....	127
Tablo 12.1.	IC 808 Tam faktoriyel 1. Deney verileri.....	128
Tablo 12.2.	IC 808 Tam faktoriyel 2. Deney verileri.....	130
Tablo 12.3.	IC 808 Tam faktoriyel 3. Deney verileri.....	131
Tablo 12.4.	IC 808 Tam faktoriyel 4. Deney verileri.....	132
Tablo 12.5.	IC 808 Tam faktoriyel 5. Deney verileri.....	133
Tablo 12.6.	IC 808 Tam faktoriyel 6. Deney verileri.....	134
Tablo 12.7.	IC 808 Tam faktoriyel 7. Deney verileri.....	135
Tablo 12.8.	IC 808 Tam faktoriyel 8. Deney verileri.....	136
Tablo 12.9.	IC 808 Tam faktoriyel 9. Deney verileri.....	137
Tablo 12.10.	IC 808 Tam faktoriyel 10. Deney verileri.....	138
Tablo 12.11.	IC 808 Tam faktoriyel 11. Deney verileri.....	139
Tablo 12.12.	IC 808 Tam faktoriyel 12. Deney verileri.....	140
Tablo 12.13.	IC 808 Tam faktoriyel 13. Deney verileri.....	141
Tablo 12.14.	IC 808 Tam faktoriyel 14. Deney verileri.....	142
Tablo 12.15.	IC 808 Tam faktoriyel 15. Deney verileri.....	143
Tablo 12.16.	IC 808 Tam faktoriyel 16. Deney verileri.....	144
Tablo 12.17.	IC 808 Tam faktoriyel 17_a. Deney verileri.....	145
Tablo 12.18.	IC 808 Tam faktoriyel 17_b. Deney verileri.....	146
Tablo 12.19.	IC 830 Yarım faktoriyel 2. Deney verileri.....	147
Tablo 12.20.	IC 830 Yarım faktoriyel 3. Deney verileri.....	148
Tablo 12.21.	IC 830 Yarım faktoriyel 5. Deney verileri.....	149
Tablo 12.22.	IC 830 Yarım faktoriyel 8. Deney verileri.....	150
Tablo 12.23.	IC 830 Yarım faktoriyel 9. Deney verileri.....	151
Tablo 12.24.	IC 830 Yarım faktoriyel 12. Deney verileri.....	152
Tablo 12.25.	IC 830 Yarım faktoriyel 14. Deney verileri.....	153
Tablo 12.26.	IC 830 Yarım faktoriyel 15. Deney verileri.....	154
Tablo 12.27.	IC 830 Yarım faktoriyel 17_a. Deney verileri.....	155
Tablo 12.28.	IC 830 Yarım faktoriyel 17_b. Deney verileri.....	156
Tablo 12.29.	IC 808 Yarım faktoriyel 2. Deney verileri.....	157
Tablo 12.30.	IC 808 Yarım faktoriyel 3. Deney verileri.....	158
Tablo 12.31.	IC 808 Yarım faktoriyel 5. Deney verileri.....	159
Tablo 12.32.	IC 808 Yarım faktoriyel 8. Deney verileri.....	160
Tablo 12.33.	IC 808 Yarım faktoriyel 9. Deney verileri.....	161
Tablo 12.34.	IC 808 Yarım faktoriyel 12. Deney verileri.....	162
Tablo 12.35.	IC 808 Yarım faktoriyel 14. Deney verileri.....	163
Tablo 12.36.	IC 808 Yarım faktoriyel 15. Deney verileri.....	164
Tablo 12.37.	IC 808 Yarım faktoriyel 17_a. Deney verileri.....	165
Tablo 12.38.	IC 808 Yarım faktoriyel 17_b. Deney verileri.....	166
Tablo 12.39.	IC 330 Yarım faktoriyel 2. Deney verileri.....	167

Tablo 12.40.	IC 330 Yarım faktoriyel 3. Deney verileri	168
Tablo 12.41.	IC 330 Yarım faktoriyel 5. Deney verileri	169
Tablo 12.42.	IC 330 Yarım faktoriyel 8. Deney verileri	170
Tablo 12.43.	IC 330 Yarım faktoriyel 9. Deney verileri	171
Tablo 12.44.	IC 330 Yarım faktoriyel 12. Deney verileri	172
Tablo 12.45.	IC 330 Yarım faktoriyel 14. Deney verileri	173
Tablo 12.46.	IC 330 Yarım faktoriyel 15. Deney verileri	174
Tablo 12.47.	IC 330 Yarım faktoriyel 17_a. Deney verileri	175
Tablo 12.48.	IC 330 Yarım faktoriyel 17_b. Deney verileri	176
Tablo 13.1.	YSA modelini için seçilen faktör değerleri.....	178
Tablo 13.2.	YSA'nın eğitilmesi için kullanılan değerler ve bu değerler arasındaki % hata	179
Tablo 13.3.	YSA'nın eğitilmesi için kullanılan değerler ve bu değerler arasındaki % hata	182
Tablo 14.1.	Grafikleri verilen şartlar için işleme süreleri değerleri	188

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Talaş derinliği, mm
r_k	Küçük talaş kıvrım radüsü, mm
r_{ort}	Ortalama talaş kıvrım radüsü, mm
r_b	Büyük talaş kıvrım radüsü, mm
h_k	Küçük talaş yüksekliği, mm
h_{ort}	Ortalama talaş yüksekliği, mm
h_b	Büyük talaş yüksekliği, mm
h	Talaş kalınlığı, mm
b	Talaş genişliği, mm
f	Devir başı ilerleme, mm/dev
F_c	Kesme kuvveti, kN
F_F	Makaslama kuvveti, kN
F_Z	Talaş kaldırma kuvveti, kN
F_r	Radyal kuvvet, kN
P_s	Kesme gücü, kW, HP
μ	Sürtünme katsayısı
γ	Talaş açısı
β	Kama açısı

Simgeler**Açıklama** α

Serbest açısı

 Φ

Kesme açısı

 V

Kesme hızı. m/dak

 V_A

Talaş ayrılma hızı. m/dak

 λ_s

Büzülme oranı

 T

Takım ömrü

 C_t

Taylor sabiti

 M_s

Martensitik dönüşüm sıcaklığı

 P

Fener mili motor gücü, kW

Kısaltmalar**Açıklama****BUE**

Kesme kenarında talaş yapışması

CNC

Bilgisayarlı Sayısal Denetim

1. GİRİŞ

AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik, elektronik ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İşlenmesinin zor olduğu bilinen bu çeliklerin, günümüzde işlenebilirliği konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır. Yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direnci, paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Düşük ısı iletkenliğe sahip olması ve içeriğinde krom, nikel ve molibden gibi mukavemet artırıcı elementleri bulundurması işlenebilirliği kötü yönde etkileyen başlıca faktörlerdir. Kötü yüzey kalitesi ve fazla takım aşınması gibi problemler yaygındır. Kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi işleme parametrelerinin optimum ayarı, özellikle günümüzün yüksek hacimli üretim ortamında, bu malzeme için kritiktir. Takım imalatçıları, malzeme tedarikçileri ve kesici takım tedarikçilerinden alınan işleme verileri istikrarlı değildir ve pratikte test edildiğinde güvenilir sonuçlar vermemektedir. Mühendislik el kitaplarından alınan veriler güncel olmayıp modern kalitedeki malzeme ve takımları temsil etmemektedir. Mevcut problemlerin çoğunluğu, işleme sırasında malzemede meydana gelen işlem sertleşmesi ile açıklanmaktadır. Bu olaya neden olan şartlardan kaçınmak için, imalat sahasında, deneme yanılma yaklaşımları oluşturulmaktadır. Araştırmada özellikleri itibariyle işlenebilirliği en düşük paslanmaz çelik tiplerinden biri olan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik seçilerek, en uygun işleme parametrelerinin tespit edilip imalatçıların işleme sürelerinin kısaltılması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi yönünde ışık tutmak amaçlanmıştır. Bu sebeple paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin artırılmasına yönelik çeşitli araştırmalardan literatür taraması yapılmıştır. Bu literatür araştırmalarında başlıca; işlenebilirlik, paslanmaz çeliklerin türleri ve östenitik paslanmaz çeliklerin karakteristikleri konularına yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği

Abou-El-Hossein ve Yahya (2005), AISI 304 paslanmaz çeliği değişik kesme hızlarında ve devirlerde testlere tabi tutmuşlardır. Bu deneylerde yüksek kesme hızlarında ve yüksek kesme ilerlemelerinde takım ömrünün 3-4 dk civarında olduğu, kesme hızı sabit tutulup kesme ilerlemesi değiştirildiğinde takım ömrünün arttığı görülmüştür (0,025 mm/dev' de 7.4 dk).

Kesme ilerlemeleri 0,025 mm/dev, 0,05 mm/dev, 0,75 mm/dev, 0,1 mm/dev ve kesme hızları 150 m/dk, 190 m/dk, 225 m/dk ve 260 m/dk seçilerek deneylerde uygulanmış en uygun kesme hızı ve kesme ilerlemesi tespit edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında şu hükümler çıkarılmıştır:

- Kesme hızındaki artış takım ömründe azalmaya sebep olmuştur. Takım ömrü, yüksek üç kesme hızında (190 m/dk, 225 m/dk ve 260 m/dk) yaklaşık aynı, diğer kesme hızında (150 m/dk) yaklaşık iki katı olmuştur.
- Değişik devirlerin de yüksek kesme hızlarında takım ömrüne küçük etkilerde bulunduğu tespit edilmiştir. 260 m/dk kesme hızında takım ömrü yaklaşık olarak aynı kalmıştır.
- BUE'nin yüksek kesme ilerlemelerinde ve kesme hızlarında meydana geldiği (190 m/dk ve 225 m/dk) bulunmuştur.
- En uygun kesme koşulu, yüksek verimi sağlayan, mümkün olan maksimum takım ömrünü ve işleme koşullarını veren $V_c=150$ m/dk ve $f=0,075$ mm/dev olduğu görülmüştür.
- Hakim takım hatası biçimi yan yüzeyde çentik olarak görülmüştür. Bu biçim hata yüksek devirlerde ortaya çıkmıştır.

Paro ve ark. (2001), yüksek azot miktarına sahip olan paslanmaz çeliklerin çok yüksek mukavemetli olduğu görülmüştür. Normal bir X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliğin kopma gerilmesi 660 MPa iken, azot takviyeli paslanmaz çeliğin kopma gerilmesi yaklaşık 3000 MPa'a kadar çıkmaktadır. Azotun, mevcut yapı içerisindeki dislikasyon hareketine karşı bir engel oluşturduğu tespit edilmiştir. Tane boyutunun sertliği, paslanmaz çeliğe yüksek mukavemet kazandırmıştır. İçeriğinde farklı miktarda azot bulunan iki adet X5 CrMnN 18 18 malzeme üzerinde deney yapılmıştır. Malzemenin birinde %0,91 oranında, diğerinde ise %0,57 oranında azot bulunmaktadır. Ortak kesme parametreleri (f:0,24 mm/dev, V:60 m/dk ve talaş derinliği a:1,6 mm) uygulanmış ve takım ömrü ile birlikte, yüzey pürüzlülükleri değerleri tespit edilmiştir. %0,91 içerikli paslanmaz çelikte takım ömrü 30 dk ölçülürken, %0,57 içerikli paslanmaz çelikte takım ömrü 10 dk olarak ölçülmüştür. Kesme hızı arttırıldıkça her iki malzemede de takım ömrü azalmıştır.

Korkut ve ark. (2004), yüksek dayanıklılık, düşük ısı iletkenlik ve yüksek sünekliliğin işlenebilirliği zor kılan unsurlar olarak gösterilmiştir. Malzemedan talaş kaldırma esnasında, kesilen talaşın kesici takıma yapıştığı ve takımdan talaş kopardığı belirtilmiştir. Numune AISI 304 parça üzerinde kesme deneyleri yapılmıştır. 0,24 mm/dev ilerleme kullanılarak 120 m/dk, 150 m/dk, 180 m/dk ve 210 m/dk kesme hızlarında talaş kaldırılmıştır. Numune parçaların yüzey sertliği ve talaş oluşumu arasındaki korelasyon belirlenmiştir. Belli bir değere kadar kesme hızının artması, takım aşınmasının azalmasına sebep olmuştur. Fakat belli bir noktadan sonra takım aşınmasının arttığı gözlemlenmiştir. Talaş kalınlığının ve talaş kıvrım yarıçaplarının homojenliği ile talaş renginin malzeme rengine çok yakın olması, 180 m/dk kesme hızını en ideal kesme hızı olarak belirlenmiştir. Kesme hızının bu değere kadar artması R_a değerlerinin iyileşmesine sebep olmuştur. Yapılan her test denemesinde talaş kıvrım yarıçapı ve talaş kalınlığının kesme hızı ile ilgili olduğu görülmüştür. Düşük kesme hızı küçük talaş kıvrım yarıçapına ve büyük talaş kalınlığına sebep olmuştur. Kesme hızı arttıkça talaş kıvrım yarıçapı da artmıştır. Kalınlık ise yavaş yavaş azalmaya başlar. Kesme hızı düştükçe, yüksek kesme hızlarına göre talaş ile malzeme arasındaki temas fazla olacaktır. Bu talaş ile malzeme arasında sürtünmeye ve ortam ısısının artmasına neden olacaktır.

Chin ve Tsai (2003), 17-4PH paslanmaz çeliklerinin işlenmesinde en uygun kesme şartlarının sağlanması ve takım aşınması tahmini için, teorik ve sistematik bir alt yapının hazırlanması hedef alınmıştır. 17-4PH paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında optimum kesme şartlarının belirlenmesi için takım yanak aşınmasını ön gereken bir tahmini model geliştirilmiştir. BPN metodu, çalışılacak model için kullanılmış. GA yöntemi, modeli optimize için kullanılmıştır. TM metodu her iki model için sırayla optimum kesme parametrelerinin bulunması için kullanılmıştır. 6 mm ve 90 mm boylarında örnekler sırayla işlenmiştir. Ön görülen model takım serbest yüzey aşınması davranışını izleyebilme kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür. Değişik sınırlamalarla maksimum talaş kaldırma oranı ile uygun kesme şartları tespit edilmiştir. Sıvanma, öngörülen modelden hesaplanmıştır. Paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletim oranlarına sahip olması, işlenmesinin zorlaşmasına ve sıvanmanın oluşmasına neden olduğu belirtilmiştir. Sıvanmanın olmasının, takım aşınma oranı ve işlenen yüzeyin kalitesinin düşmesine sebep olduğu ön görülmüştür. Bu çalışmada GA metodu, problemlerin en uygun şekilde çözümü için geniş çapta kullanılmıştır.

Paro ve ark. (2001), ASTM A890 1A konvensiyonel olarak üretilen paslanmaz çelikler ile HIPed Duplex 27 malzemesi, sementit kaplı takım ile işlendiği zaman ki iç soğutma desteğinin aktif aşınma mekanizmaları araştırılmıştır. İşleme sonucunda talaşlar SEM elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Her iki malzeme arasındaki kesme parametreleri farklılıkları incelenmiştir. Paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında yüksek kesme kuvvetine ihtiyaç duyulduğu, bunun neticesinde aşırı takım aşınmasının olduğu, bu çeliklerin yüksek kırılma tokluğuna sahip olmasının da, normal çeliklerin tersine çapak oluşumu eğilimini arttırdığı belirtilmiştir. Yapılan incelemelerin sonunda şu neticelere varılmıştır;

- Duplex 27 malzemesi, konvensiyonel A890 1A malzemesine göre daha az çapak oluşması eğilimi göstermiştir.
- İçten soğutmalı katı karbür matkap kullanıldığında Duplex 27 paslanmaz çelikte takım ömrü 5 ile 12 dk arasında ölçülmüştür.

- İçten soğutmalı katı karbür matkap kullanıldığında, konvensiyonel A890 1A paslanmaz çelikte takım ömrü 7 ile 20 dk arasında ölçülmüştür.
- Homojen olmayan talaş kalınlığı ve talaş kıvrım açısı dağılımı daha çok düşük kesme hızlarında görülmüştür.
- Kesme hızı 180 m/dk'ya doğru arttıkça takım yanak aşınmasın azaldığı görülmüştür.
- Yüzey pürüzlülük değerlerinin, kesme hızının arttırılması ile düştüğü görülmüştür.

Akasawa ve ark. (2003), östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğindeki serbest kesme etkilerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Alaşım içerisindeki malzemelerin etkileri deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Özellikler yüzey bütünlülüğü şartlarında işlenebildiğin düzeltilmesi için etkili veriler önerilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda aşığıda belirtilen veriler elde edilmiştir.

- Yüzey sertliği, özellikle kuru kesmede, düşük kesme hızlarında kötüleşmektedir.
- Malzemeye bakır ilave etmek kesme kuvvetinin azalmasına yol açıyor.
- Bizmut'un eklenmesi yüzey kalitesini kötü yönde etkilememiş, fakat talaş kalınlığının azalmasına sebep olmuştur. Takım aşınması meydana gelmemiştir.

Chien ve Chou (2001), iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü, kesme kuvvetini ve takım ömrünü önceden belirlemek için yapay sinir ağları teorisi kullanılmıştır. Bu modelde belirlenmesi istenen optimum kesme şartları, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği olarak belirtilmiştir. Önceden verilen değerlerle deney verilerinin karşılaştırılması modelin faydalı olduğunu ve kesme parametrelerinin belirlenmesi için faydalı olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak bu ilk geliştiren modelin, yeni kontrol parametreleri ilave edilerek, metal işleme prosesi için daha kapsamlı bir şekilde genişletilmesi önerilmiştir.

Lin (2002), Takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması bilgisinin araştırılması için paslanmaz elik plakalar yüksek hızla delinmiştir. Delik delme işleminde titanyum karpit kaplı takım ile eğimli kesme kenarları kullanılmıştır.

Minimum yüzey pürüzlülüğü ve BURR yüksekliği için uygun kesme hızı 75 m/dk olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülükleri 1 µm daha düşük elde edilmiştir. Talaşın helisel akışı ve takımın aşınan dış köşesi delme hatalarına neden olmuştur.

Tekiner ve Yeşilyurt (2004), AISI 304 çeliklerin işlenmesi esnasında en uygun kesme şartları ve parametrelerin belirlenmesi için proses esnasındaki ses hedeflenmiştir. Bu çalışmada 30 mm çapında, 200 mm boyundaki örnek, CNC tornada işlenmiş. 2.5 mm talaş derinliğinde 150 mm boy işlenmiş. 120 – 135 – 150 – 165 ve 180 m/dk kesme hızları ve 0,2 - 0,25 ve 0,30 mm/dev ilerleme miktarları kullanılmıştır. İşlemenin sesi bir bilgisayara kayıt edilmiştir. En iyi kesme hızı ve ilerleme oranı; yanak aşınmasına, talaş şekline, yüzey pürüzlüğüne ve işlenen parçanın güç tüketimine göre hesaplanmıştır. Elde edilen ideal kesme parametreleri ve kesme işlem sesi karşılaştırılmış. Bu yolla sese bağlı olarak 165 m/dk kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarı en iyi sonucu vermiş ve bu değerlere göre işlem sesi doğrulanmıştır.

Sandvik Coromant firmasının yapmış olduğu araştırmaya göre (Sandvik 1994); malzemedeki alaşım elementleri özellikler üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Karbonun, çeliğin mekanik özelliğini ve işlenebilirlik özelliklerini belirleyen en önemli element olduğu tespit edilmiştir. Diğer alaşım elemanları; Nikel (Ni), Cobalt (Co), Mangan (Ma), Vanadyum (V), Molibden (Mo), Niobyum (Nb), Tungsten (W), Bakır (Cu) vb'dir. Bazı alaşım elemanları ise işlenebilirlik üzerinde önemli ölçüde pozitif etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Kükürt (S), fosfor (P) ve kurşun (Pb) bunlara örnek olup, kolay işlenebilir çeliklere ilave edilmektedir. Talaş oluşumu, genellikle sünekliği azaltan alaşım elementleri ile iyileştirilebileceği üzerinde durulmuştur. İş parçası malzemesinin kimyasal analizi, işlenebilirliği konusunda araştırmalara önemli ipuçları vermektedir. Talaş kaldırılacak malzemenin işlenebilirliği üzerinde negatif etkiye sahip olan malzemeler; Mn, Ni, Co, Cr, V, C <%0,03, C>%0,6, Mo, Nb ve W olarak belirtilmiştir. Pb, S, P ve C elementleri ise pozitif bir etki gösterdiği öngörülmüştür.

Kayacan ve ark. (2003), tornalama işlemlerinde takım aşınması esas alınarak ekonomik takım kullanımı için bulanık mantık programlama yöntemi kullanılarak genel bir fuzzy model kurulmuşlardır. Kesilecek malzemenin sertliği ve kullanılan kesici takımın cinsine göre ekonomik takım aşınması için en uygun kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliklerini belirleyebilen bulanık mantık çözüm modeli oluşturulmuştur. Kurulan model kullanılarak şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Eğer iş parçası yumuşak, kesici takım sert, kesme hızı yavaş, ilerleme oranı düşük, talaş derinliği az ve çalışma sıcaklığı düşük ise aşınma çok az.
- Eğer iş parçası yumuşak, kesici takım sert, kesme hızı yavaş, ilerleme oranı düşük, talaş derinliği az ve çalışma sıcaklığı düşük ise aşınma az.
- Eğer iş parçası sert, kesici takım yumuşak, kesme hızı hızlı, ilerleme oranı fazla, talaş derinliği fazla ve çalışma sıcaklığı yüksek ise aşınma çok.
- Eğer iş parçası sert, kesici takım yumuşak, kesme hızı hızlı, ilerleme oranı fazla, talaş derinliği fazla ve çalışma sıcaklığı yüksek ise aşınma çok fazla.

Bu çalışma sonucunda talaşlı üretimde ekonomik tornalama için en uygun takım aşınmasının oluşacağı işleme parametreleri çok kolaylıkla kısa sürede belirlenebileceği savunulmuştur. Bunun yanı sıra oluşturulan model, elektronik üretim sürecinde takım aşınmasının eş zamanlı denetlenebilmesi için kesme şartlarının kontrol altında tutulması amacıyla da kullanılabilirliği belirtilmiştir.

2.2. Takım Ömrü

Nagasaka ve Hashimoto (1982), uygun kesme parametrelerinin kullanılması ile takım aşınmasında azalmaların sağlandığı yeni bir model üzerinde çalışmışlardır. Bu modelde farklı aşınma uygulamalarının takım ömrüne etkileri incelenmiştir. Bu çalışma ile Taylor' un takım ömrü formülünden farklı bir takım ömrü formülü elde edilmiştir.

Ronkainen ve ark (1991), CVD kaplama yöntemi kullanarak TiN, TiAlN ve TiCN kaplanmış takımlarla talaş kaldırma deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerin sonucunda takımların, takım ömürlerinde 3 kata varan iyileşme sonuçlarına ulaşmışlardır.

Choudhury ve Rao (1999), maksimum takım ömrü elde etmek için çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu amaçla, kesme parametreleri; ilerleme, kesme hızı ve takım ömrüne etkisi diğer parametrelere nazaran daha az olan talaş derinliğinin optimizasyonu ile yöntem geliştirilmiş olup deney sonuçlarından elde edilen sonuçlar ile yeni bir model ortaya çıkarılmıştır. Bunun sonucunda % 30'a varan iyileşmeler sağlanmıştır.

Santos ve ark. (1999), kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve serbest yüzey aşınmasına bağlı olarak takım ömrü ile serbest yüzey aşınması arasında olan ilişki matematiksel olarak ifade edilmiştir. Deneylerden elde edilen katsayı ve üs değerlerinin kullanılması ile aşınma miktarı takım ömrüne bağlı olarak tahmin edilebilmektedir. Deneylerde TiN, TiC kaplamalı takımlar kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerin doğruluğu için kullanılan takım-malzeme çiftine uygun ve özellikle üretici firmalar tarafından önerilen kesme parametreleri kullanılmıştır.

2.3. Serbest Yüzey Aşınması ve Takım Ömrü İlişkisi

Choudhury ve ekibi (1998), modern takım tezgâhlarında serbest yüzey aşınmasını on-line izlenmesinde kullanılabilecek adaptif denetim mekanizması modeli geliştirmişlerdir. Aşınma bölgesi lazer ışın demeti ile aydınlatılmakta ve takım kamera ile görüntülenmektedir. Elde edilen görüntüler, sayısal dönüştürme işlemi sonucunda aşınma genişliğini vermektedir. Bu yöntem ile doğru sonuçlar almak için ölçüm bölgesi temiz olmalıdır.

Dan ve Mathew (1990) yaptıkları çalışmada, takım ömrü ve kesme parametreleri ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Talaş kaldırma işleminde, kesici takım aşınması ilk başta olmak üzere, takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder.

Aşınma sınırına ulaşmış bir takım, talaş kaldırma işlemine devam edilmesi kesme kuvvetlerinin artmasına, parça boyut hassasiyetinin bozulmasına, takımdaki tahribatın artmasına neden olacağı gibi, yüzey kalitesinin bozulmasına da neden olur. Kesici takımın kırılması ise talaş ve plastik deformasyon ile köşe ve serbest yüzey aşınması faktörlerinin bileşimi olarak ortaya çıkar.

Jemielniak ve ark (1985), tornalama işleminde, karbür takımlar kullanmışlardır. Serbest yüzey aşınmasını; diğer parametreleri değiştirmeden sadece ilerlemeyi değiştirerek, ilerlemenin aşınma üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Koren (1978), yaptığı deneylerde, serbest yüzey aşınması ile kesme kuvvetleri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu görmüştür. Farklı talaş derinlikleri kullanarak yapılan deneylerde, aynı kesme koşullarında kuvvetlerdeki değişime bağlı olarak serbest yüzey aşınmaları gözlenmiştir.

Gomayel (1986), kesme işlemi sırasında, iş parçası çapında meydana gelen değişimleri elektromanyetik sensörlerle izlemiş ve buna bağlı olarak takım aşınmasını tespit eden bir sistem geliştirmiştir.

2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Metallerin talaşlı üretiminde, takımların yüzey özelliklerinin artırılması önemli oranda takım ömrünün artırılmasına sebep olmaktadır. Tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü açısından takım ömrünü belirlemek amacıyla yapılan deneylerde temel etkenin takım ucunda periyodik olarak oluşan kanallar olduğu belirlenmiştir. Bu kanalların derinliği ve pürüzlülük parametreleri arasında doğrudan ifade edilebilecek bir bağıntı vardır. Kanalların derinliğine en çok etki eden teknolojik faktörler sırası ile kesme hızı, ilerleme, takım ve parça malzemelerinin cinsidir. Talaş kaldırma işleminde düşük ilerleme hızları pürüzlülük açısından takımın kesme potansiyeli bitmeden teknolojik ömrünün bitmesine neden olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğündeki değişimler serbest yüzey aşınmasının bir göstergesi olup, diğer aşınma tipleri hakkında bilgi vermez, diğer ölçüm yöntemleri ile birlikte kullanılırsa

anlamli sonuçlar elde edilebilir.

Gülyaz ve ark. (1996), tarafından yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğünün tahmini için cevap yüzey yöntemi kullanılarak deney tasarımları yapılmış ve daha sonra bu deneylerin sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık olarak tahmin edecek model oluşturulmuştur.

Montgomery ve ark. (1989), tarafından ortogonal ve eğik talaş kaldırma işlemlerinde kesme kuvvetleri ve takım geometrisi ile elde edilen yüzey kalitesi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tornada farklı kesme hızı, ilerleme, takım geometrisi ve talaş derinliklerinde elde edilen yüzeyler profilmetre ile ölçülmüş elde edilen veriler bilgisayara aktarılmıştır. Oluşturulan veri tabanında her 0,01 mm için 1000 ölçüm alınmıştır. 10 mm uzunlukta yüzey profilinde minimum ve maksimum değerlerin analizi yapılmıştır.

Moon ve ark. (1992), kesme kuvvetlerinin yüzey profili üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, normalde ilerleme ve takım uç radyüsünün bir fonksiyonu olup, bunlardaki değişim ile farklılık göstermektedir. Diğer kesme parametrelerinden (ilerleme, talaş derinliği, kesici uç radyüsü) sabit tutulduğunda kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler gözlemlenmektedir.

Nalbant ve Korkut (1996), tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada da 1030, 1060 ve bu malzemelerin normalizasyon işlemine tabi tutulmuş olanlarında üzerinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Deneylerde ilerleme sabit tutularak kesme hızı, kesici ve malzeme değişken parametre olarak alınmış ve değişken parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Özçatalbaş (1998), tarafından yapılan diğer bir çalışmada, SAE 8620 eliğinin tormalanması sırasındaki talaş oluşum mekanizması ve oluşan talaş morfolojisinin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri gibi işleme özelliklerine etkisi

araştırılmıştır. Sıcak haddelenmiş çeliğin normalleştirilme ve tavlama ısıl işlemleri ile mekanik özellikleri değiştirilmiştir. Değişik mekanik özelliklere sahip numunelerin düşük ve yüksek kesme hızlarında tornalanması sırasında bir ani durdurma aparatı kullanılarak talaş kökü numuneleri çıkartılmıştır. Bu numunelerin metalografik muayeneleri yapılmış ve talaş morfolojileri incelenmiştir. Malzemenin artan sertlik ve çekme dayanımının yığma talaş oluşumunu azalttığı gözlenmiştir. Buna bağlı olarak yığma talaş boyutlarındaki değişim yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini önemli bir şekilde etkidiği tespit edilmiştir.

2.5. Literatür Araştırmalarının Değerlendirilmesi

Yapılan literatür çalışmalarında AISI 304 tip östenitik paslanmaz çelik ile ilgili fazla bilgiye rastlanmamıştır. Benzer malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili veriler toplanarak paslanmaz çeliklere ağırlık verilmiştir. Çeliğin işlenmesi sırasında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri belirtilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda;

- Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin artırılması amacıyla, alışımlarında yapılan değişikliklerin çeliğin faydalı özelliğine zarar vermeden işlenebilirliğini önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür.
- Azotun çelik alaşımına belli bir miktar eklendiğinde kopma gerilmesi miktarını ve takım ömrünü arttırdığı görülmüştür.
- Kesme hızı artmasıyla malzemelerin takım ömrünün azalmasına yol açtığı görülmüştür.
- Östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliğini zorlaştıran unsurlar; yüksek dayanıklılığı, düşük ısıl iletkenliği ve yüksek sünekliği olarak belirtilmiştir.
- Malzemedan talaş kaldırma esnasında, kesilen talaşın kesici takıma yapıştığı ve takımdan talaş kopardığı belirtilmiştir.
- Kesme hızı değerinin düşmesi, talaş ile malzeme arasındaki temas süresini arttıracığı için, kesici takım ile malzeme arasında sürtünmenin artmasına ve ortam ısısının yükselmesine neden olacağı belirtilmiştir.
- İşleme esnasında sıvanmanın oluşmasının, takım aşınma oranı ve işlenen yüzeyin kalitesinin düşmesine sebep olduğu belirtilmiştir.

- Paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında yüksek kesme kuvvetine ihtiyaç duyulduğu, bunun neticesinde aşırı takım aşınmasının oluştuğu belirtilmiştir.
- Bu çeliklerin yüksek kırılma tokluğuna sahip olmasının da, normal çeliklerin tersine çapak oluşumu eğilimini arttırdığı öngörülmüştür.
- Malzemeye bakır ilave etmenin, kesme kuvvetinin azalmasına yol açtığı belirtilmektedir.
- Kükürt (S), Fosfor (P) ve Kurşun (Pb) elementlerinin işlenebilirliği kolaylaştırdığı ön görülmüştür.

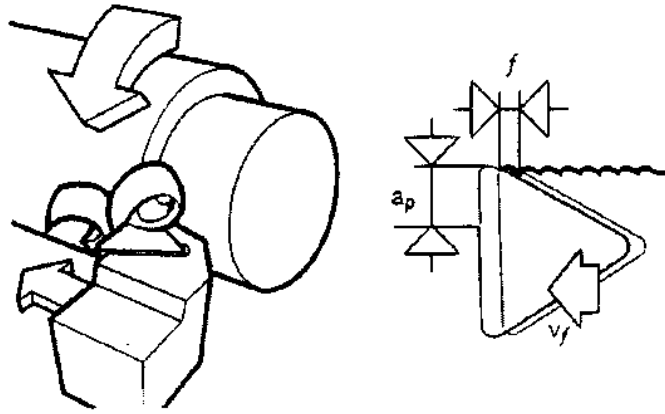
3. TALAŞ KALDIRMA MODELİ

İmalat sayesinde malzemelerin verimli şekilde işlenmesi sadece kesilen malzeme hakkında değil aynı zamanda değişik şartlar altında, kesici takım malzemesi, kesici şekli ve nasıl yapılacağı hakkında da bilgi gerektirir. Geçen yüzyılın sonlarına doğru başlayan talaş kaldırma ile ilgili araştırmalar 1940'lara kadar artan bir hızla devam etmiş, bu tarihten sonra özellikle sanayileşmiş ülkelerde önemli bir gelişme göstermiştir. Son 20 yıldan beri birçok yeni takım malzemeleri ve takım tezgâhları geliştirilmiş, daha yüksek kesme hızlarında çalışma imkânı sağlanmış ve bunlarda üretim artışına yol açmıştır. Bütün bu faktörler dikkate alındığında takım tezgâhları ile talaş kaldırma teorisi ve uygulama alanı sürekli araştırılmaktadır. Talaş kaldırma fiziği açısından, malzemenin nasıl kesildiği veya kesici takımın malzemeye yaklaştığı yerde gerçekte nelerin olduğunu anlamadan yüzlerce yıldan beri insanoğlu metalleri kesmek için kesici takımları kullanmaktadır.

Talaş kaldırma olayının fiziksel açıdan incelenmesi talaş kaldırma teorisinin temelini oluşturmaktadır. Aşınma, ömür, sıcaklık, kuvvet, enerji, sürtünme vb. gibi diğer incelemeler talaş kaldırma teorisine dayanmaktadır. Çok zor ve karmaşık bu olayı açıklamak için teorik modellere dayanarak değişik pek çok teori ortaya atılmıştır. Bu teorilerin başlıcaları şunlardır;

- Timme yaklaşımı,
- Ernst ve Merchant yaklaşımı,
- Lee ve Shaffer yaklaşımı,
- Shaw, Cook ve Finne yaklaşımı,
- Hill yaklaşımı,
- Okushima ve Hitami yaklaşımı,
- Zorev yaklaşımı,
- Astakhov yaklaşımı,

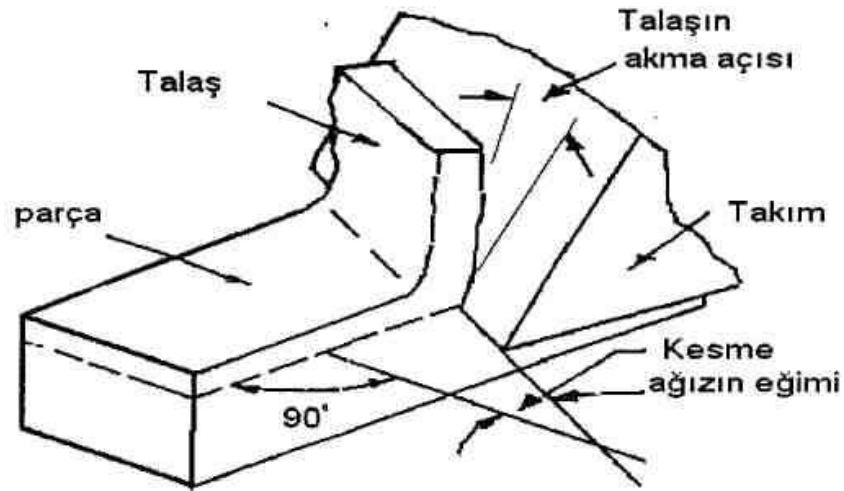
Talaş kaldırma teorisinin odak noktası talaşın oluşumudur. Talaş ana malzemeden plastik şekil değiştirmenin sonucu meydana gelmektedir. Keskin bir uç malzemeye nüfus ederek hareket ettiğinde, malzeme ile temas noktasında malzemenin plastik şekil değiştirmesine neden olan yüksek gerilmeler ve sıcaklık meydana gelmektedir. Şekil 3.1’de talaş kaldırma modeli görülmektedir. Gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında talaş olarak adlandırılan belli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca takımın kesme yüzeyinden kayarak parçadan ayrılır. Talaşın kesici takım kesme yüzeyinde kayması yüksek basınçlar altında meydana gelir ve oluşan sürtünmeden dolayı takım yüzeyinde yüksek sıcaklıklar oluşur.



Şekil 3.1. Talaş kaldırma modeli (Çakır 2000)

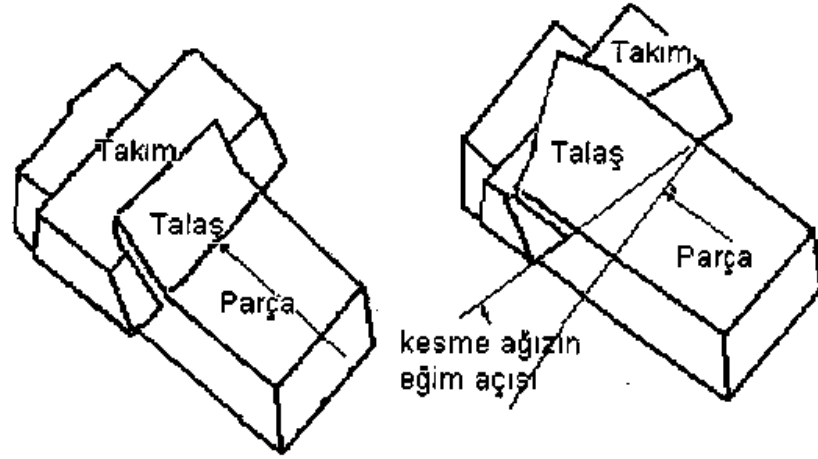
Talaş kaldırma alanında ilk büyük gelişme Merchant’ın çalışmaları sayesinde olmuştur. Merchant dik kesme adını taşıyan bir model oluşturmuştur. Talaş kaldırma işleminin fiziksel ve teorik analizi genelde bu model esas alınarak yapılır. Burada kama şeklinde ve kesme ağzı kesme hız vektörüne dik olan takım, talaş yüzeyi ve serbest yüzey ile sınırlıdır. Talaş yüzeyi talaşın temas ettiği yüzeydir. Serbest yüzey ise parçanın işlenmiş yüzeyine dönük yüzeydir. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir. Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğru koordinat sistemi seçilirse takımın kesme özelliklerini belirleyen açılar; talaş açısı (γ), kama açısı (β) ve boşluk açısı (α) dır. Talaş açısı dikey doğru ile takımın talaş yüzeyi, boşluk açısı ise takımın serbest yüzeyi ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında kalan açıdır. Kama açısı takımın kendi açısıdır.

Bu açılar arasında $\alpha + \gamma + \beta = 90$ bağıntısı vardır. Takım ucu hafifçe yuvarlatılır; yuvarlatma yarıçapı (r) değerindedir ve takım geometrisini tamamlayan bir faktördür. Talaş kaldırma teorisinde dik modelin yanı sıra; takımın kesme kenarı kesme hız vektörüne eğik olan eğik modelde kullanılmaktadır. Şekil 3.2' de eğik kesme modeli görülmektedir. Talaş, takımla parçadan kaldırılan malzeme tabakasıdır. Teorik hesaplamalarda şekil değiştirmemiş talaş kalınlığı ve genişliği esas alınır. Parçadan ayrılan talaş ile teorik talaş boyutları birbirinden farklıdır. Parçadan ayrılan talaş daha kalın ve daha kısadır.



Şekil 3.2. Eğik kesme modeli (Akkurt 1998)

Talaş parçadan kayma düzleminde ayrılır. Kayma düzleminin yönü ϕ kayma açısı tarafından belirlenir. Talaşta meydana gelen şekil değiştirmeleri ve bunlara bağlı talaş boyutları kayma açısından önemli şekilde etkilenir. Kayma açısının azalması talaş kalınlığının artmasına, kayma açısının artması ise talaş kalınlığının azalmasına neden olmaktadır. Şekil 3.3' de dik ve eğik kesme modelinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 3.3. Dik ve eğik kesme modeli (Akkurt 1998)

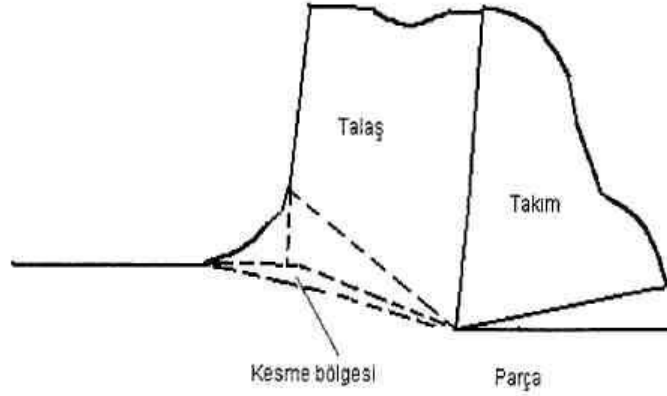
Talaşlı imalatta kesme kuvvetlerine ait ilk çalışmalar ve matematiksel ifadeleri Merchant tarafından 1940 yılında geliştirilmiştir. Merchant talaş kaldırma olayını fiziksel yönden incelemiş ve talaşın nasıl meydana geldiğini açıklamaya çalışmıştır. Çalışmaları sonucunda şekilde gösterilen dik bir modeli ortaya atmış ve takımın etkisi altında kaldırılacak malzemenin önce elastik ve sonra plastik bir şekil-değiştirme göstererek; takımın kesme yönü ile belirli bir açı yapan bir düzlemde talaş olarak ana malzemedan ayrıldığını varsaymıştır. Talaşın malzemedan ayrıldığı ve ϕ ile ifade edilen açıya kayma açısı denilir.

İnce düzlem adını taşıyan bu teoriye göre kesme kuvveti ifade edilirse bu kuvvete dayanarak minimum enerji ilkesine göre Merchant kayma açısını;

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \sigma - \gamma \quad [3.1]$$

şeklinde ifade etmiştir. Bu bağıntıda σ sürtünme açısı γ talaş açısıdır. Kayma açısının optimum değerini bulmak için Merchant minimum enerji ilkesini ortaya atmıştır. Bu ilkeye göre malzeme, talaş kaldırmak için gereken enerjiyi en küçük değerine indiren bir kayma açısı seçmektedir. Talaş kaldırma ile ilgili tüm teorilerde genelde $\phi = F(\gamma, \sigma)$ şeklinde ifade edilen kesme açısının sürtünme açısı ve talaş açısına bağlı olduğunu göstermektedir. Ancak şimdiye kadar tüm bu hususları kapsayan bir talaş kaldırma teorisi oluşturulamamıştır. Bununla beraber özellikle son zamanlarda bu yönde

incelemeler ve araştırmalar yoğunlaşmıştır. Talaş kaldırma işlemi ile ilgili teoriler kayma d¼zlemi esasına dayanmaktadır. Yapılan varsayımlara g¼re bu d¼zlem çok ince (teorik olarak sonsuz ince) veya kalın b¼lge şeklinde olabilir. şekil 3.4' de kalın kesme d¼zlemi modeli g¼r¼lmektedir.



şekil 3.4. Kalın kesme modeli (Lee ve Shaffer 1951)

İnce d¼zlem teorisi, talaş kaldırma olayını ilk olarak açıklamaya çalışan teoridir. Bu teoriye g¼re malzeme tabakasının plastik şekil değiştirmeleri ve parçadan ayrılmasının kayma d¼zleminde meydana geldiğini varsaymaktadır. İnce d¼zlem teorisinin esas kurucusu ve temsilcisi Merchant' tır (Akkurt 1985).

Kaldırılacak malzeme tabakası, takımın etkisi altında yüksek plastik şekil değiştirmelere uğramakta, bu şekil değiştirmeler kesme d¼zleminde yoğunlaşmakta ve bunun sonucu olarak talaşa d¼nüşmektedir. Malzemelerin plastik şekil değiştirmelerinin bir ölçütü sertliktir. Sertlik talaş kaldırma işleminde malzemelerin kesmeye karşı gösterdiği direnç olarak açıklanabilir.

Talaş kaldırma işleminde, kesici takımın kesici kenarının hemen önünde, iş parçası üzerinde kesme deformasyonunun temel mekanizması, oldukça karmaşıktır. Kesme esnasında kesici takım ile iş parçası arasındaki bağlı hareket ve takımın iş parçasına bastırılması sonucu kesme deformasyonu (birincil deformasyon) oluşur. Buna bağlı olarak talaş oluşur. Talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken

talaşın takım üzerinde kayması sonucunda ise bu bölgede de ek bir deformasyon (ikincil deformasyon) oluşur.

Bu iki deformasyon oluşumu birbirileri ile ilişkilidir. Malzeme, talaş yüzeyi üzerinden geçerken bu yüzeye sürtünmesi neticesinde ısınır ve plastik deformasyona uğrar. Bu nedenle, ikinci deformasyon kayma düzlemi üzerindeki durumdan etkilenir. Aynı zamanda kayma yönü direkt olarak talaş yüzeyi deformasyonundan ve sürtünmeden de etkilenir. Kayma yönü, birinci deformasyon sırasında meydana gelen talaşın ısınması ve uzamasından da etkilenir. Bunun sonucunda talaş kaldırma teorisine göre kayma gerilmesi ve kayma yönünün eş zamanlı olarak hesaplanabileceği meydana çıkar.

4. TALAŞ OLUŞUMU

4.1. Giriş

Metallerin işlenmesi zordur. Hatta bazı metaller diğerlerine göre çok daha zor işlenirler. Buna karşın, bugün çeşitli boyut ve koşullardaki metaller özenle tasarlanmış kesici kenarlar ve iş parçasına uygun olarak seçilmiş takım malzemeleri sayesinde son derece verimli bir şekilde işlenmektedirler.

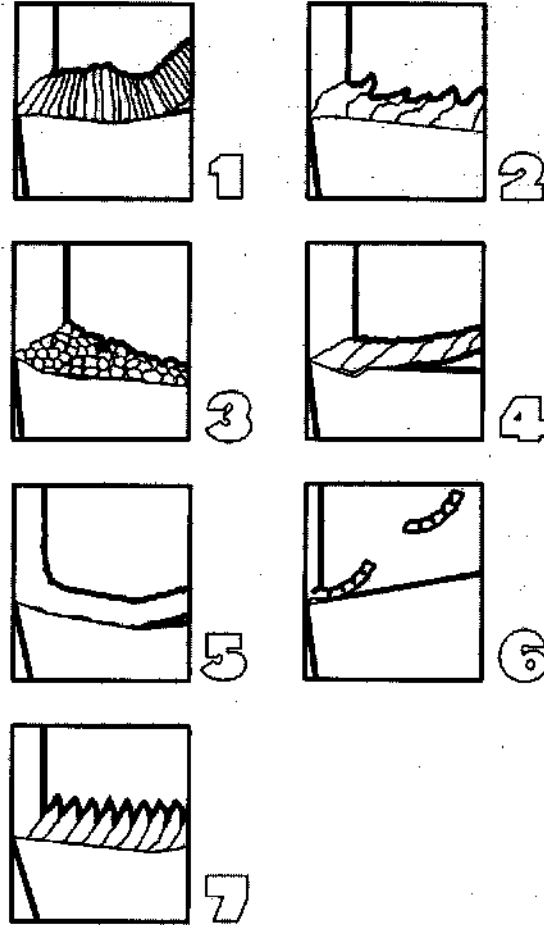
Talaşlı imalat bir talaş oluşturma işlemidir. İşlemin amacı metali belirli bir şekil ve boyuta getirmekse de bu işlemin uygun talaş oluşumunu sağlayacak şekilde yapılması zorunludur. Talaşlı imalat bir talaş oluşturma ve gerekirse talaş kırma işlemidir. Talaş kırma işleminin nedeni sadece işlem sırasında oluşacak talaşın taşınma ve depolanma kolaylığı değil, aynı zamanda kesme bölgesinden uzaklaşan talaşın kontrolü ve işlem sırasında oluşan ısının büyük bir bölümünün bu talaşlarda ortamdaki uzaklaştırılması zorunluluğudur.

Talaş kaldırma işleminin anlaşılabilmesi değişik tipteki metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışlarının anlaşılmasına bağlıdır. Bu işlemin bir kısmı talaş kaldırma işleminin kalitesini etkileyen en belli başlı faktörler olan deformasyon, sıcaklık ve kuvvetlerin belirlenmesi işlemidir. Kesici ucun tasarımında amaç talaş kaldırma esnasında sıcaklığın, kuvvetlerin ve talaş oluşumunun kontrolüdür. Kesici geometrisinin tasarımı aşamasında gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin takım ömrü ve uç mukavemeti üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması gerekir.

Talaşlı imalat alanında en genel halde 7 farklı talaş tipi mevcuttur (Şekil 4.1).
Bu tipler;

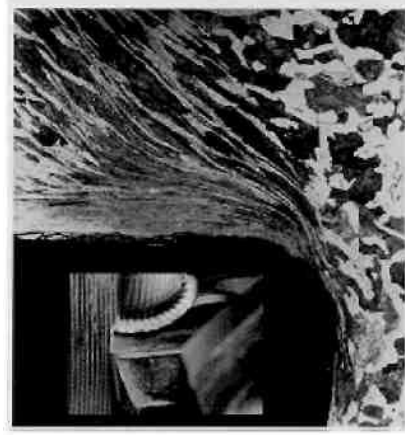
- 1) Birçok çeliklerde olduğu gibi sürekli, uzun talaş
- 2) Paslanmaz çeliklerde olduğu gibi lameller halindeki talaş
- 3) Dökme demirlerde olduğu gibi kısa talaş

- 4) Süper alaşımlarda olduğu gibi değişken, yüksek mukavemetli talaş
- 5) Alüminyumda olduğu yumuşak, düşük mukavemetli talaş
- 6) Sert çeliklerde olduğu gibi yüksek sıcaklık / basınca dayanıklı talaş
- 7) Titanyumda olduğu gibi parçacıklar halindeki talaş



Şekil 4.1. Talaş tipleri (Çakır 2000)

Şekil 4.2' de kesici ucun karbon çeliği bir malzemeden 150 m/dak'lık bir kesme hızıyla talaş kaldırması işleminin büyütülmüş fotoğrafı gösterilmiştir. Hareketsiz bölge kesici kenarın uç kısmını izlemektedir. Yumuşamış metal, yüzey üzerinde yapışma / kayma suretiyle takımı korumaktadır. Akış bölgesi deforme olmuş malzeme ile olmamış malzemeyi gözle görünür bir şekilde ayıran kayma düzleminde hemen sonra başlamaktadır.

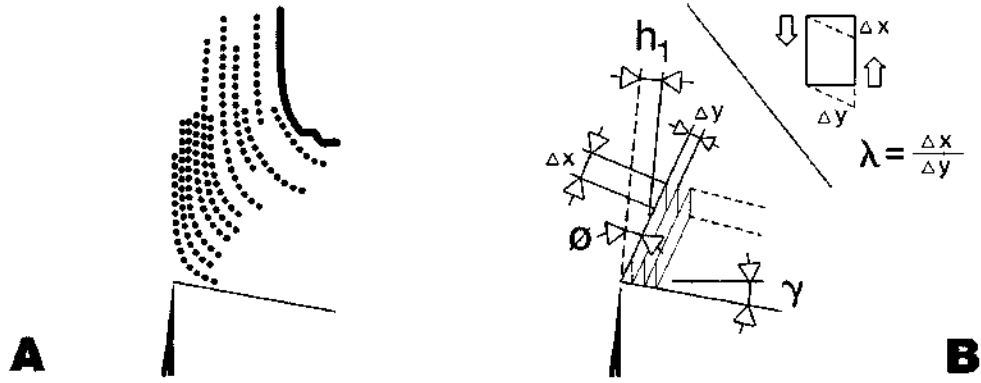


Şekil 4.2. Hareketsiz bölge ve akış bölgesi (Çakır 2000)

Talaş kaldırma plastik deformasyon demektir. Metalin kayma düzlemi boyunca olan plastik davranışı talaşın ve talaş kaldırılan yüzeyin şekil değiştirme sertleşmesi üzerine etkide bulunur. Bu olay metalin yüksek bir sıcaklıkta, sıcak işleme yoluyla plastik deformasyona uğratılması halinde söz konusudur. Deformasyon miktarı takımın talaş açısının büyüklüğüne bağlıdır. Kayma düzlemi iş parçasından kaldırılacak malzemenin talaşa dönüştüğü düzlemdir - malzeme akar ve talaş oluşur.

Kayma açısının talaş ile takım yüzeyi arasındaki temas uzunluğu üzerinde bazı etkileri mevcuttur, bu bölgede kuvvetler ve sıcaklıklar takım önemli ölçüde etkilerler. Talaş oluşumu deforme olmamış talaş kalınlığı / ilerlemeye, talaş açısına ve iş parçası malzemesinin mukavemetine bağlıdır. Talaş oluşumunu talaş kaldırma işlemi esnasında ortaya çıkan eğilme kuvveti etkisiyle tamamlar. Talaşın üst yüzeyi takım ile temas eden alt yüzeyinden kısadır (Şekil 4.3).

Talaşın ilk oluşumunun nedenleri ve etkileriyle (Şekil 4.3 (A)) ilgili bir grup teori geliştirilmiş ve bu teorilerin tümünde talaş oluşumunun kesme hızına bağlı olduğu ortaya konmuştur. Büyük talaş açısı talaşın daha büyük bir yarıçap etrafında daha az kıvrılması ve daha düşük kuvvetler demektir. İdeal bir kesme işleminde oluşan kayma Şekil 4.3 (B) 'de gösterildiği gibi x ve y arasındaki λ oranı ile ifade edilebilir.



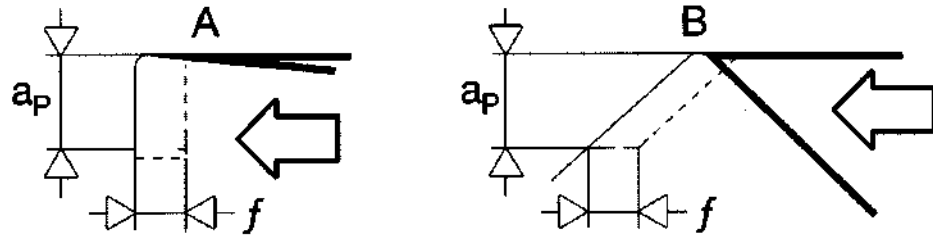
Şekil 4.3. Talaşın oluşumu ve makaslanması (Çakır 2000)

4.2. Talaş Oluşumu

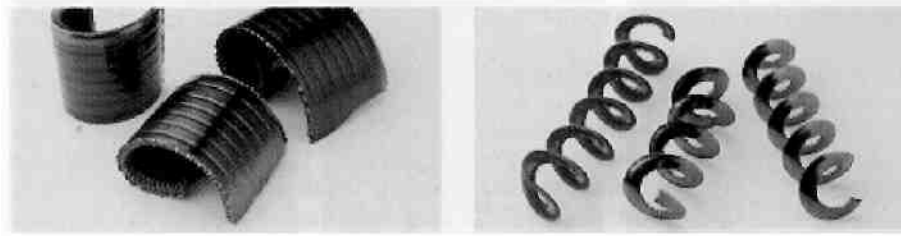
Talaşın şekli önemli ölçüde talaş kaldırılan iş parçası malzemesine bağlıdır. Örneğin, farklı mekanik özelliklere sahip bir orta karbonlu çelik ile bir alaşımlı çelik talaşı karşılaştırıldığında, orta karbonlu çeliğinin daha fazla deforme olduğu ve daha büyük bir kıvrıma sahip olduğu görülür.

Ancak talaş kırma problemi yalnızca çeşitli talaş açısı ve ilerleme değerlerini içeren kombinasyonlarının seçimi ile çözülemez. Yalnızca talaş kırma problemine çözüm teşkil eden çeşitli kombinasyonlardan olumsuz yönde etkilenen diğer talaş kaldırma faktörleri de mevcuttur. Kesme kuvvetleri, takımın mukavemeti, sıcaklıklar ve titreşimler talaş oluşumunda önem kazanan diğer faktörlere örnektir.

İş parçası dönme ekseninin ana kesici kenar ile dik açı yaptığı kesme işlemine ortogonal kesme işlemi denir (Şekil 4.4 (A)). Bu durum talaş kaldırma işleminin basitleştirilmiş hali olup sadece alın tornalama ve kanal açma işlemleri gibi bazı işlemler için geçerli bir durumdur. Birçok talaş kaldırma işleminde kesme yönünün ana kenara dik olmayıp belirli bir açı yaptığı eğik kesme (Şekil 4.4 (B)) söz konusudur ki bu durum takım geometrisini ve talaş akış yönünü değiştirir. Tipik bir kesme işleminde elde edilen saat yayı şeklindeki talaşlar yerine çeşitli boyutlarda dairesel ve helisel talaşlar elde edilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.4. Ortogonal ve eğik kesme (Çakır 2000)

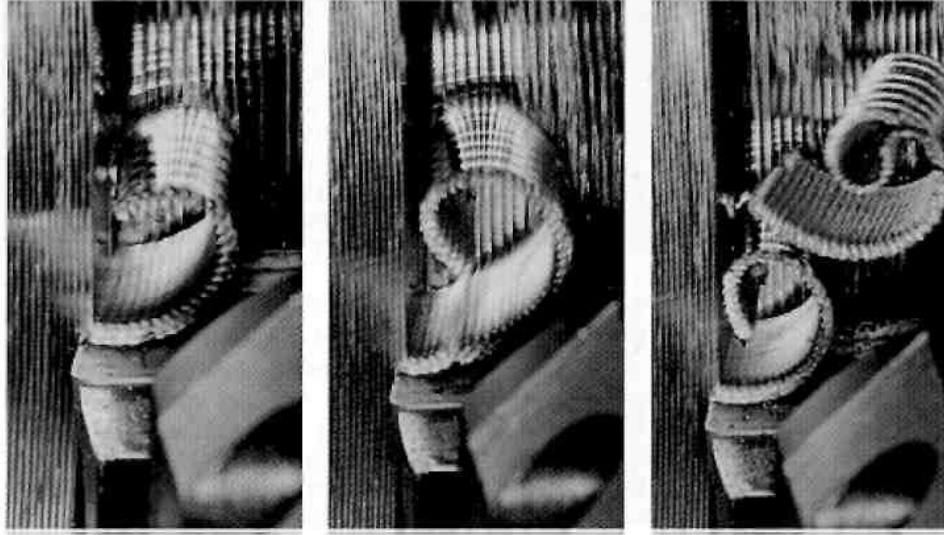


Şekil 4.5. İki temel talaş tipi - dairesel ve spiral talaş (Çakır 2000)

Talaş oluşumu ilk kıvrılma ile başlar ve kesme verileri (özellikle ilerleme ve talaş derinliği), talaş açısı, iş parçası malzemesinin tipi ve koşulları, köşe radüsünün büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir.

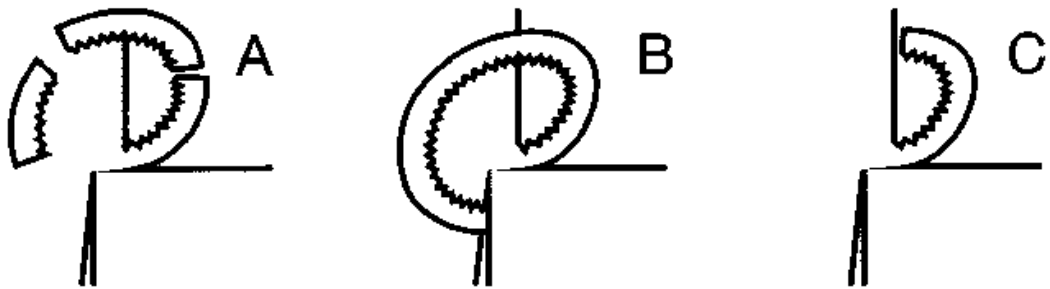
Belirli bir uzunluğa kadar dairesel şekilli veya helisel talaşlar en uygun talaş kesitleridir ve ancak çok iyi tasarlanmış bir kesici geometrisi ile elde edilirler. Şekil 4.6' da tipik bir talaş kırma işlemi gösterilmiştir.

Eğriliği, yönü, helisi ve talaşın şeklini belirleyen kesici kenardır. İnce işlemlerde kullanılan bir kesici uç köşe radüsüyle çalışır, dolayısıyla geometrisinde en önemli bölge ucun köşesidir. Kaba işlemlerde kullanılan uçlarda ise önemli olan tamamıyla talaş yüzeyi üzerindeki geometridir. Bazı kesici uçlar geniş bir çalışma aralığında arzu edilen talaş oluşumunu sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır.



Şekil 4.6. Tipik bir talaş kırma işlemi (Çakır 2000)

Talaşın kırılması için üç farklı yol vardır (Şekil 4.7): kendi kendine kırılma (A), talaş takım tarafından durdurulduğunda kırılma (B), talaş iş parçası tarafından durdurulduğunda kırılma (C). Kendi kendine kırılma işleminde en önemli faktör talaşın uygun bir yöne akışının sağlanmasıdır. Talaşın takıma dayanarak kırılması halinde talaşın kesici kenar üzerine yaptığı darbe olumsuz bir etkidir. Talaşın iş parçasına dayanarak kırılmasının ise talaşın iş parçasının yüzey kalitesini etkilemesi veya tekrar kesme bölgesine düşmesi halinde olumsuz bir etkisi vardır. Kontrol edilemeyen talaş takımının ani kırılmasına, tezgâhın durmasına ve işçinin yaralanmasına neden olacaktır, bu nedenle talaş kontrolünün mutlaka sağlanması gerekir.



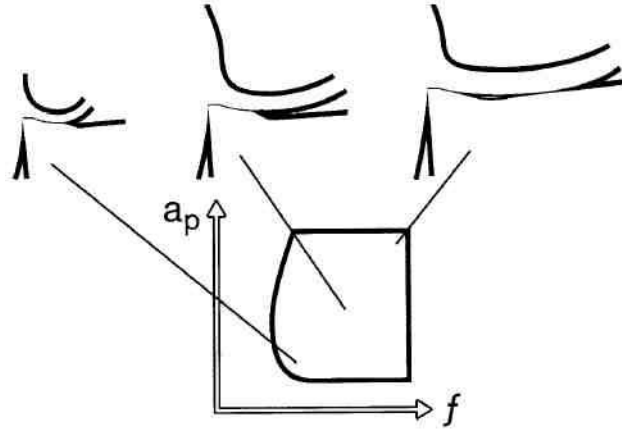
Şekil 4.7. Talaş kırılma biçimleri (Çakır 2000)

Kısa talaş oluşturan malzemeler hiç bir talaş kırıcıya gereksinim göstermezler. Bazı uzun talaş oluşturan malzemelerin işlenmesinde ise kesici uç geometrisi üzerindeki talaş kırıcılar talaşı deforme ederek kırarlar. Talaşın ilk kıvrımı birçok durumda talaşın arzu edilen uzunluklarda kırılması için yeterli değildir. Bir talaş kırıcı en basit haliyle talaş akışını engellemek için kenar üzerinde oluşturulmuş bir engeldir. Bugün kullanılan modern kesici uçların öncesinde talaş kırıcılar taşlama ve daha sonra kesici uç üzerine preslenme yoluyla oluşturulmuşlardır. Modern değiştirilebilir kesici uçlar kesme işlemi boyunca talaş oluşumunun, temas uzunluğunun, talaş kırma işleminin optimize edilmesini sağlayacak açılar, düzlem yüzeyleri ve yarıçapları içeren karmaşık bir geometriye sahiptirler.

Talaş kontrolü özellikle tornalama ve delme işlemlerinde en önemli faktörlerden biridir.

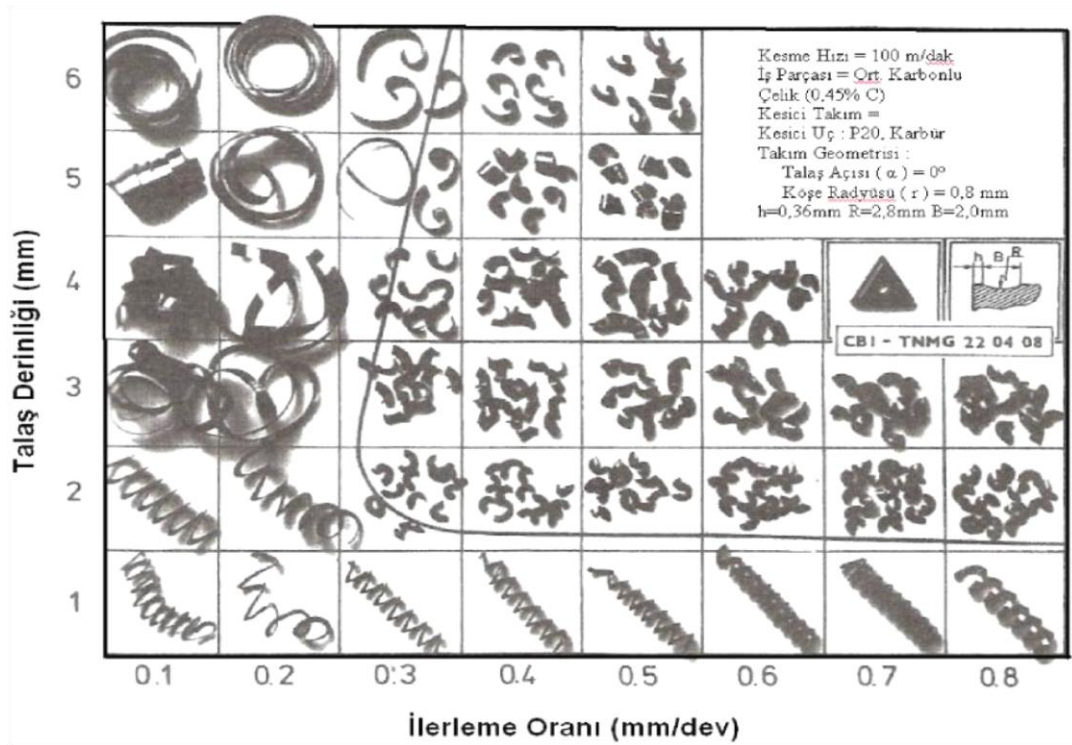
Talaş oluşumunu belirleyen pah, talaş açısı ve talaş kırıcının çeşitli kombinasyonları ile çok değişik kesici kenar tasarımları gerçekleştirilebilir. Ancak bu tasarımların geniş uygulama alanlarında uygun talaş oluşumuna, özellikle temas alanı boyunca optimize edilmiş bir talaş kaldırma işlemine olanak sağlamaları gerekir. İşleme esnasında ortaya çıkan kuvvetler ve basınçlar kesici kenar geometrisinden etkilenirler. Pratikte kesici kenar geometrisinin performans, takım ömrü, güvenilirlik, güç gereksinimi ve talaşın şekli üzerinde büyük etkisi vardır.

Talaş kırıcının tasarımı kesici kenarın değişik ilerleme ve talaş derinliklerinde talaş oluşturma kabiliyetini belirler. Bazı tasarımlar kesici kenarı küçük ilerlemeler ve talaş derinliklerinin söz konusu olduğu küçük bir çalışma alanı ile sınırlarken, bazıları talaş kırma işleminin uç kısımda ve tüm talaş yüzeyi boyunca gerçekleştirildiği daha büyük uygulama alanlarını içerirler (Şekil 4.8). En küçük talaş derinliklerinde talaşı köşe radüsü üzerindeki bir talaş kırıcı oluştururken ilerlemenin artırılmasıyla ana kesici kenar da talaş kaldırma işlemine katılır. En büyük talaş derinliklerinde talaşı oluşturan kesici ucun talaş yüzeyi üzerindeki geometridir.



Şekil 4.8. Talaş kırma alanı (Çakır 2000)

Bu yolla kesici uç için uygun talaş oluşumunu sağlayan kesme verilerini içeren bir çalışma alanı belirlenir. Bu alanın dışındaki talaşlar genellikle uzun şeritler veya aşırı sıkıştırılmış, kalın talaşlardır (Şekil 4.9).

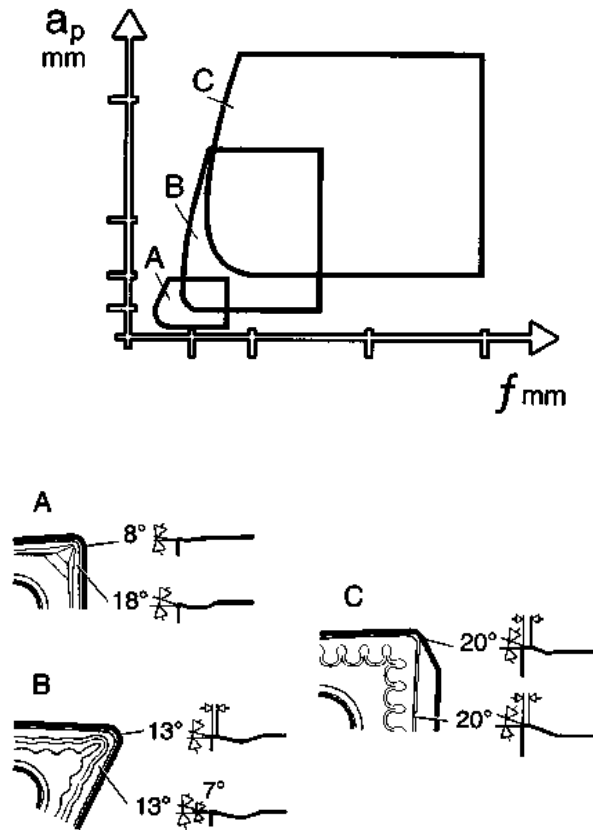


Şekil 4.9. Farklı talaş derinliği / ilerlemeler için talaş tipleri (Trent&Wright 2000)

Sonuç olarak, köşe radüsü üzerindeki geometri farklı iş parçası malzemeleri ve farklı ilerlemelerde talaş kaldırma işlemi üzerinde farklı etkilerde bulunur. Büyük talaş derinliklerinde kullanılmak amacıyla tasarlanan bir kesici kenar için kenar dayanımının mutlaka dikkate alınması gerekir.

Kesici ucun şekli kesici ucun çift taraflı mı yoksa tek taraflı mı olacağını da belirler. Çift taraflı bir kesici uç yeterince büyük bir destek yüzeyine sahip olmalıdır. Şekil 4.10' de (A) ve (B) çift taraflı, (C) tek taraflı bir kesici uçtur.

Modern kesici uç programlarında mevcut bir kaç tip kesme geometrisi genellikle işlem tiplerinin, malzemelerin, koşulların büyük bir çoğunluğu için uygundur. Çok sıkı toleranslar ve son derece iyi yüzey kalitesi sağlayan, çok ince, orta kaba, kaba ve çok kaba talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesici uçlar kataloglarda mevcuttur.



Şekil 4.10. Tek ve çift taraflı kesici uçlar (Çakır 2000)

5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ ve KAPLAMALARI

5.1. Giriş

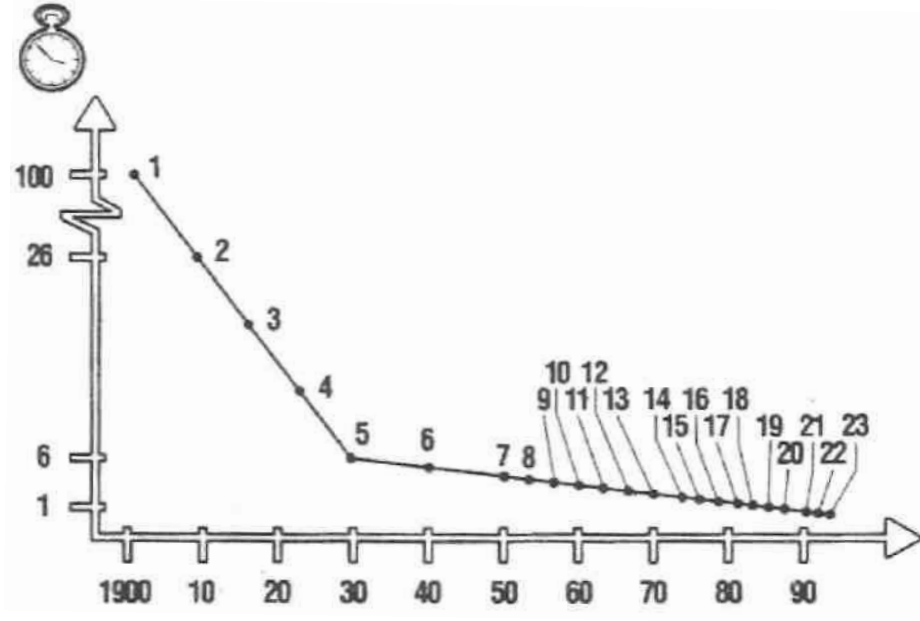
Bugün her türlü talaş kaldırma işlemi için belirli bir iş parçası malzemesini, belirli koşullar altında, en iyi şekilde işleyecek bir takım malzemesi mevcuttur. 'Yüzyılın başında hız çeliklerinin bulunmasıyla gelişimine başlayan takım malzemeleri 1960'larda 100 dakika olan işleme zamanını 1 dakikanın altına indirmişlerdir.

1. Karbon çeliği	13. Kaplamalı karbürler (GC)
2. Yüksek hız çeliği (HSS)	14. Çok kristalli elmas (PCD)
3. Döküm alaşımları	15. Kübik bor nitrür (CBN)
4. İyileştirilmiş HSS	16. Çok katlı kaplamalı karbürler
5. Dökme Demir için sinterlenmiş karbür (C)	17. Delme için kaplamalı karbürler
6. Çelik için sinterlenmiş karbür	18. Frezeleme için kaplamalı karbürler
7. Değiştirilebilir sint. karbür uçlar	19. Paslanmaz için kaplamalı karbürler
8. Seramikler	20. Coronite (N)
9. Sentetik elmaslar	21. İyileştirilmiş sermetler
10. İyileştirilmiş sint. karbürler	22. Vida çekme için kaplamalı karbürler
11. Sermetler (CT)	23. Yeni nesil sinterlenmiş karbürler
12. Özel sinterlenmiş karbürler	

Şekil 5.1. Talaşlı imalat alanında kullanılan kesici takımlar

Talaşlı imalat alanında kullanılan kesici takımların büyük bir çoğunluğu Şekil 5.1'de liste halinde verilmiş ve bu takım malzemeleri sayesinde işleme zamanındaki azalma bir grafik (Şekil 5.2) üzerinde gösterilmiştir. Grafikte her ne kadar hız

çeliklerinin, sinterlenmiş karbürlerin ve kaplamalı sinterlenmiş karbürlerin performansta sağladıkları büyük artış net olarak gösterilmemişse de gelişen takım malzemeleri sayesinde işleme zamanının azaldığı açıkça görülmektedir. Grafikte dikey eksen de işleme zamanları verilmiştir.

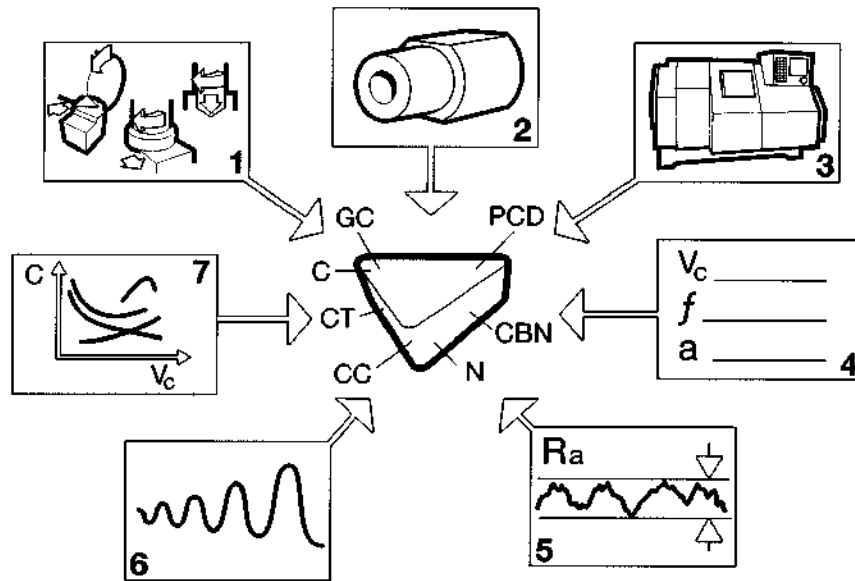


Şekil 5.2. Kesici takım malzemelerinin gelişimi ve işleme zamanı

Kesici bir takım metali o metalden daha sert olduğu için keser. Bir işlem için uygun kesici takımın seçimi, takım malzemesi ve geometrisinin yanı sıra aşağıdaki faktörlerden etkilenir (Şekil 5.3):

- İşlemin tipi
- İş parçasının şekli ve malzemesi
- Takım tezgâhı
- Kesme verileri
- Arzu edilen yüzey kalitesi
- Genel rijitlik
- İşleme maliyetleri

İşlem ile ilgili faktörler işlemin kaba veya ince, sürekli veya kesintili bir işlem olup olmaması ve işleme payları ile ilgilidir. İş parçası genellikle malzemesi, malzemenin yapısı, sertliği, mukavemeti, malzeme afinitesi, yüzey yapısı ve içerisinde bulunan sert parçacıklar ile karakterize edilir. Takım tezgâhı için çalışma koşulları, güç, rijitlik, sistemde mevcut mekanizmalar, kesme hızı ve ilerleme kapasitesi ve iş parçası tespit yöntemi dikkate alınmalıdır. Kesme verileri sıcaklığa ve kesici kenar üzerindeki gerilmelere, dolayısıyla takım malzemesine etkiye bulunurlar. Arzu edilen yüzey kalitesi, bazı takım malzemelerinin diğerlerine göre daha iyi bir yüzey kalitesi sağlamaları nedeniyle takım malzemesine bağlıdır.



Şekil 5.3. Takım seçimini etkileyen faktörler (Çakır 2000)

Bugün kesici takım malzemelerinin daha yüksek ilerleme ve kesme hızlarında talaş kaldırmaları için önem taşıyan üç ana özellik vardır:

- Aşınmaya karşı dayanma kabiliyeti (aşınma direnci)
- Kırılmaya karşı mukavemet (tokluk)
- Yüksek sıcaklıklarda sertliği ve kimyasal kararlılığı koruma (kızıl sertlik)

Aşınma direnci (WR): Çeşitli aşınma tiplerine olan dayanma kabiliyeti olarak tanımlanır.

Tokluk (T): Genellikle eğilme direnci, kırılma direnci gibi çeşitli şekillerde ifade edilir. Ölçümlerin oda sıcaklığında yapılması nedeniyle talaş kaldırma işlemi esnasındaki durum ile ilgili tam bir bilgi vermez ve kenar yuvarlatmasının etkisini göz önüne almaz.

Kızıl sertlik (HH): Yüksek kesme hızlarının bir sonucu olan yüksek sıcaklıklar nedeniyle son derece önemlidir.

Takım malzemesinin doğru seçimi ekonomik bir talaş kaldırma işlemi için son derece önemlidir. Takım tezgâhının kırılmış veya aşınmış takımlar nedeniyle durması verimliliği sınırlayan en belli başlı nedenlerdendir. Bu nedenle takım malzemesinin ve doğru takım kalitesinin seçimi çok önemlidir.

İdeal takım malzemesi şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Sert olmalı, serbest yüzey aşınmasına ve deformasyona dayanmalıdır.
- Yüksek tokluğa sahip olmalı, çatlaklara ve kırılmaya direnç göstermelidir.
- İş parçası ile kimyasal reaksiyona girmemelidir.
- Kimyasal açıdan kararlı olmalı, oksidasyona mukavemeti yüksek olmalıdır.
- Isıl şoklara karşı iyi bir dirence sahip olmalıdır.

5.2. Sinterlenmiş Karbür

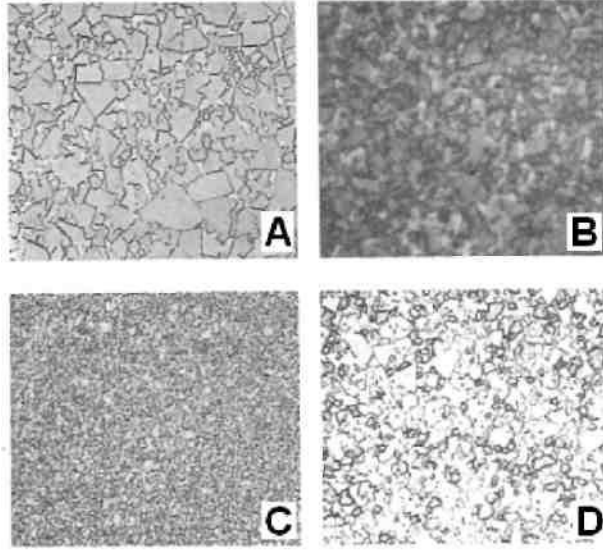
Sinterlenmiş karbür, sert karbür parçacıklarının ve parçacıklar arasında bulunan bir bağlayıcının sinterleme yoluyla bir araya getirilmesi sonucu elde edilir. Sinterlenmiş karbür bir bağlayıcı içerisindeki farklı karbürlerden oluşmuş bir toz metalürjisi ürünüdür. Bu karbürler çok sert olan tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantal karbür (TaC), ve niyobyum karbür (NbC) 'dür. Bağlayıcı olarak genellikle kobalt (Co) kullanılır.

Sinterlenmiş karbürler sahip oldukları özellikler açısından farklılıklar gösterirler, bazıları diğerlerinden daha sert, bazıları da ise daha toktur. Sinterlenmiş karbür uçların kaliteleri genellikle aşağıdaki özelliklere bağlı olarak belirlenir:

- Sert parçacıkların tipi ve büyüklükleri
- Bağlayıcının tipi ve oranı
- Üretim teknikleri
- Kalite

Metallerle, örneğin çeliklerle karşılaştırıldığında sinterlenmiş karbürler çok daha sert, çok daha yüksek basma mukavemetine sahip, ancak çekme mukavemeti açısından çok daha zayıf malzemelerdir. Yoğunlukları hemen hemen çeliklerin yoğunluğunun iki katıdır - bu durum titanyum esaslı kaliteler (sermetler) için doğru değildir, bu kaliteler daha hafiftir. Katılıkları çok daha yüksektir, elastisite modülleri çeliklere göre iki veya üç kat daha yüksektir - bu nedenle sinterlenmiş karbürler uzun delikler için delik kateri malzemesi olarak kullanılırlar, bu durumda sehim minimumdur. Isıl iletkenlik katsayıları çeliğinkinin yaklaşık yarısı kadardır - bu nedenle geçmişte sinterlenmiş karbürlerin lehimlenmesi son derece zor olmuştur. Şekil 5.4' te çeşitli sinterlenmiş karbür yapıları gösterilmiştir. Şekilde (A) α ve β fazları kaba taneli (ISO K20), (B) α ve β fazları ince taneli (ISO K10), (C) α , β ve γ fazları ve büyük bir miktar bağlayıcı içeren (ISO P40), (D) kaba taneli α , β ve γ fazları ve küçük bir miktar bağlayıcı içeren (ISO P10) yapıları göstermektedir.

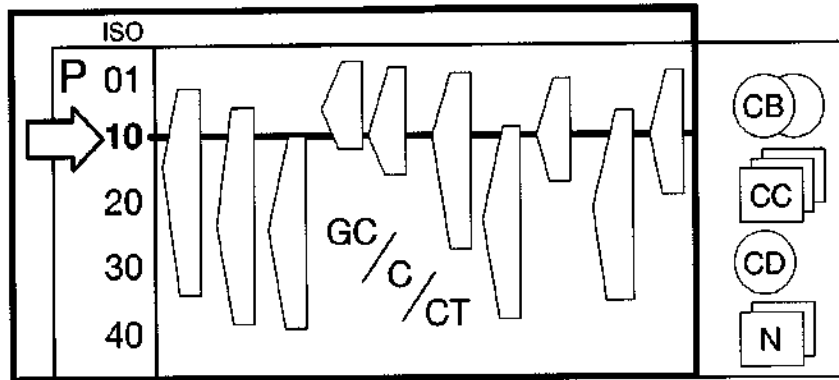
Sinterlenmiş karbürlerin çok geniş uygulama alanları vardır. Kaplamalı ve kaplamasız olarak, iş parçası malzemelerin büyük bir çoğunluğunun işlenmesinde başarıyla kullanılabilirler.



Şekil 5.4. Çeşitli sinterlenmiş karbür yapıları (Çakır 2000)

5.3. Sinterlenmiş Karbürlerin Sınıflandırılması




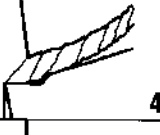

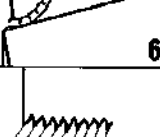

Birçok farklı sinterlenmiş karbür kalitesi üretilmiştir. Bu kalitelerin işlem, koşul ve malzemeler ile ilişkilendirilmesi için bir sınıflandırmaya gereksinim vardır. Farklı uygulama alanları ve iş parçası malzemeleri için farklı kaliteler geliştirilmiştir. Uygulama alanları grafik olarak sivri ucun en uygun kaliteyi gösterdiği dikdörtgen kutular ile temsil edilirler (Şekil 5.5)



Şekil 5.5. Uygulama alanları ve kaliteler (Çakır 2000)

Ana iş parçası malzemesi tipleri ve ilgili CMC (Coromant Malzeme Sınıflama) kodları aşağıdaki gibidir (Şekil 5.6):

1. Birçok çelikte olduğu gibi uzun talaş oluşturan malzemeler
2. Paslanmaz çelikler
3. Dökme demir gibi kısa talaş oluşturan malzemeler
4. Nikel esaslı alaşımlar gibi ısıl dirençli malzemeler
5. Alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemeler
6. Çil dökme demir gibi sert malzemeler
7. Titanyum

ISO		CMC
P		01 02 03 06
M		05 02
K		07 08 09
M		20 08 09
K		30 33
K		04 10
M		23

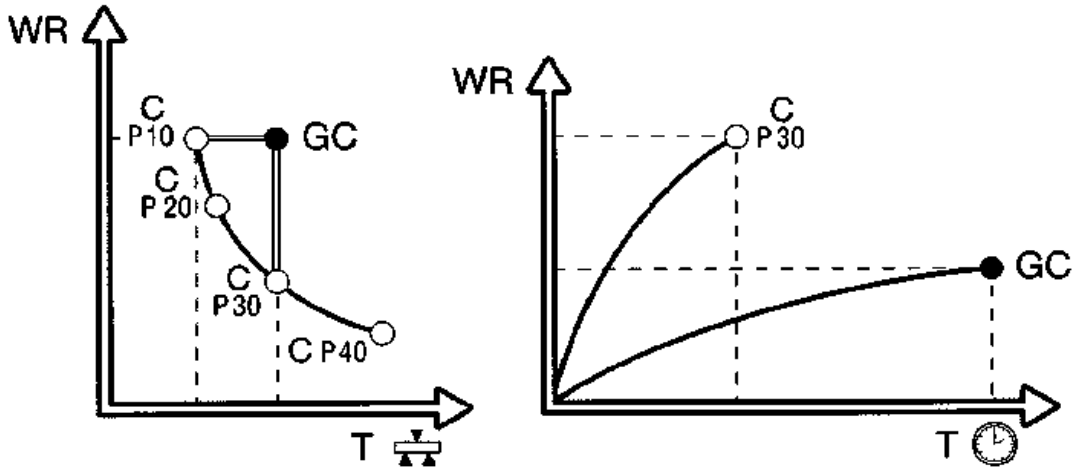
Şekil 5.6. İş parçası malzemesi tipleri (Sandvik 1994)

ISO sınıflandırma sistemi takım seçiminde sadece seçime hangi kaliteden başlanacağı hakkında bilgi verir. Bundan sonra yapılacak kesici takım üreticilerinden temin edilen malzeme tanımları kullanılarak uygun kalitelerin belirlenmesidir.

ISO sınıflandırma sistemi sadece sinterlenmiş karbürler ile ilgilidir, bu nedenle seramik, coronite, CBN, PCD gibi takım malzemeleri ile bazı iş parçası malzemelerini içermez (bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.)

5.4. Kaplamalı Sinterlenmiş Karbürler

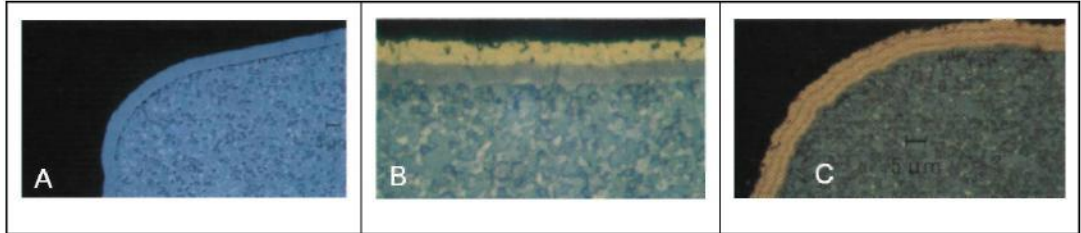
Kaplamalı karbürlerin (GC) bulunması sonucunda tokluğun artmasıyla aşınma direncinin düşmesi gerektiği düşüncesi ortadan kalkmıştır. İlk ortaya çıkmalarından itibaren kaplamalı karbür malzemelerde elde edilen iyileştirmeler sonucu bu malzemeler en fazla kullanılan takım malzemeleri haline gelmişlerdir. Bugün, tornalama işlemlerinin % 75 'i, frezeleme işlemlerinin % 40 'dan fazlası kaplamalı karbür takımlar ile yapılmaktadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Kaplamalı ve kaplamasız karbürlerin karşılaştırılması (Çakır 2000)

Tornalama işlemleri için ilk seçilecek sinterlenmiş karbür kaliteleri kaplamalı olanlardır. En belli başlı kaplama malzemeleri titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN), alüminyum oksit - seramik (Al_2O_3) ve titanyum karbonitrür (TiCN) 'dür. Titanyum karbür ve alüminyum oksit yüksek aşınma direnci sağlayan, kimyasal olarak başka malzemelerle reaksiyona girmeyen, takım ile talaş arasında kimyasal ve ısıl bir kalkan oluşturan, çok sert malzemelerdir. TiN o derece sert malzeme olmamasına karşın kesici ucun yüzeylerinde daha düşük sürtünme katsayısı ve daha iyi krater aşınması direnci sağlar. TiN 'in altın sarısı bir rengi vardır. Kesici takıma TiCN ve TiAlN gibi düşük bir sıcaklıkta uygulandığı için tungsten karbürün yapısını fazla etkilemez.

Kaplamalı sinterlenmiş karbür uçlar tornalama, frezeleme ve delme uygulamalarının büyük bir çoğunluğunda, çok çeşitli iş parçası malzemesi için ilk tercih edilecek uçlardır. Kaplama tabakaları tek veya daha fazla katmandan oluşabilirler. (Şekil 5.8)

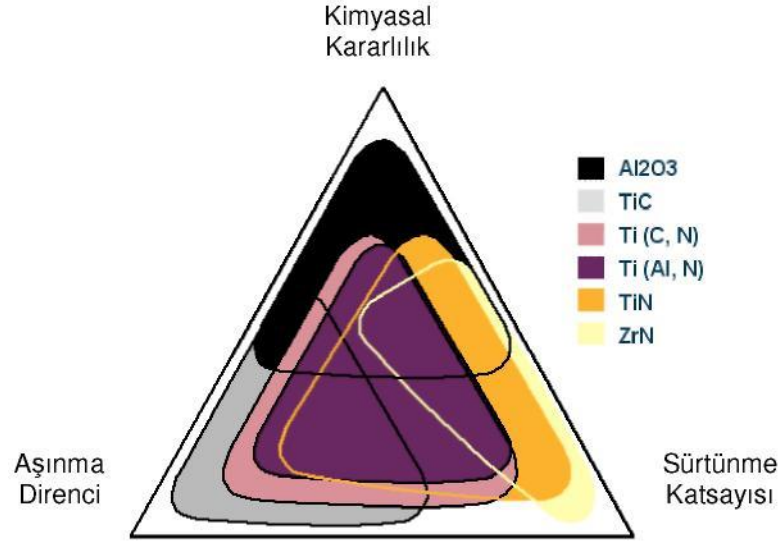


Şekil 5.8. A – Tek, B – İki, C – Çok katlı katmanlar (Sandvik 1994)

5.5. Kaplamalar ve Kaplama Teknolojileri

Sert kaplamalar özellikle takımın aşınmasını geciktirdiği ve takım ömrünü arttırdığı için büyük ilgi çektiler. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 6 kaplama tipi mevcuttur. Bunlar; TiN (Titanyum Nitrür), TiC (Titanyum Karbür), TiCN (Titanyum Karbonitrür), TiAlN (Titanyum Alüminyum nitrür), Al₂O₃ (Alüminyum Oksit) ve CrN (KromNitrür). Her biri farklı mekanik, kimyasal ve termal özellikler sunarlar. Uygulamada bu kaplama malzemelerine, sahip oldukları özellikler çerçevesinde bir değerlendirme yapılmalıdır.

Kaplamalı takımların ortaya atılmasından sonra bir ölçüde bu konuda bir başarı sağlanmış, hem sert hem de tok bir yapı elde edilmiştir. Fakat frezeleme, tornalama, delik delme, delik işleme, planya ve vargel gibi farklı işlemler için ortak bir takım malzemesinin bulunmasının, her işlem için farklı takım özellikleri gerektiği dikkate alındığında, çok kompleks bir konu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.9. Kaplama tabakalarının özellikleri (ISCAR 2000)

Yaygın olarak kullanılan kaplama malzemelerinden biri olan TiN, kaynak oluşumu şeklinde oluşan aşınmayı azaltır ve talaş ile sert metal uç arasında sürtünmeyi önleyici bir ara tabaka gibi rol alır. Oksidasyon direncinin gerekli olduğu ve termal yüklerin ön planda bulunduğu uygulamalarda TiAlN kullanılmaktadır. Abrazyonun baskın olduğu veya sert metallerin işlendiği uygulamalar için TiCN kaplamalar tercih edilir. Kimyasal kararlılık ve yüksek sertlik gerektiğinde ise Al₂O₃ seçilir. Çok katlı kaplamalarda ise her kaplama tabakasının özelliği belli oranda takım performansını olumlu etkilemektedir. (Şekil 5.9)

Yüze kaplama yapılmasında bir gaz fazın sert metal üzerine yoğunlaşması esası kullanılır. 1970'lerde Gamma kaplama adı ile ortaya çıkan ilk kaplama sinterlenmiş karbür üzerine CVD yöntemi ile birkaç mikron kalınlığında çok ince taneli TiC kaplanmasıydı. CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) ve PVD (fiziksel buhar biriktirme) en önemli kaplama teknikleridir. Düşük sıcaklıkta uygulanması PVD için avantaj olsa da CVD kaplamaların yapışma özellikleri daha iyidir. Bu kaplamalarla aynı temel prensibe sahip fakat geliştirilmiş kaplama teknikleri de mevcuttur. Plasma CVD, Magnetron Püskürtme PVD gibi.

5.5.1. ETA Fazı

Takım kaplayıcıları farklı kaplamaları çok katmanlı şekil içinde birleştirerek daha yüksek performans seviyeleri elde etmekte. Çok katlı kaplamaların çıkış noktası, bütünün, kendini oluşturan parçalardan daha kuvvetli olması ilkesine dayanır. Buna rağmen farklı kaplama kombinasyonları her zaman performans artışını garanti edemezler. Birçok kaplamanın başarısı biriktirme işlemi esnasında oluşan eta fazına bağlıdır.

Kaplamanın kesici takım performansı üzerindeki etkisini belirleyen faktörlerden biri tane boyutudur. İnce taneli kaplamalar kaba tanelilere göre daha iyi aşınma direnci gösterdikleri bulunmuştur. Tane yönlendirmesinin kaplama performansını etkilediği bilinmektedir. Performansı tane boyutundan ve tane yönlenmesinden daha fazla etkileyen bir diğer faktör ise kaplamanın yapışmasıdır. Teknik olarak dile getirilirse, kaplamanın yapışkanlığı, prosesin ilk aşamasında sinterlenmiş karbür takımın yüzeyinde oluşan ara yüzeysel reaksiyonların oluşumuna bağlıdır. Daha kuvvetli yapışkanlık, daha uzun takım ömrü demektir. Eğer yapışma kötü olursa, kaplamalı karbür kaplanmamış karbür kadar bile performans gösteremeyebilir çünkü kaplama işlemi sırasında takım ana malzemesinde değişiklik olabilir. Belirli kaplama şartları altında karbon ana malzemedan ayrılabilir. Bundan dolayı da ana malzemeyi zayıflatır. Bu ana malzemedan karbon taşınımı ve oluşturduğu boşluk genellikle eta fazı olarak adlandırılır. Eğer kaplama ana malzemesinin bu zayıflığını kapatacak (yapıya ilave olup takımın tüm dayanımlarının artırılması) şekilde iyi yapılmazsa, sonuç düşük performans ve düşük takım ömrü olabilir.

Kimi kaplama üreticileri eta fazının önlenmesinin kontrol edilmesinden daha iyi olduğunu düşünüyorlar. Bunlara göre eta fazının oluşmasını önlemek için, PVD kaplamaları CVD kaplamalara tercih ediyorlar. Çünkü PVD işlemi klasik CVD işleminden çok daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir ve ana malzemeyle kimyasal bir reaksiyon gerektirmez, ana malzemedan karbon difüzyonu gerçekleşmez. Karbon difüzyonu olmadan da eta fazı oluşmaz. Buna rağmen CVD genellikle PVD den daha

iyi kaplama yapışması sağlar. PVD kaplama yönteminin CVD yöntemine alternatif olarak seçilmesinde bazı nedenler vardır. PVD takıma düşük sıcaklıklarda uygulanır, PVD daha incedir ve keskin kenarlar için bazen daha uygundur. Fakat yapışmanın daha iyi olması istendiği yerlerde eta fazının olmaması nedeniyle uygun çözüm değildir.

Çok katlı CVD kaplamalar ile bazı takım kaplayıcılar, eta fazının oluşumunu önlemek için taban tabaka olarak TiC yada TiCN den farklı olarak başka malzeme tabakalarını seçerler. Örneğin TiN gibi malzemenin taban tabaka olarak kullanımı ana malzemedan kaplama içine karbon difüzyonunu önler. Ana malzemedan karbon difüzyonu olmadığı için biriktirme başlangıcında sinterlenmiş karbür yüzeyinde ara yüzeysel reaksiyonlar oluşmaz. Ara yüzeysel reaksiyonların olmaması nedeniyle, bu alt kaplama tabakası bağlı PVD ile oluşan bağa benzer.

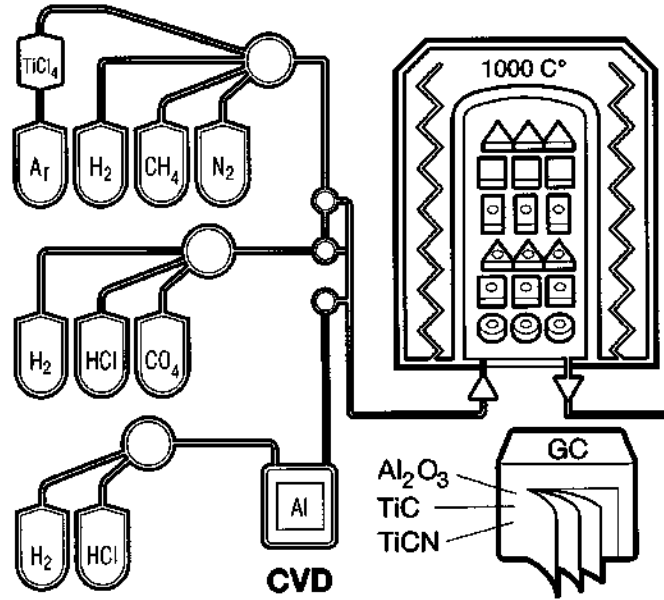
Birçok faktör kaplama işlemi seçiminde dikkate alınmalıdır. İlk ve en önemli olan faktör, kaplamanın kullanılacağı uygulamalardır. Bu CVD ya da PVD işlemlerinde hangisinin uygun olacağını belirler. İkinci faktör ise kaplama tabakalarının seçimidir. TiC veya TiCN' ü taban tabaka olarak kullanmak ve eta fazının mükemmel kontrolü, ana malzeme ile en yüksek seviyede yapışmayı sağlar. Eta fazını kontrol eden faktörler de incelenmelidir. Eta fazını minimize etmek ve oluşumunu tam olarak kontrol etmek için, uygun kaplama fırınları ve bilgisayar kontrollü işlemlerin kullanılması gerekir. Eğer fırın ya da bilgisayar işlemleri dekarbürizasyon şartlarını oluşturuyorsa oluşan aşırı eta fazı takım ömrünü ve performansını arttıran kaplama işlemi olumsuz etkiler. Hatta kaplanmamış takımda daha kısa takım ömrüne neden olur. Bunun tersi olarak da eğer eta fazı oluşumu kontrol edilirse, ana malzemeyle, eta fazı olmaması durumunda, daha iyi yapışma sağlanır, daha uzun takım ömrü elde edilir. Eta fazı oluşumunu kontrol etmek için işlemde insan faktörünü ortadan kaldırıp maksimum bilgisayar kontrollü sistemi devreye sokulması gerekir. Bilgisayarlaştırılmış işlem kontrolleri, uygun eta fazı oluşumu için uygun imkânlar sunarlar.

5.5.2. Kimyasal Buhar Biriktirme CVD (Chemical Vapour Deposition)

Kimyasal buhar biriktirme olarak adlandırılan bu yöntem genelde yüksek sıcaklık gerektirir. Temel prensip, buhar fazının aktive edilmiş (genelde ısıtılmış) malzeme üzerine kimyasal reaksiyonlar sonucu biriktirilmesine dayanır. Kaplamalar genellikle yüksek derecede saflık gösterirler, çok homojendirler ve iyi yapışma özellikleri vardır. CVD işleminde gazlı kimyasal reaktantlar (tepki veren gazlar), reaksiyon odasına taşınırlar. Burada aktive edilirler ve ana malzeme yüzeyinde katı biriktirme oluşturan reaksiyonlar meydana gelir. Kaplanacak malzemenin aktive edilme şekline göre termal CVD (klasik CVD, sıcaklıkla aktive edilen), HF-CVD (sıcak telle aktive edilen), PA-CVD (plasma destekli CVD, radyo frekansı, mikrodalga ile aktive edilen) CVD yöntemleri birbirinden ayrılırlar. CVD işlemleri çok katlı kaplamalarda başarı ile uygulanan bir yöntemdir. (Şekil 5.10)

CVD teknolojisi daha iyi bir yapı elde edilmesi için kullanılan bir kaplama teknolojisidir. Bu teknolojiye çok üstün bir aşınma direncinin sağlanmasının yanı sıra kenarın tokluğunun korunması da söz konusudur.

Kaplamalı takımların ilk gelişimi, karbür uçlar üzerine çok ince sert bir tabakanın CVD metoduyla kaplanmasıdır. Bu işleme, 1970'li yıllarda başlanmıştır. CVD işlemi, buhar aşamasından çıkan katı malzemenin bir dizi kimyasal reaksiyon sonucu ısıtılmaya yakın malzeme üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanır. CVD işlemleri tek element veya bileşiklerinden yapılan kaplamaların üretilmesindeki kullanışlılığı nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılır. Kaplamalar genellikle yüksek derecede saflık gösterirler ve çok homojendirler. İnce kaplamalar bu tarzda birkaç olağanüstü niteliğe sahip özellikler gösterir. Bunlardan bazıları şunlardır; İşleme sırasında kaplamalar yağlayıcı madde görevindedirler, sürtünme katsayısı azalmaktadır böylece aynı zamanda aşınma dayanımı için artı değer oluşur. Bundan dolayı CVD kaplanmış sert metal kesici takımlarda takımın desteklenme süresinde çok büyük artışlar görülmektedir. Bunun yanı sıra kimyasal endüstrisinde çok yararlıdır.



Şekil 5.10. Kimyasal buhar biriktirme (Çakır 2000)

CVD metodu, mevcut olan birçok uygulama doğrultusunda yeterli olarak kullanılmaktadır. CVD çok yönlüdür, şartlara uyar, basittir, tekrarlanabilir, verimlidir ve maliyeti düşüktür.

CVD kaplama, bugün hemen hemen tüm kesici uç malzemeleri için yaygın olarak kullanılabilen bir yöntemdir. Kaplama tabakası uniform ve homojen, kaplama tabakaları ve ana malzeme arasındaki yapışma mükemmeldir. Tok bir ana malzeme üzerine kaplanan alüminyum oksit, kaplamalı kesici uca yüksek performans ve güvenilirlik sağlar.

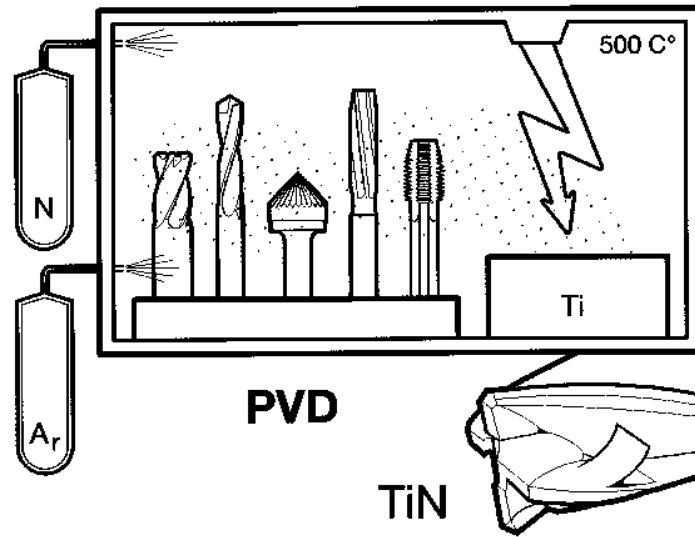
5.5.3. Fiziksel Buhar Biriktirme PVD (Physical Vapour Deposition)

1950'li yılların sonunda üretimlerin artırılması amacıyla hızlı çalışan tezgâhlar üretilmiştir. Bu tezgâhların üretilmesiyle teknik adamların karşısına özellikle sert metal takımların ömrünün nasıl arttırılabileceği sorusu çıkmıştır. Söz konusu takımların ömrünü arttırarak, makine durma sürelerini en aza indirmek için yapılan araştırmalar sonucunda takımların üzerlerine TiN, TiC v.s. gibi sert tabakalar kaplanmaya başlandı. Bu çözüm sert metaller için uygun olmasına karşın ısı işlem görmüş takım çeliklerinde iyi sonuç vermedi. Bunun nedeni CVD (Chemical Vapour

Deposition) adı verilen yöntemle 1000 – 2000 °C gibi sıcaklıklarda kaplama yapılabildiği için hassas olarak işlenen ısıI işlem görmüş takım çeliklerinde (soğuk iş çelikleri, sıcak iş çelikleri ve yüksek hız çelikleri), sertlik kaybına ve ölçülerin değişmesine neden olmaktadır.

Alternatif kaplama teknikleri aranırken 1960'lı yılların sonunda Amerika' da ION - PLATING adlı bir PVD metodu geliştirildi. Bu metot 200 – 500 °C arasındaki sıcaklıklarda, ısıI işlem görmüş takım çeliklerini kaplama imkânı sağladı. Fakat tekniğin laboratuvar aşamasından, sanayiye geçerek teknolojik anlamda kaplama yapılması 1970'li yıllarda ION - BOND metodu ile mümkün oldu.

PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemi sürtünmeyi, korozyonu ve aşınma özelliklerini geliştirmek için takımlara uygulanan bir başka kaplama yöntemidir. Bir vakum odasında gerçekleşir ve sonrasında yoğunlaşarak yüzeyde kaplama şeklinde form oluşturacak buhar oluşturulur (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Fiziksel buhar biriktirme (Çakır 2000)

İki PVD işlem yöntemi; buharlaşma ve püskürtmedir. Bu iki yöntemin birleşmesine ise iyon kaplama adı verilir. Buharlaştırma işlemi ocakta suyu kaynatmaya benzer fakat burada kaplama malzemesi vakum odasında ısıtılır.

Püskürtme işleminde ise buhar momentum transferi ile ısıtılır yani iyonlar hedef (kaplama malzemesi) yüzeye çarpar ve atomları hareket ettirirler. Buhar oluşumu da bu vesile ile sağlanır. Daha sonra oluşan bu buhar kaplanacak yüzey üzerinde yoğunlaşır ve kaplama tabakası meydana getirir. Bir PVD vakum kaplama makinesi örneği şekil 5.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. PVD vakum kaplama makinesi örneği (www.pvd-coatings.co.uk)

Kaplama alanındaki çalışmalar ve metotlar sürekli artmakta, özellikle PVD yaygınlaşmaktadır ve talaşlı imalatta kaplanmış takımlardan yararlanmak için PVD kaplamadan en yakın zamanda kullanmak gerekir. İlk olarak 1980 yılında TiN kesici takımlar PVD metodu ile kaplanmıştır. Bu metodun büyüdüğü kabul edilerek alaşım nitrürleri mesela TiCN ve TiAlN TiN dan daha üstün bir performans göstermişlerdir. Bu metot emniyetlidir. Talep edilmesiyle performans değeri artmıştır. Fakat ticari şartlarda PVD kaplamanın değişkenliğinden dolayı bu, daima doğru olmamıştır. Gelecek on sene üzerinde PVD dışarıya açılacaktır. Laboratuar araştırmalarında kaplamanın birçok yeni özelliği ortaya çıkmıştır.

Takım malzemesinin geometrisi, PVD tekniklerini kullanıncaya kadar parça sınırlayıcıdır. Bu metotla kaplama yapılacak yüzey öncelikle düşük basınçlı bir

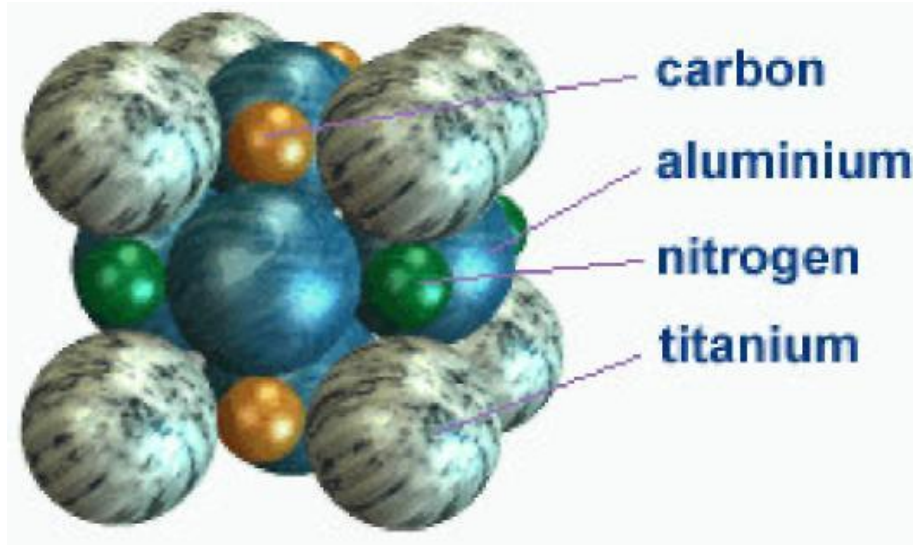
vakum bölgesinde soy gaz iyonu ile temizlenir ve bu bölgedeki basınç azaltılır. Bu bölümün kendine has sıcaklığı vardır ve bu sıcaklığa yavaş yavaş getirilir. Kaplamalarda kullanılacak metal atomları boşluğun içinde elektrik ark vasıtasıyla buharlaştırılır, iyonlaştırılır ve takım yüzeyi yüksek voltajla nitrojen gaz kabında karıştırılır. Pozitif iyonlu titanyum plazma ile negatif iyon örtülü olan parça birbirini çeker. İyon bağları parçaya kalınlık sağlar ve dış yüzeyinde sert ince tabaka oluşturur.

İşlem tipi, işlem sıcaklığını ve böylece de kaplamanın özelliklerini, yüzey tokluğunu belirler. Genellikle hız çelikleri dâhil olmak üzere sinterlenmiş karbür kaplanmasında kullanılan bu teknikte işlem sıcaklıkları CVD deki Sıcaklığın yarısı kadardır (500 °C). PVD işlemi parmak frezeler, matkaplar ve bazı durumlarda vida çekme takımlarındaki gibi belli profile sahip, keskin takımların kaplanması için daha uygundur. Bu işlemde kaplama malzemesi, bir malzeme kaynağından kesici uç ana malzemesi üzerinde gönderilmesi şeklinde olur. PVD tabakası CVD tabakasından daha incedir. PVD prosesleri arasındaki ayırt edici fark katı (genelde metalik) malzemenin buharlaştırılmasında ortaya çıkmaktadır. Tüm işlemlerde reaktif gazlar (örneğin N₂, CH₄, O₂, C₂H₂), sert kaplama malzemesi oluşturmak için sisteme ilave edilmektedir.

PVD tekniği ile yapılan kaplamaların özellikleri;

1. Isıl işlem gömüş takım çeliklerinin 180 – 1600 °C arasında kaplanabilmesi ve parçalarda sertlik kaybı olmaması
2. Kaplanan tabakalarda çok yüksek tutunma kuvvetlerinin oluşması ve yüzeyden pul pul dökülmemesi
3. Sık dokulu kristal tabaka yapısının olması (Şekil 5.13)
4. Çok ince (1–5 flm) kaplama yapılabilmesi ve parça toleransının muhafaza edilmesi
5. Kompleks geometrik parçaların döner mekanizmalarla homojen özelliklerde kaplanabilmesi
6. Köşelerin ve keskin uçların keskinliğinin bozulmadan kaplanabilmesi

7. Takımların ve kalıpların bilindikten sonra tekrar kaplanabilmesi
8. Kaplamaların sökülerek tekrar kaplama yapılabilmesi



Şekil 5.13. TiAlCN tipi kaplamada kafes yapısı (www.pvd-coatings.co.uk)

Ülkemizde bu anlamda ilk ve en büyük faaliyet 1994 yılında İTÜ-TİTANİT-MTE-ARÇELİK ve PVD kaplama konusunda faaliyet gösteren başka bir firmanın da ortaklaşa projesi olarak başlatılan "NATO-TU-PVD Sert Seramik Kaplamalar" projesi olmuştur. Bu proje sonunda Ülkemizde daha önce kullanımı çok az olan ve endüstride fazla tanınmayan sert seramik kaplamaların kullanımı yaygınlaşmış ve İTÜ Metalürji Mühendisliği bölümünde bu alanda faaliyet gösteren ve uluslararası boyutta çalışmalar yapan iki adet araştırma laboratuvarı kurulmuştur.

5.6. Kaplamalar ve Özellikleri

En belli başlı kaplama malzemeleri TiC, TiN, TiCN, Al₂O₃(Alüminyum oksit seramik), TiAlN'dür.

- **TiN (Titanyum nitrür):** Altın sarısı renginde olup en çok kullanılan kaplama malzemelerinden biridir. Sertliği 2900 HV değerindedir. 550 °C ye kadar termal kararlılık gösterir. İyi korozyon ve aşınma dayanımı ile geniş bir uygulama alanı

vardır. Talaş ile sert metal uç arasında sürtünmeyi önleyici bir ara tabaka gibi rol alır. Bu sürtünme katsayısı talaş akışına yardımcı olur, iş parçası malzemesinin kesici takımında yığma kenar oluşturmasını engeller ve kesme kuvvetleri ile takım ısınmasını düşürür. Demir esaslı malzemelerde, sertleştirilmiş çeliklerde ve paslanmaz çeliklerde kullanılır. PVD ve CVD yöntemleri ile kaplama yapılabilir.

- **TiCN (Titanyum Karbonitrür) :** Kırmızımsıtrak - siyah rengindedir. TiN'nin değişik bir türü olup, daha yüksek sertliğe (sertliği 4000 HV'ye kadar çıkabilmektedir) ve daha düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Çeliklerde aşınımı azaltıcı ve ısı iletkenliğini artırıcı (Isıl iletim katsayısı diğerlerine göre nispeten yüksektir) etkisi mevcuttur. Termal kararlılığını 350 °C' ye kadar koruyabilir. TiCN çok iyi yapışma özelliğine ve çok yüksek aşınma direncine sahiptir. Bu sebepten dolayı çok katlı kaplamalarda ara kaplama tabakası olarak kullanılır. Üstteki tabakalara ilave aşınma direnci özelliği kazandırır. Aralıklı kesme işlemlerinde (frezeleme gibi) daha uygundur. Mekanik şokların sebep olduğu ve kesme köşesinin kırılması ile sonuçlanan uygulamalarda düşük sürtünme katsayıları ile TiCN çok verimlidir. Kaplama kalınlığı 2 – 4 mikron arasında değişir. TiC ve TiN arasında bir karışımdır. TiCN kaplamanın uzayabilme kabiliyeti çok düşüktür. Uzayabilme kabiliyeti % 0.2 - 0.3 arasında değişir.

- **TiC (Titanyum Karbür):** Gri renktedir. Oldukça sert bir kaplamadır. Dolayısıyla mekanik sürtünme sonucu oluşabilecek uç aşınmalarını geciktirir. İlk kullanılan kaplama malzemesidir. Artık pek uygulama alanı yoktur. 3000HV sertliği vardır.

- **TiAlN (Titanyum Alüminyum Nitrür):** Kaplama Ti:Al oranına bağlı olarak siyah ila bronz arası bir renge sahiptir. Diğerlerine nispeten yeni ve performanslı bir kaplamadır. En gelişmiş kaplama yöntemi olup, sertliği 3300 HV 'dir ve 800oC 'ye kadar dayanım gösterir. Yüksek aşınma direnci, ısıl direnç, kimyasal kararlılık gibi özellikleri bünyesinde barındırır. Yüksek hızlarda çalışmaya, kuru kesme işlemlerine, termal kararlılığı ve ısıl direnci sayesinde oldukça uygundur. Düşük sürtünme katsayısı ile çok yönlü kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çok amaçlı kullanıma uygun olan bu kaplama biçimi, aynı zamanda demir dökümünde,

alüminyum alaşımlarında ve plastik malzemelerin kalıba geçirilmesi esnasında oluşan sürtünmeyi ve yapışmayı azaltmak için de kullanılır. Hızlı kesme işlemlerinde kesici kenarda iş parçası ve takım arasında termal ve kimyasal set oluşturan Al_2O_3 oluşur. Oluşan bu Al_2O_3 kaplama tabakasını koruyan bir kalkan görevi görür ve takım ömrü üzerine pozitif etkiye bulunur. Oksidasyon dayanımı yüksektir. Krater aşınmasına daha dayanıklıdır.

- **Al_2O_3 (Alüminyum Oksit):** Kimyasal kararlığı ve kızıl sertliği yüksek bir malzemedir. Sertliği 2300 HV' dir. Isıl iletkenliği çok azdır. Şeffaf renktedir. Yüksek aşınma direncine sahip fakat kırılğan bir yapısı vardır. Tok bir yapı üzerine uygulanır ve kesici uç yapısını güçlendirir. Bu nedenle ısıl zorlanmalardan gelen aşınmaları geciktirir. TiC 'ün üzerine kaplanmış Al_2O_3 (Alüminyum oksit) yeni bir uygulamadır. Tok ve aşınma direnci yüksek yapı üzerinde - %100 sert partiküllerin bulunması nedeniyle - kesici uç yapısını daha çok iyileştirmiştir.

- **CrN (Krom Nitrür):** Oldukça yumuşaktır (1800 HV). Diğerlerine nazaran parça üzerine kaplama kalınlığı daha ince olup, korozyona dayanımı diğerlerinden daha iyidir. 700 °C 'ye kadar dayanabilir.

- **CrC (Krom Karbür):** Krom karbür kaplaması TiN ve TiCN gibi sert değildir (78 Rc) ve düşük yağlama kalitesine sahiptir. Bakır, zirkonyum, nikel ve titanyum alaşımlarını işlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. 1300 °F'da mükemmel bir termal kararlılık gösterir. Yapışkan malzemeyi işlemede, takımların kesici kenarında korozyon dayanımını ve oksidasyon dayanımını muhafaza etmek avantajlarındandır.

- **Elmas Kaplama:** Elmas kaplamalar aşırı derecede sert kaplamalardır (Sertliği yaklaşık olarak 11000 HV dir). Elmas kaplamalar kalıp endüstrisi takımlarına, demir esaslı olmayan yüksek aşınma uygulamalarına ve bazı malzemelere göre daha üstündürler. Elmas kaplamalar normalde yaklaşık olarak 1–10 µm yada 50–200 µm kalınlığında ve genellikle 500–1000 °C arasında sıcaklığında yapılmaktadır. Bu kaplama ile ileri derecede sertlik, yüksek aşınma dayanımı ve yüksek ısıl iletkenlik dâhil olmak üzere birçok istenen işleme özellikleri sağlanır. Alüminyum, bakır, pirinç ve bronz gibi demir esaslı olmayan malzemeler ile grafit ve volfram karbür

gibi parçaların işlenmesinde de elmas çok uygundur. CVD elmas kaplanmış karbür takımlarda, aşınma dayanımı ve yapışma çok iyidir. Mukavemet, kaplamanın dayanımını sınırlar. Çok kristalli elmas (PCD) kırılma özelliği yüksek olan uygulamalar için daha uygundur. PCD içindeki kobalt bağlayıcı, kırılmaya ve yontulmaya karşı büyük dayanıklılık gösterir. Ancak, kobalt aynı zamanda PCD'nin zayıflığının kaynağıdır. PCD'nin sertliğini azaltır. CVD elması, PCD' den 2–10 kat büyük aşınma dayanıklılığı, yüksek ısı iletkenliği ile daha iyi kimyasal ve termal kararlılığı gösterir.

6. TAKIM ÖMRÜ

6.1. Giriş

Kesme işlemleri sırasında önemli olan takım ömrünün aşınma nedeniyle tamamlandığı anın belirlenmesidir. Kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasında direkt bir ilişki bulunmaktadır. F_s kesme kuvveti talaş kaldırma işlemleri sırasında takımın aşınma miktarı ile orantılı olacak şekilde, lineer olarak artmakta, takımın ömrünü tamamlaması anında kesme kuvvetinde büyük bir artış görülmektedir (Choi 1997).

Genelde talaş kaldırma olayı: iş parçası, takım, tezgah ve proses olmak üzere dört faktöre bağlıdır. Kesme işlemine etki eden ve optimum talaş kaldırma işlemi için değiştirilebilen faktörler kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarıdır. Yapılan deneyler sonucu bu faktörlerin takım ömrüne etkileri farklı oranlarda olmaktadır. Bu oranlar şunlardır;

- Talaş derinliğinin % 50 oranında artırılması takım ömrünün %15 oranında azalmasına neden olmaktadır.
- İlerleme miktarının % 50 oranında artırılması takım ömrünün %60 oranında azalmasına neden olmaktadır.
- Kesme hızının % 50 oranında artması takım ömrünün %90 oranında azalmasına neden olmaktadır (Işık 2001).

Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ile takım ömrünün artırılması mümkün olmaktadır. Kesme hızının düşük seçilmesi takım uçunda kopmalara ve bunun sonucu takımın değiştirilmesine, kesme hızının yüksek seçilmesi ise takımın kısa sürede kırılmasına neden olmaktadır. Optimum kesme hızının belirlenmesinde takım ömrü ile talaş oluşum oranı ve üretim hızı arasında denge kurulmalıdır. Maksimum üretim hızı için kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı arasında minimum takım değiştirmeyi sağlayacak bir denge kurulmalıdır. Üretim hızını etkileyen diğer faktörler;

- Tezgâh gücü (talaş iletim oranım sınırlar)
- Yüzey pürüzlülüğü (ilerleme miktarım sınırlar)
- Tezgâh rijitliği (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğim sınırlar)
- Talaş kaldırma rijitliği (talaş derinliğim sınırlar)

6.2. Takım Ömrü

Talaşlı imalat alanında en önemli hususlardan biri en ekonomik imalat ve en ideal takım ömrü için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi işlemidir. Tamamıyla takım - iş parçası malzemesi çifti, kesme koşulları, takım tezgâhı, kesici takım bağımlı olan bu işlem son derece zordur.

Talaş kaldırma işlemleri takım, iş parçası, kesme sıvısı veya bir başka ara elementin yanı sıra hız, kuvvet ve sıcaklık gibi parametrelerden etkilenen işlemlerdir. Takım ile iş parçasındaki izafi hareket ve kesme kuvveti talaş oluşumu için gereklidir. Hareket ve kuvvet etkisine bağlı olarak oluşan sürtünme, ısı artışına neden olmaktadır. Modern endüstride kesici takım maliyetinin toplam üretim maliyetini doğrudan etkilemesi optimizasyon işlemlerini zorunlu hale getirmektedir. Talaş kaldırma esnasında tüm takımlar aşınır ve aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana kadar devam eder (Akkurt 1998).

Kesici takım ömrü her zaman sınırlıdır. Takım aşınmasına etki eden faktörler kesme işlemine bağlı parametrelerdir. Kesici takımın kırılması talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki aşınmaya bağlı olup çoğunlukla takım ömrü kriterleri takım aşınmasına göre belirlenir. Özellikle takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi çok önemlidir. Ancak takım doğru seçilmiş olsa bile işleme koşulları özellikle kesme verileri ve işlemin rijitliğini ilgilendiren koşullar standart dışı ise optimum takım ömrü elde edilemez. Bağlama elemanlarının rijit olmaması ve titreşimler birçok kesici kenarın ömrünü, belirlenen süreden önce tamamlanmasına neden olacaktır.

Üretimin oluşması için, makine-teçhizatın, kesici takım ve operatör üçlüsünün belirli bir uyum içerisinde çalışma zorunluluğu vardır. Ülkemizde makine-teçhizat ve kesici takımlardan tam kapasite yararlanılmamaktadır.

Bu çalışmada bu faktörlerinden yalnız kesici takımlar göz önüne alınarak, kaplamalı kesici uç plakalarında aşınmanın etüdü yapılmış, aşınmayı etkileyen bütün faktörler detayları ile verilmiştir.

Kesici takımların ömürlerinin saptanması için işletmelerde çeşitli talaş kaldırma deneyleri yapılmış olup, kesici takımlarda talaş yüzeyi üzerinde krater aşınması, serbest yüzey üzerinde bir aşınma şerit genişliği ayrı ayrı incelenmiştir.

Optimum çalışmada kesici takımların yeni ve körlenme başlangıcındaki talaş teşekkülündeki değişimler saptanmıştır.

Yapılan bu çalışmada, günümüzde önemli miktarda yüksek ücret ödeyerek temin ettiğimiz kesici takımları yalnız temin fiyatı göz önünde alınarak karşılaştırma yapılması yerine, kesici takımlar optimum çalışma şartlarında kullanılarak, ömür yönünden karşılaştırılması ve parça başına takım maliyet kontrolü yaptıktan sonra karar verilmesi halinde önemli kesici takım tasarrufu sağlanabilecektir. Ülkemizde metot mühendislik Şubelerinin veya endüstri mühendislik şubelerinin bu tür çalışmaları yapmaları halinde, hem bağlı olduğu kuruluşlara hem de ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır (Avuncan 1989).

Talaş kaldırma sırasında meydana gelen sürtünmeler ve sıcaklık takım aşınmasına neden olur. Sürtünme, parçadan ayrılan talaş ile talaşın takım üzerinde kaydığı yüzey (talaş yüzeyi) arasında ve parçanın işlenmiş yüzeyi ile takımın bu yüzeye bakan yüzeyi (serbest yüzey) arasında meydana gelmektedir.

Talaş kaldırma işleminde oluşan sürtünme (makine elemanları) arasında meydana gelen sürtünmeden farklıdır. Farklılık, talaş kaldırma olayındaki sürtünmenin sürekli olarak yeni yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve küçük

temas alanlarında meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle takım aşınması, çeşitli aşınma şekillerini kapsayan çok karmaşık bir olaydır. Talaş kaldırma işleminde takım aşınması, belirlenmesi gereken en önemli karakteristik parametrelerden biridir.

Takım aşınmasının belirlenmesinde en önemli faktör üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi takdirde üretimin devam etmesine rağmen üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır. Kesici uçta ve yan yüzeyde oluşan aşınmalar yüzey kalitesinde bozulmalara neden olacağı gibi üretimin kesici takım değiştirilmeden devam ettirilmesi üretim ve takım maliyetlerini artıracaktır.

6.3. Taylor Takım Ömrü Denklemine Elde Edilmesi

Talaşlı imalatta karşılaşılan en önemli sorun, kesici takım aşınmasının zamanında tespit edilememesidir. Aşınmış bir kesici ile yapılan talaş kaldırma işleminde, kesici takımın tezgâha verebileceği zararların yanında istenen parça boyutlarını ve yüzey kalitesini elde etmek de imkansız hale gelir. Ayrıca, keskinliğini kaybetmiş olan kesici takıma etkiyen direnç kuvvetlerinin artması, kesme işlemi için gereken enerjiyi artıracığından maliyet de artmış olur.

Bu tip sorunların önlenmesi ancak kesici takım aşınmasını zamanında tespit ederek kesici takımın değiştirilebilmesini sağlayacak bir adaptif kontrol sistemi ile gerçekleştirilebilir. Bu nedenden dolayı kesici takım aşınmasının işlem esnasında kontrolü ve analizi üzerine yapılan çalışmalar kesme işleminin optimizasyonu açısından büyük önem kazanmaktadır. Kesici bir kenar için takım ömrü, kenarın kesme süresince belirli bir işleme kriterini sağlayıp sağlamamasına bakılarak belirlenir.

Bir işlemin verimliliğinin belirlenmesi için en önemli kriterlerden biri takım ömrüdür. Oluşan takım aşınması miktarının ölçülmesi, aşınmanın bir analizinin yapılması ve sistematik bir yaklaşıma uygun olarak hareket edilmesi optimizasyon açısından çok önemlidir.

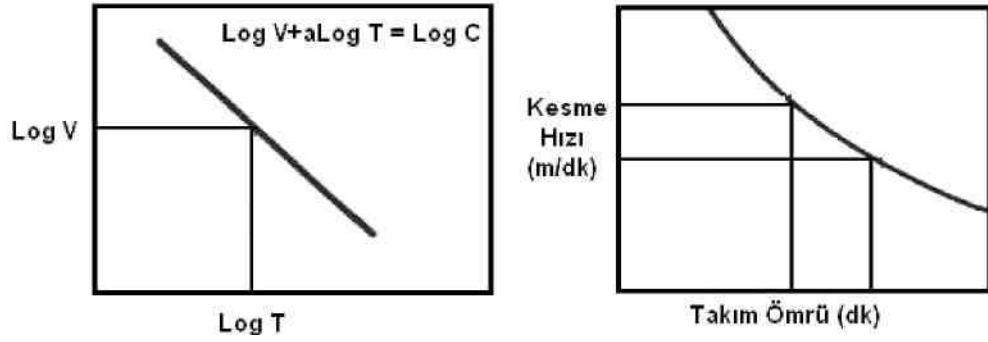
Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında işlenen parça yüzeyi bozulmaya başlar. Enerji sarfiyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri takımın körlendiği gösterir ve takım körleninceye kadar olan toplam işleme zamanı takım ömrü olarak adlandırılır. Genel bir ifade ile takım ömrü, takımda kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar talaş kaldırma zamanıdır. Takım ömrü genelde (T) ile gösterilir ve dakika ile ölçülür. Talaş kaldırma ile ilgili ilk çalışmalar Taylor tarafından yapılmıştır. Taylor kesme hızlarının takım ömrü denilen ve takımın iki bilemesi arasındaki süreyi ifade eden kavrama bağlı olduğunu deney verilerine bağlı olarak ifade etmiştir. Şekil 6.1’ de kesme hızı ve takım ömrü ilişkisine ait Taylor bağıntısı görülmektedir. Takım ömrü Taylor bağıntısı ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$V \times T^n = C^m \quad [6.1]$$

V = Kesme hızı (m/dk), T = Takım ömrü (dk), n = Test edilen durum için kesici takıma ait sabit, Cm = bir dakikalık takım ömrü için kesme hızı, n değerleri; ortalama olarak hız çelikleri için 0,15; sert metaller için 0,3; seramik için 0,6’ dır. Taylor bağıntısı daha sonra kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği dikkate alınarak yapılan çalışmalar ile;

$$T = \frac{C^m}{V^k \times f^m \times a^p} \quad [6.2]$$

olarak ifade edilmiştir. Burada $k > m > p$ takım malzemesine bağlı sabitlerdir. Takım ömrünü en fazla sırasıyla kesme hızı, ilerleme ve paso kalınlığı etkilemektedir. Bu nedenle belirli bir takım ömrü için kaldırılan talaş hacminin artırılması için önce paso kalınlığının, sonra ilerlemenin ve en son kesme hızının artırılması uygun olacaktır (Akkurt 1998).



Şekil 6.1. Taylor bağıntısı (Akkurt 1985)

Kesici ucun aşınma ve kırılmalarla tamamen kullanılamaz hale gelmesi istenmeyen bir durumdur. Bunun sonucu takım masrafları çok artar. Her türlü talaş kaldırma işlemi için en iyi takım ömrünün bulunması ekonomik İşleme açısından çok önemlidir. Kesici takımların kullanılamaz duruma gelmesi genel olarak iki grupta toplanır (Trent ve Wright 2000).

- Talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki dereceli veya sürekli aşınma
- Takımın belirlenen ömründen önce aşınmasına neden olan hatalar

Takım aşınma tipleri gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından bir temel teşkil eder. Bu durum, işlem ve iş parçası malzemesi için takım kalitesinin ve işleme koşullarının doğru seçimi sayesinde gerçekleştirilir.

7. KESİCİ TAKIMLARDA AŞINMA

7.1. Giriş

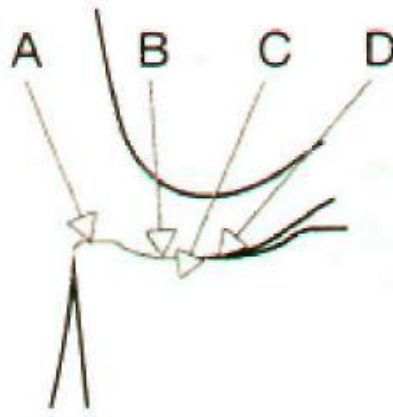
İşleme esnasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana dek devam eder. İlk yıllarda takım ömrü parametresi takımın artık kesemeyecek duruma gelmesine göre belirlenmiştir. Bugün yüzey kalitesi, Hassasiyet, aşınma tipi, talaş oluşumu takım ömrünü belirleyen parametrelerdir. Bu parametrelerden hangilerinin takım ömrünü etkileyeceği işlemin tipine (kaba veya ince işlem) ve işlemdeki elle kontrol oranına bağlıdır.

İnce talaş kaldırma işleminde kullanılan bir kesici ucun kesici kenarı belirli bir yüzey kalitesini sağlayamadığı anda aşınmış olarak nitelendirilir. Aşınma uç kısmının etrafındaki küçük bir alanda oluşmuştur, ucun değiştirilmesi için bu kadar küçük bir aşınma yeterlidir. Ancak kaba talaş kaldırma işleminde aşınma kesici kenarın daha uzun bir kısmında oluşur ve işlemde sağlanması gereken herhangi bir yüzey kalitesi veya hassasiyet söz konusu olmadığından daha fazla aşınmaya müsaade edilir. Bu işlemlerde takım ömrünü kesici kenarın talaşı kontrol etme kabiliyetini kaybetmesi veya kenarın ani kırılma riskinin ortaya çıkması halinde tamamlamaktadır.

Talaş aşınması kaçınılmazdır, ancak aşınmanın ne zaman, ne miktarda oluştuğunun ve ne tip bir aşınma olduğunun bilinmesi halinde fazla olumsuz etkiside yoktur. Bir kesici kenarın çok küçük bir zaman aralığında, büyük miktarlarda talaş kaldırması son derece olumludur, ancak takımın ömrünü gereğinden önce tamamlaması veya kırılması bir olumsuzluktur. Modern kesici takım malzemelerinin doğru kullanımları halinde talaş kaldırma işlemi sadece çok daha verimli ve ekonomik olmakla kalmayacak, çok daha güvenilir ve sürekli bir işlem haline alacaktır.

7.2. Kesici Takımlarda Aşınma Mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma olayı ise takım ve iş parçası malzemesi ile işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır. Şekil 7.1’de (A) mekanik, (B) ısı, (C) kimyasal, (D) abraziv yükleri temsil etmektedir.



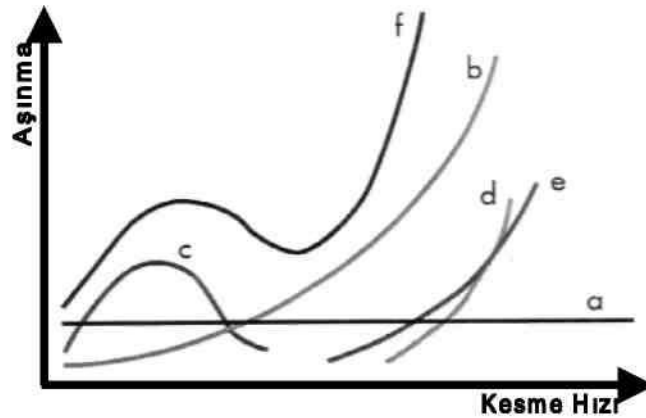
Şekil 7.1. Tipik aşınma bölgeleri

Mekanik yükün statik bileşeninin yanı sıra talaş oluşumundan, değişken talaş derinliklerinden, darbeli ve frezeleme işlemindeki gibi aralıklı kesme işlemlerinden kaynaklanan çeşitli dinamik bileşenleri de söz konusudur. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici ucun talaş ve serbest yüzeylerinde büyük miktarda ısı oluşumu söz konusudur. Takım malzemesi için ısı yükünün ve frezeleme işlemi gibi bazı işlemlerde, kesici kenarın iş parçasından çıkması ve iş parçasına tekrar girmesi esnasında dinamik bileşenin de göz önüne alınması gerekir.

Talaş kaldırma işlemi sürekli olarak temiz bir metal yüzeyinin oluştuğu ve bu yüzeyin takım malzemesi boyunca çok yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kaldığı işlemidir. Oluşan bu yüzey metallerin difüzyonu ve kimyasal reaksiyonlar için son derece çekici bir ortam teşkil eder.

Talaş kaldırma işlemi sırasında birçok iş parçası malzemesi içerisinde sertlikleri bazen takım malzemesinin sertliğine yaklaşan, son derece sert parçacıklar bulunur. Bu parçacıklar takım üzerinde aşındırıcı bir etkiye bulunurlar. Bu kalıntıların ve cürufu bir yüzeyin söz konusu olmadığı durumlarda bile talaş kaldırma işlemi esnasında, kesici kenar üzerinden geçen malzeme nedeniyle, değişen miktarlarda abraziv bir aşınma söz konusudur.

İşleme esnasında kesici kenar üzerine etkileyen çeşitli yük faktörleri nedeniyle temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine dolayısıyla kesici takımın aşınmasına etkiye bulunurlar. Bu aşınma mekanizmalarının kesme hızı arttıkça takım aşınmasını nasıl etkilediği Şekil 7.2’de ki grafikte sembolize edilmiştir. Bu grafikte a; kesme kenarı deformasyonu, b; Abraziv aşınma, c; yığılma kenar oluşumunu, d; difüzyon aşınmasını, e; oksidasyon aşınmasını, f; toplam aşınmayı göstermektedir.

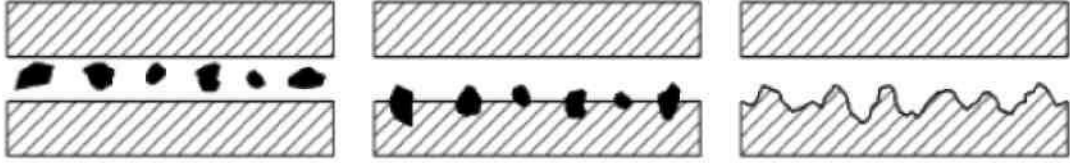


Şekil 7.2. Kesici takımında meydana gelen aşınma prosesleri (Iscar 2006)

7.2.1. Abraziv Aşınma

En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Genellikle iş malzemesine ait sert parçacıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu durum, iş parçası yüzeyi ile takım arasında giren sert parçacıkların neden olduğu taşlama işlemine benzer bir durumdur (Şekil 7.3). Bu aşınma tipi kesici ucun serbest yüzeyinin aşınmasına yol açar. Kesici

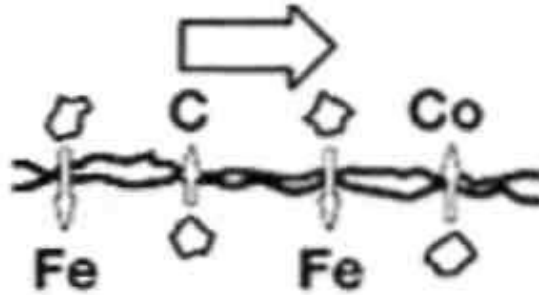
kenarın abraziv aşınmaya dayanma kabiliyeti önemli ölçüde ucun sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların sıkıştırılması ile elde edilen takım malzemesi önemli ölçüde abraziv aşınmaya dayanacaktır ancak bu malzemenin diğer tip yüklerle de dayanabilmesi için gereken önlem alınmalıdır.



Şekil 7.3. Abraziv aşınma

7.2.2. Difüzyon Aşınması

Bu aşınma tipi kesme işlemi esnasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ile takım-iş parçası malzemesi arasındaki afinite difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur (Şekil 7.4). Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerine etkisi yoktur. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişkiler aşınma miktarını belirler. Bazı takım malzemeleri birçok iş parçası malzemesiyle etkileşime girmez, bazılarının ise bazı iş parçaları ile afinitesi yüksektir.



Şekil 7.4. Difüzyon aşınması (Çakır 1999)

Örneğin tungsten karbür ile çelik arasında bir etkileşim söz konusudur. Bu ise difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur ve aşınma sonucu kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde bir krater oluşur. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Aşınma yüksek kesme hızlarında en büyük kesme hızlarına ulaşır.

Difüzyon aşınmasının yüksek kesme hızlarında artması söz konusudur. Bu tip aşınma tüm takım malzemeleri için söz konusu değildir ve bu tip aşınmayı önlemek için çeşitli önlemler alınabilir. Örneğin çeliklerin işlenmesinde sinterlenmiş karbür kalitesini iyileştirmek amacıyla ilave bir gama fazı koruyucu kalkan görevi görecektir. Mesela Al_2O_3 hiçbir şekilde iş parçası ile reaksiyona girmeyen malzemedir. Bu nedenle de yüksek difüzyon aşınması direncine sahiptir.

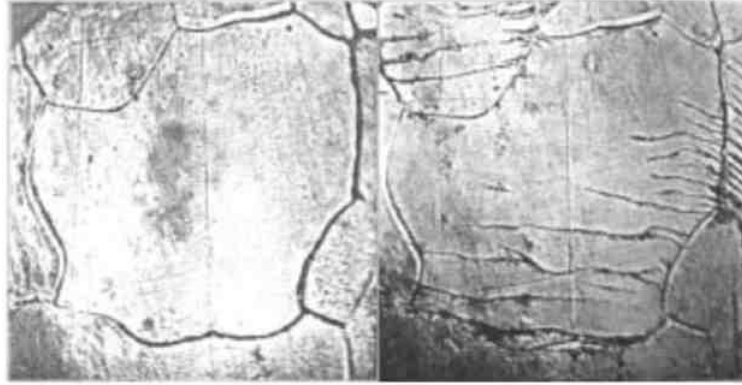
7.2.3. Oksidasyon Aşınması

Yüksek sıcaklık ve havanın varlığı birçok metal için oksidasyon demektir. Oksitler birbirlerine göre farklılık gösterirler. Tungsten ve kobalt gözenekli oksit film tabakaları oluştururlar, ancak bu tabakalar talaş ile yüzeyden uzaklaştırılabilirler. Alüminyum oksit gibi bazı oksitler ise son derece dayanıklı ve serttir. Bu bazı takım malzemeleri için kesici takımın aşınması söz konusudur. Özellikle kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında, talaş genişliğinin sona erdiği noktada (talaş derinliğinde) havada kesme işlemine etkide bulunur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler oluşur. Oksidasyon aşınması günümüzde talaşlı imalat alanında pek yaygın olmayan bir aşınma tipidir.

7.2.4. Yorulma Aşınması

Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar (Şekil 7.5). Aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bazı takım malzemelerinin diğer takım malzemelerine göre

yorulma aşınmasına daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Mekanik yorulma kesme kuvvetlerinin kesici kenarın mukavemetinden çok daha büyük olduğu durumlarda görülür. Bu durum sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur. Bu gibi durumlarda plastik deformasyon oluşur.



Şekil 7.5. Malzemedeki yorulma aşınması

7.2.5. Adeziv Aşınma

Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük ilerleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar (Şekil 7.6). Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığılma kenar oluşumuna neden olur. Yığılma kenar oluşumu talaş tabakalarının sürekli olarak kesici kenar üzerine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelmeleri işlemidir. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığılma kenar ile uzaklaşmasına neden olur. Bazı kesici takım malzemeleri ve sünek çeliklerde yığılma kenar oluşumu diğerlerine göre çok daha fazladır. Belirli bir sıcaklık aralığında takım ve iş parçası malzemeleri arasındaki afinite ve kesme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan yük adeziv aşınmayı oluşturan nedenlerdendir. Belirli bir malzemenin işlenmesi esnasında bu aşınma türü talaş derinliğinin maksimum değerinde hızlı bir bölgesel aşınmaya neden olur.



Şekil 7.6. Adeziv aşınma

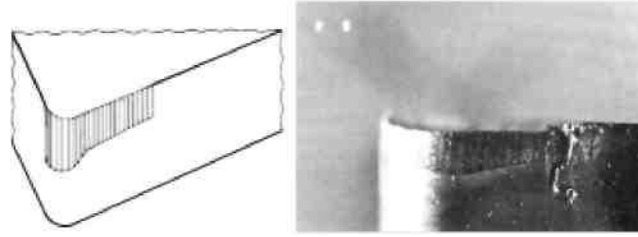
Bu temel aşınma mekanizmaları genellikle iş parçası malzemesi ve kesici kenarın kesmeye katılan kısmı üzerinde etkide bulunurlar. Takım-iş parçası malzeme çiftine göre takım üzerinde oluşan aşınma tipi değişir. Bu aşınma mekanizmalarının tam anlamıyla anlaşılması takım aşınma tiplerinin analizini ve işlemler için doğru takım seçimini önemli ölçüde kolaylaştıracaktır.

7.3. Kesici Takımlarda Aşınma Tipleri

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından bir temel teşkil eder. Belli başlı aşınma tipleri; serbest yüzey aşınması, krater aşınması, plastik deformasyon, çentik oluşumu, ısıl çatlaklar, mekanik yorulma çatlakları, kesici kenardan parçacık kopmaları, kesici ucun kırılması ve yığma kenar oluşumu sayılabilir.

7.3.1. Serbest Yüzey Aşınması

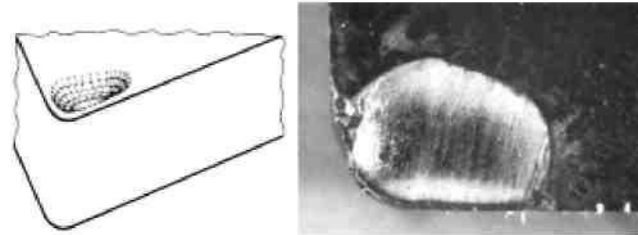
Kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir (Şekil 7.7). Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radüsü veya paralel kenar iş parçası ile temastadır. En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Serbest yüzey aşınmasında belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar.



Şekil 7.7. Serbest Yüzey Aşınması

7.3.2. Krater Aşınması

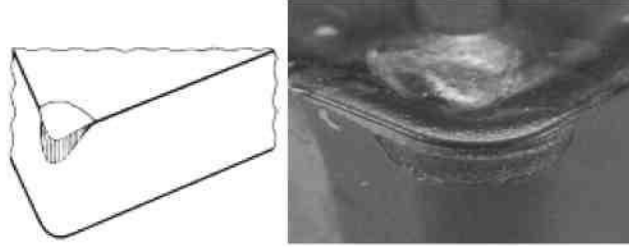
Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar (Şekil 7.8). Krater aşınmasının belli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar.



Şekil 7.8. Krater Aşınması

7.3.3. Plastik Deformasyon

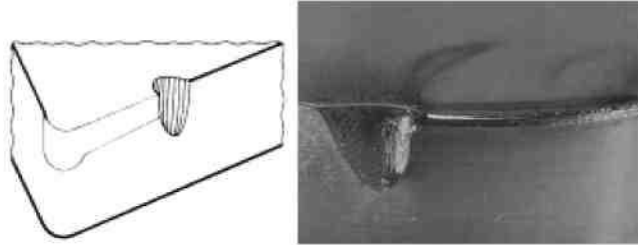
Plastik deformasyon kesici kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın bir kombinasyonu sonucunda oluşur. Kesici kenarın bu şekilde (Şekil 7.9) deformasyona uğraması daha yüksek sıcaklıkların oluşumuna, geometri deformasyonuna ve talaş akışının değişimine neden olacaktır.



Şekil 7.9. Plastik Deformasyon (Sandvik 1994)

7.3.4. Yardımcı Kenarda Çentik Oluşumu

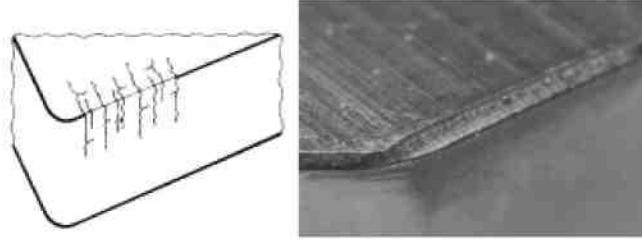
Bu aşınma tipik bir adezyon aşınmasıdır. Çentik, kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşur (Şekil 7.10). Çentik aşınmasının belli bir değerin üzerine çıkması ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler, kesici kenar zayıflar.



Şekil 7.10. Çentik Oluşumu (Sandvik 1994)

7.3.5. Isıl Çatlaklar

Bu aşınma tipi genellikle ısı sirkülasyonu nedeniyle ortaya çıkan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmaya neden olur. Bu aşınma sonucunda kesici kenara dik çatlaklar meydana gelir (Şekil 7.11) ve takım malzemesi kenarda dışa doğru zorlanır. Bu zorlanma sonucunda takım malzemesinde ani kırılma ve ucun kullanılmaz hale gelmesi söz konusudur. Kesme esnasında değişen talaş kalınlıkları da sıcaklık oluşumuna etkide bulunur.



Şekil 7.11. Isıl Çatlaklar (Sandvik 1994)

7.3.6. Mekanik Yorulma Çatlakları

Kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucunda ortaya çıkarlar. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlakla neden olur (Şekil 7.12). Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip aşınma gözlenir.

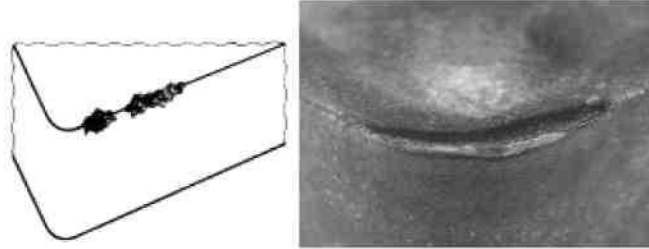


Şekil 7.12. Mekanik Yorulma Çatlakları (Sandvik 1994)

7.3.7. Kesici Kenardan Parçacık Kopması (Dökülme)

Kesici kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkileyen yükün sürekli olarak üst ve alt değerler arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım

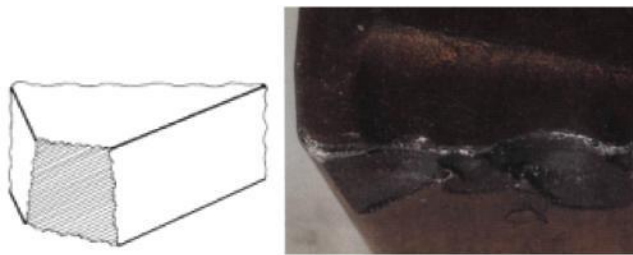
yüzeyinden kopar (Şekil 7.13). Darbeli kesme işlemi bu tip aşınmanın en sık görülen nedenlerinden biridir. Kenar üzerindeki dikkatli bir inceleme aşınmanın serbest yüzey aşınması mı yoksa kenardan parçacık kopması aşınması mı olduğunu belirleyecektir.



Şekil 7.13. Dökülme (Sandvik 1994)

7.3.8. Kesici Kenarın Kırılması

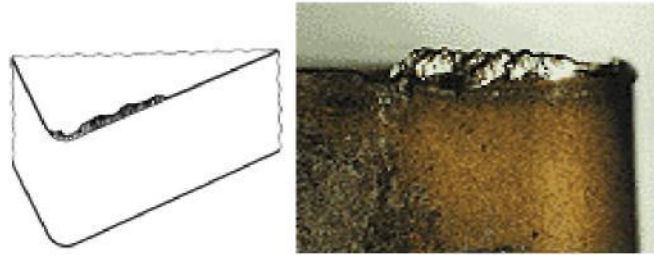
Kesici kenarın ömrünü tamamlamasına neden olan bir aşınma tipidir. Kenardaki büyük miktarlardaki kırılma mümkün olduğunca kaçınılması gereken en tehlikeli aşınma türüdür. Kenarın kırılması birçok diğer aşınma tipi içinde yolun sonu demektir. Geometrinin değişimi, kenarın zayıflaması, sıcaklıktaki ve kuvvetlerdeki artışlar kesici kenarın bu tip bir aşınmaya maruz kalmasına neden olur. Yüksek kesme hızlarında ve diğer talaş kaldırma koşullarında kesici kenar üzerinde oluşan çeşitli gerilmeler kesici ucun mukavemet sınırını aştığı anda kırılmanın oluşumu kaçınılmazdır (Şekil 7.14).



Şekil 7.14. Kırılma (Sandvik 1994)

7.3.9. Yığma Kenar

Önemli ölçüde sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma türüdür. Takım yüzeyine kaynak olan malzemedan dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığma kenar istenmeyen durumdur (Şekil 7.15). Yığma kenar oluşumuna iş parçası ve takım arasındaki afinite de etkide bulunur. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin takım yüzeyine kaynak olmasına neden olur. Yığma kenar oluşumuna sebebiyet veren sıcaklık ve kesme hızları bilindiğinden bu tip aşınmanın kolaylıkla önüne geçilebilir.



Şekil 7.15. Yığma Kenar Oluşumu

Birçok modern talaş kaldırma işleminde kesme hızları yığma kenar oluşum alanının çok üzerindedir ve birçok kalite yığma kenar oluşumuna engel olacak şekilde seçilir. Yığma kenar oluşumuna izin verildiği takdirde yüzey kalitesi bozulur ve bu oluşum devam etmesi halinde kenarın kırılması ve hatta ömrünü tamamlaması söz konusu olabilir.

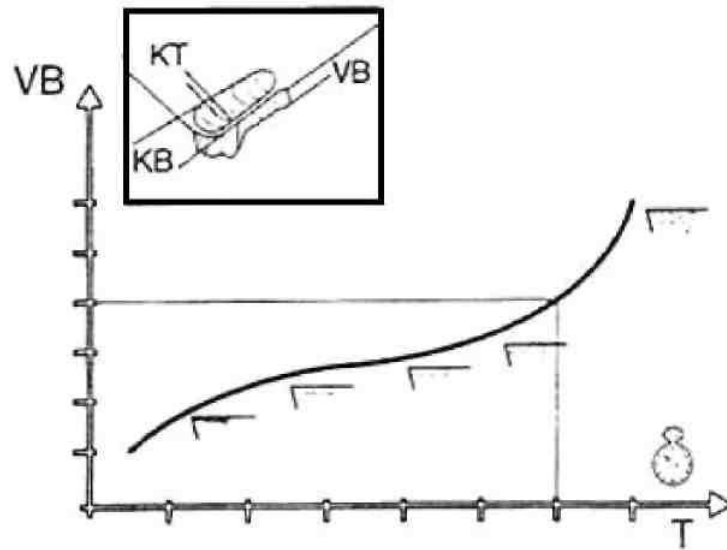
Yukarda ana aşınma tiplerinden bahsedilmiştir. Bu aşınma tiplerinden bazıları aşınma olmayıp kesici ucun aniden kırıldığı durumlardır ve bu durumların önüne geçilmesi şarttır. Daha çok serbest yüzeyde görülen düzenli bir aşınma kesici kenarın ne zaman değiştirileceğini belirlemesi sayesinde optimum takım ömrü sağlayacaktır.

7.4. Aşınmanın Oluşumu

Takımların performansına etki eden en önemli üç malzeme karakteristiği; kırılma direnci, plastik deformasyon direnci ve aşınma direncidir. Takımlarda

kullanılan kaplama ana malzemesinin mekanik özellikleri ve kompozisyonu takım malzemesinin kırılma direncini ve deformasyon direncini belirler. Kaplamalar, aşınma direncini artırır ve kesici kenardaki sıcak ve kesme kuvvetlerindeki artışları azaltabilirler. Böylece dolaylı olarak takım deformasyon ve kırılma davranışlarına etki ederler. Talaş kaldırma sırasında sert kaplama yavaş yavaş yok olmaya başladıkça ve ana malzeme ortaya çıktıkça takım ucundaki sıcaklıklarda ve kesme kuvvetlerinde hızlı artışlar görülmektedir.

Talaş kaldırma işleminin başladığı andan itibaren kesme hızının maksimum olduğu noktada aşınma başlamaktadır. Gerçekleştirilen deneylerde tüm takımlarda aşınma serbest yüzeyde meydana gelmiştir. Aşınmalarda ilk andaki görülen hızlı artıştan sonra aşınma hızı yavaşlamakta ve doğrusal olarak artışına devam etmektedir. Takımın ömrünü tamamlamasına yakın aşınma tekrar hız kazanmakta ve kesme işlemine devam edildiği takdirde takım ömrü sona ermektedir. Aşınmanın doğrusal eğimi ne kadar az olursa, takım ömrü o kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle kesici takımların sertliği arttıkça aşınma doğrusunun eğimi azalmaktadır. Şekil 7.16'da serbest yüzey aşınmasının takım ömrü süresince gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 7.16. VB' nin takım ömrü süresince gelişimi (Çakır 1999)

Aşınma - takım ömrü kriterlerine bağlı olarak serbest yüzey aşınması (VB) olarak ortalama aşınma miktarı alınmıştır. Kesici takımlarda takım ömrünün sona erdiğine ilişkin belirtiler:

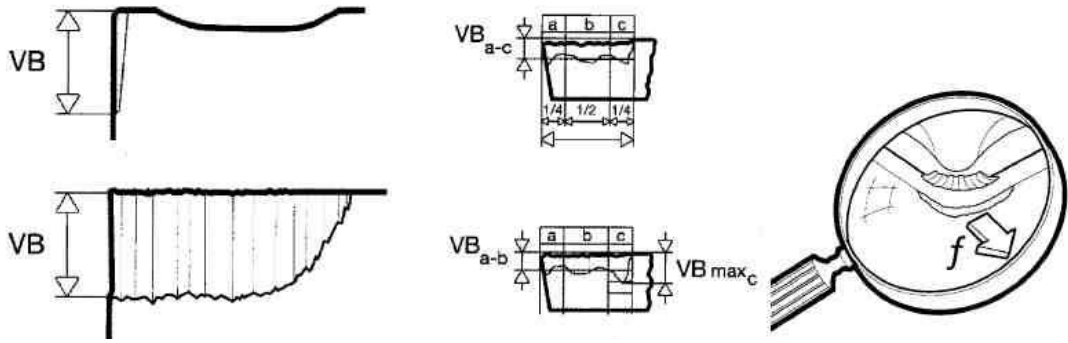
- Kesici uçta oluşan aşınmalar (aşınma miktarı, $VB_{max}=0,3$ mm) veya kırılmalar.
- Kesme kuvvetlerinde artışlar.
- Düzensiz talaş.
- Tezgâh titreşimleri.

7.5. Serbest Yüzey ve Krater Aşınması

Serbest yüzey aşınması kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir ve abrazyon aşınma mekanizmasından kaynaklanır. Talaşın oluşumu sırasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radüsü iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan serbest yüzey aşınması en yaygın ve beklenen aşınma tiplerinden biridir. Serbest yüzey aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar. Şekil 8.16'da serbest yüzey aşınması görülmektedir.

Aşınma şeridi veya aşınma bölgesi olarak bilinen (VB_{maxC}) bölgeler üniform bir görüntüye sahip değildir. Araştırmacılar genellikle dayanma takım ömrünün tayini için serbest yüzey aşınmasında belirli bir genişliği kabul ederler. Ancak üniform bir yapıya sahip olmayan bu bölgede genişliklerden hangisinin kabul edilmesi gerektiği konusunda görüş farklılıklarına sahiptirler.

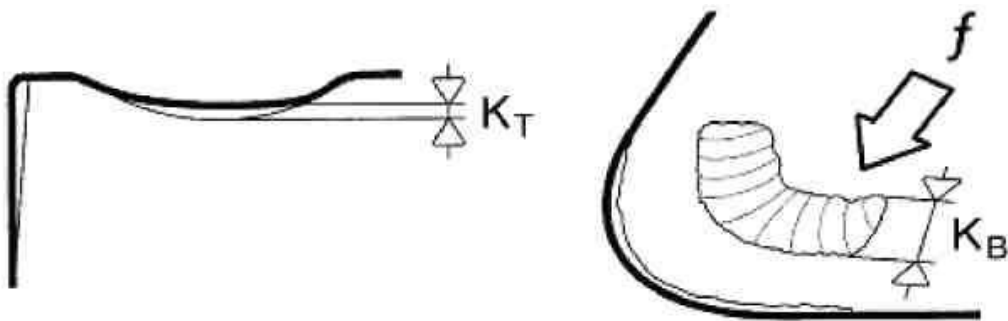
Takım ömrünün sonunun tespiti için serbest yüzey üzerindeki aşınma şerit genişliği değeri araştırmacıya bağlı olarak, VB: 0,3 mm, VB_{maxC} : 0.6 mm olarak kabul edilir (ISO 3685).



Şekil 7.17. Serbest yüzey aşınması (Çakır 1999)

Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar. Şekil 7.18'de krater aşınması görülmektedir. Krater aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar.

Bazı durumlarda takımında herhangi bir aşınma olmayıp kesici uç aniden kırılabilir. Bu gibi durumların önüne geçilmesi şarttır. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma, takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır.



Şekil 7.18. Krater aşınması (Çakır 1999)

Kesici takımlar, farklı şekillerde ve bölgelerde aşınarak veya kesici ucun kırılıp bozulması nedeniyle atıl duruma gelerek kullanım ömürlerini doldururlar. Bu aşınma çeşitlerinden serbest yüzey ve krater aşınması takım ömrüne etki eden en

önemli parametreler olup kesici takım aşınmasının en fazla incelenen alanını oluştururlar. Aşınma kriteri olarak genellikle serbest yüzey aşınma yüksekliği (VB) veya krater aşınma (KT) yüksekliği esas alınır.

Aşınmanın ölçülmesi ile ilgili TS 10329 (ISO 3685)' a göre serbest yüzeydeki aşınma, aşınan bölgenin yüksekliği VB ve eni SV; talaş yüzeyindeki krater ise genişliği KB; derinliği KT; merkezden uca kadar olan uzaklık KM ve krater kenarından uca kadar olan uzaklık KL değeri ile ölçülür. Uygulamalarda bu değerlerden serbest yüzey aşınması için VB, krater aşınması için KT ve bazı durumlarda KB değeri kullanılmaktadır. Serbest ve talaş yüzeylerindeki aşınma yaklaşık olarak aynı zamanda başlar. Ancak başlangıçta daha hızlı olan serbest yüzey aşınmasında (VB) belirli bir zamandan sonra yavaşlama görülürken, krater sabit bir hızda devam eder. Ancak belli bir zaman sonra serbest yüzey aşınması yeniden hızlanır (Şekil 7.16).

Kırılan veya aşınan bir takımın değiştirilme süresi toplam üretim zamanının %6,8'ini oluşturmaktadır. Takım aşınmasının on-line olarak izlenmemesi durumunda üretilen iş parçalarındaki yüzey kalitesi ve ölçü toleransında karşılaşılan olumsuzluklar nedeniyle üretim miktarında ve zamanında kayıplar artmaktadır. Üretim kalitesi üzerinde en etkili parametre takım ömrüdür (Ünüvar ve Sağlam 1999).

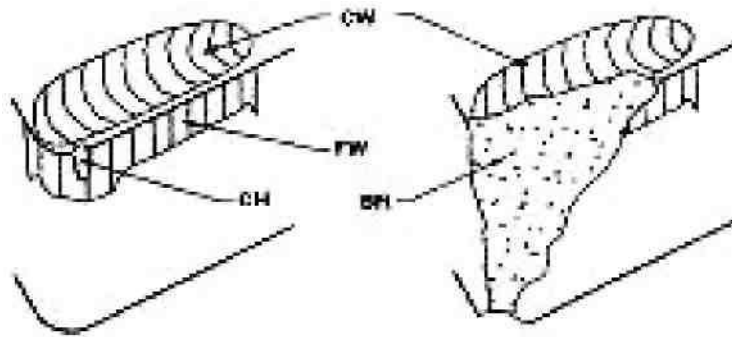
Talaş kaldırma işleminde kesici takım, ısı ve mekanik yüklenmeler altında aşınır ve kesme özelliğini kaybeder bunun belirtileri;

- Kesici ucun aşırı yük ile kopması,
- Kesici ucun yüksek sıcaklıklarda şeklini kaybetmesi veya erimesidir. Kesici ucun görev yapamamasının nedenleri ise:
 - Kullanılan kesiciye göre çok yüksek kesme hızları,
 - Uygun olmayan kesici uç geometrisi,
 - Tezgâh rijitliğinin yetersizliğidir.

7.6. Kesici Takımlarda Aşınma ve Kırılma Öncesi Davranışlar

Kesici takımlarda aşınma belirli bir değere ulaştığında sürtünmeler artmakta yüzey kalitesinde olumsuzluklar gözlemlenmekte kesme kuvvetlerinde artışlar meydana gelmekte ve ölçü hassasiyetinde değişimler olmaktadır. Kesici takımlar aşınma kriteri olarak belirtilen değerlere ulaştığında ömürlerini tamamlamaktadırlar. Ancak takım ömrünün tamamlanması ile takımın kırılması arasında geçen sürede kırılma öncesi davranışlarının incelenmesi sonucu elde edilecek veriler kesici takımların performanslarının tam olarak belirlenmesine ilişkin önemli bilgiler verecektir. Aşınma kriteri değerine ulaşan kesicilerde, talaş kaldırma işlemine devam edildiğinde kesme kuvvetlerinde ve aşınma miktarındaki artışların analizi bu nedenle son derece önemlidir.

Kesici takımlarda serbest yüzey ve krater aşınmalarındaki artışlar kesici ucun zayıfladığının ve kırılacağıın en belirgin göstergelerinden biridir. Şekil 7.19' da takımda oluşan aşınma ve kırılmalar görülmektedir. Yüzey kalitesinin bozulması aşınma miktarı artışının göstergesidir. Aşınmalar sonucu takım boyutlarında radyal ve aksel yönde azalmalar meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak iş parçası çapında artışlar olmaktadır.



Şekil 7.19. Takımda oluşan aşınma ve kırılmalar (Jeong-Du ve In-Hyu 1996)

Not: FW= serbest yüzey aşınması, CW= krater aşınması, CH= talaş yapışması, BR= kırılma.

Takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artışlar görölmektedir. Ancak bu artışlar birçok faktörden kaynaklanabileceği için kuvvetlerdeki artışlar ile aşınma miktarı arasında bir ilişki kurmak talaş kaldırma işleminin başlangıcında son derece güçtür. Kesme kuvvetlerinin artmasında etkili parametrelerden birisi de titreşimdir. Doğru analizlerin yapılabilmesi için titreşime neden olabilecek bağlama hataları önlenmelidir. Isı artışları aşınmayı hızlandıran bir unsurdur (Kinnander 1992).

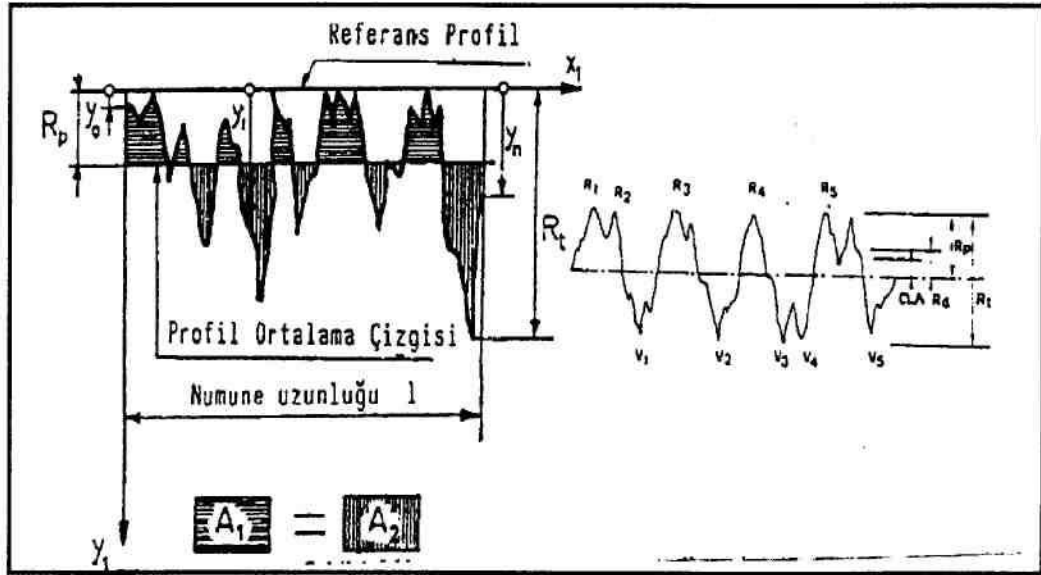
7.7. Takım Aşınmasının Belirlenmesi

Takım aşınması, aşınma gelişimini sürdürürken, aşınma bölgesinin bir büyüteç (mikroskop) altında incelenmesiyle belirlenir ve bu inceleme aşınma kriterinin belirli bir değeri aşmasına dek sürdürölür. Serbest yüzey aşınması kesici kenar üzerinden ölçölür (Şekil 7.17). Aşınma üç bölge üzerine üniform olarak yayılmışsa, serbest yüzey aşınması olarak ortalama bir değeri alınır (VB_{ac}). Ancak herhangi bir bölgede aşırı bir aşınma söz konusu ise aşınma değeri olarak VB_{maxC} kullanılır.

8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometrik, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometrik, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi, parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen sapmalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilirler. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilir. Geometrik kalite, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını kapsamaktadır. Bunlar, ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksenel sapmalar olmak üzere üç gruba ayrılır.

Talaş kaldırma işlemi ile işlenen yüzeylerde dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna dahildir; dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder (Şekil 9.1). Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlerle yapılır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (R_a) gibi kriterlere göre değerlendirilir. (R_t) referans profile göre en derin pürüzün değeri, (R_p) referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe, (R_a) ise ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Pratikte yüzey kalitesi genellikle (R_p) veya (R_a)'nın değerleri ile ifade edilir.



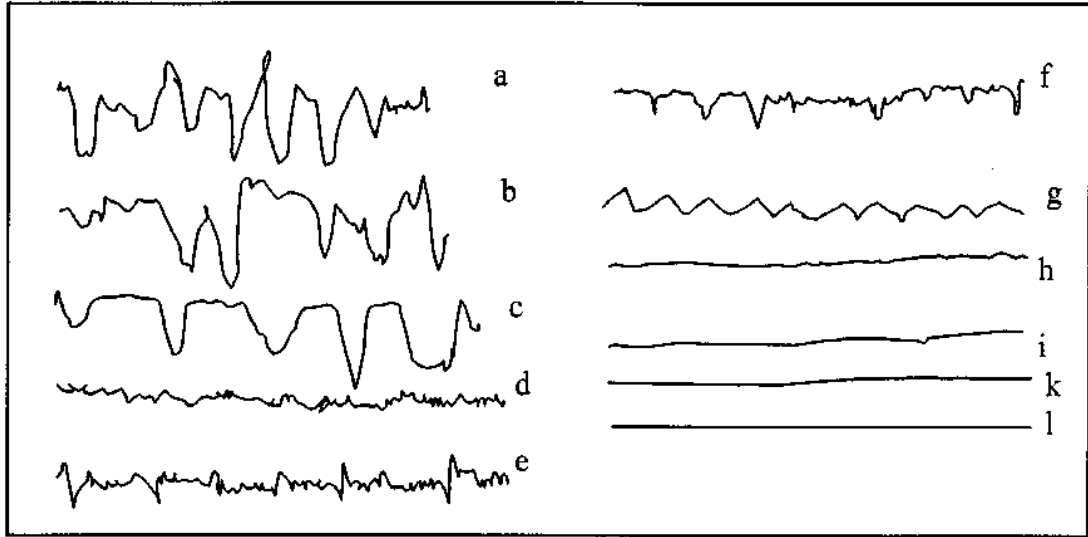
Şekil 8.1 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi (Akkurt 1998)

8.1. Yüzeylerde Şekil Sapmaları

TS 5882' de teknik yüzeylerdeki şekil sapmalarını sınıflandırılması için altı kategori önerilmektedir. Bunlardan şekil sapması malzemenin kristal ve kafes yapısı ile ilgilidir. Şekil sapmaları genellikle iş parçasının işlendiği takım tezgâhının kızıklarındaki düzgünsüzlükten ve iş parçasının hatalı bağlanması ile kesici takımdaki form hatasından ve takım tezgâhındaki titreşimlerden kaynaklanır. Yüzey pürüzlülüğü ise talaş kaldırılan takımın geometrisine ve ilerleme miktarına bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğü kavramı içerisinde değerlendirilebilecek şekil bozukluğu talaşın oluşum biçimi ile ilgilidir. Talaşın sürekli veya sürekli teşekkülüne göre farklı yüzey oluşacaktır. Talaş kaldırmanın tornalama, frezeleme, matkapla delme, broşlama, raybalama, taşlama veya honlama ile yapılmasında farklı yüzey şekilleri elde edilir. Şekil 8.2'de çeşitli talaş kaldırma yöntemlerinde elde edilen yüzey profilleri gösterilmiştir (Schlesinger 1951, Yokogawa 1974, Flores 1982).

8.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Yüzey pürüzlülüğü araştırılacak yüzeyin özelliği bilinen bir yüzeye karşılaştırılmasıyla, izleyici problemlerle veya optik cihazlarla ölçüm yapılması ile belirlenir.



Şekil 8.2. Çeşitli işleme yöntemlerinde yüzey profilleri: a) Tornalama; b) Matkapla delme; c) Frezeleme; d) Taşlama; e) Raybalama; f) Broşlama; g) Elmas tornalama; h) Honlama; i) Lepleme; k) Hassas taşlama; l) Polisaj (Akkurt 1998)

Yüzey karşılaştırılması ile yüzey kontrolü yapıldığında sayısal bir sonuç elde edilmez. Bu işlem için tornalama, frezeleme, taşlama veya lepleme gibi yöntemlerle bilinen çeşitli pürüzlülük değerlerinde hazırlanmış standart numune karşılaştırma parçaları kullanılır. Bu durumda yüzey kontrolü çıplak gözle, büyüteçle veya mikroskopla yapılabilir. Ayrıca yüzeyin üzerine düzgün kenarlı bir cetvel konularak arada oluşan küçük ışık boşluklarından düzgün aydınlatılmış bir yüzeye bakılarak bir mikrona kadar olan pürüzlülüğü algılamak mümkündür. (Gerling 1969).

8.3. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

İşleme kalitesini etkileyen faktörler dört grupta incelenir.

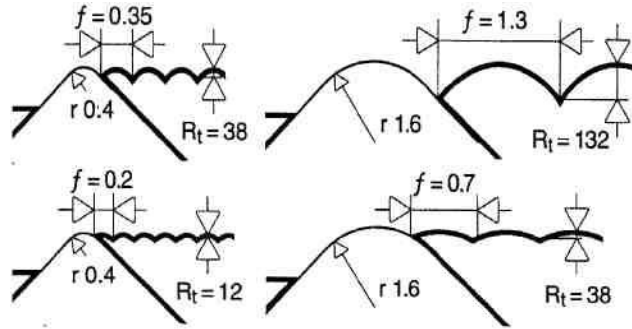
- Takım tezgâhına ait sapmalar; tezgâhın kinematik mekanizmasındaki mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgâhın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmamasından dolayı oluşur.
- Bağlama sistemine ait hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar rijit olmamasından, ana elemanlarda oluşan aşınmalardan kaynaklanır.
- Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirilmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanır.
- Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgâhlardan gelen titreşimlerden kaynaklanır (Akkurt 1998).

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

- İlerleme, kesme hızı, talaş derinliği
- Kesici takım geometrisi
- Diğer faktörler
 1. Kesici uç üzerine talaşın yapışması
 2. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
 3. Takım ve iş parçası arasındaki titreşim
 4. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesici kenarda oluşan izler ve aşınma
 5. İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinde 100 µm derinlikte fiziksel ve kimyasal özellikleri.
 6. Talaşın plastik akışı.

8.3.1. İlerleme ve Köşe Radüsünün Etkisi

Teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değeri (R_t) daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisi kullanılarak artırılabilir. Şekil 8.3' de teorik yüzey pürüzlülüğü (R_t) değerinin ilerleme (f) ve köşe radyüsüne bağlı (r_e) (veya kesici uç çapına) değişimini göstermektedir (Eriksen 1999).



Şekil 8.3. İlerleme ve köşe radüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri (Çakır 1999)

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_e} 1000 \quad [8.1]$$

Şekil 8.10' da ve formül (8.1)' da görüldüğü gibi daha büyük bir köşe radüsü, aynı yüzey pürüzlülüğü değeri için daha büyük ilerleme değeriyle elde edilebilir. İlerleme ve köşe radüsüne bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması olarak adlandırılan (R_a) değeri de;

$$R_a = \frac{0,321 \cdot f^2}{r_e} \quad [8.2]$$

Yukarıda belirtildiği gibi kesme hızı, ilerleme hızı ve köşe radüsü yüzey kalitesinin elde edilmesinde ana faktörleri oluşturmaktadırlar. Kesme hızının artırılmasının talaşın yapışmasına, titreşime ve aşınmaya olan etkisinden dolayı ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Kandemir ve Özdemir 1999).

8.3.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi

Talaş kaldırma işleminde takım aşınması belirlenmesi gereken parametrelerden biridir. Serbest yüzey aşınması üretilen parçanın çapını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Takım aşınmasının belirlenmesinde başlıca amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaçla modern tezgâhlarda adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir.

Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi durumda üretim devam etmesine rağmen üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır.

8.3.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi

Talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenme için gerekli talaş kaldırma kuvveti F_s kesme kuvveti, F_v ilerleme kuvveti ve F_r radyal kuvvet olmak üzere üç bileşene ayrılır. Kesme kuvvetleri gerek takım, gerekse iş parçası üzerinde bir takım şekil değiştirmelere neden olarak takım-iş parçası konumunu değiştirirler ve yüzey kalitesini etkilerler.

Kesme parça-takım-tezgâh zinciri esnek bir sistemdir. Dolayısıyla, talaş kaldırma sırasında, kesme kuvvetinin değişken olmasından dolayı titreşimler meydana gelebilir. Bu titreşimler şiddetli oldukları durumda, kötü bir yüzey kalitesine neden olan tırlama olayını oluştururlar.

9. PASLANMAZ ÇELİKLER

Çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren paslanmaz çelikler esas itibari ile demir, karbon ve çoğu zamanda nikel içeren alaşımlar olup başlıca özelliklerini kroma borçludurlar. Demir alaşımlarının korozyon dayanımlarını arttırmak için geliştirilmiş bir türü olan paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmesinin temel nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir. Paslanmaz çeliğin paslanmazlık özelliğine sahip olabilmesi için en az %12 Cr içermesi gerekir.

Aslında çelikler diğer demir alaşımlarının büyük bir kısmı gibi atmosferde oksitlenirler ve yüzeylerinde pas olarak adlandırdığımız bir oksit tabakası oluşur. Alüminyum ve çinkonun tabakasının tersine çeliğin yüzeyini kaplayan yüzeyinde oluşan koruyucu oksit pas, oksitlenmenin iç kısımlara ilerlemesine engel olmaz. Paslanmaz çeliklerde ise korozyon direnci artan krom miktarın bağlı olarak yükselmektedir; bu olay üzerine yani çeliğin paslanmazlığı konusunda birçok spekülatif görüşler olmuştur. Bunlarda en kabul göreni, sıkı ve ince bir krom oksit tabakasının paslanmaz çelik üzerinde oluştuğu ve bu tabakanın oksidasyonun ve korozyonun ilerlemesine engel olduğudur. Gerçekten, elektrokimyasal gerilim serisine bakıldığında krom, demirden daha az asal olan bir metaldir. Çeliğin içeriğindeki kromun koruyucu etkisi, krom ile oksijen arasındaki affiniteden ileri gelmektedir. Krom içeren çelikler yüzeyleri bir krom oksit tabakası ile örtülü olmadıkları sürece korozyona ve özellikle oksidasyona karşı çok hassastırlar; bu hale "aktif" denir. Buna karşın bu oksit tabakası oluşma olanağı bulunduğu anda metali korozif ortamlara karşı korur, dolayısıyla da çelikler "pasifleşmiş" olur. Pasivitenin sınırları ile derecesi ortamın aktivitesi ile paslanmaz çeliğin tür bileşimine bağlıdır. Koşulların uygun olduğu hallerde pasivite kalıcıdır ve paslanmaz çelik çok yavaş bir korozyon hızına sahiptir.

Bu pasif film yok olduğunda ve yeniden oluşması için gerekli koşullar bulunmaması halinde paslanmaz çelik de normal karbonlu ve az alaşımlı çelikler gibi korozyona uğrayabilir. İşte bu bakımdan paslanmaz çeliğin korozyon direncinin

oluşması için en az %12 Cr içermesi ve ortamda da oksijen bulunmasına gerek vardır. (Çakır 1999, Kurt 1988, Güventürk 1990, Kaluç ve Tülbentçi 1995)

Kromun diğer bir tesiri de çeliklerin ısı altındaki dayanıklılıklarını büyük çapta arttırmasıdır. Bu tesir, bilhassa çekme ve sürünme mukavemetlerinde kendini gösterir.

9.1. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Bütün paslanmaz çelikler esas olarak demir alaşımlarıdır ve pasifleşme özelliği gösterirler. Bu çeliklerde pasifleşmeyi sağlayan asıl metal "krom" dur. Alaşımı oluşturan diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir. Eğer yüzeyde pasif film oluşmaz ise paslanmaz çeliklerde aynen diğer demir alaşımları gibi korozyona uğrayabilir. Kristal yapısına ve mukavemetlenme mekanizmasına bağlı olarak 4 çeşit paslanmaz çelik vardır (Askeland 2000).

9.1.1. Martensitik Paslanmaz Çelikler

Bu yapıdaki alaşımlar %0,1-1 oranlarında C ve %12-17 oranlarında ise Cr içermektedir. Martensitik paslanmaz çelikleri diğer paslanmaz çeliklerden ayıran en önemli özellikleri; karbon yüzdesinin düşük olması ve ısı işlemler ile sertleşebilmelerinin mümkün olmasıdır. Bu çelikler aynen karbon çelikleri gibi su verme sonucu faz dönüşümü yaparak çok sert bir yapı oluştururlar. Bu çeliklerin korozyon dirençleri, yumuşak çeliklere oranla çok yüksek olmasına rağmen, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha azdır. % 1 C ihtiva ediyorsa ve uygun şartlarda ısı işlem uygulandığı takdirde çok yüksek derecede sertlikler elde edilebilmektedir. Diğer alaşım maddelerinin az miktarda eklenmesi tokluğu, dayanımı ve korozyon direncini artırır (Çakır 1999, Askeland 2000, Erdoğan 1998, Asm Publisher 1984).

Martensitik çelikler magnetik olup daha çok; ısıtım işlem mukavemet gerektiren daha ziyade korozyona maruz yerlerde özellikle (pompa mili ve valf imalatında) kullanılır. En çok kullanılan tipleri, AISI 410 ve 420'dir (Güventürk 1990).

9.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Demir ve krom alaşımından oluşan çeliklerdir. %0,12 civarında karbon, %11-30 civarında Cr ihtiva eder. Bu çeliklere işlenebilirlik ve korozyon dirençlerini arttırmak için diğler alaşım elementleri az miktarlarda katılır. Bu çelikler az miktarlarda karbona sahip oldukları için, normal olarak östenit yapıdan ferritik yapıya dönüşemez. Bu sebeple ısıtım işlemin uygulanamadığı malzemeler olarak bilinmektedir. Buna karşın bu çelikler yüksek sıcaklıklardan hızla soğutulursa küçük karbon miktarları biraz sertleşme sağlamaktadır. Karbon ve azot miktarlarının mümkün olduğunca az tutulması, süneklik, korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik özelliklerini artırır (Çakır 1999, Güventürk 1990, Erdoğan 1998).

Antimagnetik olan östenitik grup AISI normunda 300 serisi olarak yer alır. Pek çok tip ihtiva eden bu grup içinden hemen her tatbikat için uygun vasıflı malzeme seçilebilir.

Uygulama alanı en geniş olan tipler; AISI 303, 304, 309, 310 ve 316 dir (Güventürk 1990).

9.1.3. Dublex (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler

Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren bu tür paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma mukavemetlerinin iki kat daha büyük olmaları ve çok daha iyi korozyon dirençleri göstermeleridir.

Endüstriyel uygulamalarda klor içeren sıvıların kullanılması, kullanılacak malzemelerin bilinen paslanmaz çeliklere göre (AISI 316L) arttırılmış mukavemet ve

geliştirilmiş korozyon dirençlerine sahip olmalarını gerektirir. Bu tür çelikler, tane büyüklüğü 3-10 μm ' ye kadar küçültülebildiğinde, 950°C civarında %500 gibi bir çekme uzaması göstererek süper plastik hale gelirler.

Dublex paslanmaz çelikler basit anlamda iki ayrı fazı (ferrit ve östenit) bünyelerinde bulundurur. Dolayısı ile ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak tanımlanırlar. Daha öncede belirtildiği gibi ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Ferritik yapıyla mukavemet ve gerilmenin korozyon çatlamasına direnç, östenitik yapı ile tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı, ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon dirençli bir çelik ortaya çıkmaktadır (Kaluç ve Tülbentçi 1995).

Modern dublex paslanmaz çelikler ısıl işlem görmüş hallerinde -50 °C'nin altında tokluk kaybına uğrarlar. Zira bu çeliklerde ferrit fazının bulunması sonucunda çentik darbe eğrisinde düşen sıcaklıkla sünek-gevrek geçiş sıcaklığı da düşer. 475°C gevrekliği ile birlikte bu faktör dublex paslanmaz çeliklerin kullanım sıcaklıklarının da sınırlayıcı etkide bulunur. Dolayısı ile de bu tür çelikler -50°C ile 280°C sıcaklıkları arasında mekanik özelliklerini çok iyi korurlar. Kaynak edilebilirlikleri ve karşılaştırılabilir fiyatları da buna eklenirse günümüzün vazgeçilmez bir paslanmaz çelik türü ortaya çıkmaktadır (Develi 2003).

9.1.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, bileşiminde %12-25 Cr ve %8-25 Ni içeren ve paslanmaz çelik ailesinin en yaygın kullanım alanına sahip olan çeliklerdir. Yüksek korozyon dirençlerinden ve şekillendirilebilirliklerinden dolayı üstün bir pozisyona ve bu nedenle pek çok mühendislik uygulamaları için arzu edilen özelliklere sahiptir (Stenbacka 1995).

Bilindiği üzere, östenitik yapıda demir alaşımları elde etmek bu asrın başından beri metalurjistlerin en önemli uğraşlarından birisi olmuştur. Günümüzde AISI 300 serisi olarak adlandırılan östenitik paslanmaz çelikler, işte bu çalışmaların

ürünüdür. Bugünün östenitik paslanmaz çelikleri %16-26 Cr, %10-24 Ni, %0,40'a kadar karbon ve diğer bazı özellikleri geliştirmek için katılmış Mo, Ti, Nb, Ta ve N gibi elementler içerir.

Östenitik paslanmaz çelikler soğuma sırasında östenit → ferrit dönüşümü olmadığından su verme yolu ile sertleştirilemez. TS 2535, östenitik paslanmaz çelikleri "bileşiminde korozyona karşı krom ve östenitik bir yapı sağlamak amacı ile de nikel bulunan, oda sıcaklığında manyetik olmayan, ısı işlemi ile sertleştirilemeyen soğuk biçimlendirilmeye elverişli paslanmaz çeliktir" diye tanımlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin, şekillendirilebilirlik ve korozyon dirençleri mükemmeldir. Mukavemet, yoğun katı eriyik mukavemetlenmesi ile elde edilir ve östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon sonucu pekleşmesi ferritik paslanmaz çeliklerden fazla olabilir. Östenitik paslanmaz çelikler geçiş sıcaklıklarına sahip olmadıkları için, düşük sıcaklıktaki darbe özellikleri mükemmeldir. Bu çelikler ferromanyetik değildirler. Yüksek nikel ve krom miktarı bu çeliklerin maliyetinin artmasına neden olur (Askeland 2000).

Östenitik paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılırlar. Artan krom ve molibden içerikleri agresif çözeltilere karşı korozyon dirençlerini arttırıcı rol oynar. Yüksek nikel içeriği gerilmeli korozyon çatlamasına karşı riski azaltır. Östenitik paslanmaz çelikler katılan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak genel korozyona, çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri yükselir; bu olay çeliğin klor içeren ortamlarda kullanılması durumunda daha da önemlidir. Çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri artan molibden ve krom ile artar (Kaluç ve Tülbentçi 1995).

Östenitik paslanmaz çelikler içyapılarına göre kararlı veya yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler olarak iki grupta incelenir. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler soğuk şekillendirme sonucu iğnemsî veya martensitik türde bir içyapı gösterirler. Kararlı östenitik paslanmaz çelikler ise oldukça yüksek derecede soğuk şekil değiştirme sonucunda bile östenitik içyapılarını korurlar. Bu iki tür arasındaki belirgin fark, gayet açık bir biçimde bunların çekme diyagramlarından

görülebilmektedir. Kararlı östenitik paslanmaz çeliklere örnek olarak AISI 304 çeliği normal gerilme - genleşme diyagramında bir östenitik davranış gösterir. Çekme eğrisinin parabolik değişimi gerilme uygulandıkça şekil değiştirme sertleşmesinin devam ettiğinin işaretidir. Buna karşın AISI 301 östenitik paslanmaz çeliği yarı kararlı östenitik paslanmaz çeliklere güzel bir örnek olmaktadır. Yaklaşık olarak %10-15'lik bir % uzamadan sonra şekil değiştirme sertleşmesi hazırlanan bir şekilde kendini belli eder. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çeliklerde şekil değiştirme sertleşmesinde görülen bu artış doğrudan östenitin dengesizliğinin bir göstergesidir (Çakır 1999, Kaluç ve Tülbentçi 1995, Sandvik 1997).

9.2. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi

Karbonlu çeliklerin normal olarak sağlanamayan kendine has özellikleri kazanmak için, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımli çeliklerdir. Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya birden fazlasının, çeliğin içindeki değerleri Mn %1,65, Si %0,60'dan fazla olan ve bunlara öteki elementlerden Al, B, Cr, Co, Mo, Ni, Ti, W, V ve Zr elementlerinin birinin veya birkaçının bulunması istenen çelikler, alaşımli çelikler sınıfına girer.

Alaşımli çeliğin, alaşım elementlerinin alt ve üst limit değerleri arasındaki fark çok az olup, alaşım elementi sayısı arttıkça, alınacak dökümlerde uygun olmayanların sayısı fazlasıyla artar. Alaşımli çelik ingot ve kütüklerin gerek yüzünde gerekse içinde meydana gelmesi muhtemel çatlamalara neden olmaması için, özel kuyu ocaklarında ağır ağır soğutulur. Ayrıca haddeleme ve dövme işlemlerinden önce son olarak hatalar giderilir. Bu nedenlerden ötürü alaşımli çelik yapımı, karbonlu çeliklere kıyasla daha zordur (Çakır 1999, Geventürk 1990, Asm Publisher 1984, Smith ve Smith 2000).

9.2.1. Karbon (C)

Çelikte başlıca sertleştirici etkisi olan element, karbondur. Karbon miktarındaki her artış, çeliğin sıcak hadde mamulü veya normalize edilmiş halindeki sertlik ve çekme direncini artırır. Fakat esnekliğini, dövülme, kaynak edilme ve kesilme özelliğini zayıflatır.

9.2.2. Mangan (Mn)

Mangan, çeliğin direncini geliştirir, esnekliğini az miktarda zayıflatır. Dövme ve kaynak edilme özelliğine olumlu etkide bulunur. Manganın, sertlik ve direnci artıran özelliği, karbon miktarına bağlıdır. Manganın yüksek karbonlu çeliklerdeki etkisi, düşük karbonlu çeliklere oranla daha fazladır. Mangan su verme derinliğini artırır, paslanmaya (korozyona) olan direncini geliştirir.

9.2.3. Silisyum (Si)

Silisyum, mangan gibi bütün çeliklerde bulunan bir elementtir. Çelik yapımında demir cevherinden veya ocak astan olan tuğlalardan da bir miktar silis, çeliğin bünyesine kendiliğinden girer. Silisyumlu çelikler deyimi, bileşiminde %0,40'dan fazla silisyum olan çelikler için kullanılır. Silisyum, çelik dökümlerde mekanik direnci ve özgül ağırlığı artırır. Çelikte silisyumun bulunması, esnekliği eksi yönden etkilerse de beher %1 artış için çekme dayanımını 10 kg/mm, akma sınırını da benzer bir oranda artırır. % 14 arasında silisyum bulunan çelikler, kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklı olduklarından, bu durumdaki çelikler dövülemezler.

9.2.4. Fosfor (P)

Genel olarak çelikteki fosfor zararlı olarak bilinir. Yüksek kaliteli çeliklerde fosfor % si en çok 0,030-0,050 olarak tutulur.

9.2.5. Kükürt (S)

Çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılması söz konusu olmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak kabul edilen bir elementtir. Normal olarak müsaade edilen miktar en çok % 0,025-0,030 arasında sınırlandırılır. Sonuç olarak kükürt, çeliği kırılgan yapar ve haddelenmesini güçleştirir.

9.2.6. Krom (Cr)

Krom, bir çeliğin dayanma özelliğini artıran fakat buna karşılık, esnekliğini çok az bir dereceye kadar eksi yönden etkileyen bir alaşım elementidir. Krom çeliğin sıcağa direncini artırır. Tufal yapmayı önler, içinde yüksek oranda krom bulunması; çeliğin paslanmaya ve aşınmaya karşı dayanmasını artırır.

Kromlu paslanmaz çeliklerde krom oranı arttıkça, kaynak edilebilme yeteneği azalır. Krom, en stabil karbürü meydana getirir. Çelikte beher % 1 oranındaki krom yüzdesi artışına karşılık, çekme direncinde yaklaşık olarak 8-10 kg/mm²lik artış görülür. Aynı oran içinde olmamakla beraber, akma sınırı yükselirse de çentik direnci düşer.

9.2.7. Nikel (Ni)

Nikel, çeliğin direncini silisyum ve mangana kıyasla daha az artırır. Çelikte, nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar. Krom nikelli çelikler paslanmaz, tufallanmaya ve ısıya dayanıklıdır. Özellikle düşük sıcaklıklarda, makine yapı çeliklerinin çentik direncini artırır. Nikel, ıslah ve sementasyon çeliklerinin direncini artırdığı gibi, östenitik çelikler, paslanmaya ve tufallanmaya dayanıklı çelikler için, uygun bir alaşım elementidir.

9.2.8. Molibden (Mo)

Molibden, çeliğin çekme dayanımını özellikle ısıya dayanıklılığı ile kaynak edilme özelliğini artırır. Yüksek miktarda molibdenli çeliklerin dövülmesi güçleşir. Molibden, kromla birlikte daha çok kullanılır. Molibdenin etkisi volframa benzer.

9.2.9. Vanadyum (V)

Çok düşük miktarda kullanıldığında çeliğin sıcağa dayanımını artırır. Vanadyum, alaşımlı makine yapı çelikleri tane yapısının ince olmasını ve fiziksel özelliklerinin gelişmesini sağlar.

Aynı zamanda çelik kesici uçlarının, daha uzun zaman keskin kalmasını sağlar. Genellikle alaşımlı makine yapı çeliklerinde bulunan vanadyum miktarı %0,03-0,25 arasında değişir. Karbür yapmaya karşı kuvvetli bir eğilimi vardır. Çeliğin çekme ve akma dayanımını artırır. Makine yapı ve sıcak iş çeliklerinde özellikle vanadyum ve krom, hava ve makine yapı çeliklerinde volframla birlikte kullanılır.

9.2.10. Wolfram (W)

Çeliğin dayanımını arttıran bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinde, kesici kenarlar sertliğin artmasını kullanılma ömrünün uzamasını ve yüksek ısıya dayanımını sağlar. Bu yönden hava çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Çelikte volframın bulunması belirli yüzdelere kadar kaynak edilebilme özelliğine geliştirici etkiler yapar. Çeliğe ilave edilecek beher volfram yüzdesi, akma ve çekme dayanımını 4 kg/mm²'ye kadar artırır. Wolframın karbür meydana getirmeye karşı kuvvetli bir eğilimi olup, yüksek çalışma sıcaklığında, çeliğin menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında tercih edilir.

9.2.11. Kurşun (Pb)

Yalnızca otomat çeliklerine (% 0,2 - 0,5) oranında katılır, işlemede kolaylık ve temiz bir yüzey elde edilmesini sağlar, mekanik özelliklere pek etki etmez (Akkurt 1998, Askeland 2000).

9.2.12. Bor (B)

Çok düşük oranda (% 0,001 gibi) ilave edilse bile su vermede sertliğin derinlere erişmesine, bilhassa sementasyon çeliklerinde merkez dayanımının artmasını sağlar.

9.2.13. Alüminyum (Al)

Alüminyum Nitrür veya dayanıklı çeliklerde, mıknatıs çeliklerinde az kullanılan faydalı bir elementtir.

9.2.14. Bakır (Cu)

Genelde özellikleri iyileştirir. Ancak özel olarak pek katılmaz. Dövmeyi zorlaştırdığı için istenmez.

9.3. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği

Krom, paslanmaz çeliğin bir temel ögesi olup malzemenin yüzeyinde krom-oksit filmi oluşturarak paslanmaz çeliği korozyondan korur. Karbon muhtevası yeterince yüksek olduğu zaman paslanmaz-krom çelikleri karbon çelikleri gibi sertleştirilebilir. Paslanmaz çelikler kroma ek olarak molibden, bakır, titanyum, silikon, manganez, alüminyum, azot ve sülfür gibi diğer alaşım elementlerini ihtiva eder. Bu elementler malzeme yapısını değiştirmek, korozyon direncini ve diğer özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Başlıca mukavemet olmak üzere bazı özellikler doğrudan malzeme yapısına bağlıdır (Sandvik 1994, Belejchak 1997).

Yüksek alaşımli paslanmaz çelikler yapısında aşındırıcı karbür taneleri ihtiva eder. Bu taneler takım aşınmasının daha hızlı meydana gelmesine neden olur. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş haldeki martensitik çeliklerin hassas işlenmesinde yüksek kesme hızlarından kaçınılmaması durumunda, malzemenin ikinci defa temperlenmesini gerekli kılar (Mills ve Redford 1983).

Paslanmaz çeliklerin yüksek çekme mukavemetine sahip olması da işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Akma ve kopma noktaları arasındaki uzaklık normal karbonlu çeliklere göre daha fazladır. Dolayısıyla paslanmaz çelikler işlenirken, normal karbon çeliklere göre daha fazla kesme kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır (Mills ve Redford 1983).

Östenitik paslanmaz çeliklerin, düşük ısıl iletkenliğine ve pekleşme özelliğine sahip olması da işlenebilirliği olumsuz yönde etkileyen faktörlerde biridir. Paslanmaz çeliğin işlenme esnasındaki pekleşme özelliği, normal karbonlu çeliklere göre daha yüksek miktarda kesme kuvvetine ihtiyacın doğmasına yol açar. Isı iletkenliğinin düşük olması kesme bölgesinde sıcaklığın artmasına yol açar. Meydana gelen yüksek sıcaklık ikinci deformasyon bölgesinde difüzyon aşınmasının oluşmasını sağlar (Mills ve Redford 1983).

Östenitik paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çeliklere nazaran en çok kullanılan gruptur ve korozyon direnci bakımından diğerlerine göre en iyisidir. En yaygın paslanmaz östenitik çelikler 18/8 (%18 Cr- %8 Ni) tipidir. Bu çelik östenitik gurubunda temel düzeyde korozyon direncini temsil eder. Eğer daha iyi korozyon direnci gerekirse çeliğe molibden eklenir. Bu yolla aside karşı dirençli paslanmaz çelik elde edilir. 18/8 ve 18/8 + 2 Mo çelikleri östenitik paslanmaz çeliklerin en yaygın kısmını oluşturur. Bunun yanı sıra aynı zamanda daha yüksek alaşımli örnekler de mevcuttur. Paslanmaz çeliğin korozyon direncini arttırmak için %22 oranında Nikel, %65 oranında krom ve biraz da bakır katılır.

18/8 paslanmaz çelikler üçe ayrılır:

- 1) Düşük karbonlu (0,08)
- 2) Çok düşük karbonlu (0,003)
- 3) Stabilize edilmiş (Ti en yaygın stabilizasyon elementidir)

18/8 paslanmaz çeliğin aynı zamanda kolay işlenebilen alternatifleri de vardır. En yaygın olarak bu çelikler tekrar sülfürize edilebilirler. Bazen işlenebilirliğin arttırılabilmesi için selenyum eklenir. Bu katkı maddeleri korozyon direncini zayıflatır. Bundan dolayı bu çelikler korozyon direnci gerekmediği durumlarda tercih edilir (Sandvik 1994).

9.3.1. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirlik Problemleri

Yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direncini elde etmek için paslanmaz çeliklere çeşitli malzemeler ilave edilmektedir. Bu eklenenler paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini zorlaştırmaktadır. Malzeme işlenirken pekleşen kalın bölgeler, spiral biçimdeki talaşlar, şiddetli harmonikler ve oluşan ısı talaş kaldırma işlemini zorlaştırmakta ve takım ömrünü azaltmaktadır. Bununla birlikte paslanmaz çeliklerin soğuk şekillendirilmeleri, karbonlu çeliklerde oluşan deformasyon sertleşmesi tabakasından daha kalın bir sertleşmiş tabaka oluşmasına sebep olmaktadır. Yani kesici takım ile temasta olan yüzey, malzemenin normal haline göre daha fazla sertlikte olmasına neden olabilir. Paslanmaz çeliklerin işlenmesi için gerekli olan yüksek kesme kuvvetleri, kesme esnasında oluşan "ısıyı" ve "takım aşınmasını" artırır.

"Serbest yüzey" iş parçası malzemesi içindeki aşındırıcı taneciklerin takım ile iş parçası arasında yüksek basınç altında sıkışarak takım kesici ağzını aşındırması sonucu meydana gelir. Yanak aşınması ile kesme hızı doğrudan ilişkilidir. Kesme hızının artması bu aşınma mekanizmalarını hızlandırır. Yanak aşınması sayısal olarak V_B değeri ile ifade edilir (Kasap 2001, Yeşilyurt 2003).

Takım talaş yüzeyi ile temas uzunluğu boyunca talaşın hareket karakteristiği metallerin işlenmesindeki önemli bir faktördür. Talaş oluşumunda yüksek sıcaklık ve büyük basınç altında metal zorlandığı, kuvvete maruz kaldığı için yüzeyi; metalin kaymasını engelleyecek şekilde birleşir. İki yüzey birbirine yapışır ve ara yüzeyde bir akma bölgesi oluşur. Bu teori pek çok metal işlemine uygulanmasına rağmen bazı örneklerde kayma etkisi de söz konusu olabilir. Akma bölgesi, yüzeyler yapıştığı anda, fakat takım ve talaş arasındaki hareket devam ettiğinde oluşur. Talaş malzemesinin hızı ara yüzeyde sifira yakın bir değerden takımdan ayrıldıkça daha yüksek seviyelere doğru artar. Bu sebeple talaş; kesilmeden dolayı kayma düzlemi (takım yüzeyi) boyunca hareket eder. Bu durağan bölgede yüksek ısı oluşur ve metal akar. Takım talaş arasındaki temas boyunca, temastaki boy işlemede farklı reaksiyonlara sebep olur (Yeşilyurt 2003).

Belirli koşullarda ve malzemelerde akış bölgesindeki malzeme tabakalar halinde birbiri üzerine birikir, takım yüzeyinde katılaşır ve böylelikle yığıma kenar (BUE) oluşur. Metal yüksek basınç etkisiyle sürekli olarak takım yüzeyine kaynak olur. Böyle bir yapı takımın talaş açısını değiştirir, yığıma kenar belli bir zaman sonra kararsız bir hal alarak belirli bir noktadan kırılır. Bu durum işlemin çeşitli safhalarında, farklı şekillerde ortaya çıkabilen işleme, negatif etkisi olan bir durumdur. Bu durum işleme koşullarının değiştirilmesi ile giderilebilir (Çakır 1999).

Sıvanmayı önlemek için akma bölgesinin oluşturulması gerekir. Bu nedenle kesme hızını arttırmak o bölgelerdeki ısıyı arttırarak akma bölgesinin sürekli olmasını sağlar. Aynı zamanda takımın talaş açısını arttırmak, takım iş parçası temasını küçültmek ve takımın talaş yüzeyinin pürüzsüz olmasını sağlamak, takımın sıvanma oluşumunu azaltır (Yeşilyurt 2003).

İşleme esnasında kaynak olmuş dilimli talaşlar uzun süreli tiz seslerin çıkmasına, bununla birlikte kesici uçların çatlamasına ve kırılmasına sebep olur.

9.3.2. İşlenebilirliğin İyileştirilmesi

Yapılan bir çalışmada TiN kaplı sementit kaplı karbür takımları ile X5CrMn1818 östenitik paslanmaz çeliklerin aktif aşınma ve hata mekanizmaları incelenmiştir. Malzemeye ayrı ayrı olarak % 0,91 ve % 0,57 oranında azot emdirilmiştir. Yüksek azotlu östenitik paslanmaz çelikler çok yüksek mukavemetlidir. Yüksek sünekliliğe sahiptir. Gerilmeli korozyon çatlamasına dayanıklıdır. Azot, mevcut yapı içerisindeki dislokasyon hareketine karşı bir engel olarak görev yapar. Tane boyunun sertliği malzemede yüksek mukavemet sağlar. Azotlu paslanmaz çelikler yüksek soğuk çalışma kapasitesine sahiptirler. Azot oranı arttıkça çalışma sertliği oranı yükselir. Normal X5CrMn1818 östenitik paslanmaz çeliğin tane ölçüsü 30µm ve kopma gerilimi 660 MPa iken yüksek azotlu östenitik paslanmaz çeliğin kopma mukavemeti 3000 MPa olarak ölçülmüştür.

İlk olarak %0,91 azot alaşımli X5CrMn1818 malzemesi tornalama testine tabi tutulmuştur. 60 m/dk kesme hızında ve 0,24 mm/dev ilerlemede takım ömrü 30 dk olarak ölçülmüştür. İlerleme sabit tutulup kesme hızı 65 m/dk'ya çıkartıldığında takım ömrünün 25 dk'ya gerilediği görülmüştür. Kesme kuvveti değeri 2,4 kN ile 3,5 kN arasında ölçülmüştür.

İkinci olarak %0,57 azot alaşımli X5CrMn1818 malzemesi tornalama testine tabi tutulmuştur. 60 m/dk kesme hızında ve 0,24 mm/dev ilerlemede takım ömrü 22 dk olarak ölçülmüştür. İlerleme sabit tutulup kesme hızı 65 m/dk'ya çıkartıldığında takım ömrünün 10 dk'ya gerilediği görülmüştür. Kesme hızı 70 m/dk'ya çıkartılıp yine ilerleme sabit tutulduğunda ise takım ömrünün 5 dk'ya indiği tespit edilmiştir. Kesme kuvveti değeri 1,8 kN ile 2,2 kN arasında ölçülmüştür.

Kesme hızı artışı, talaş formasyonunun bozulmasına ve kesici takım kenarından fazla miktarda parça kopmasına neden olmuştur.

Her iki örneğin mikro sertlik ölçümlerinin analizinde yanak aşınmasının meydana geldiği tespit edilmiştir. Tornalanan yüzeyler çok pürüzlü çıkmıştır. Malzeme yüzeyinde mikro çatlaklara rastlanmıştır. İş parçası yüzeyi mikro sertliği

video kamera sistemi ile ölçülmüştür. % 0,57 azot içerikli X5CrMn1818 malzemesinin mikro sertliği 600 HV olarak tespit edilmiştir. Yüzeyden 200 µm derinliğe kadar çalışma sertliği meydana gelmiştir. %0,91 azot içerikli X5CrMn1818 malzemesinin mikro sertliği ise yaklaşık 400 HV olarak ölçülmüştür. Yüzeyden 100 µm derinliğe kadar çalışma sertliği meydana gelmiştir. Malzeme yüzeyinden içeriye doğru girildikçe sertliğin azaldığı görülmüştür (Paro ve ark. 2001).

Yapılan bu deneyler sonucunda şu sonuçlar tespit edilmiştir;

- X5CrMn1818 deneme malzemesinin tornalanması sonucunda, yüksek kesme hızları ve keskin kesici kenarlarından dolayı takımda çok fazla aşınma görülmüştür.
- Oluşan sıvanma (BUE) deneme malzemesinin işlenebilirliğini azaltmıştır.
- X5CrMn1818 deneme malzemeleri arasında işlenebilirlik açısından farklılıklar görülmüştür.
- Kesme hızı arttıkça takım ömrünün azaldığı görülmüştür.
- X5CrMn1818 deneme malzemeleri işlenirken kesme kuvvetleri değerleri farklı ölçülmüştür (Paro ve ark. 2001).

10. YAPAY SİNİR AĞLARI ve CEVAP YÜZEY METODU

10.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynin fizyolojisinden esinlenerek geliştirilmiş bilgisayar programlarıdır. Programcının geleneksel yeteneklerini gerektirmeyen ve kendi kendine öğrenme düzenekleri olan YSA, öğrenmenin yanı sıra, ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler oluşturma yeteneğine de sahiptir. Bir sinir ağının en temel bileşeninin beynin fizyolojik yapısından esinlenerek geliştirilmelerine karşın, tüm özellikleri beyinle aynı değildir. Bazı özelliklerinin ise beyinde biyolojik karşılığı yoktur.

YSA genel olarak model seçimi ve sınıflandırılması, işlev tahmini, en uygun değeri bulma ve veri sınıflandırılması gibi işlerde başarılıdır. Geleneksel bilgisayarlar ise özellikle model seçme işinde verimsizdir ve sadece algoritmaya dayalı hesaplama işlemleri ile kesin aritmetik işlemlerde hızlıdır (Bingöl 2005).

Bağlantı ağırlıkları öğrenme algoritmalarıyla belirlenmektedir. Öğrenme algoritmalarında genel olarak geri yayılmalı öğrenme ve çabuk yayılmalı veya esnek yayılmalı öğrenme kullanılmaktadır (Zell 1994).

YSA üzerine ilk çalışma 1943 yılında, Warren McCulloch ile Walter Pitts (1943) tarafından gerçekleştirilmiştir. McCulloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, mantık devreleriyle basit bir sinir ağını modellemişlerdir. Bu modelde bir düğümdeki işlem elemanı diğer düğümlerden aldığı giriş değerlerinin toplamını hesaplayarak belirlenen eşik değeri karşılaştırmaktadır (Elmas ve Coşkun 1995). Eğer sonuç eşik değerden küçükse 0, büyükse 1 çıkışı üretmektedir. Böylece bu düğümler kullanılarak her türlü klasik mantık fonksiyonunun çözülebileceği ileri sürülmüştür.

1948 yılında Wiener sinirlerin çalışması ve davranış özelliklerine değindiği “Cybernetics” isimli bir kitap yayınladı. Hebb (1949) “Organization of Behavior” isimli kitabında, öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele aldı. Hebb’in yayınladığı kitapta öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel oluşturacak Hebb Kuralı’nı ortaya koymuştur.

Yapay sinir ağlarının ilk bilgisayar benzetimi 1956 yılında Rochester tarafından sunulmuştur (Patterson 1995). Rosentblatt (1957) yılında Perceptron’u gerçekleştirmesinden sonra YSA alanındaki gelişmeler hızlanmıştır. Perceptron, beyin işlevlerini modelleyebilmek amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan tek katmanlı eğitilebilen ve tek çıkışa sahip olan YSA’dır (Elmas 2003).

Bernard Widrow ve Marcian Hoff (1960) geliştirdikleri ağ model, telefon hatlarında oluşan yankıları yok eden bir uyarlanabilir süzgeç olarak kullanılmış, gerçek dünya sorunlarına uygulanmış olan ilk sinir ağıdır ve hala kullanımda bulunmaktadır (Widrow ve Lehr 1990).

Minsky ve Papert (1969) Perceptron’un XOR problemini çözemediğini ispatlamışlardır ve iki katmanlı ileri beslemeli ağların kullanılabilirliğini ileri sürmüşlerdir. Fakat gizli katmanların ağırlıklarının nasıl değiştirileceği konusunda bir yöntem önerememişlerdir. Bu soruna Rumelhart ve McClelland (1986) geri yayımlı YSA yöntemi ile bir çözüm getirmişlerdir.

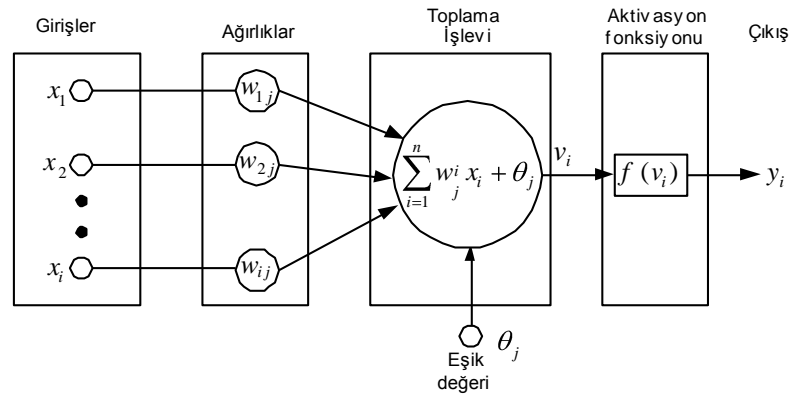
1970’li yıllarda yapay sinir ağları hakkında Grossberg ve Kohonen önemli ilerlemeler kaydettiler. Grossberg (Fukuda ve Shibata 1992) biyolojik sinir sistemlerinin temel prensiplerinden yararlanarak kendine ait uyarlanabilir rezonans teorisini (ART) geliştirmiştir ve ağı dinamik yapısıyla birinci dereceden diferansiyel denklemleri modellemiştir.

Werbos (1974) yılında geri yayımlı YSA algoritmasını geliştirmiştir. Onun ilk uygulaması dinamik model tahmini olmuştur. 1980’ li yılların başında Hopfield geriye yayımlı ağların eğitimi için Hopfield modelini ortaya koymuştur (Hopfield 1982, Hopfield 1984). Sonraları Kosko, Hopfield ve Grossberg’e ait

fikirlerinin bazılarında yararlanarak uyarlanabilir iki yönlü ilişkili hafıza (BAM) modeli gelişmiştir (Kosko 1987). Diğer önemli modeller daha sonraki yıllarda bulunmuştur.

YSA, birbirine bağlı çok sayıda işlem elemanlarından oluşmuş, genellikle paralel işleyen yapılar olarak adlandırılabilir. YSA'daki işlem elemanları (düğümler) basit sinirler olarak adlandırılır. Bir YSA, birbirleriyle bağlantılı, çok sayıda düğümlerinden oluşur. YSA, insan beyni gibi, öğrenme hatırlama ve genelleme yeteneğine sahiptirler (Elmas 2003).

YSA'lar insan beyninin modellenmesine dayanır ve her biri ağırlık bağlantıları ile birbirine bağlı çok sayıda yapay sinir hücresine sahiptir. Şekil 10.1'de bir yapay sinir ağı görülmektedir.



Şekil 10.1. Yapay bir sinir (düğüm) (Elmas 2003)

Girişler (x_1, x_2, \dots, x_i) önceki sinirlerden veya dış dünyadan aldığı bilgiyi sinire getirir. Bir sinir genellikle gelişmiş birçok girdileri alır. Ağırlıklar ($w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ij}$) yapay sinir tarafından alınan girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılarıdır. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Bir ağırlığın değerinin büyük olması, o girişin yapay sinire güçlü bağlanması ya da önemli olması, küçük olması zayıf bağlanması ya da önemli olmaması anlamına gelmektedir. Toplama işlevi v_i , sinirde her bir girişin kendi ağırlıkları ile çarpımının toplamını eşik θ_j değeri ile toplayarak etkinlik işlevine gönderir.

Toplama işlevinin sonucu, etkinlik işlevinden geçirilip çıkışa iletilir. Etkinlik işlevinin kullanım amacı, zaman söz konusu olduğunda toplama işlevinin çıkışının değişmesine izin vermektir.

10.1.1. YSA' ların Üstünlükleri

YSA'nın klasik sistemlere göre üstünlükleri aşağıda açıklanmıştır (Sağiroğlu ve ark 2003).

- Doğrusal olmama: YSA bu özeliğinden dolayı doğadaki hemen hemen her probleme uygulanabilmesini sağlamaktadır.
- Öğrenme: YSA' larını diğer yaklaşımlardan ayıran temel bir özelliktir. YSA' ları bir problemi öğrenebilmesi için problemin giriş ve çıkış verilerine karşılık gelen çıkış verilerinin veya sadece verilerinin sağlanması gerekir.
- Genelleme yapma: Eğitim sürecinin ardından YSA eğitim kümesi dışındaki veriler için de çıkışlar üretir. YSA'nın ürettiği çıkışların kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı, test verilerinin bilinen sistem çıkışı ile YSA'nın çıkış değerleri karşılaştırılarak yapılabilir. Bu uygulama genellenmenin testi olarak bilinir.
- Adaptasyon: YSA tanımı yada parametreleri değişen probleme veya sisteme uygun çözümler sağlamak için tekrar tekrar eğitilebilir. Eğitim gerçek zamanda gerçekleştirilir.
- Veri İşleme: Biyolojik sistemlerde veri dağınık yapıda saklanır. YSA'da ise, ağırlıklar üzerine paralel olarak dağıtılmış şekilde temsil edilmekte, korunmakta ve işlenmektedir. Ağırlıklar herhangi bir anda YSA'nın problemle ilgili olarak sahip olduğu bilgiyi ifade eder.
- Hataya ve gürültüye karşı duyarlılık ve tolerans: YSA'nın genelleme yeteneği gerçekleştirilen testlerle sınılanır. Genelleme, yeterli seviyede ise giriş vektörünü tanımlayan parametrelerden bazılarının verilmemesi veya sağlanmaması durumunda yada ağırlıklarından bazılarının bozulmaması veya kullanılamaz duruma gelmesi halinde de giriş vektörünü karşılayan çıkış verilerinin YSA tarafından kabul edilebilir doğrulukta üretebilmesidir.
- Donanım: YSA' lar paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI)

teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini ve örnek tanıma, işaret işleme, sistem kimliklendirme ve denetim gibi gerçek zaman uygulamalarında kullanımı artırır.

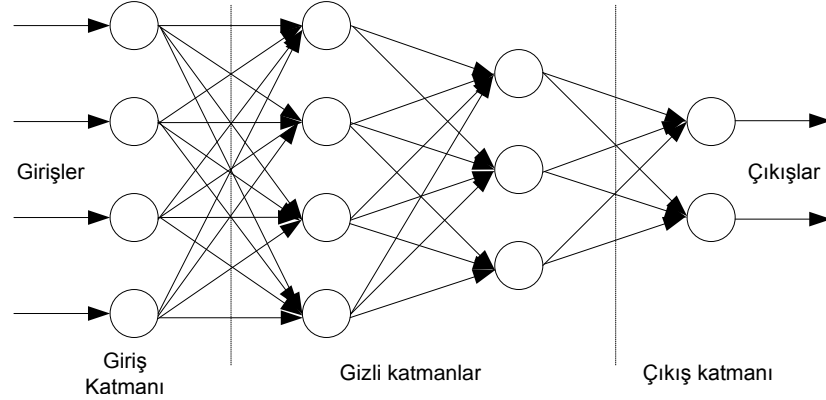
10.1.2. Yapay Sinir Ağının Oluşumu

YSA, sinir olarak adlandırılan çok sayıda işlem elemanının bir araya gelmesinden oluşur. Frank Rosentblatt'ın 1958 yılında öğrenme yeteneğine sahip olan bir örnek tanıma aygıtını ortaya çıkarmış olduğundan bu yana, hiyerarşik sinir ağı en çok üzerinde çalışılmış olan bir ağ yapısı olmuştur. Bu sinir ağı, düğümlerin sıralı bir şekilde art arda bağlanmasından oluşur. Bu ağların özelliği sahip oldukları basit dinamikleridir. Giriş katmanına bir işaret gittiğinde, bu işaret sinirler arasındaki bağlantılar yoluyla diğer katmana iletilir. Giriş katmanının düğümleri tarafından diğer katmana iletilmeden önce bu işaret üzerinde basit bir işlem yerine getirilir. Bu süreç son katman olan çıkış katmanına erişinceye kadar tekrar edilir. Verilen bilgiyi alan ilk katmandaki giriş ağ içinde ileriye doğru yayılır. Her bir katmandaki düğümlere sadece önceki katmandaki düğümlerden gelen girişlere izin verilir. Bir düğüm kendinden sonraki her hangi bir düğüme bağlanabilirken kendisine asla bağlanmaz. Son katmana ulaşan bilgiler ağın çıkışıdır.

Geri beslemeli ve tekrarlanan ağlarda en azından bir düğümün geriye yayıldığı bir dönüş bağlantısı vardır. Tekrarlanan ağlar da tamamen veya parçalı olarak geri besleme yollarına sahiptirler. Bu tür ağların tasarımları ve davranışları oldukça karmaşıktır (Elmas 2003).

Gizli katmanları olmayan, sadece giriş ve çıkış katmanı olan ağlar, karmaşık işlevleri hesaplama yeteneğinden yoksundur. Bu nedenle karmaşık hesaplamalar için oluşturulan ağlarda en az bir ara katman olmalıdır. Burada her bir sinir doğrusal olmayan bir etkinlik işlevini hesaplayabilmektedir. Şekil 10.2'de iki gizli katmana sahip dört katmanlı bir YSA görülmektedir.

Bu ağda bir katmandaki her sinir, bir sonraki katmanın bütün sinirleri ile bağlantılıdır. Aynı katmandaki sinirler arasında veya geri-besleme şeklinde bağlantıları yoktur.



Şekil 10.2. Dört katmanlı bir YSA (Elmas 2003)

Giriş katmanından alınan bilgiler, giriş katmanı ve gizli katman arasında bulunan bağlantı ağırlıkları ile çarpılıp gizli katmana iletilmektedir. Gizli katmandaki sinirlere gelen girişler toplanarak bir etkinlik işlevinden geçirilip gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanındaki sinirler de kendisine gelen bu girişleri toplayarak buna uygun bir çıkış üretirler. Burada giriş katmanından çıkış katmanına doğru, gizli katmanlar üzerinden tek yönlü bir iletişim vardır.

10.1.3. YSA'larda Öğrenme

Sinir ağlarında istenen sonucun elde edilmesi için ağın uyarlanabilir olması gerekir. Bunu sağlamak için uygun değerli ağırlıklar ve doğru bağlantılar seçilmelidir. Ağ bu şartları karşılayabilmek için sistemin davranışlarını öğrenmeli ya da kendi kendini örgütlemelidir. Öğrenme kalıcı yenilenmeler için gözleme veya eğitim faaliyetlerinden çıkan sonuçlar olarak tanımlanabilir. Öğrenme yapay sinir ağının ayrılmaz bir parçasıdır. Öğrenme; giriş değerlerine veya bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak ağın bağlantı ağırlıklarını değiştiren veya ayarlayan öğrenme kuralı ile gerçekleştirilir.

YSA'da bilgi, ağdaki düğümleri birbirine bağlayan bağlantıların ağırlıklarında depolanır. Bir ağda öğrenme, istenen bir işlevi yerine getirecek şekilde ağırlıkların ayarlanması sürecidir. YSA'da öğrenme, ağırlıkların değiştirilmesi ile gerçekleşmektedir. Buna göre sınırlar arası bağlantılar üzerindeki ağırlıkların, belirli bir yöntem (öğrenme kuralları) uyarınca dinamik olarak değiştirilebilen ağlar eğitilebilir. Eğitilebilen ağlar, yeni şekilleri tanıyabilir veya verilen bir girişin hangi sınıfa ait olduğuna karar verebilir.

10.1.4. Öğrenme Oranının Ağ Üzerindeki Etkisi

Öğrenme oranı ağ performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Küçük öğrenme oranı değerleri için eğitme işlemi uzun zaman alırken bu değerlerin büyütülmesi ile eğitme işlemi daha kısa zamanda gerçekleşmektedir. Öğrenme oranının artırılması durumunda öğrenme için gerekli adım sayısında azalma meydana gelmektedir. Öğrenme oranının artırılması ağın toplam hatası üzerinde bir iyileştirme meydana getirmektedir. Fakat öğrenme oranına çok büyük değerlerin verilmesi durumunda pek bir yakınsama olayı meydana gelmemektedir.

10.1.5. Momentum Teriminin Ağ Üzerindeki Etkisi

Hesaplamalara momentum teriminin ilave edilmesi ağ performansı üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Momentum teriminin hesaplama katılmasına adım sayısında ve toplam ağ hatasında bir düşüş meydana getirmektedir. Momentum katsayısı yüksek alındığında ağdaki toplam hatanın sifira doğru daha fazla bir eğilimle yaklaştığı görülmektedir.

10.1.6. Gizli Katman Sinir Sayısının Ağ Üzerindeki Etkisi

Gizli katmandaki sinir sayılarının artırılması simülasyon sırasında hem hafıza hem de CPU'nun yükünü artırmaktadır. Fakat öğrenme işlemi daha hassas tamamlanmaktadır. Gizli katman sinir sayısının az miktarda alınması ağın hatırlama yeteneğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden bu çalışmada ara katman sinir

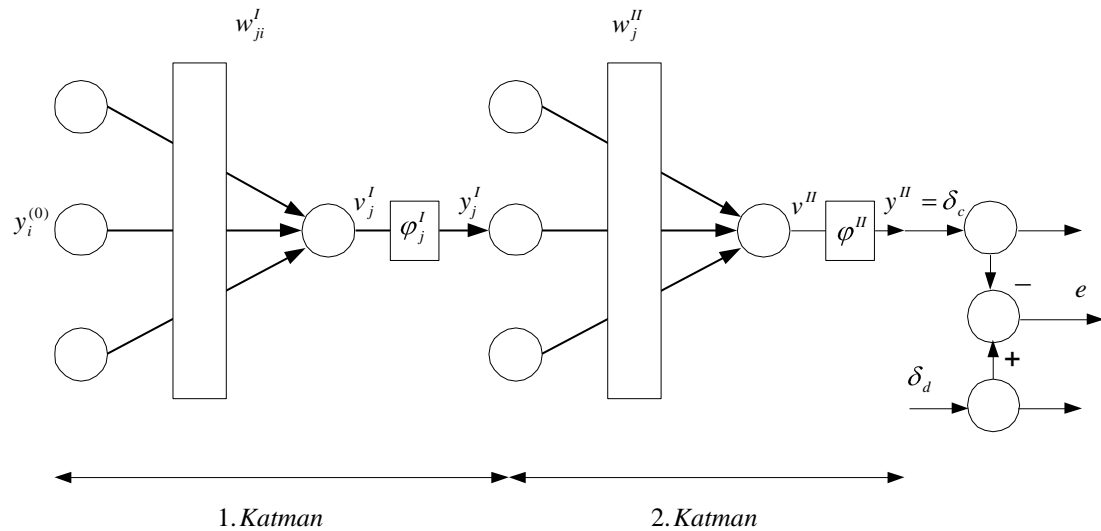
sayısı, giriş katmanındaki ve çıkış katmanındaki sinir sayıları da gözetilerek deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir.

10.1.7. Hata Farkı Değişkeninin Ağ Üzerindeki Etkisi

Hata farkı değişken değeri ya da tolerans, sonuçta istenilen toplam çıkış hatasındaki hassasiyetle ilgilidir. Küçük tolerans değerleri ağdaki toplam çıkış hatasını daha fazla sıfıra doğru yaklaştırarak bağlantı ağırlıklarındaki hassasiyeti de aynı oranda artırmaktadır. Aynı zamanda tolerans değerinin küçülmesi eğitim süresini ve adım sayısını arttırmaktadır.

10.1.8. Danışmanlı Geri Yayılımlı Bir YSA Modeli

Geri yayılım tekniği, sinir ağlarının ağırlıklarının ayarlanmasında çok güçlü bir metottur. Şekil 10.3'de tek çıkışlı iki-katmanlı geri yayılımlı bir YSA modeli görülmektedir. Tek çıkışlı iki katmanlı sinir ağlarındaki ağırlıkların aşağıdaki eşitliklere göre her adımında güncelleştirilir (Bingöl 2005).



Şekil 10.3. Tek çıkışlı iki-katmanlı geri yayılımlı YSA

I. katmandaki ağırlık değerinin bulunması Eş. 10.1’de verilmiştir.

$$w_{ji}^I(k) = w_{ji}^I(k-1) + \Delta w_{ji}^I(k) \quad [10.1]$$

II. katmandaki ağırlık değerinin bulunması Eş. 10.2’de verilmiştir.

$$w_j^{II}(k) = w_j^{II}(k-1) + \Delta w_j^{II}(k) \quad [10.2]$$

Eş. 10.1 ve Eş. 10.2’deki $\Delta w_{ji}^I(k)$ ve $\Delta w_j^{II}(k)$ ağırlık değişimlerinin bulunması için gerekli hesaplamalar aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

Hata $e = e(+)$ istenen çıkış değeri $\delta_d = \delta_d(t)$ ile gerçek çıkış değeri $\delta_c = \delta_c(t)$ arasındaki farktır. Buradan hata Eş. 10.3’de olduğu gibi hesaplanır.

$$e(t) = \delta_d(t) - \delta_c(t) \quad [10.3]$$

Performans veya performans indeksi (E), hatanın (e) karesinin yarısı olarak Eş.10.4’de ki gibi ifade edilir.

$$E = \frac{1}{2} e^2 = \frac{1}{2} (\delta_d - \delta_c)^2 \quad [10.4]$$

Hatanın geriye yayılım algoritmasında, performans indeksinin (E) minimize edilmesine çalışılır. Şekil 10.3’de iki-katmanlı sinir ağının genel gösterimi verilmektedir. $y^{II} = \delta_c$ ifadesi ikinci katmanın çıkışıdır yani sinir ağının çıkışıdır. y_j^I ise birinci katmandaki sinirin çıkışıdır. Bu çıkış ikinci katmanın girişidir. Çıkış katmanından itibaren performans indeksini Eş. 10.5’ deki ifade edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_j^{II}} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^{II}} \frac{\partial y^{II}}{\partial v^{II}} \frac{\partial v^{II}}{\partial w_j^{II}} \quad [10.5]$$

$y_j^I = \frac{\partial v^{II}}{\partial w_j^{II}}$ ifadesi Eş. 10.5'de yerine konularak Eş. 10.6 elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_j^{II}} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^{II}} \frac{\partial y^{II}}{\partial v^{II}} \cdot y_j^I \quad [10.6]$$

Eş. 10.6'nın sağ tarafındaki türevli kısmı δ^{II} gibi bir değişkenle ifade edilirse Eş. 10.7 elde edilir.

$$\delta^{II} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^{II}} \frac{\partial y^{II}}{\partial v^{II}} \quad [10.7]$$

Buradan Eş. 10.6 yeniden düzenlenirse Eş. 10.8 elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_j^{II}} = \delta^{II} y_j^I \quad [10.8]$$

Eş. 10.7'deki her bir türevin bileşeninin açılımı aşağıdaki gibi yapılır. Eş. 10.9 performans indeksi ile hata arasındaki türevin sonucudur.

$$\frac{\partial E}{\partial e} = e \quad [10.9]$$

Eş. 10.10'da hata ile II. katmanın çıkışı (ağın gerçek çıkışı) arasındaki türevin sonucu verilmiştir.

$$\frac{\partial e}{\partial y^{II}} = -1 \quad [10.10]$$

Elde edilen bu değerler Eş. 10.7' de yerine konulursa Eş. 10.11 elde edilir.

$$\delta'' = -e\phi''(v'') \quad [10.11]$$

$$\phi''(v'') = \frac{\partial y''}{\partial v''} \quad [10.12]$$

II. katmanın ağırlık değişimi ($\Delta w_j''$), öğrenme katsayısı (λ'') ile orantılıdır.

$$\Delta w_j''(k) = \lambda'' \frac{\partial E}{\partial w_j''}(k) \quad [10.13]$$

$$\Delta w_j''(k) = \lambda'' \delta''(k) y_j^I(k) \quad [10.14]$$

Eş. 10.14'de elde edilen ağırlık değişimi Eş. 10.2'de yerine konularak II. Katmanın ağırlık değerleri yenilenir.

II. katman için yapılan tüm ağırlık ayarlanmaları I. Katman içinde yapılacaktır.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^I} = \frac{\partial E}{\partial y_j^I} \frac{\partial y_j^I}{\partial v_j^I} \frac{\partial v_j^I}{\partial w_{ji}^I} \quad [10.15]$$

Eş. 10.15'in en sağ tarafındaki türevli kısım (p_i) gibi bir değişkenle ifade edilirse Eş. 10.16 elde edilir.

$$p_i = \frac{\partial v_j^I}{\partial w_{ji}^I} \quad [10.16]$$

Eş. 10.16, Eş. 10.15’de yerine konulursa Eş. 10.17 elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^I} = \frac{\partial E}{\partial y_j^I} \frac{\partial y_j^I}{\partial v_j^I} p_i \quad [10.17]$$

Eş. 10.17’ün sağ tarafındaki türevli kısımlar (δ_j^I) gibi bir değişkenle ifade edilirse Eş. 10.18 elde edilir.

$$\delta_j^I = \frac{\partial E}{\partial y_j^I} \frac{\partial y_j^I}{\partial v_j^I} \quad [10.18]$$

Eş. 10.18 tekrar yazılacak olursa Eş. 10.19 elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^I} = \delta_j^I p_i \quad [10.19]$$

I. katman içinde delta kuralı (Δ) uygulanırsa ağırlık değişim değerleri,

$$\Delta w_{ji}^I = \lambda^I \frac{\partial E}{\partial w_{ji}^I} \quad [10.20]$$

veya

$$\Delta w_{ji}^I = \lambda^I \delta_j^I p_i \quad [10.21]$$

Eş. 10.21, Eş. 10.14’de olduğu II. Katman için yapılan ağırlık ayarlamasına benzerdir. Burada λ^I değişkeni I. katman için kullanılan öğrenme sabitidir. Eş. 10.22’deki türevli kısım δ_j^I gibi bir değişkenle gösterilirse,

$$\delta_j^I = \frac{\partial E}{\partial y_j^I} \frac{\partial y_j^I}{\partial v_j^I} = \left[\sum_{k} w_{jk}^{II} \delta_k^I \right] \left[\frac{\partial y_j^I}{\partial v_j^I} \right] \quad [10.22]$$

Burada Eş. 10.22'in sağ tarafındaki ifadeler Eş. 10.23 ve Eş. 10.24'de verilmiştir.

$$\frac{\partial y_j^I}{\partial v_j^I} = \varphi'^I(v_j^I) \quad [10.23]$$

$$\frac{\partial E}{\partial y_j^I} = \delta^{II} w_j^{II} \quad [10.24]$$

$$\frac{\partial E}{\partial y_j^I} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^{II}} \frac{\partial y^{II}}{\partial v^{II}} \frac{\partial v^{II}}{\partial y_j^I} = \delta^{II} w_j^{II} \quad [10.25]$$

Burada Eş. 10.25'in sağ tarafındaki ifadeler Eş. 10.26 ve Eş. 10.27'de verilmiştir

$$\delta^{II} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^{II}} \frac{\partial y^{II}}{\partial v^{II}} \quad [10.26]$$

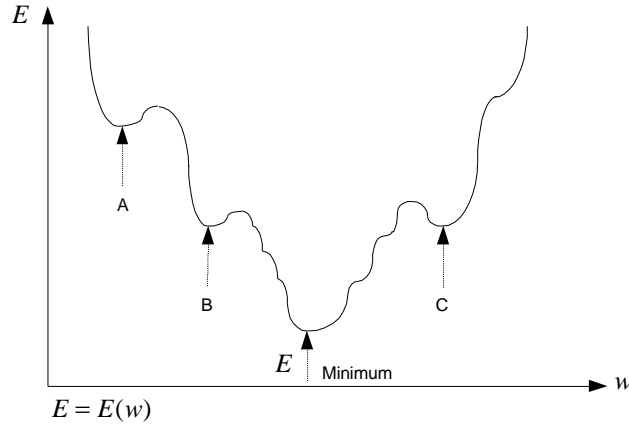
$$w_j^{II} = \frac{\partial v^{II}}{\partial y_j^I} \quad [10.27]$$

Her bir katmandaki λ^I ve λ^{II} öğrenme katsayıları değişkendir. Ayrıca yerel minimum noktasını yakalamak içinde momentum katsayısı μ değişkeni kullanılır. Bu değişken $0 < \mu < 1$ aralığında seçilmelidir. Her bir katmanın ağırlık ayarlamaları için momentum katsayısı Eş. 10.28 ve Eş. 10.29'daki gibi kullanılır.

$$w_{ji}^I(k+1) = w_{ji}^I(k) + \mu^I [y_{ji}^I(k) - w_{ji}^I(k-1)] \quad [10.28]$$

$$w_j^{II}(k+1) = w_j^{II}(k) + \mu^{II} [v_j^{II}(k) - w_j^{II}(k-1)] \quad [10.29]$$

Ağırlık vektörü ile performans indeksi arasındaki değişim Şekil 10.4'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi değişik yerel minimum noktalar (A, B, C) vardır. Öğrenme ve momentum katsayıları öyle ayarlanmalıdır ki gerçek minimum noktası elde edilebilsin.



Şekil 10.4. Yerel minimum noktası

10.2. Cevap Yüzey Metodu

Cevap yüzey metodu, endüstriyel araştırmalarda bir sistemin bazı özelliklerine etkileyen çok sayıda değişkeni yerleştirmede kullanılır. Bu özellik, sürekli bir skalada ölçülen ve sistemin çok önemli bir fonksiyonunu temsil eden cevaptır. Sistemi meydana getiren giriş veya bağımsız değişkenler cevap üzerine bir etkiye sahiptirler ve deney yapan tarafından kontrol edilirler. Cevap yüzey prosedürü, deneysel stratejiyi, matematik metodları ve istatistik analizi içine alan bir koleksiyondur. Cevap yüzey incelenmesi hem dizaynı hem de analizi içine alır. Bunun için en küçük kareler metodu, çoklu regresyon ve faktoriyel deneysel dizayn konularıyla cevap yüzey metodu yakından ilgilidir ve temel olarak bu metodlara dayanır. Deneyci, ya cevabı tayin etmek amacıyla bağımsız değişkenler arasındaki uygun yaklaşık fonksiyonu bulmak ya da cevabı optimize etmek için bağımsız değişkenlerin değerlerini tayin etmek ister. Cevap yüzey metodu proses veya sistemin mekanizmasını anlamak veya tayin etmede kullanılır. Sistem içinde çalışma koşullarına bakılarak belirli sorulara cevap vermek cevap yüzey analizinin amacını

teşkil eder. Bunun için deneysel dizayn noktalarının yani deneysel çalışmada faktör seviyelerine karar verilmelidir. Deneyci tarafından alınan datalardan önceden karar verilen matematik modeldeki katsayılar tahmin edilir. Cevap yüzey metodunda sınırlandırılmış bir deneysel bölge incelenir. Optimum koşulların elde edilmesi için daha geniş bir bölgede metodun uygulanması ya da deneysel dizaynın çok iyi seçilmesi gerekir. Deneysel seviyelerin seçimi sistematik bir tarzda, deneycinin bilgi ve ilgisine bağlı olarak seçilir. Kullanılan deney tipi faktoriyel deneydir. Faktoriyel deney, her faktörün seviyelerinin mümkün kombinasyonlarının her biri dizayn olarak kullanılmakla elde edilir. Faktoriyel deneyde bütün faktörler aynı zamanda değişir, halbuki bir zamanda bir faktör prosedüründe bir zamanda bir faktörün seviyesi değişir. Faktoriyel yaklaşımın bir önemli avantajı iki yada daha fazla değişkenin birleşik etkisi yani faktörlerin iç etkisinin ölçülebilir olmasıdır (Myers 1971)(Peng 1976).

Cevap fonksiyonu, bir bağımsız değişkenli halde iki boyutlu koordinat sisteminde bir eğri, iki bağımsız değişken halinde sabit cevap konturları meydana getirir. İki'den fazla değişken olması durumunda cevap fonksiyonu sabit cevap yüzeyleriyle karakterize edilir. Tahmin edilen cevap fonksiyonu, bağlı yüzeylerin analizi olarak isimlendirilirler. Bu analiz matematik tekniklerle geliştirilmiş en küçük kareler tahmin prosedürünün kullanılmasıyla yapılır. Eğer model denklemi ilgilenilen bölgede yeterli olarak sistemi temsil ediyorsa, bağlı yüzeyin analizi yaklaşık fiziksel sistemin analizi olacaktır.

Bir sistemde η cevabının $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_k$ giriş değişkenlerine bağlı olduğunu kabul edelim. Gerçek değişkenlerle (ζ ler) kodlanmış değişkenler veya dizayn değişkenleri (x ler) arasında bir fark olacaktır. Dizayn değişkenleri, gerçek değişkenlerin basit lineer fonksiyonlarıdır. ζ ler deneyi yapan tarafından ihmal edilebilen hata ile kontrol edilebilir. η cevabı k adet bağımsız değişkenin fonksiyonu olduğuna göre;

$$\eta = f(\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_k) \quad (10.30)$$

yazılabilir. Fonksiyon genelde bilinmez ya da son derece karışıktır. Cevap yüzey metodunun başarısı bağımsız değişkenlerin bazı bölgelerde düşük dereceden polinomla fonksiyonun yaklaşımına bağlıdır.

Fonksiyon birinci derecedense, dizayn değişkenleriyle;

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (10.31)$$

yazabiliriz. Gerçek ve tahmin edilen cevap arasında

$$y = \eta + \varepsilon \quad (10.32)$$

bağıntısı vardır. Buradan

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (10.33)$$

olur. Burada β lar sabit katsayılar, y ölçülen cevap, ε ise tesadüfi hatadır. x_1, x_2, \dots değişkenleri kantitatif ve sürekli değişkenlerdir.

Birinci derece model durumunda x 'lerin çeşitli kombinasyonlarıyla n deney yapıldığı farzedilirse, model;

$$i = 1, 2, \dots, n \quad y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad n > k \quad (10.34)$$

şeklinde yazılır. Burada ε_i bir tesadüfi değişkendir ve bağımsız σ^2 varyansı ve sıfır ortalama ile deneyden deneye bağımsız olarak dağıldığı kabul edilir. Hata vektörü;

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (10.35)$$

$$E(\varepsilon) = O \text{ ve } COV(\varepsilon) = \sigma^2 \cdot I \quad \text{dır.} \quad y = X\beta + \varepsilon \quad (10.36)$$

Burada

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & x_{k2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & x_{kn} \end{bmatrix} \quad \text{dir}$$

10.36 model denklemi genel lineer model olarak ifade edilir. Genel lineer model, yüksek dereceden polinom modellere kolayca uygulanabilir.

β vektöründeki parametrelerin tayini için, en küçük kareler metodu faydalı bir prosedürdür. Öncede seçilen x seviyelerinin bir fonksiyonu olarak verilen X matrisi ve cevaplarının vektörü y için, en küçük kareler metodu β vektörünün bir tahminini bulmak için kullanılır. Bunu için;

$$L = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \varepsilon' \varepsilon \quad (10.37)$$

hataların kareleri toplamı veya tahmin edilen değere gözlenen cevaptan sapmaların minimumunu bulmak gerekir.

$$\varepsilon = y - X\hat{\beta} \quad \text{olduğundan} \quad L = (y - X\hat{\beta})'(y - X\hat{\beta}) \quad (10.38)$$

yazılır. 10.38 denkleminin sağ tarafı açılırsa

$$\begin{aligned} L &= y'y - (X\hat{\beta})'y - y'X\hat{\beta} + (X\hat{\beta})'X\hat{\beta} \\ &= y'y - \hat{\beta}'X'y - y'X\hat{\beta} + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta} \\ &= y'y - 2\hat{\beta}'X'y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta} \end{aligned} \quad (10.39)$$

$\hat{\beta}$ yi L nin diferansiyelini almakla bulabiliriz.

$$\frac{\partial L}{\partial \hat{\beta}} = -2 X' y + 2 (X' X) \hat{\beta} \quad \text{ifade sifira eşitlenir ve } \hat{\beta} \text{ ya göre çözülrse}$$

$$(X' X) \hat{\beta} = X' y \quad (10.40)$$

$X' X$ tekil olmayan matris olduğu kabul edilirse, en küçük kareler tahmincisi

$$\hat{\beta} = (X' X)^{-1} X' y \quad (10.41)$$

bulunur. (10.40) ile verilen denklemlere normal denklemler denir.

$\hat{\beta}$ vektörünün beklentisi (matematik ümidi) ni düşünelim. $y = X\beta + \varepsilon$ olduğundan

$$E(\hat{\beta}) = E \left\{ (X' X)^{-1} \mid X' (X\beta + \varepsilon) \right\} = I\beta + E \left\{ (X' X)^{-1} X' \varepsilon \right\}$$

$$E(\varepsilon_i) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{olduğundan;}$$

$$E \left\{ (X' X)^{-1} X' \varepsilon \right\} = 0$$

buradan

$E(\hat{\beta}) = \beta$ bulunur. Bu ifade $\hat{\beta}$ tahminci vektörün her elemanı, tahmin edilen parametrenin yansız tahmincisi olduğunu gösterir. Cevap yüzey metodu için deneysel dizaynların geliştirilmesinde $\hat{\beta}$ nin varyans – kovaryans matrisleri üzerinde dizaynın etkisini incelemek önemlidir.

$$\text{cov}(\hat{\beta}) = E \left\{ \hat{\beta} - \beta \right\} \left\{ \hat{\beta} - \beta \right\}' = \text{cov} (X' X)^{-1} X' y$$

$(X'X)^{-1}X'$ tesadüfi değişkenler içermediğinden ve $\text{cov } y = \sigma^2 I_n$ olduğundan dolayı

$\text{cov } \hat{\beta} = (X'X)^{-1}X' \sigma^2 I_n (X'X)^{-1}X'$ elde edilir. İfade basitleştirilirse

$$\text{cov } \hat{\beta} = \sigma^2 (X'X)^{-1} \quad (10.42)$$

formuna indirgenir. Bu ifade çok önemli sonuçları verir. $(X'X)^{-1}$ in diyagonal elemanlarının, σ^2 ile çarpılması, $\hat{\beta}$ tahmin vektörünün tahmincilerinin varyansını, $(X'X)^{-1}$ in diyagonal dışındaki elemanlarının σ^2 ile çarpılması ise $\hat{\beta}$ tahmin vektöründe elemanlar arasındaki kovaryansı verir.

x_1, x_2, \dots, x_k faktörlerinin etkisinde y lerin nasıl değiştiğini incelemeye, iyi bir deney planı veya dizaynı, zaman ve paradan tasarruf sağlar. Uygun dizayn seçimiyle, model katsayılarının tahmininde verimlilik elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & x_{k1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & \dots & \dots & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1n} & x_{2n} & \dots & \dots & \dots & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} \quad (10.43)$$

ile verilen düzen seçilen seviyelerin kombinasyonunu gösterir, deneysel planı karakterize eder. Bu düzene dizayn matrisi adı verilir.

$x_{1u}, x_{2u}, \dots, x_{ku}$ - u. sırası deneysel çalışmadan birini temsil eder. Cevap yüzey metodunda kullanılan deneysel düzen faktoriyel deney planıdır. Bu palanda, her faktörün seviyelerine karar verilir ve her faktörün seviyelerinin mümkün kombinasyonları teşkil edilerek deneysel dizayn meydana getirilir. Faktoriyel deneysel plan oluşturulurken her faktör iki ya da üç seviyede alınır. Her faktör iki

seviyedeki deneysel plan 2^k faktoriyel deneysel dizayn, her faktör üç seviyedeki deneysel plan ise 3^k faktoriyel deneysel dizayn adını alır. Burada k faktör sayısını, 2 ve 3 ise seviye sayılarını gösterir. 2^k faktoriyel deneysel plan birinci dereceden bir ilişkiyle temsil edilen deneysel yerleştirmelerde kullanılan çok yararlı bir dizayn tipidir. 3^k faktoriyel deneysel dizayn ise ikinci dereceden modellerde kullanılır.

10.2.1. Birinci Derece Modeller

Birinci derece matematik modellerde; iki seviyeli faktoriyel dizayn, fraksiyonel faktoriyel dizayn, ortogonal dizayn ve merkezde ilave noktalı 2^k faktoriyel dizayn deneysel dizayn olarak kullanılabilir. (Myers 1971).

10.2.1.1. İki Seviyeli Faktoriyel Dizayn

Bu dizaynda, deneysel planı oluştururken işlem kombinasyonlarını yerleştirmede kolaylık sağlamak için bazı notasyonlar kullanılır. Örneğin A,B,C,D gibi 4 faktörlü bir deneyde, (1) notasyonu; tüm faktörler alt seviyede iken gözlem veya gözlemler toplamını ifade eder. Küçük harflerin varlığı, sorudaki faktörün üst seviyede, yokluğu ise sorulan faktörün alt seviyede olduğunu gösterir.

- (1) - A,B,C,D alt seviyede
- a - A üst seviyede, B,C,D alt seviyede
- ab - A ve B üst seviyede, C ve D alt seviyede gibi.

Bir birinci derece denklem 2^k faktoriyel deneysel plana uyarsa, bağımsız değişkenler kotlanırlar. -1 değişkenin alt seviyesini, +1 ise değişkenin üst seviyesini gösterir.

Bu seviyeler;

$$x_i = 2 \left(\frac{\zeta_i - \xi_i}{d_i} \right) \quad \text{dönüşümüne karşılık gelir. Burada}$$

ζ_i - değişkenin gerçek değeri

d_i - ζ_i değişkeninin alt ve üst seviyeleri farkı

ξ_i - ζ_i nin ortalama değeri

x_i - -1 ve +1 değerinde olan kodlanmış değişken.

4 faktörlü deney durumunda, deneysel dizayn, $2^4 = 16$ işlem kombinasyonunu içermekte ve dizayn matrisi ve y vektörü

$$D = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} (1) \\ a \\ b \\ c \\ d \\ ab \\ ac \\ ad \\ bc \\ bd \\ cd \\ abc \\ abd \\ acd \\ bcd \\ abcd \end{bmatrix}$$

olmaktadır. Bağımsız değişkenler matrisi ise

$$X = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & \cdot & & \\ & & & \cdot & \\ & & & & \cdot \\ & & & & & 1 \end{bmatrix} D \quad \text{şeklindedir.}$$

10.2.1.2. Fraksiyonel Faktoriyel Dizayn

Fraksiyonel faktoriyel, faktoriyel deney planının bir bölümüdür. Faktöriyel dizaynla istenilen deney miktarı çok fazla olduğu zaman faydalıdır. Örneğin dört faktörlü bir deney düşünelim. Birinci derece model denklemi

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4$$

şeklindedir. 2^4 faktoriyel dizayn yerine a, b, c, d, abc, abd, bcd, acd, veya ab, ac, ad, bc, bd, cd, ac, abcd işlem kombinasyonlarını içeren deneyler yapılırsa iki ayrı deney bloku elde edilir. Her bir deney bloku için X matrisi düzenlenirse $X'X = 8I_5$ olduğundan dizayn ortogondur. $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3, \hat{\beta}_4$ alışılmış tarzda hesaplanırsa korelasyonsuz oldukları görülür. Fraksiyonel faktoriyel dizaynla elde edilen tahmin parametreleri, tamamıyla faktoriyel dizaynla elde edilenlere göre daha az hassas olmaktadır. Fakat fraksiyonel faktoriyel dizaynla daha az deneyle cevap denklemi elde edilebilmektedir.

10.2.1.3. Ortogonal Dizayn

N deney için kotlanmış veya dizayn değişkenleriyle u. gözlem cevap

$$y_u = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_{ui} + \varepsilon_u \quad \text{genel formda} \quad y = X\beta + \varepsilon \quad \text{yazılabilir. Burada;}$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix} D, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & x_{k1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & \dots & \dots & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1N} & x_{2N} & \dots & \dots & \dots & \dots & x_{kN} \end{bmatrix}$$

dir. Kotlanmış seviyeler için aşağıdaki eşitlikler kabul edilirse

$$\sum_{u=1}^N x_{iu}^2 = N \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (10.44)$$

$$\sum_{u=1}^N x_{iu} = 0$$

ve eğer i . değişkenin u . seviyesinin gerçek değeri ζ_{iu} ile gösterilirse, buna karşılık gelen kotlanmış değer

$$x_{iu} = \frac{\zeta_{iu} - \bar{\zeta}_i}{s_i} \quad \text{olur. Buradan } \bar{\zeta}_i, i. \text{ değişkenin seviyesinin ortalamasıdır ve}$$

$$s_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\zeta_{iu} - \bar{\zeta}_i)^2}{N}$$

dir. 10.44 denklemleri ile, ortogonal dizayn N deney seçilirse, $(k+1) \times (k+1)$ boyutlu $X'X$ matrisi

$$X'X = \begin{bmatrix} N & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ & N & 0 & \dots & \dots & 0 \\ & & & \dots & \dots & \dots \\ & & & & & 0 \\ & & & & & N \end{bmatrix} \quad \text{şeklindedir. Burada;}$$

$$\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} = 0 \quad (i \neq j)$$

dir. Başka bir deyişle X matrisinin kolonları biri diğerine ortogondur. Deneysel plan veya dizayn b_i katsayılarının varyansını minimize eder ve dizayn ortogondur. Birinci derece modellerde kullanılan ortogond dizaynlar, 2^k faktoriyel ve fraksiyonel faktoriyel dizaynlardır.

10.2.1.4. Dizayn Merkezinde İlave Noktalı 2^k Faktoriyel Dizayn

2^k faktoriyel ve fraksiyonel faktoriyel dizaynın dezavantajı, 2^k dizayn noktaları deneysel hata varyansının tahminini vermez. Kalan veya hata kareleri toplamı, birinci derece denklemin uygunluk noksanlığı artı deneysel hatadan dolayı değişimi ihtiva eder.

Uygunluk noksanlığından ayrı olarak deneysel hata varyansının bir tahminini elde etmek için, temel dizayn merkezinde deneyler yapılmasıyla artırılır. Merkez olarak alınan dizayn noktaları $(x_1, x_2, \dots, x_k) = (0, 0, \dots, 0)$ kodlanmış birimlerle ifade edilir. Yani dizayn orjindir. 2^k faktoriyel dizayn merkezi n_2 defa katlanırsa, $n_2 - 1$ serbestlik derecesi uygunluk noksanlığından dolayı karşılaşılan değişimin önemini test etmede kullanmak için hata serbestlik derecesini, tek serbestlik derecesi ise gerçek cevap yüzeyinde quadratik terimlerin varlığıyla ilgili bilgi elde etmek içindir. Dizayn merkezinde yapılan katlamalar $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ katsayılarının değerlerini değiştirmez, fakat β_0 tüm cevapların ortalaması olur. β_i katsayıları x_i doğrultusunda düzlemin eğilimini ölçer, yani x_i deki her birim değişim y deki değişimi verir. $x_i - 1$ den $+1$ e değişmesinden dolayı, β_i, x_i alt seviyeden üst seviyeye geçtiği zaman y deki ortalama değişimin yarısını temsil eder.

10.2.1.5. Birinci Derece Model İçin Güvenirlilik Aralığı

Gerçek ve tahmin edilen cevaplar arasındaki fark yani deneysel hatadan dolayı, tahmin edilen parametreler ve tahmin edilen cevap belirsizdir.

Deneysel hata, ε , sıfır ortalaması ve σ^2 varyansı ile normal olarak dağıldığı kabul edildiğinden ve y ler ε nun lineer fonksiyonu olduğundan y lerde keza normal dağılım gösterirler. Aynı şekilde $\hat{\beta}$ tahmin edilen katsayılar da β ortalaması ve $\sigma^2(X'X)^{-1}$ varyansı ile normal dağılırlar.

Bir parametre için güvenirlilik aralığı

$$\hat{I}statistik \pm t_{sd\alpha/2} \sqrt{c_{ii}s^2} \quad (10.45)$$

den hesaplanır. Buradan

$$c_{ii} = (X'X)^{-1} \text{ matrisinin } i. \text{ sıra ve } i. \text{ sütündeki elemanı}$$

$$s^2 = \text{ tahmin edilen varyans}$$

$$t = t \text{ istatistik}$$

$$\begin{aligned} P \left\{ \hat{I}statistik - t_{sd\alpha/2} \sqrt{c_{ii}s^2} \leq \text{parametre} \right. \\ \left. \leq \hat{I}statistik + t_{sd\alpha/2} \sqrt{c_{ii}s^2} \right\} = 1 - \alpha \end{aligned} \quad (10.46)$$

hata limitleri, probabilitiyi yani güvenirlilik aralıklarını yazmak için kullanılır.

Cevap için güvenirlilik aralıkları

$$P \left\{ \hat{y} - t_{sd\alpha/2} \sqrt{V(\hat{y})} \leq \text{cevap} \leq \hat{y} + t_{sd\alpha/2} \sqrt{V(\hat{y})} \right\} = 1 - \alpha \quad (10.47)$$

\hat{y} varyansı;

$$V(\hat{y}) = V(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_3 x_3 + \hat{\beta}_4 x_4)$$

$$V(\hat{y}) = V(\hat{\beta}_0) + x_1^2 V(\hat{\beta}_1) + x_2^2 V(\hat{\beta}_2) + x_3^2 V(\hat{\beta}_3) + x_4^2 V(\hat{\beta}_4)$$

şeklindedir.

10.2.1.6. Birinci Derece Modelin Yeterliliği Ve Varyans Analizi

Bulunan birinci derece modelin yeterliliği kontrol edilmelidir. Yeterlilik kontrolü varyans analizi tablosunun hazırlanmasıyla elde edilir. Varyans analizi hipotez testi için gerekli gerekli öz bilgiyi içerir ve kareler toplamı, serbestlik derecesi ve ortalama kareleri içerir. Yeterlilik kontrolü için kullanılan test uygunluk noksanlığı ortalama karelerinin hata ortalam karelerine oranını hesaplamak ve bu oranı F istatistikle mukayese etmektir (Peng 1976).

$y = X\beta + \varepsilon$ genel lineer modelinde p modeldeki parametrelerin sayısını $n > p$ gözlem yapılmışsa, bu model için hata ve regresyon serbestlik dereceleri ve kareler toplamı şu şekildedir (Tablo 10.1.).

Tablo 10.1. Lineer model için hata ve regresyon kareleri toplamı

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler
Regresyon	$\hat{\beta}' X' y$	P	$\hat{\beta}' X' y / p$
Hata	$y' y - \hat{\beta}' X' y$	n - p	$y' y - \hat{\beta}' X' y / (n - p)$
Toplam	$y' y$	n	

Regresyon kareleri toplamı, sıfır derece modelden dolayı, birinci derece modelden dolayı, ikinci derece modelden dolayı gibi gruplara ayrılır.

$$\hat{\beta}' X' y = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ g_1 \\ g_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ g_k \end{bmatrix} \quad (10.48)$$

x_i değişkeni ile birleştirilmiş kareler toplamı $\beta_i g_i = (g_i)^2 / n$ dir. Birinci derece modelden dolayı regresyon kareleri toplamı

$$\sum_1^k \beta_i g_i = \sum_1^k (g_i)^2 / n \quad \text{dir.}$$

Sıfır derece modelden dolayı regresyon kareler toplamı $\sum_{i=1}^n (y_i) / n$ dir. 2^k faktoriyelin önemli özelliği, model katsayılarının tahminçileri biri diğerine korelasyonsuzdur.

Regresyon kareler toplamı, aynı zamanda toplam kareler toplamından kalan kareler toplamının çıkarılmasıyla elde edilir.

$$KT_{reg} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (10.49)$$

Kalan kareler toplamı, uygunluk noksanlığı ve hata kareleri toplamından meydana gelir. Uygunluk noksanlığı cevap yüzeyi temsil etmek için lineer modelin yetersizliğidir. Uygunluk noksanlığına karşılık gelen ortalama kareler deneysel hata için ortalama karelerden daha büyük ise, bu lineer modelin yetersiz olduğunu gösterir. Deneysel hata varyansının bir tahminini bulmanın alışılmış metodu, merkez noktasında belirli sayıda test yapmaktır. Merkez noktası n_0 defa katlanırsa σ^2 hata

varyansı $n_0 - 1$ serbestlik dereceli ortalamadan n_0 cevaplarının sapmalarının kareleri toplamından tahmin edilir. Hata kareler toplamı

$$KT_{hata} = \sum_{j=1}^{n_0} y_{oj}^2 - \left(\sum_{j=1}^{n_0} y_{oj} \right)^2 / n \quad (10.50)$$

ifadesinden hesaplanır. Burada

y_{oj} = dizayn merkezindeki j. Gözlem

n_0 = dizayn merkezindeki gözlem sayısı

Uygunluk noksanlığı; kalan kareler toplamından hata kareler toplamını çıkarmakla elde edilir. Uygunluk noksanlığı kareler toplamı :

$$KT_{uy.nok.}$$

$$KT_{uy.nok.} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \hat{y}^2 - KT_{hata} \quad (10.51)$$

11. MATERYAL ve METOT

11.1. İş Parçası Özellikleri ve Şekli

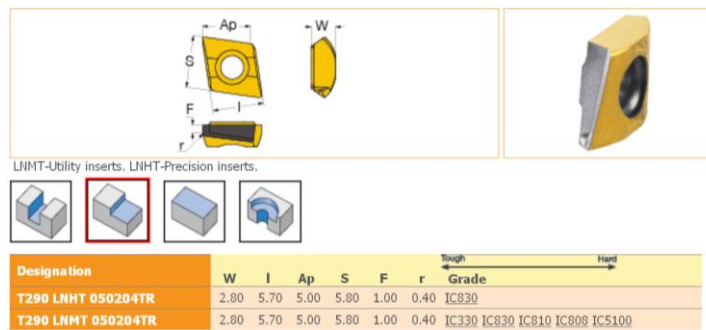
Bu çalışmada iş parçası malzemesi olarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik seçilmiştir. Deney malzemesi olarak kullanılan AISI 304 malzemenin kalite sertifikası alınmıştır. Tablo 11.1’de AISI 304 paslanmaz çelik için kimyasal özellikler verilmiştir.

Tablo 11.1 AISI 304 paslanmaz çelik kimyasal özellikleri

AISI	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr	%N	%S	%P
304	0,0210	0,3600	1,0600	8,0100	18,1300	0,0810	0,0250	0,0280

İşleme deneyleri için 80 mm çapında silindirik olarak temin edilen AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeden 70 mm boylarında parçalar kesilmiştir. Bu parçaların alın yüzeyleri torna tezgâhında işlenmiştir.

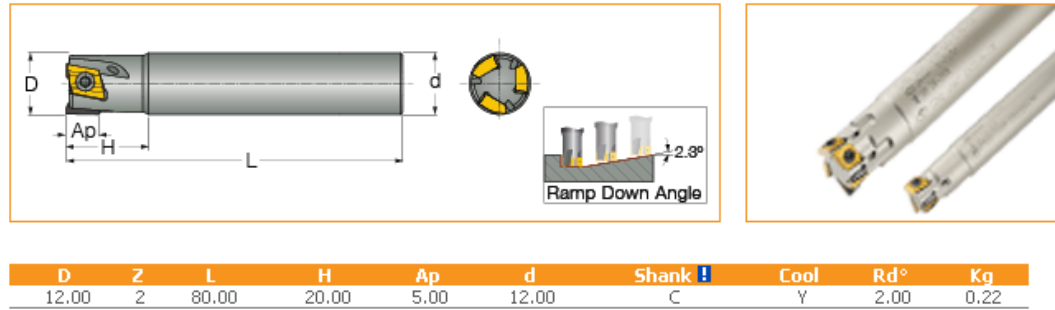
11.2. Kesici Takım ve Takım Tutucu



Şekil 11.1 ISCAR T290 LNMT 050204-TR geometrik özellikleri (ISCAR 2008)

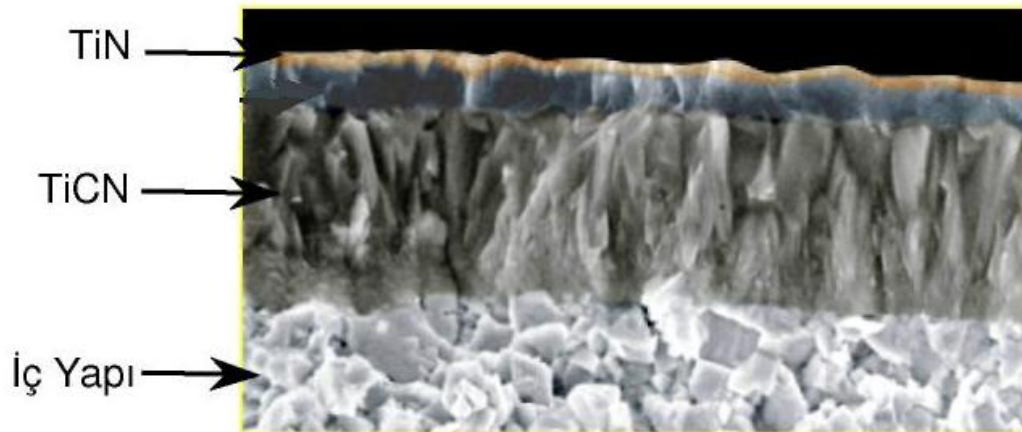
AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı, kesme ilerlemesi, talaş derinliği, talaş genişliğinin kesici takım aşınmasına etkisini belirlemek amacıyla 3 farklı tip kaplamalı sementit karbür kesici takım kullanılmıştır. Kullanılan kesici takımlar, ticari kalite PVD yöntemiyle çoklu

kaplanmış kesici takımlardır (ISCAR T290 LNMT 050204-TR) (Şekil 11.1). (T290 ELN D12-02-C12-05) bir takım tutucuya mekanik olarak bağlanmıştır (Şekil 11.2). Bu takımların en önemli özelliği tamamen aynı iç yapıya sahip olmalarına karşın en üstteki kaplama tabakalarının farklı olmasıdır.



Şekil 11.2 Takım tutucunun geometrik özellikleri (Iscar 2008)

IC330 kalitesi, PVD kaplama olup sırasıyla TiCN, TiN kaplama tabakalarına sahiptir (Şekil 11.3). TiCN / TiN PVD kaplamalı tok iç yapı, Sumo Tec yüzey işlemi sayesinde daha iyi bir talaş akışı ve daha iyi bir takım ömrü sağlamaktadır. Geniş bir iş parçası malzeme yelpazesinde kullanılabilir. Bu kalite düşük ve orta kesme hızları için daha uygundur.

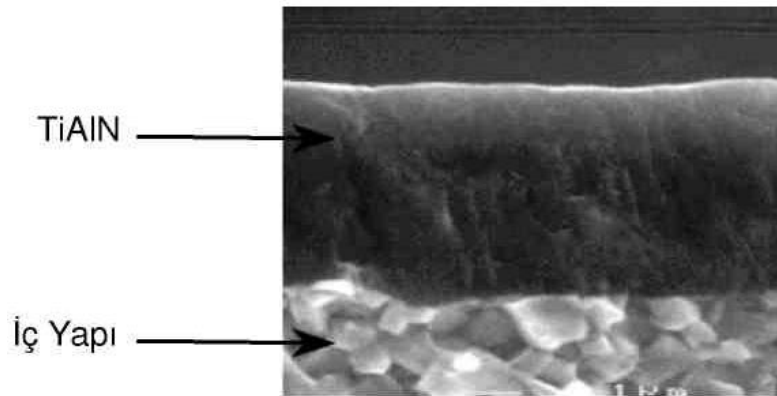


Şekil 11.3 IC330 kalitesi iç yapısı ve kaplama tabakaları (ISCAR 2008)

IC330 kalitesinde TiCN birinci tabaka olup, TiC ve TiN kaplamalarının karışımından meydana gelmiştir ve bu iki kaplamanın özelliklerini birlikte ihtiva eder. TiC oldukça sert bir tabakadır ve sürtünme sonucunda meydana gelen aşınmaları geciktirerek ömür üzerinde pozitif etki sağlar. TiN ise yüksek sıcaklıklarda termal dayanımını kaybetmez. Bu pozitif özelliğinin yanında iyi korozyon direnci ile birlikte metal – kesici uç arasında yağlama görevi de tercih edilmesinin bir başka nedenidir.

IC808 ve IC830 kaliteler, PVD TiAlN kaplamalı, tok iç yapılı, Sumo Tec yüzey işlemi sayesinde daha iyi bir talaş akışı ve takım ömrü sağlamaktadır. Paslanmaz çelikler, yüksek ısıl dirençli alaşımlar ve diğer alaşımlı çeliklerin işlenmesi için uygundur. Özellikle darbeli ve ağır işleme şartlarında kullanılması önerilmektedir.

IC808 ve IC830 kalitelerde ise PVD kaplama olup 3 ± 1 μm kalınlığında TiAlN kaplama tabakasına sahiptir (Şekil 11.4). Bu takımın PVD katmanları üst kaplama tabakalarında bir sıkışma basıncı sağlayarak alt tabakalara etkiyen stresin azalmasını sağlar. Hızlı kesme işlemlerinde ise kesici kenarda iş parçası ve takım arasında termal ve kimyasal set oluşturan Al_2O_3 oluşur. Oluşan bu Al_2O_3 kaplama tabakasını koruyan bir kalkan görevi görür ve takım ömrü üzerine pozitif etkide bulunur.



Şekil 11.4 IC808 ve IC830 kaliteleri iç yapısı ve kaplama tabakaları (ISCAR 2008)

TiAlN yukarıda bahsedilen kaplamalara nazaran daha performansı yüksek bir kaplamadır. Yüksek aşınma direnci, ısıl direnç ve kimyasal kararlılık gibi birçok özelliği tek başına içerisinde bulundurur. Oksidasyon dayanımı yüksek, krater aşınmasına daha dayanıklıdır. Son teknolojik tezgâhlarda performansı maksimum seviyede elde etmek mümkündür. Tek olumsuz özelliği ise renginin siyaha yakın olmasıdır. Bu sebeple üzerinde meydana gelen aşınma net olarak görülememektedir.

11.3. Deneylerin Yapılışı

Silindirik AISI 304 östenitik paslanmaz çelik iş parçası malzemeleri, CNC dik işlem merkezi (Mazak Variaxis 500 -5x'') (Şekil 11.5.a) tablasına bağlanmış olan dinamometre (Kistler 9257B) üzerine bağlanmıştır (Şekil 11.5.b). Deneyler öncesinde iş parçası yüzeyinden yeni bir kesici takımla 0.5 mm derinliğinde talaş kaldırılarak iş parçasındaki muhtemel eğiklik giderilmiştir. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılarak Tablo 11.2 ve Tablo 11.3'de verilen kesme hızı, kesme ilerlemesi, talaş derinliği ve talaş genişliklerinde üç farklı kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Deneylerin oluşturulmasında tam faktoriyel ve kısmi faktoriyel tasarımlar esas alınmıştır. Tam faktoriyel sistemde 16 asıl deney 3 tekrar deneyi, kısmi faktoriyel sistemde 8 asıl deney 2 tekrar deneyi yapılmıştır. Tam faktoriyel tasarım sadece IC808 kalite uca uygulanmış, kısmi faktoriyel tasarım ise her üç kalite uca da uygulanmıştır. Toplamda 50 işleme deneyi yapılmıştır. Her deneyde uçların aşınması, kuvvet değerleri ve yüzey pürüzlülük değerleri kayıt edilmiştir. Serbest yüzey aşınması $VB=0,3$ mm'ye ulaştığında deneye son verilmiştir (ISO 3685).

Talaş kaldırma esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan esas kesme kuvveti F_z (F_c), ilerleme kuvveti F_x (F_f) ve radyal kuvvet F_y (F_r) dinamometre ile ölçülmüştür. Bu dinamometre bir sinyal yükselticiye (KISTLER Type 5019) bağlanmış ve kesme kuvvetleri sinyalleri RS-232C ara kablo ile bilgisayara gönderilerek "Matlab" programı ile grafikler elde edilmiştir (Şekil 11.6.a).



(a)

Şekil 11.5 (a) Mazak Variaxis 500 – 5x CNC dik işlem merkezi

(b) Dinamometre üzerine bağlanmış olan iş parçası

Deneyleerde elde edilen değerler, Matlab programı tarafından Newton cinsinden hesaplanıp ortalaması alınarak, esas kesme kuvveti F_z (F_c), ilerleme kuvveti F_x (F_f) ve radyal kuvvet F_y (F_r) belirlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 11.6 a) Sinyal yükseltici b) Yüzey pürüzlülük cihazı c) Takımcı Mikroskobu

Tablo 11.2 Tam faktoriyel deneysel planda kullanılan kesme değerleri

DENEYSSEL PLAN			
	-1	0	1
V (m/dk)	130	180	250
f (mm/diş)	0,025	0,05	0,1
a _p (mm)	1	1,75	3
a _e (mm)	1	2	4

Deney No	Kesme Hızı	İlerleme (f)	a_p	a_e
1.	130	0,025	1	1
2.	250	0,025	1	1
3.	130	0,1	1	1
4.	250	0,1	1	1
5.	130	0,025	3	1
6.	250	0,025	3	1
7.	130	0,1	3	1
8.	250	0,1	3	1
9.	130	0,025	1	4
10.	250	0,025	1	4
11.	130	0,1	1	4
12.	250	0,1	1	4
13.	130	0,025	3	4
14.	250	0,025	3	4
15.	130	0,1	3	4
16.	250	0,1	3	4
17.a	180	0,05	1,75	2
17.b	180	0,05	1,75	2
17.c	180	0,05	1,75	2

Tablo 11.3 Kısmi faktoriyel deneysel planda kullanılan kesme değerleri

DENEYSSEL PLAN			
	-1	0	1
V (m/dk)	130	155	180
f (mm/diş)	0,025	0,05	0,1
a _p (mm)	1	1,75	3
a _e (mm)	1	2	4

Deney No	Kesme Hızı	İlerleme (f)	a_p	a_e
2.	180	0,025	1	1
3.	130	0,1	1	1
5.	130	0,025	3	1
8.	180	0,1	3	1
9.	130	0,025	1	4
12.	180	0,1	1	4
14.	180	0,025	3	4
15.	130	0,1	3	4
17.a	155	0,05	1,75	2
17.b	155	0,05	1,75	2

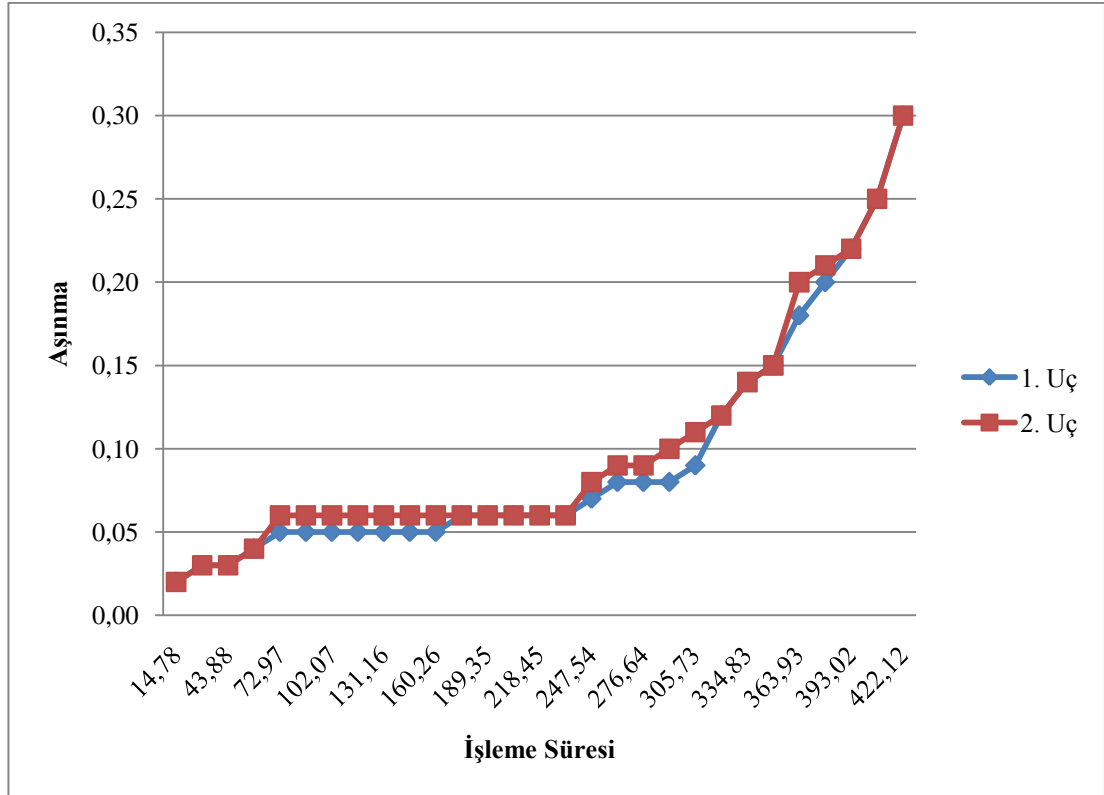
12. DENEY SONUÇLARI

12.1. IC 808 Tam Faktoriyel Deney Sonuçları

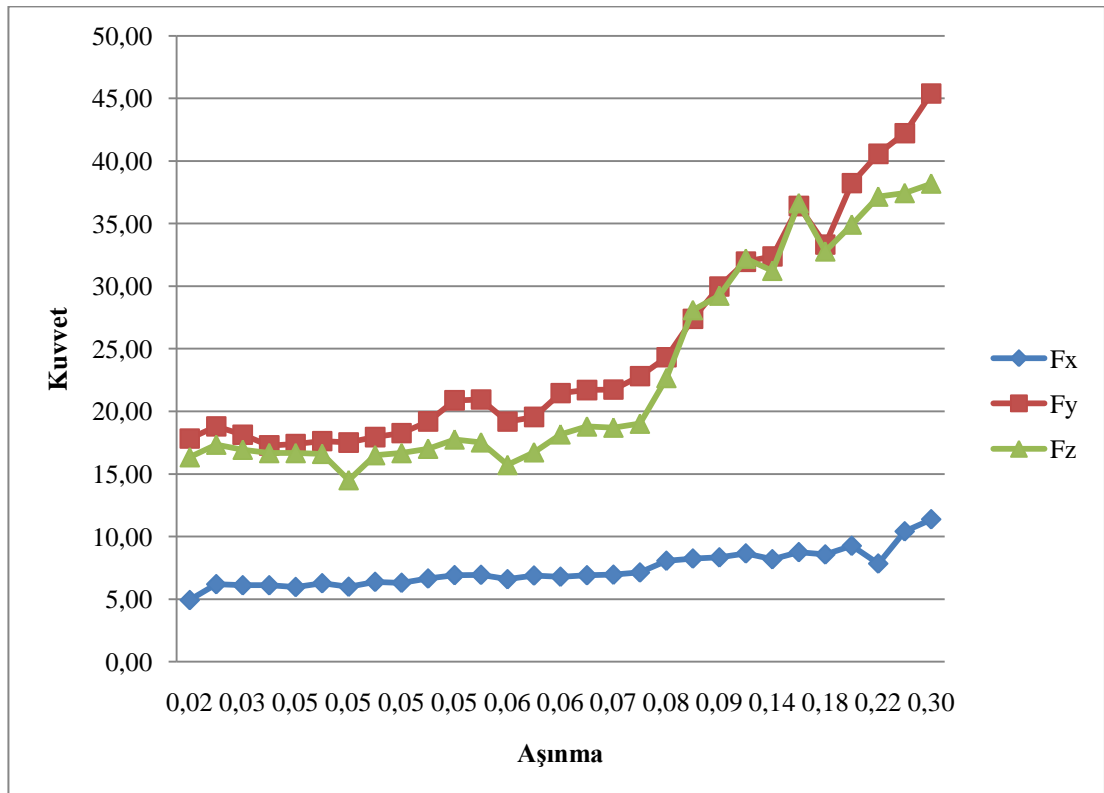
Tablo 12.1 IC808 Tam faktoriyel 1. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
1	1	14,78	14,78	0,30	1,85	0,02	0,02	0,03	0,04	4,93	17,82	16,34
1	2	14,32	29,10	0,28	1,83	0,03	0,03	0,05	0,05	6,20	18,81	17,34
1	3	14,78	43,88	0,23	1,84	0,03	0,03	0,06	0,07	6,11	18,13	16,94
1	4	14,32	58,19	0,26	1,84	0,04	0,04	0,07	0,08	6,11	17,28	16,67
1	5	14,78	72,97	0,26	1,86	0,05	0,06	0,08	0,08	5,97	17,38	16,67
1	6	14,32	87,29	0,24	1,91	0,05	0,06	0,08	0,08	6,27	17,62	16,61
1	7	14,78	102,07	0,26	1,80	0,05	0,06	0,08	0,09	5,99	17,51	14,51
1	8	14,32	116,38	0,24	1,75	0,05	0,06	0,08	0,09	6,38	17,95	16,50
1	9	14,78	131,16	0,25	1,81	0,05	0,06	0,08	0,09	6,31	18,25	16,67
1	10	14,32	145,48	0,20	1,72	0,05	0,06	0,08	0,09	6,65	19,19	17,02
1	11	14,78	160,26	0,22	1,76	0,05	0,06	0,08	0,09	6,92	20,88	17,76
1	12	14,32	174,57	0,22	1,75	0,06	0,06	0,08	0,09	6,94	20,95	17,53
1	13	14,78	189,35	0,23	1,78	0,06	0,06	0,08	0,09	6,59	19,18	15,72
1	14	14,32	203,67	0,25	1,90	0,06	0,06	0,08	0,09	6,88	19,55	16,73
1	15	14,78	218,45	0,22	1,71	0,06	0,06	0,10	0,10	6,79	21,46	18,17
1	16	14,32	232,76	0,23	1,75	0,06	0,06	0,10	0,10	6,91	21,70	18,80
1	17	14,78	247,54	0,25	1,87	0,07	0,08	0,11	0,12	6,95	21,73	18,70
1	18	14,32	261,86	0,28	1,92	0,08	0,09	0,12	0,15	7,13	22,82	19,02
1	19	14,78	276,64	0,27	1,90	0,08	0,09	0,13	0,16	8,06	24,32	22,66
1	20	14,32	290,96	0,27	1,85	0,08	0,10	0,14	0,16	8,24	27,39	28,09
1	21	14,78	305,73	0,27	1,88	0,09	0,11	0,15	0,17	8,33	29,97	29,24
1	22	14,32	320,05	0,27	1,86	0,12	0,12	0,17	0,18	8,65	31,95	32,20
1	23	14,78	334,83	0,27	1,87	0,14	0,14	0,20	0,19	8,18	32,38	31,23
1	24	14,32	349,15	0,28	1,88	0,15	0,15	0,21	0,22	8,75	36,40	36,63
1	25	14,78	363,93	0,29	1,90	0,18	0,20	0,23	0,24	8,56	33,31	32,77
1	26	14,32	378,24	0,32	1,98	0,20	0,21	0,27	0,28	9,26	38,23	34,92
1	27	14,78	393,02	0,32	2,06	0,22	0,22	0,31	0,30	7,84	40,57	37,15
1	28	14,32	407,34	0,32	2,03	0,25	0,25	0,33	0,33	10,41	42,21	37,43
1	29	14,78	422,12	0,39	2,12	0,30	0,30	0,47	0,45	11,37	45,39	38,19



Şekil 12.1 IC808 Tam faktoriyel 1. Deney aşınma grafikleri

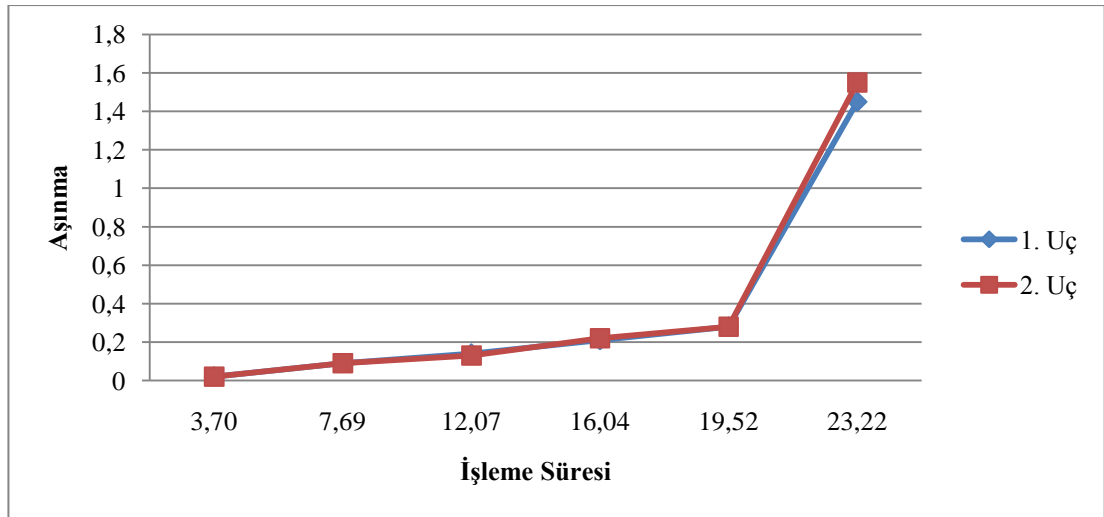


Şekil 12.2 IC808 Tam faktoriyel 1. Deney kuvvet grafikleri

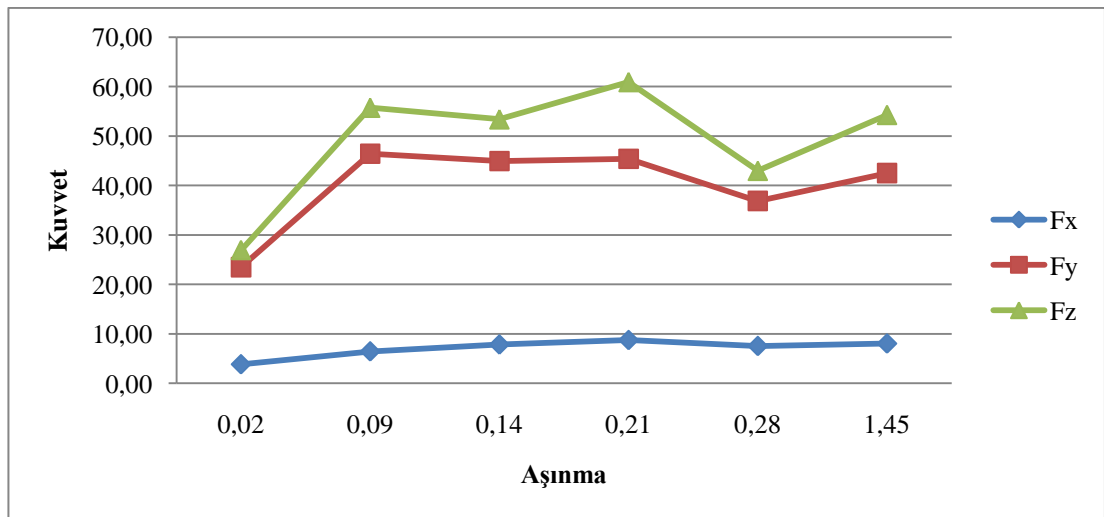
Tablo 12.2 IC808 Tam faktoriyel 2. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
250	0,025	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüze Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
2	1	3,70	3,70	0,25	1,85	0,02	0,02	0,09	0,09	3,83	23,48	26,97
2	2	3,98	7,69	0,25	1,87	0,09	0,09	0,22	0,22	6,43	46,40	55,73
2	3	4,39	12,07	0,26	1,88	0,14	0,13	0,31	0,32	7,82	44,93	53,38
2	4	3,96	16,04	0,31	1,92	0,21	0,22	0,42	0,44	8,73	45,39	60,91
2	5	3,48	19,52	0,35	1,98	0,28	0,28	0,5	0,55	7,52	36,87	42,97
2	6	3,70	23,22	0,38	2,01	1,45	1,55	1,45	1,55	8,02	42,50	54,27



Şekil 12.3 IC808 Tam faktoriyel 2. Deney aşınma grafikleri

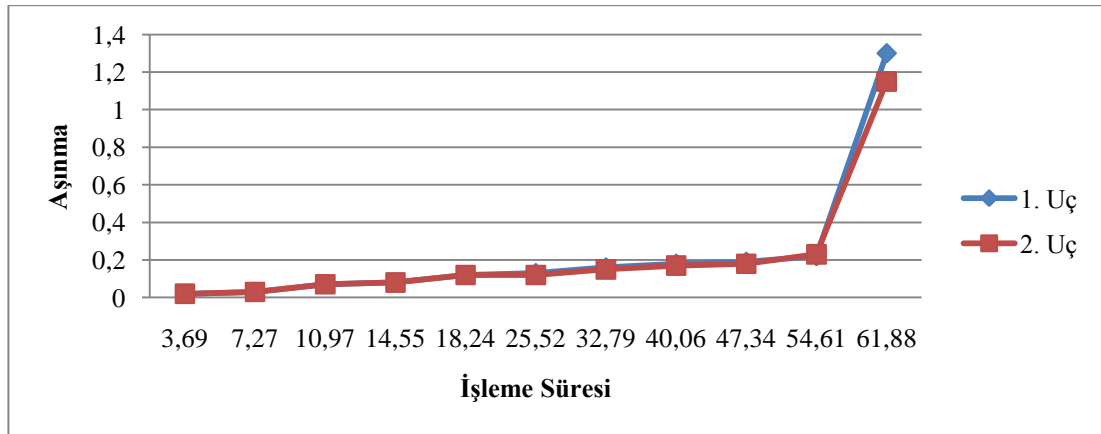


Şekil 12.4 IC808 Tam faktoriyel 2. Deney kuvvet grafikleri

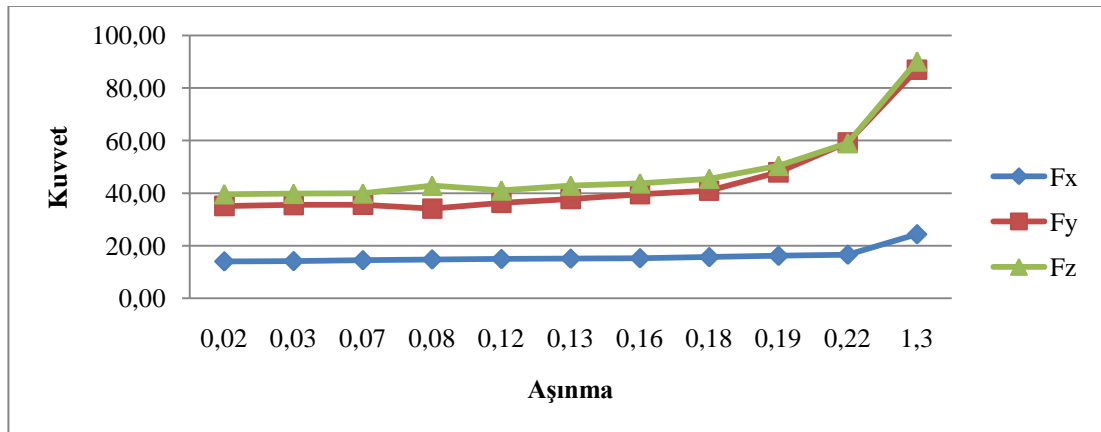
Tablo 12.3 IC808 Tam faktoriyel 3. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,1	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
3	1	3,69	3,69	0,26	1,85	0,02	0,02	0,03	0,04	14,09	35,14	39,63
3	2	3,58	7,27	0,28	1,92	0,03	0,03	0,05	0,05	14,18	35,53	39,80
3	3	3,69	10,97	0,3	2,04	0,07	0,07	0,09	0,09	14,52	35,64	39,91
3	4	3,58	14,55	0,3	2,05	0,08	0,08	0,1	0,1	14,82	34,10	42,83
3	5	3,69	18,24	0,31	2,06	0,12	0,12	0,14	0,14	14,98	36,37	41,05
3	6	7,27	25,52	0,31	2,06	0,13	0,12	0,16	0,15	15,11	37,75	42,88
3	7	7,27	32,79	0,31	2,08	0,16	0,15	0,18	0,17	15,27	39,62	43,75
3	8	7,27	40,06	0,31	2,1	0,18	0,17	0,2	0,19	15,70	40,93	45,47
3	9	7,27	47,34	0,31	2,12	0,19	0,18	0,21	0,2	16,18	47,95	50,43
3	10	7,27	54,61	0,3	2,15	0,22	0,23	0,4	0,38	16,62	59,34	59,04
3	11	7,27	61,88	0,38	2,58	1,3	1,15	1,3	1,15	24,41	86,95	90,13



Şekil 12.5 IC808 Tam faktoriyel 3. Deney aşınma grafikleri

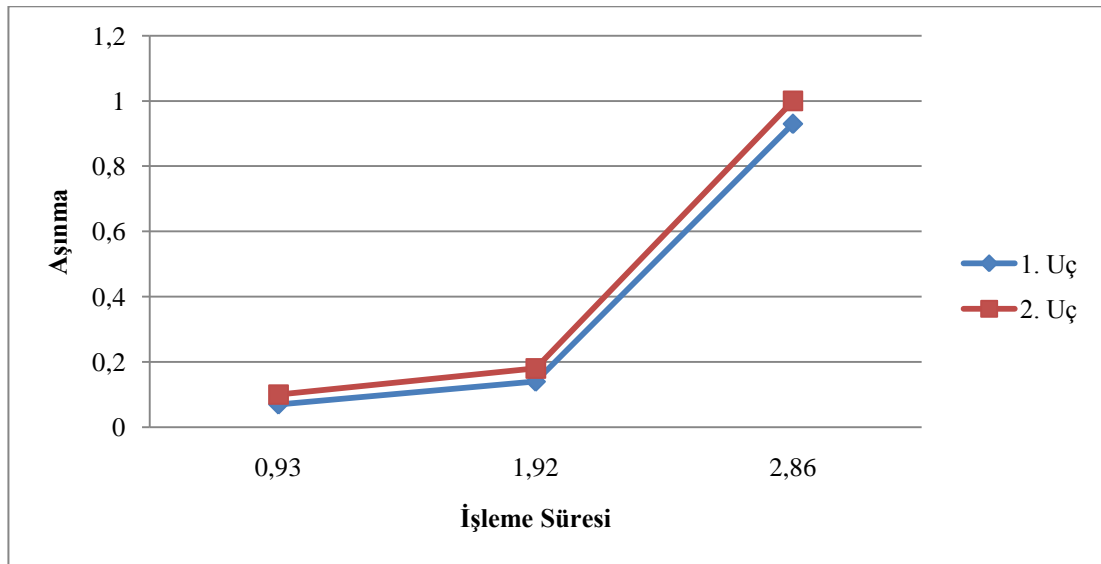


Şekil 12.6 IC808 Tam faktoriyel 3. Deney kuvvet grafikleri

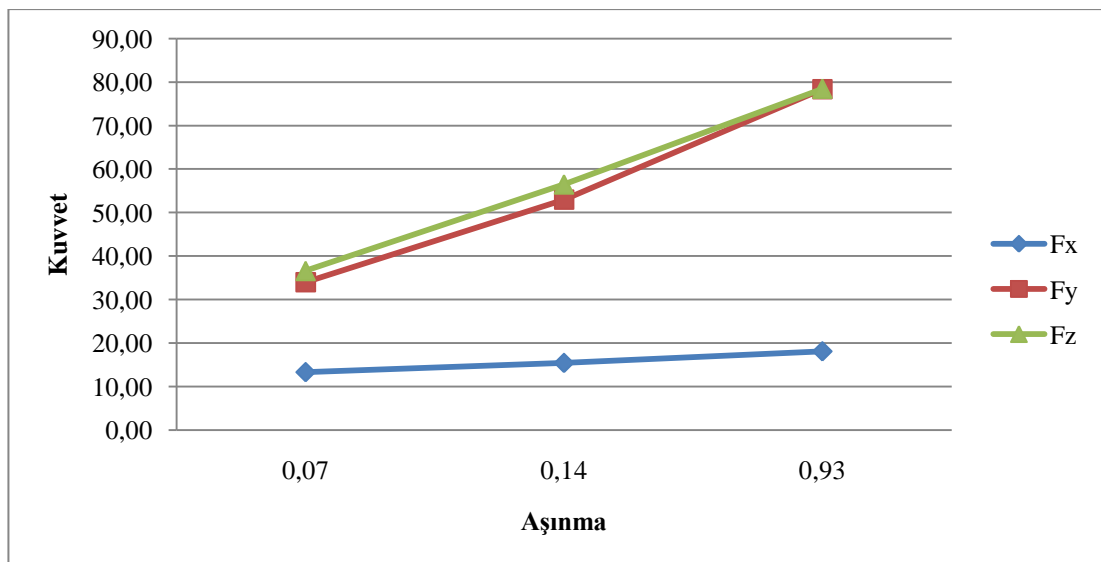
Tablo 12.4 IC808 Tam faktoriyel 4. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
250	0,1	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
4	1	0,93	0,93	0,42	3,33	0,07	0,1	0,15	0,19	13,30	34,01	36,60
4	2	1,00	1,92	0,46	3,34	0,14	0,18	0,28	0,41	15,43	52,99	56,47
4	3	0,94	2,86	0,45	3,58	0,93	1	0,93	1	18,12	78,33	78,45



Şekil 12.7 IC808 Tam faktoriyel 4. Deney aşınma grafikleri

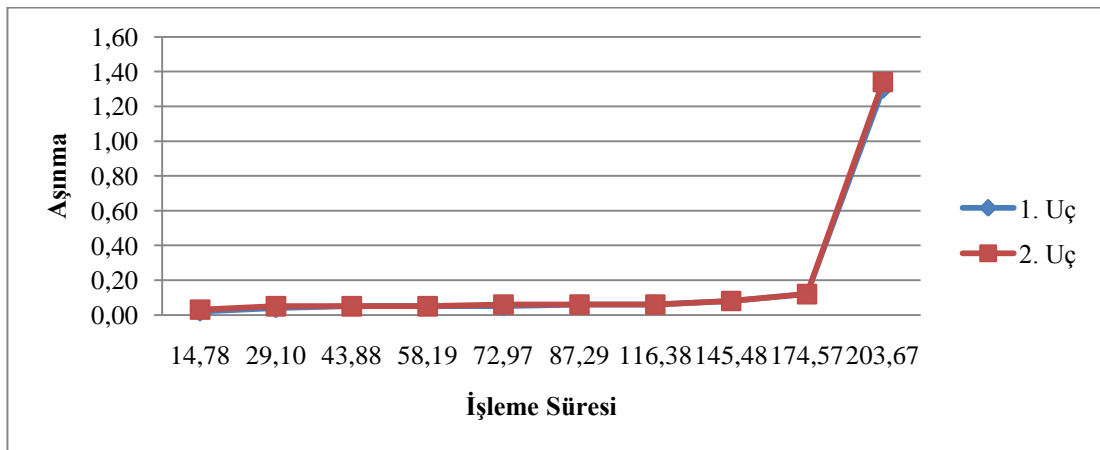


Şekil 12.8 IC808 Tam faktoriyel 4. Deney kuvvet grafikleri

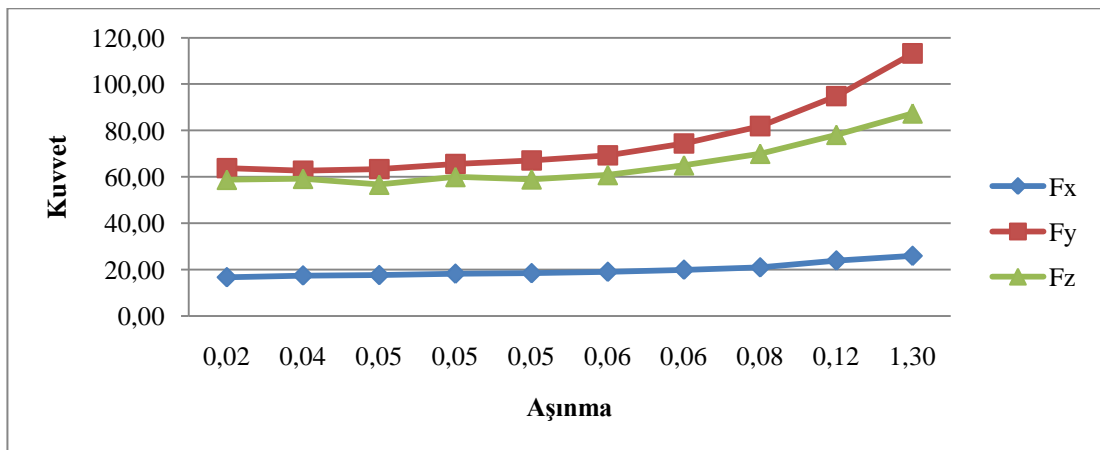
Tablo 12.5 IC808 Tam faktoriyel 5. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
5	1	14,78	14,78	0,42	2,56	0,02	0,03	0,02	0,04	16,63	63,71	58,77
5	2	14,32	29,10	0,42	2,73	0,04	0,05	0,06	0,09	17,38	62,65	59,20
5	3	14,78	43,88	0,48	2,74	0,05	0,05	0,08	0,09	17,56	63,33	56,66
5	4	14,32	58,19	0,46	2,94	0,05	0,05	0,08	0,09	18,16	65,59	59,98
5	5	14,78	72,97	0,42	2,61	0,05	0,06	0,08	0,10	18,38	67,05	58,96
5	6	14,32	87,29	0,51	3,03	0,06	0,06	0,09	0,10	18,97	69,26	60,84
5	7	29,10	116,38	0,51	3,00	0,06	0,06	0,09	0,10	19,88	74,35	65,02
5	8	29,10	145,48	0,55	3,09	0,08	0,08	0,11	0,11	20,88	81,89	70,00
5	9	29,10	174,57	0,58	3,27	0,12	0,12	0,31	0,24	23,87	94,86	78,17
5	10	29,10	203,67	0,67	3,84	1,30	1,34	1,30	1,34	25,87	113,24	87,40



Şekil 12.9 IC808 Tam faktoriyel 5. Deney aşınma grafikleri

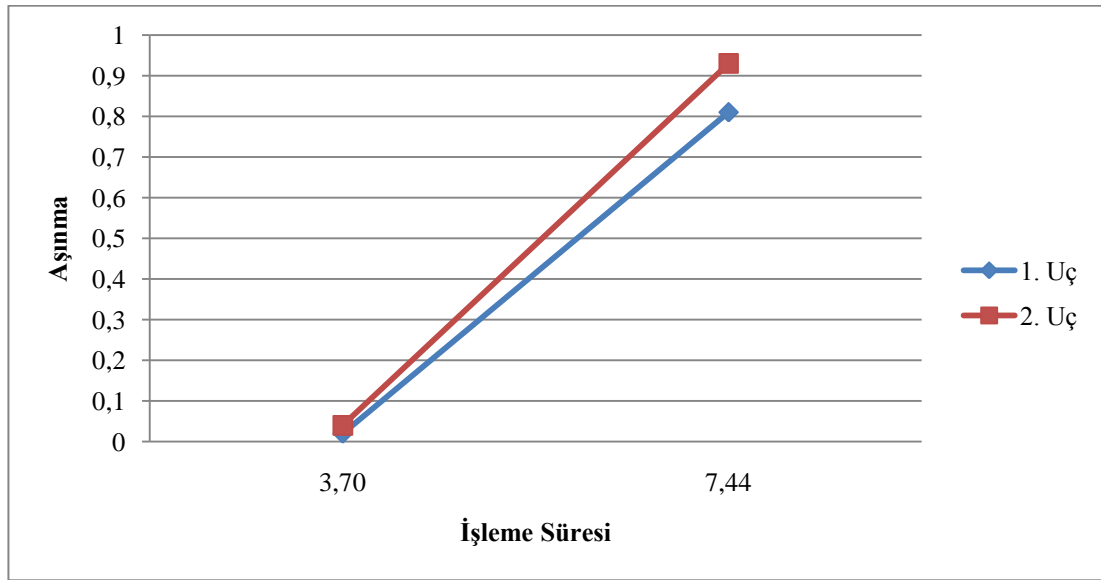


Şekil 12.10 IC808 Tam faktoriyel 5. Deney kuvvet grafikleri

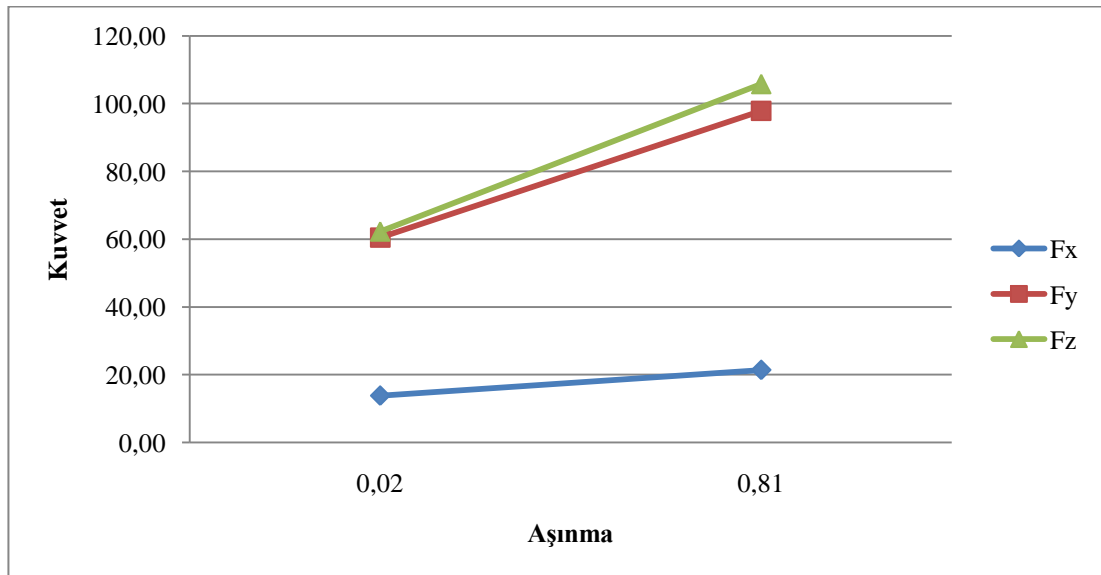
Tablo 12.6 IC808 Tam faktoriyel 6. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
250	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
6	1	3,70	3,70	0,48	2,81	0,02	0,04	0,06	0,08	13,85	60,48	62,27
6	2	3,74	7,44	0,53	2,97	0,81	0,93	0,81	0,93	21,41	97,85	105,77



Şekil 12.11 IC808 Tam faktoriyel 6. Deney aşınma grafikleri

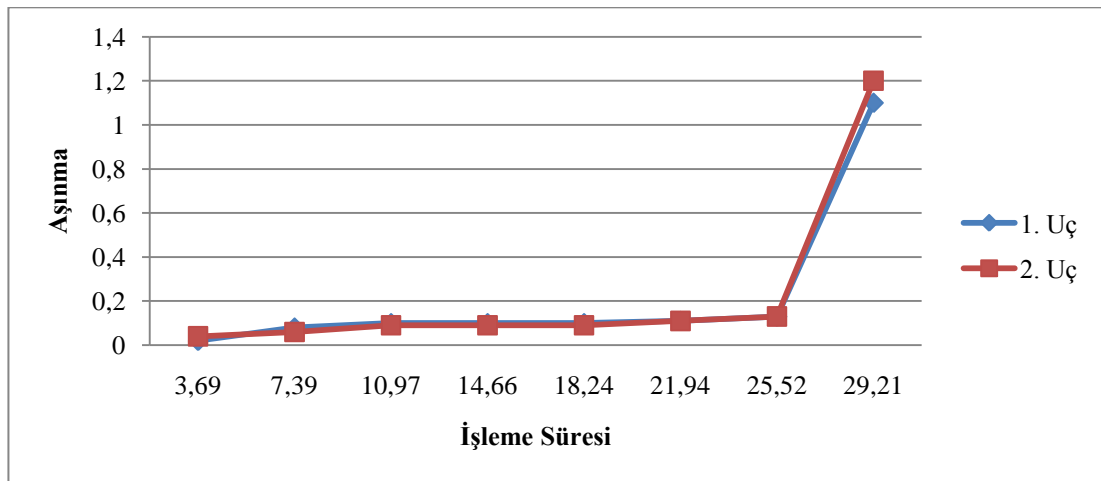


Şekil 12.12 IC808 Tam faktoriyel 6. Deney kuvvet grafikleri

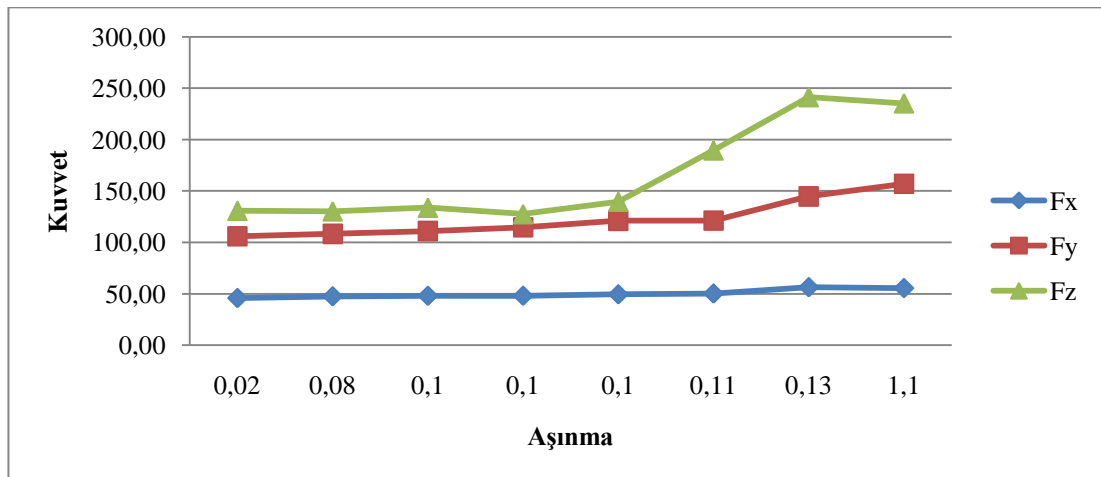
Tablo 12.7 IC808 Tam faktoriyel 7. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,1	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
7	1	3,69	3,69	0,4	2,93	0,02	0,04	0,05	0,07	45,80	105,84	130,83
7	2	3,69	7,39	0,55	3,39	0,08	0,06	0,17	0,14	47,45	108,25	130,32
7	3	3,58	10,97	0,54	3,35	0,1	0,09	0,19	0,17	47,95	111,03	133,81
7	4	3,69	14,66	0,49	3,28	0,1	0,09	0,2	0,17	48,02	114,68	127,59
7	5	3,58	18,24	0,48	3,25	0,1	0,09	0,2	0,17	49,39	121,04	139,68
7	6	3,69	21,94	0,47	3,21	0,11	0,11	0,21	0,25	50,19	121,17	189,56
7	7	3,58	25,52	0,48	3,27	0,13	0,13	0,22	0,28	56,37	144,71	241,30
7	8	3,69	29,21	0,48	3,3	1,1	1,2	1,1	1,2	55,50	157,00	235,28



Şekil 12.13 IC808 Tam faktoriyel 7. Deney aşınma grafikleri

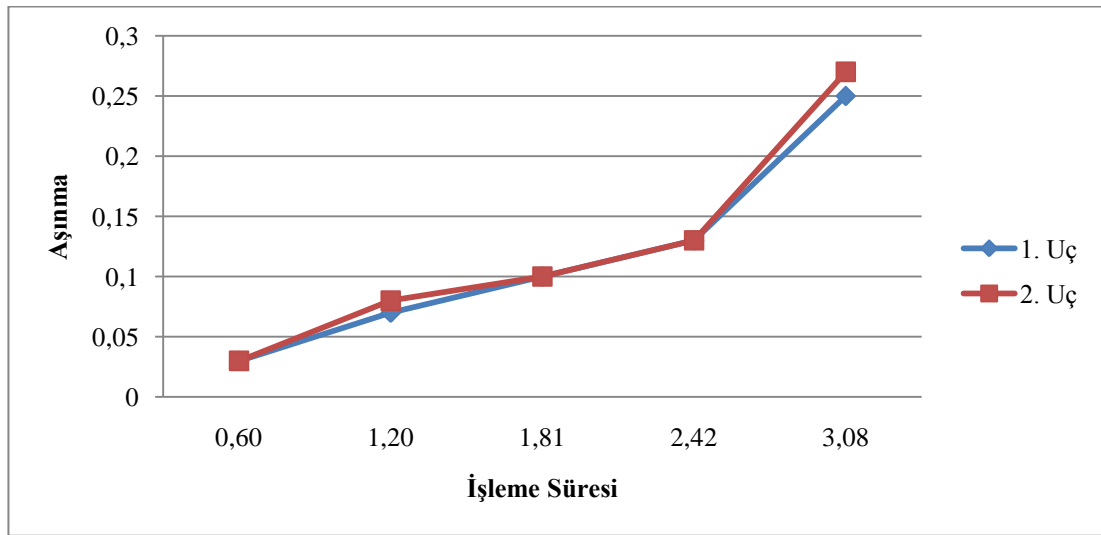


Şekil 12.14 IC808 Tam faktoriyel 7. Deney kuvvet grafikleri

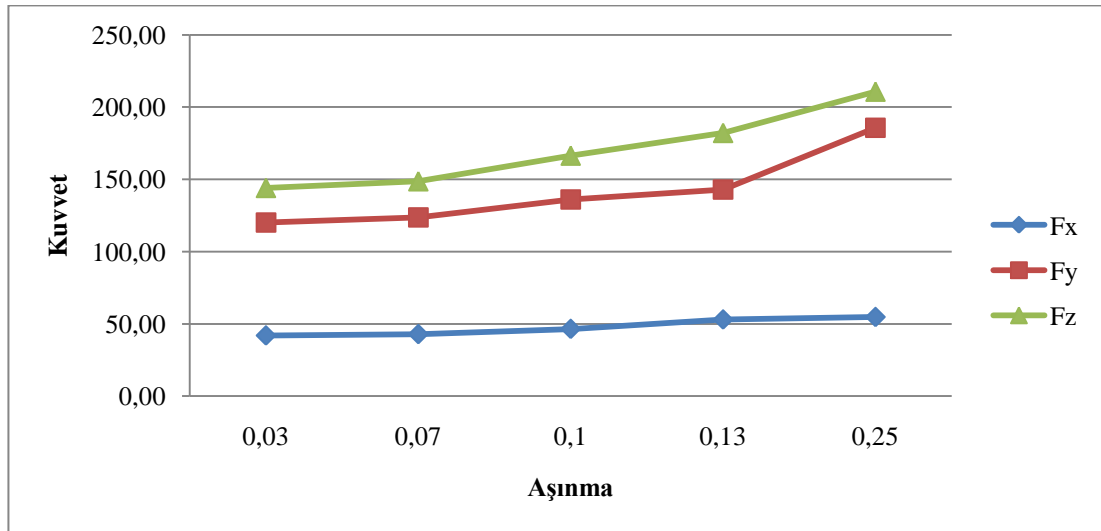
Tablo 12.8 IC808 Tam faktoriyel 8. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
250	0,1	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
8	1	0,60	0,60	0,85	5,75	0,03	0,03	0,06	0,07	41,91	120,18	144,01
8	2	0,61	1,20	0,81	6,13	0,07	0,08	0,13	0,14	42,83	123,65	148,63
8	3	0,61	1,81	0,9	6,14	0,1	0,1	0,17	0,16	46,48	136,16	166,42
8	4	0,61	2,42	0,91	6,15	0,13	0,13	0,2	0,23	52,98	142,97	182,14
8	5	0,66	3,08	0,95	6,21	0,25	0,27	0,35	0,44	54,73	185,65	210,77



Şekil 12.15 IC808 Tam faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri

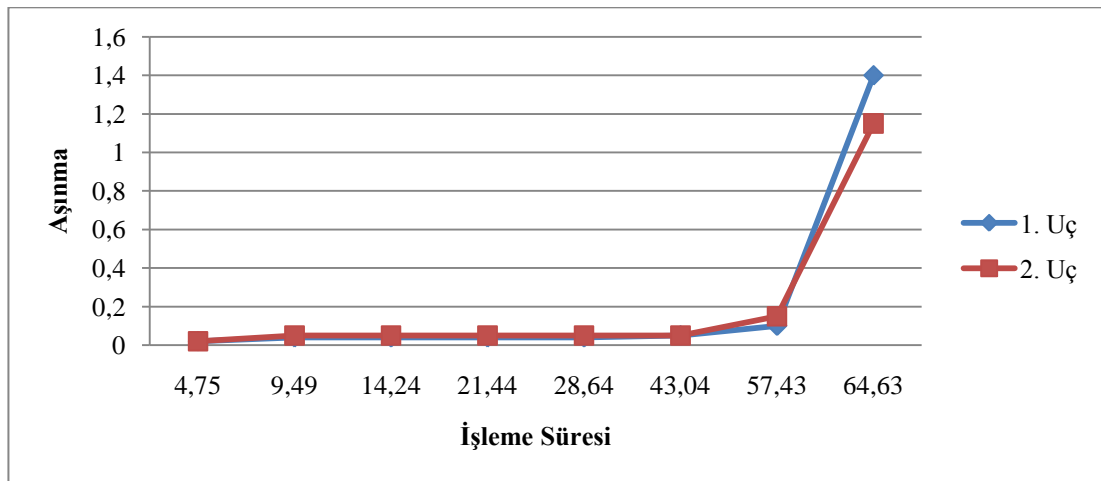


Şekil 12.16 IC808 Tam faktoriyel 8. Deney kuvvet grafikleri

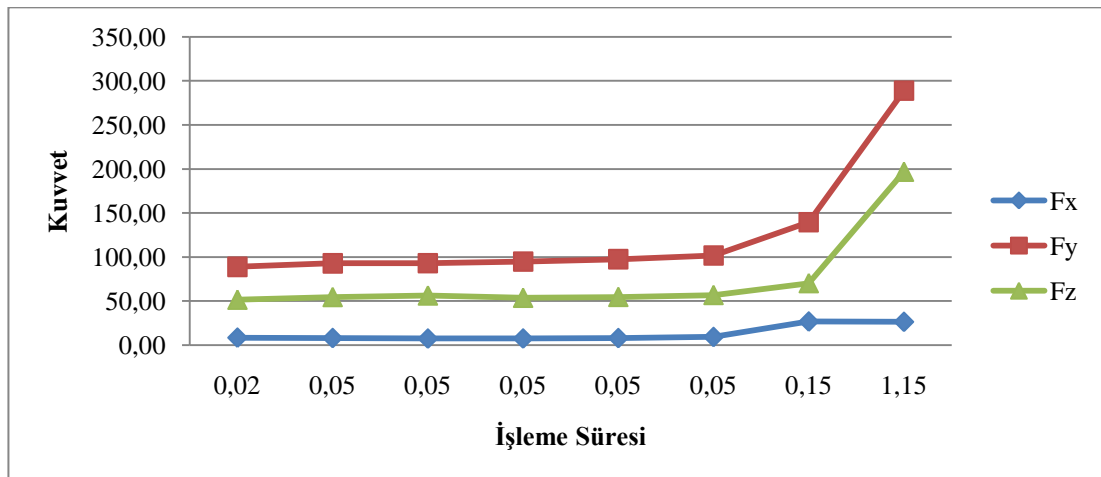
Tablo 12.9 IC808 Tam faktoriyel 9. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	1	4

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
9	1	4,75	4,75	0,31	2,01	0,02	0,02	0,03	0,04	8,57	88,88	51,53
9	2	4,75	9,49	0,31	2,02	0,04	0,05	0,08	0,09	8,15	92,87	54,54
9	3	4,75	14,24	0,32	2,06	0,04	0,05	0,08	0,09	7,52	93,15	56,30
9	4	7,20	21,44	0,34	2,01	0,04	0,05	0,08	0,09	7,61	94,95	53,68
9	5	7,20	28,64	0,34	2	0,04	0,05	0,08	0,09	8,08	97,52	54,70
9	6	14,40	43,04	0,34	2,06	0,05	0,05	0,1	0,1	9,32	101,85	56,87
9	7	14,40	57,43	0,42	2,29	0,1	0,15	0,16	0,24	26,75	139,43	70,33
9	8	7,20	64,63	0,44	2,57	1,4	1,15	1,4	1,15	26,41	288,79	197,05



Şekil 12.17 IC808 Tam faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri

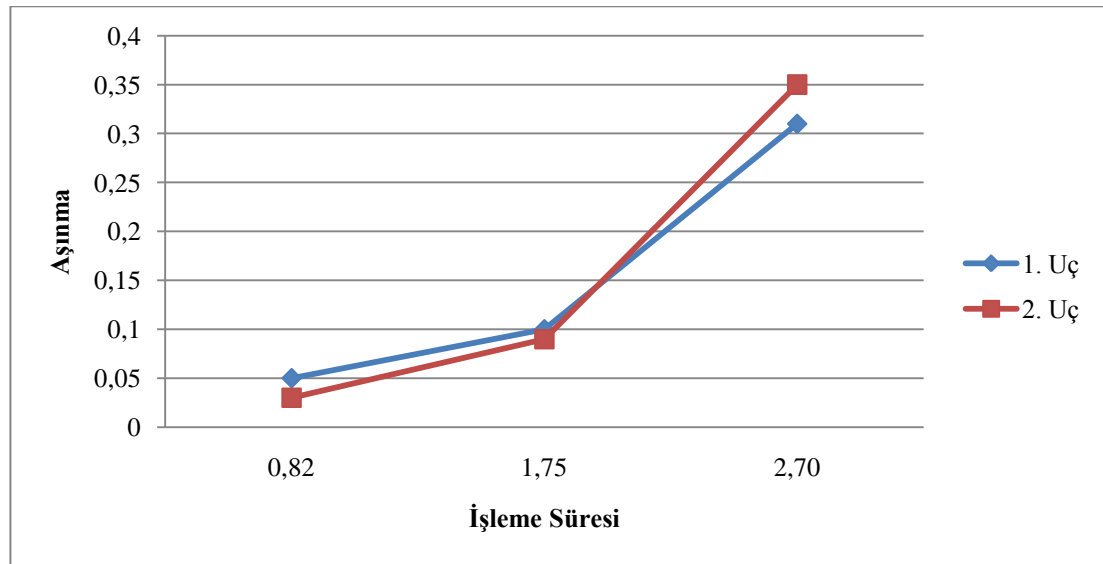


Şekil 12.18 IC808 Tam faktoriyel 9. Deney kuvvet grafikleri

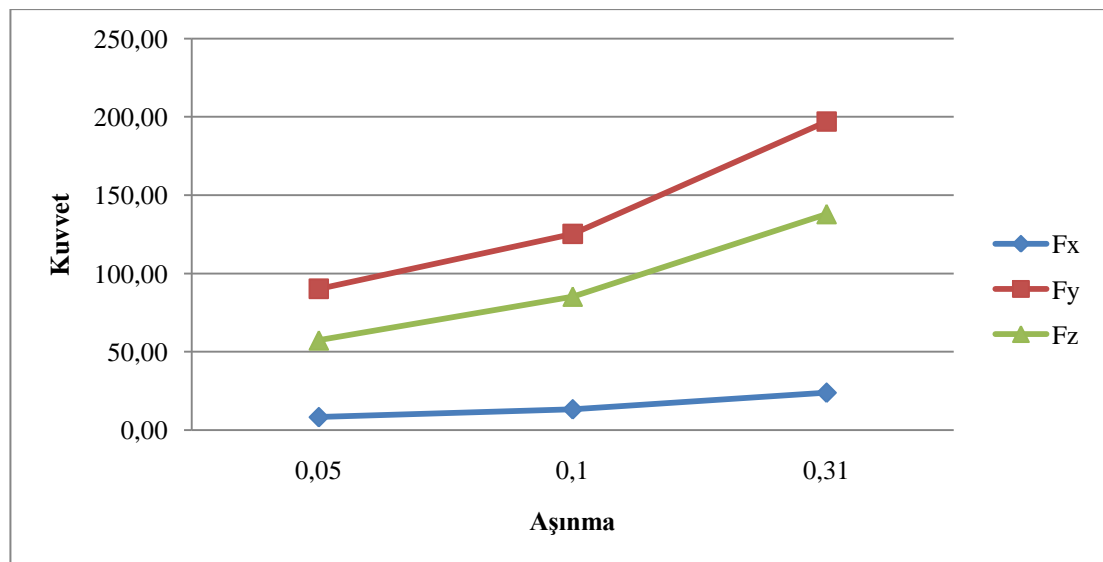
Tablo 12.10 IC808 Tam faktoriyel 10. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
250	0,025	1	4

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
10	1	0,82	0,82	0,51	2,85	0,05	0,03	0,08	0,07	8,28	90,19	57,34
10	2	0,93	1,75	0,55	2,89	0,1	0,09	0,18	0,17	13,27	125,21	85,29
10	3	0,95	2,70	0,52	2,95	0,31	0,35	0,48	0,57	23,83	197,06	137,94



Şekil 12.19 IC808 Tam faktoriyel 10. Deney aşınma grafikleri

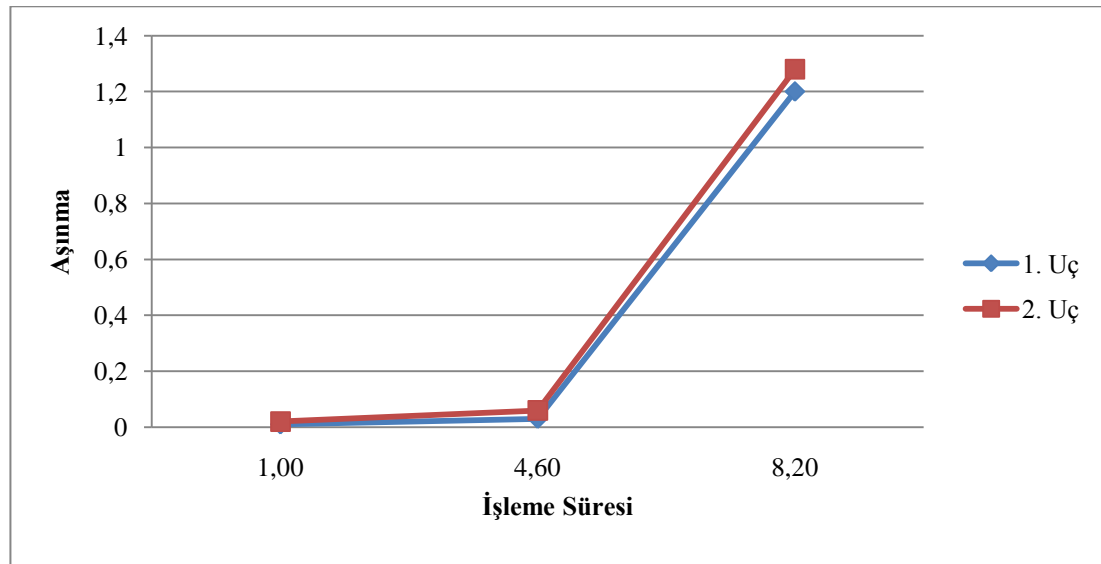


Şekil 12.20 IC808 Tam faktoriyel 10. Deney kuvvet grafikleri

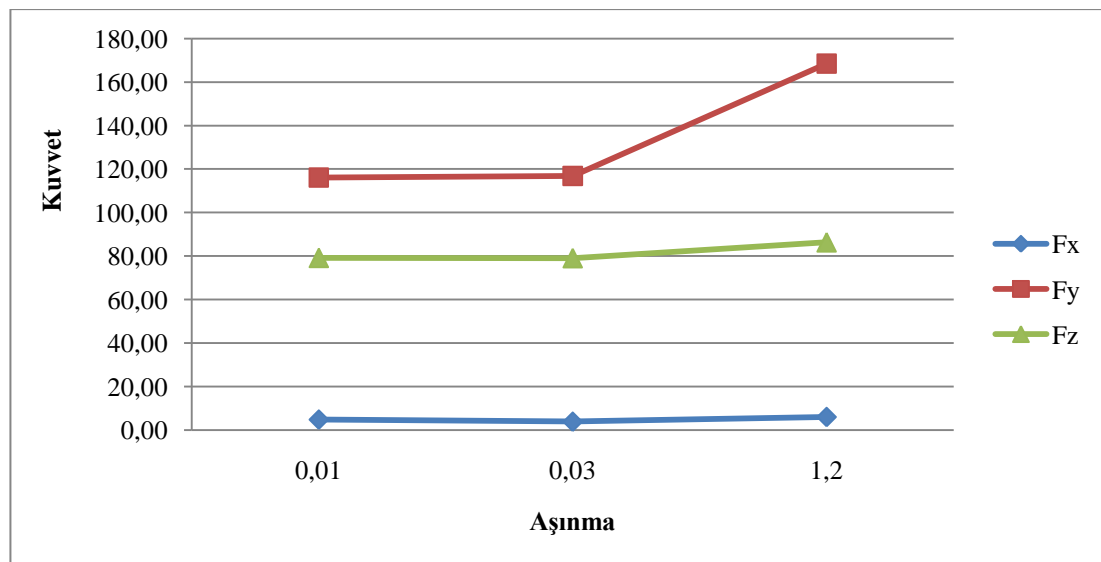
Tablo 12.11 IC808 Tam faktoriyel 11. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,1	1	4

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
11	1	1,00	1,00	0,49	2,71	0,01	0,02	0,03	0,05	4,87	116,11	79,20
11	2	3,60	4,60	0,5	2,74	0,03	0,06	0,07	0,11	3,90	116,83	79,07
11	3	3,60	8,20	0,54	3,14	1,2	1,28	1,2	1,28	6,07	168,49	86,32



Şekil 12.21 IC808 Tam faktoriyel 11. Deney aşınma grafikleri

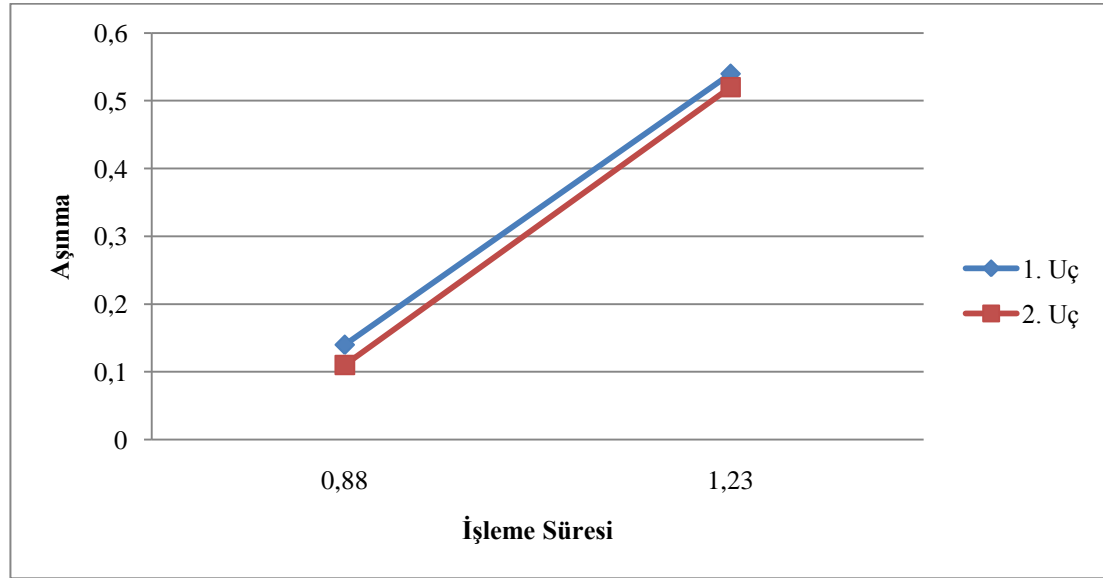


Şekil 12.22 IC808 Tam faktoriyel 11. Deney kuvvet grafikleri

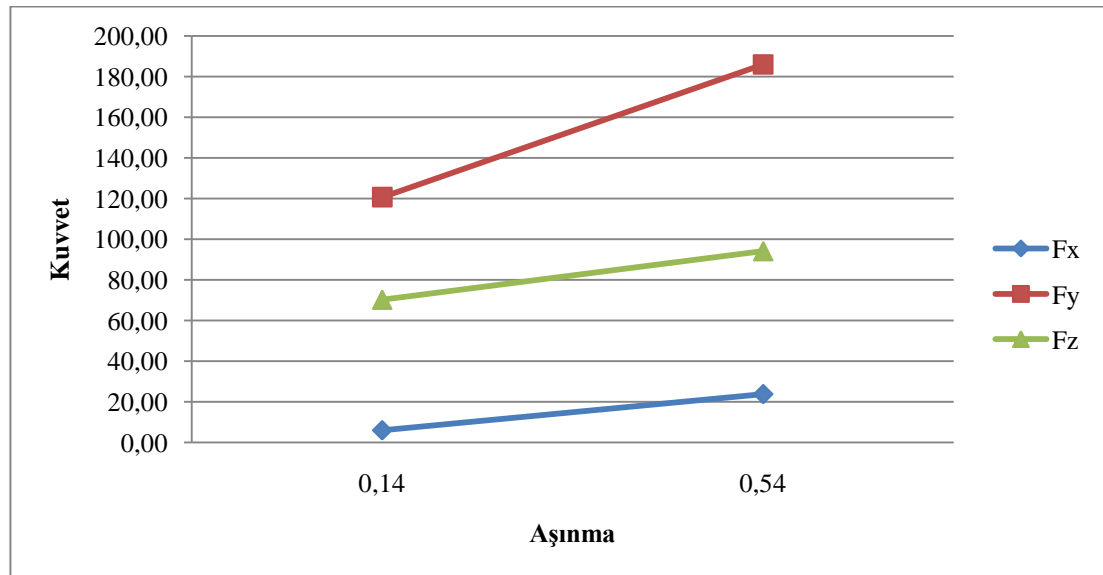
Tablo 12.12 IC808 Tam faktoriyel 12. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
250	0,1	1	4

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
12	1	0,88	0,88	0,75	4,3	0,14	0,11	0,28	0,27	5,97	120,68	70,25
12	2	0,36	1,23	0,75	4,44	0,54	0,52	1,04	1,02	23,84	185,94	94,14



Şekil 12.23 IC808 Tam faktoriyel 12. Deney aşınma grafikleri

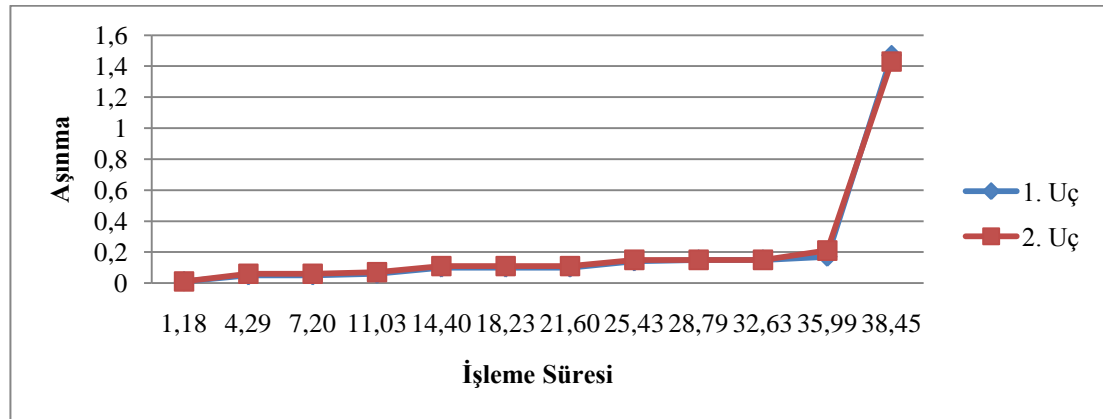


Şekil 12.24 IC808 Tam faktoriyel 12. Deney kuvvet grafikleri

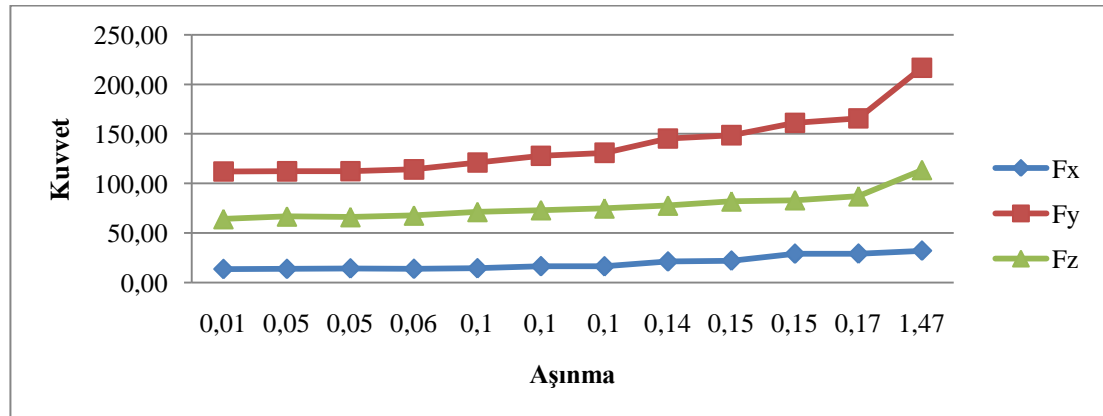
Tablo 12.13 IC808 Tam faktoriyel 13. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	4

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
13	1	1,18	1,18	0,67	3,17	0,01	0,01	0,01	0,01	13,73	112,15	64,16
13	2	3,11	4,29	0,71	3,17	0,05	0,06	0,1	0,1	13,83	112,23	66,80
13	3	2,91	7,20	0,7	3,15	0,05	0,06	0,1	0,12	14,32	112,47	66,18
13	4	3,83	11,03	0,6	3,16	0,06	0,07	0,12	0,12	13,92	114,20	67,74
13	5	3,37	14,40	0,62	3,21	0,1	0,11	0,18	0,2	14,47	121,02	71,30
13	6	3,83	18,23	0,63	3,27	0,1	0,11	0,18	0,2	16,50	127,94	73,13
13	7	3,37	21,60	0,62	3,27	0,1	0,11	0,18	0,2	16,41	130,93	74,87
13	8	3,83	25,43	0,64	3,31	0,14	0,15	0,23	0,24	21,26	145,21	77,75
13	9	3,37	28,79	0,67	3,36	0,15	0,15	0,23	0,24	22,14	148,66	81,88
13	10	3,83	32,63	0,71	3,37	0,15	0,15	0,24	0,33	29,08	161,04	83,14
13	11	3,37	35,99	0,7	3,4	0,17	0,21	0,27	0,52	29,17	165,74	87,06
13	12	2,45	38,45	0,87	4,12	1,47	1,43	1,47	1,43	32,14	216,56	113,47



Şekil 12.25 IC808 Tam faktoriyel 13. Deney aşınma grafikleri

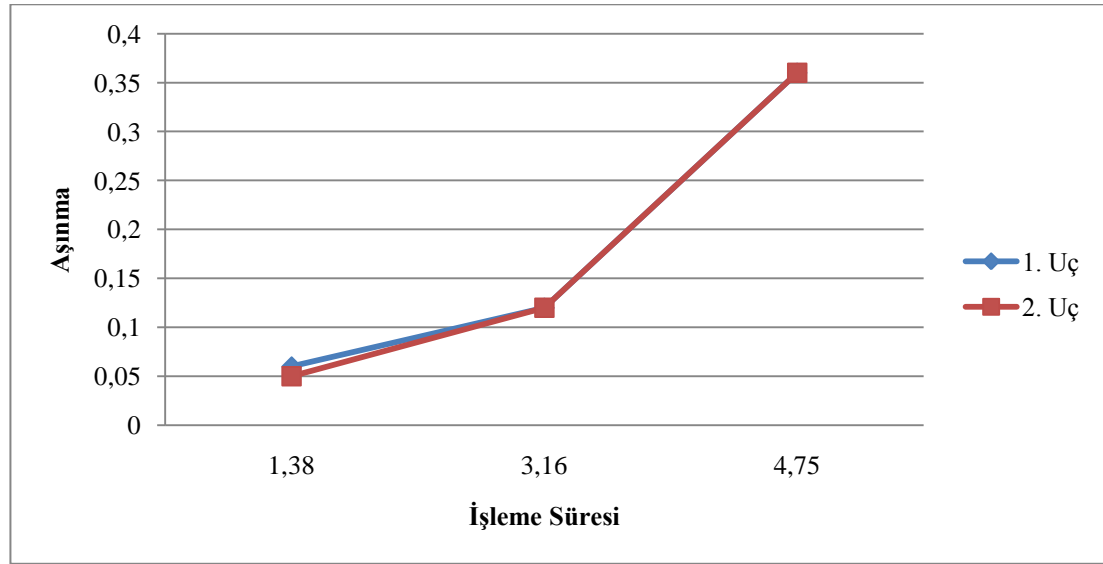


Şekil 12.26 IC808 Tam faktoriyel 13. Deney kuvvet grafikleri

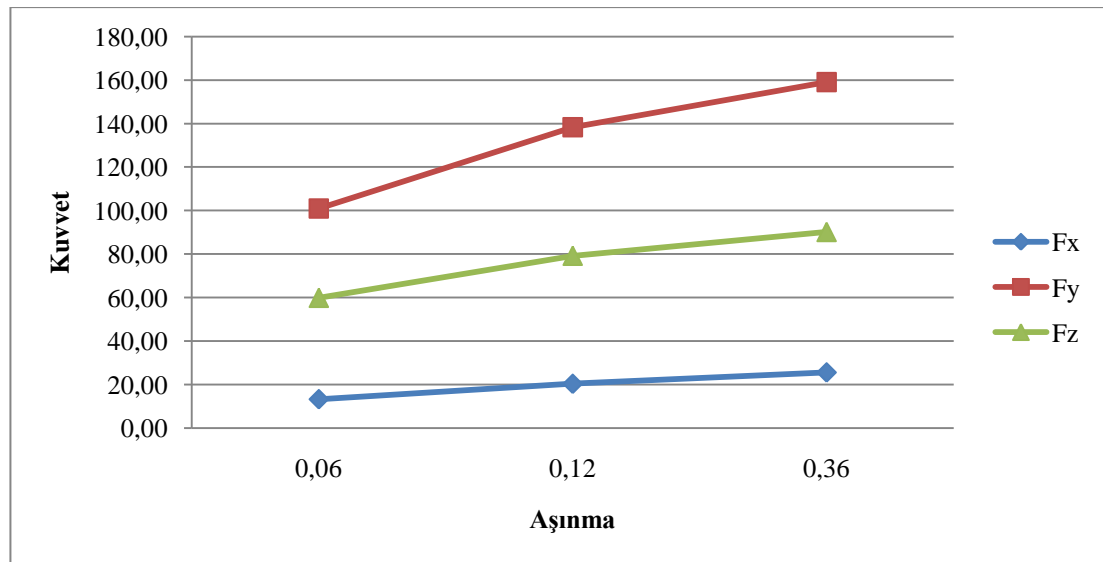
Tablo 12.14 IC808 Tam faktoriyel 14. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
250	0,025	3	4

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
14	1	1,38	1,38	0,61	4,12	0,06	0,05	0,13	0,13	13,29	100,91	59,86
14	2	1,78	3,16	0,64	4,21	0,12	0,12	0,19	0,2	20,38	138,36	79,21
14	3	1,58	4,75	0,84	4,42	0,36	0,36	0,45	0,5	25,61	159,08	90,14



Şekil 12.27 IC808 Tam faktoriyel 14. Deney aşınma grafikleri

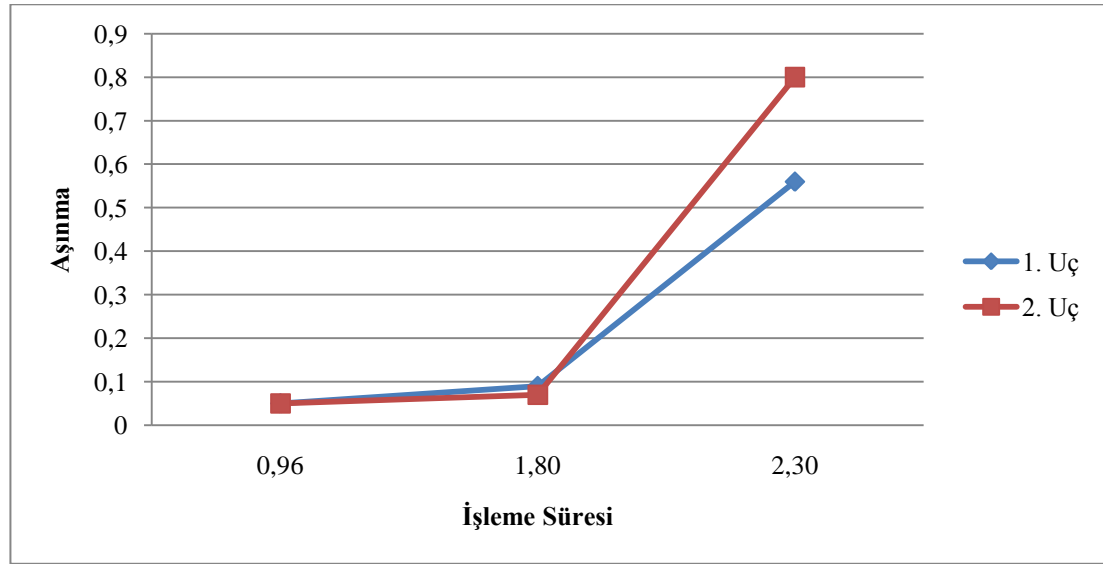


Şekil 12.28 IC808 Tam faktoriyel 14. Deney kuvvet grafikleri

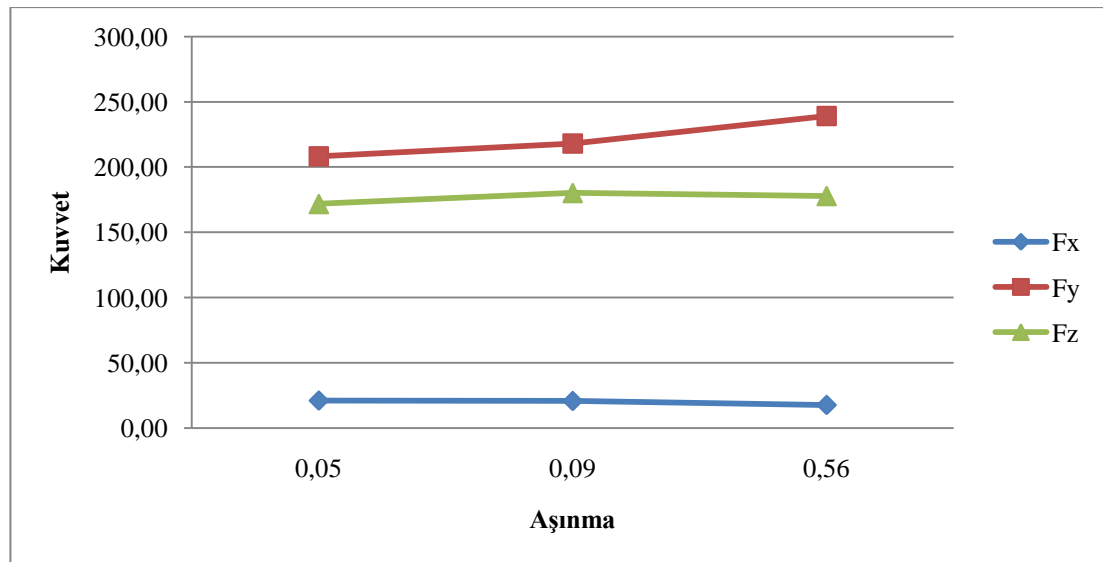
Tablo 12.15 IC808 Tam faktoriyel 15. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,1	3	4

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
15	1	0,96	0,96	1,11	6,18	0,05	0,05	0,11	0,11	21,14	208,25	171,82
15	2	0,84	1,80	1,24	6,47	0,09	0,07	0,21	0,13	20,81	218,00	180,21
15	3	0,50	2,30	1,29	6,55	0,56	0,8	0,56	0,8	17,76	239,14	177,90



Şekil 12.29 IC808 Tam faktoriyel 15. Deney aşınma grafikleri

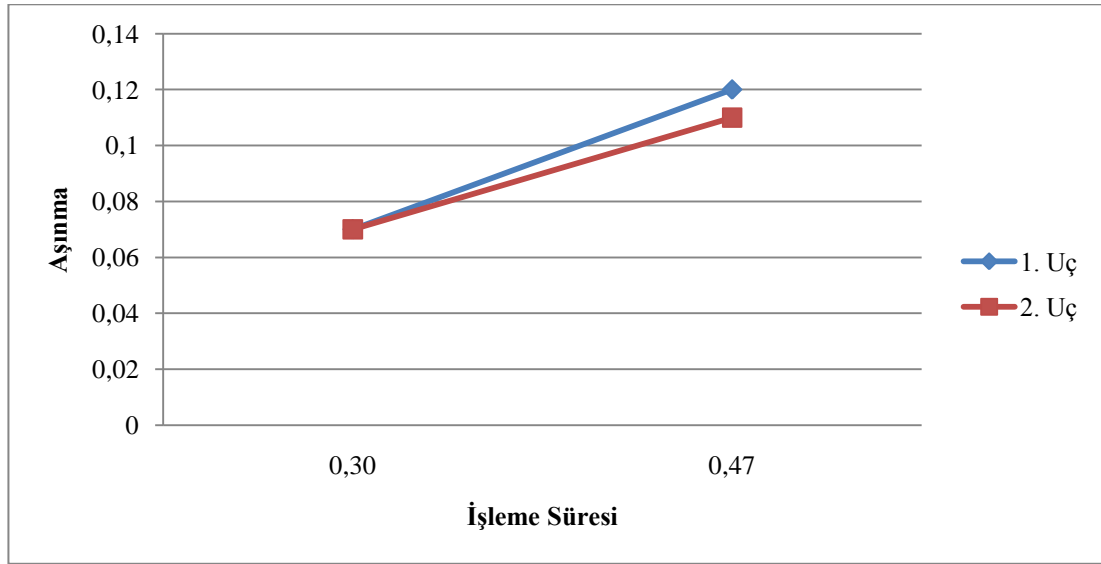


Şekil 12.30 IC808 Tam faktoriyel 15. Deney kuvvet grafikleri

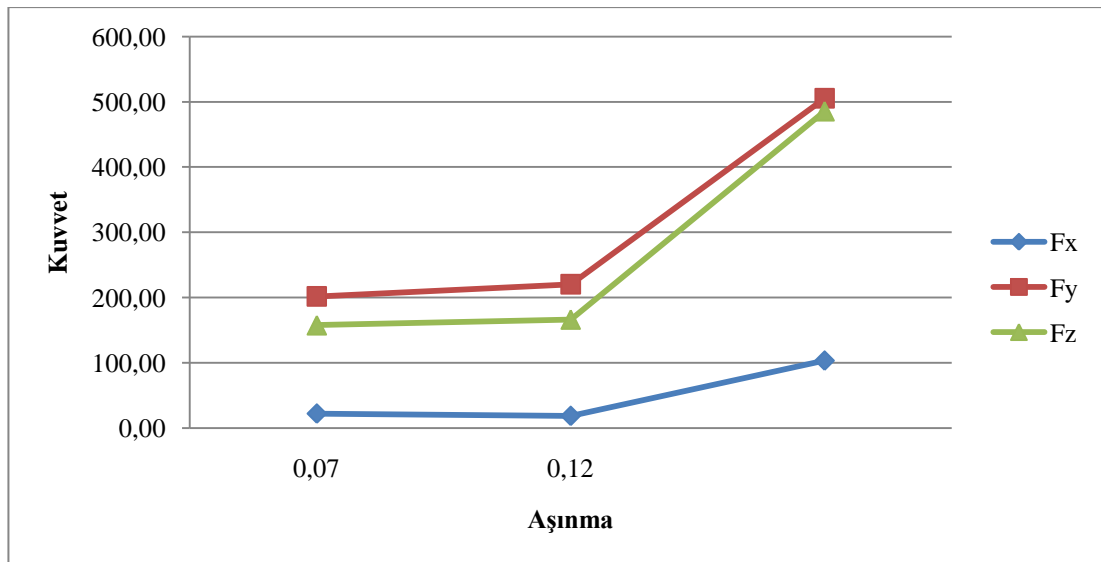
Tablo 12.16 IC808 Tam faktoriyel 16. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
250	0,1	3	4

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
16	1	0,30	0,30	1,36	6,65	0,07	0,07	0,12	0,13	22,23	201,78	157,69
16	2	0,17	0,47	1,42	7,87	0,12	0,11	0,17	0,17	18,72	220,37	166,48
16	3	Takım kırıldığı için ölçü alınamamıştır.								103,35	505,40	485,58



Şekil 12.31 IC808 Tam faktoriyel 16. Deney aşınma grafikleri

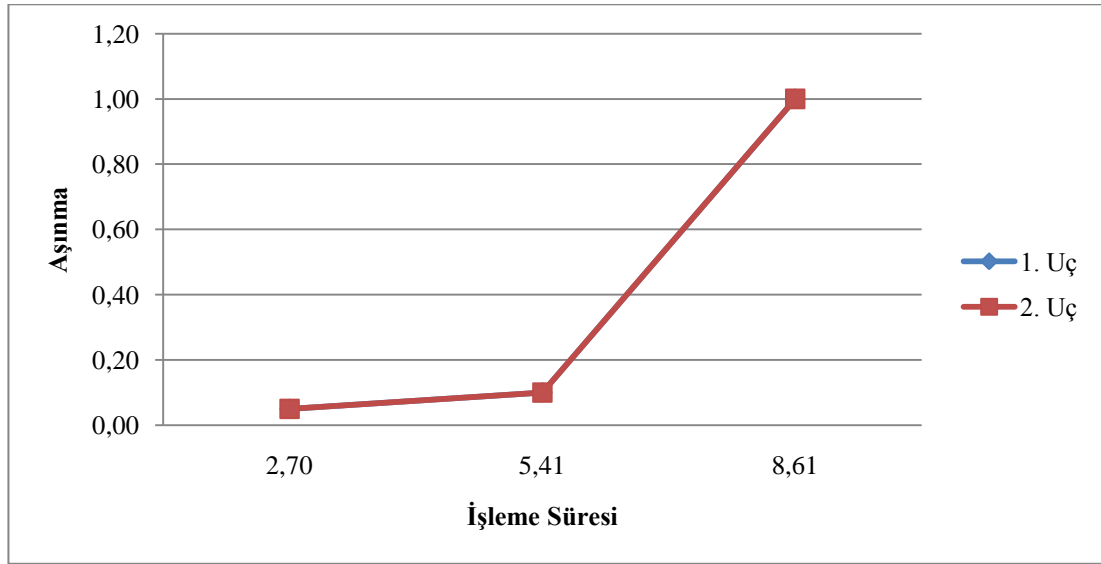


Şekil 12.32 IC808 Tam faktoriyel 16. Deney kuvvet grafikleri

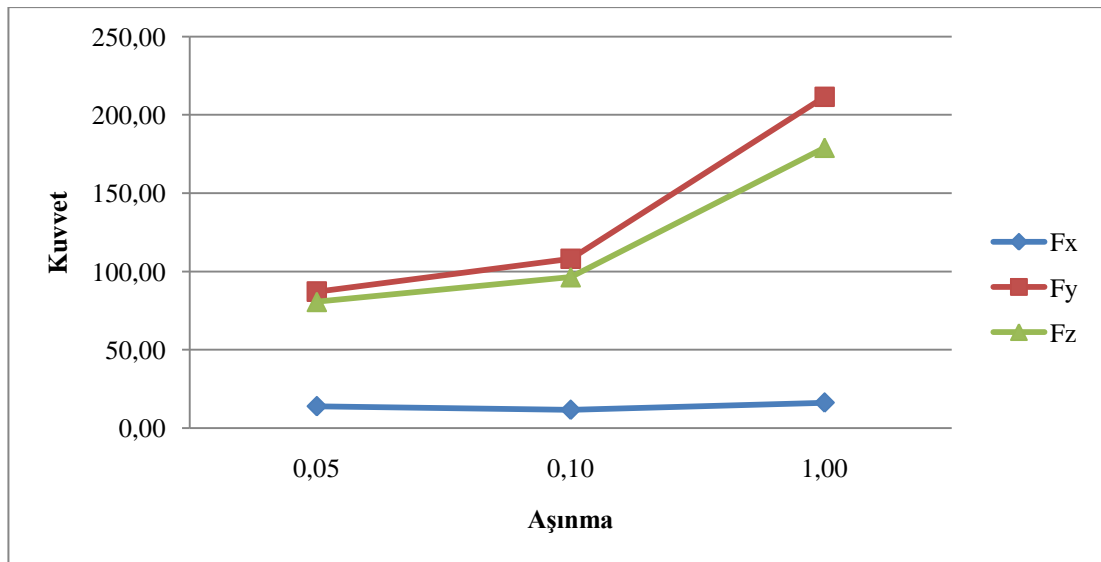
Tablo 12.17 IC808 Tam faktoriyel 17_a. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
180	0,05	1,75	2

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
17_a	1	2,70	2,70	0,65	4,11	0,05	0,05	0,08	0,08	13,91	87,13	80,63
17_a	2	2,70	5,41	0,47	3,50	0,10	0,10	0,17	0,17	11,62	108,08	96,41
17_a	3	3,20	8,61	0,88	5,15	1,00	1,00	1,20	1,20	16,23	211,49	179,03



Şekil 12.33 IC808 Tam faktoriyel 17_a. Deney aşınma grafikleri

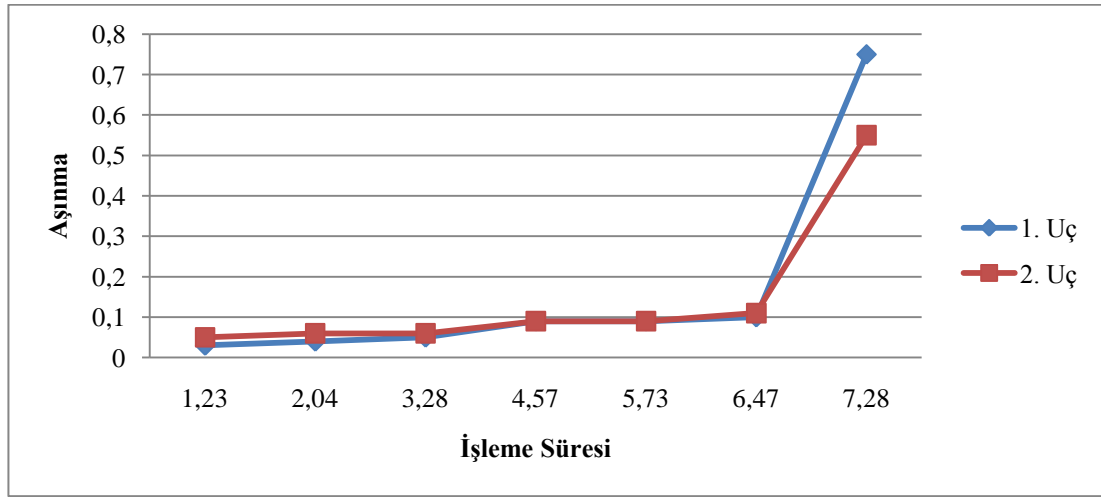


Şekil 12.34 IC808 Tam faktoriyel 17_a. Deney kuvvet grafikleri

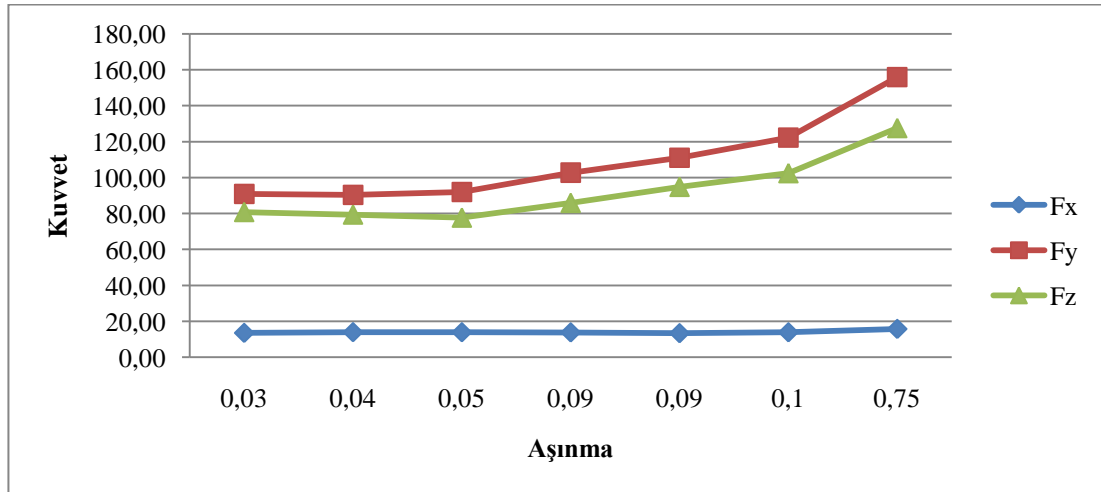
Tablo 12.17 IC808 Tam faktoriyel 17_b. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
180	0,05	1,75	2

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
17_b	1	1,23	1,23	0,87	5,34	0,03	0,05	0,06	0,08	13,53	90,84	80,79
17_b	2	0,81	2,04	0,75	5,44	0,04	0,06	0,08	0,09	13,93	90,38	79,36
17_b	3	1,24	3,28	0,82	5,32	0,05	0,06	0,08	0,09	13,89	92,00	77,66
17_b	4	1,30	4,57	0,87	5,33	0,09	0,09	0,15	0,14	13,80	102,71	85,86
17_b	5	1,15	5,73	0,88	5,48	0,09	0,09	0,15	0,16	13,37	111,01	94,79
17_b	6	0,74	6,47	0,9	5,8	0,1	0,11	0,2	0,22	13,87	122,19	102,41
17_b	7	0,81	7,28	0,88	5,32	0,75	0,55	0,75	0,55	15,76	155,91	127,52



Şekil 12.35 IC808 Tam faktoriyel 17_b. Deney aşınma grafikleri



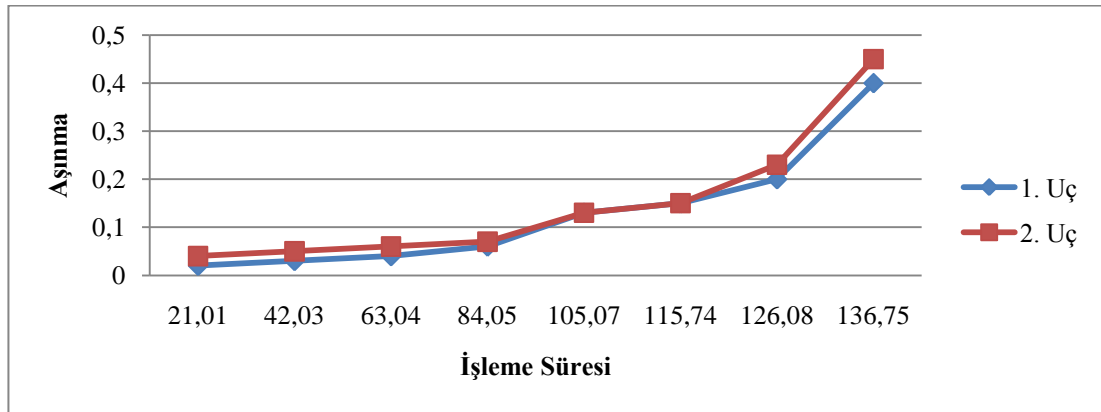
Şekil 12.36 IC808 Tam faktoriyel 17_b. Deney kuvvet grafikleri

12.2. IC830 Yarım Faktoriyel Deney Sonuçları

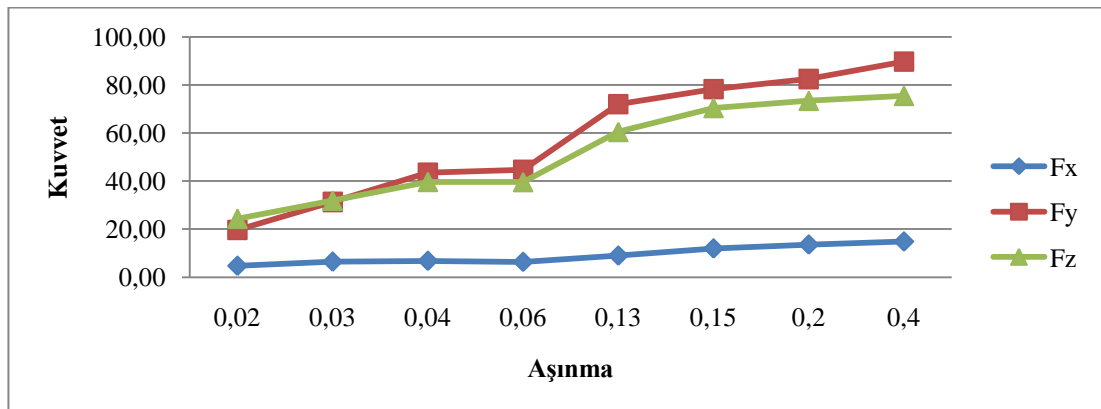
Tablo 12.18 IC830 Yarım faktoriyel 2. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
180	0,025	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
2	1	21,01	21,01	0,3	1,89	0,02	0,04	0,02	0,06	4,71	19,69	24,34
2	2	21,01	42,03	0,29	1,88	0,03	0,05	0,04	0,06	6,44	31,32	31,84
2	3	21,01	63,04	0,31	1,91	0,04	0,06	0,05	0,07	6,77	43,45	39,66
2	4	21,01	84,05	0,32	1,93	0,06	0,07	0,08	0,08	6,34	44,71	39,60
2	5	21,01	105,07	0,31	1,92	0,13	0,13	0,3	0,3	8,96	71,95	60,47
2	6	10,67	115,74	0,31	1,89	0,15	0,15	0,36	0,38	11,95	78,26	70,45
2	7	10,34	126,08	0,32	1,95	0,2	0,23	0,57	0,58	13,57	82,44	73,45
2	8	10,67	136,75	0,3	1,96	0,4	0,45	1	1,09	14,84	89,67	75,49



Şekil 12.37 IC830 Yarım faktoriyel 2. Deney aşınma grafikleri

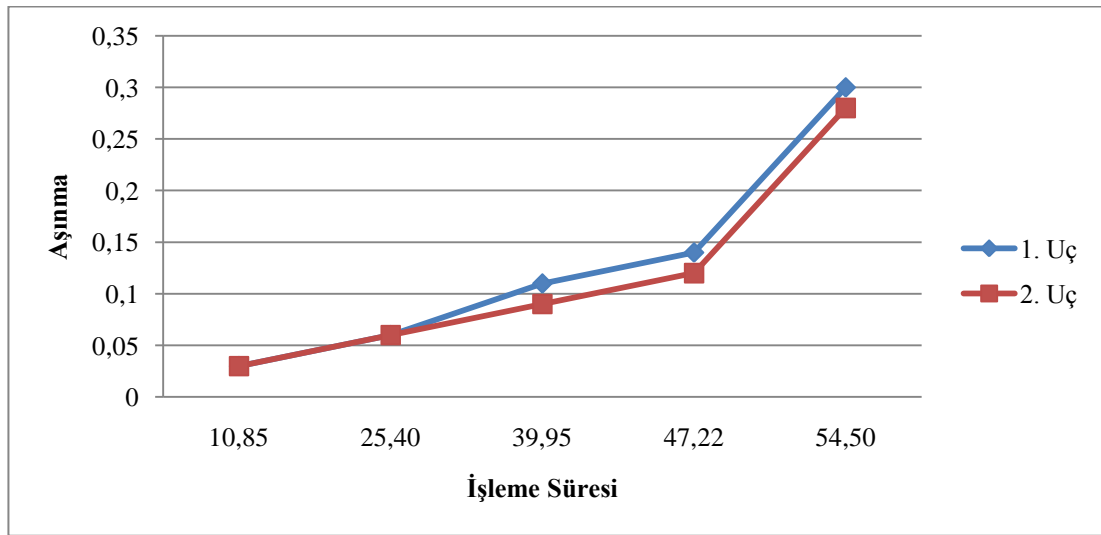


Şekil 12.38 IC830 Yarım faktoriyel 2. Deney kuvvet grafikleri

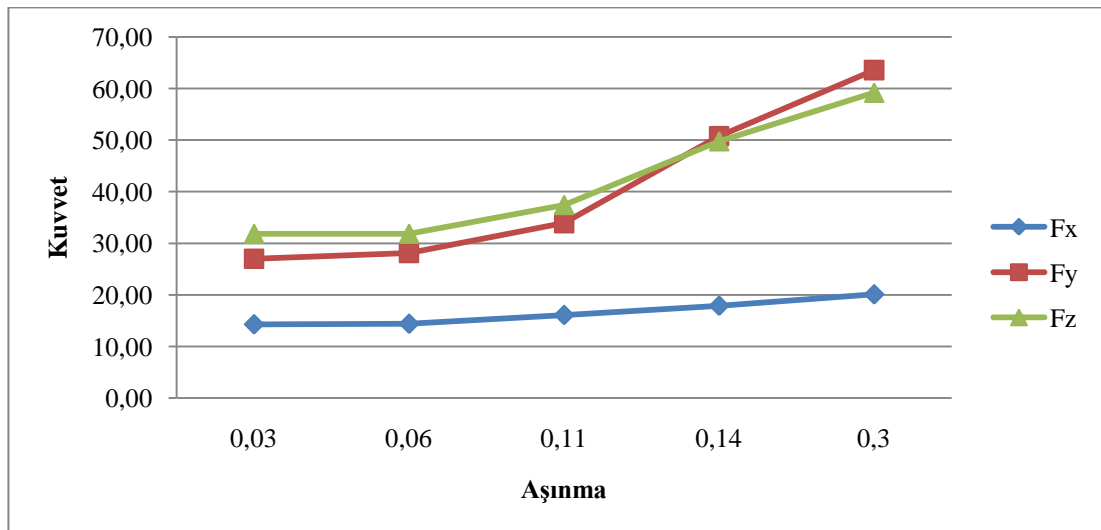
Tablo 12.19 IC830 Yarım faktoriyel 3. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,1	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
3	1	10,85	10,85	0,57	3,65	0,03	0,03	0,05	0,05	14,32	26,99	31,84
3	2	14,55	25,40	0,57	3,67	0,06	0,06	0,1	0,1	14,42	28,11	31,87
3	3	14,55	39,95	0,74	4,53	0,11	0,09	0,16	0,12	16,11	33,93	37,44
3	4	7,27	47,22	0,93	5,36	0,14	0,12	0,19	0,21	17,91	50,75	49,79
3	5	7,27	54,50	1,11	7,52	0,3	0,28	0,66	0,45	20,10	63,55	59,20



Şekil 12.39 IC830 Yarım faktoriyel 3. Deney aşınma grafikleri

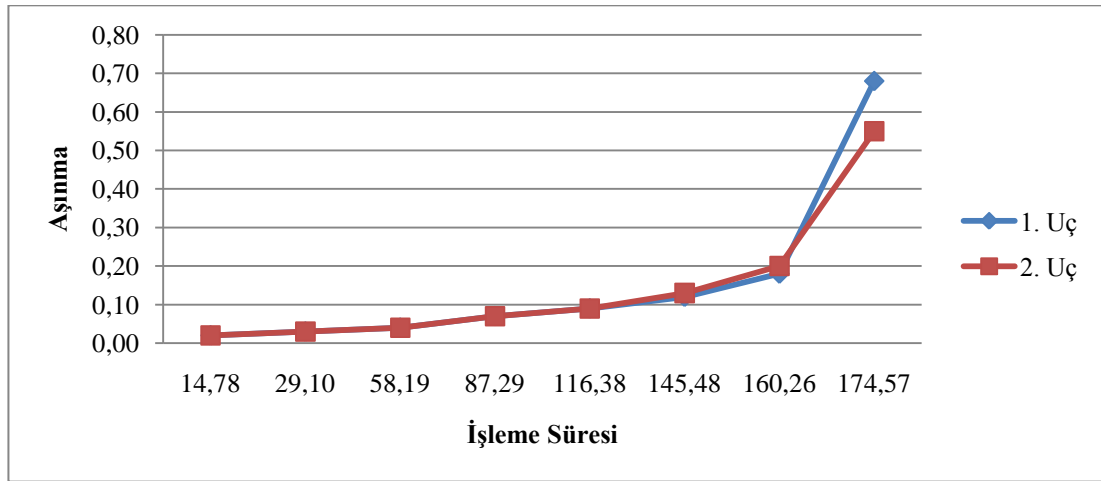


Şekil 12.40 IC830 Yarım faktoriyel 3. Deney kuvvet grafikleri

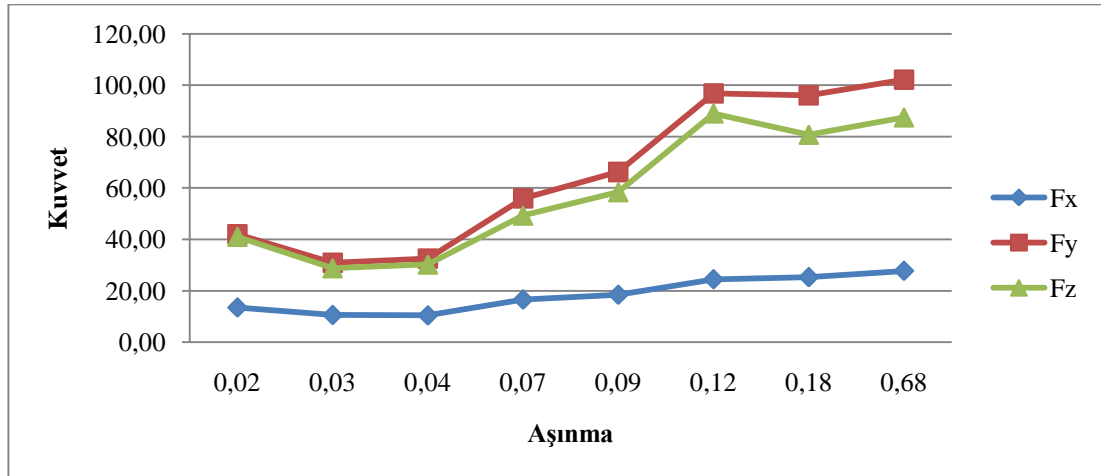
Tablo 12.20 IC830 Yarım faktoriyel 5. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
5	1	14,78	14,78	0,40	2,62	0,02	0,02	0,04	0,04	13,50	41,96	41,02
5	2	14,32	29,10	0,40	2,64	0,03	0,03	0,05	0,05	10,59	30,88	28,82
5	3	29,10	58,19	0,41	2,62	0,04	0,04	0,05	0,05	10,43	32,51	30,25
5	4	29,10	87,29	0,42	2,68	0,07	0,07	0,07	0,07	16,57	55,90	49,28
5	5	29,10	116,38	0,42	2,70	0,09	0,09	0,10	0,10	18,43	66,23	58,38
5	6	29,10	145,48	0,45	2,82	0,12	0,13	0,13	0,15	24,44	96,78	88,99
5	7	14,78	160,26	0,59	3,15	0,18	0,20	0,23	0,25	25,25	96,04	80,71
5	8	14,32	174,57	0,68	3,69	0,68	0,55	0,68	0,55	27,71	102,14	87,45



Şekil 12.41 IC830 Yarım faktoriyel 5. Deney aşınma grafikleri

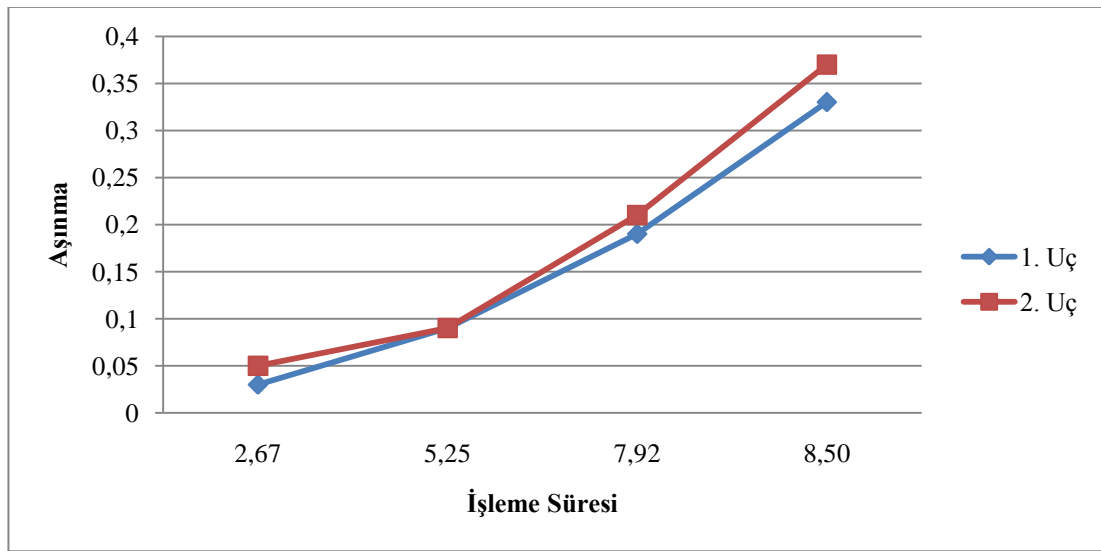


Şekil 12.42 IC830 Yarım faktoriyel 5. Deney kuvvet grafikleri

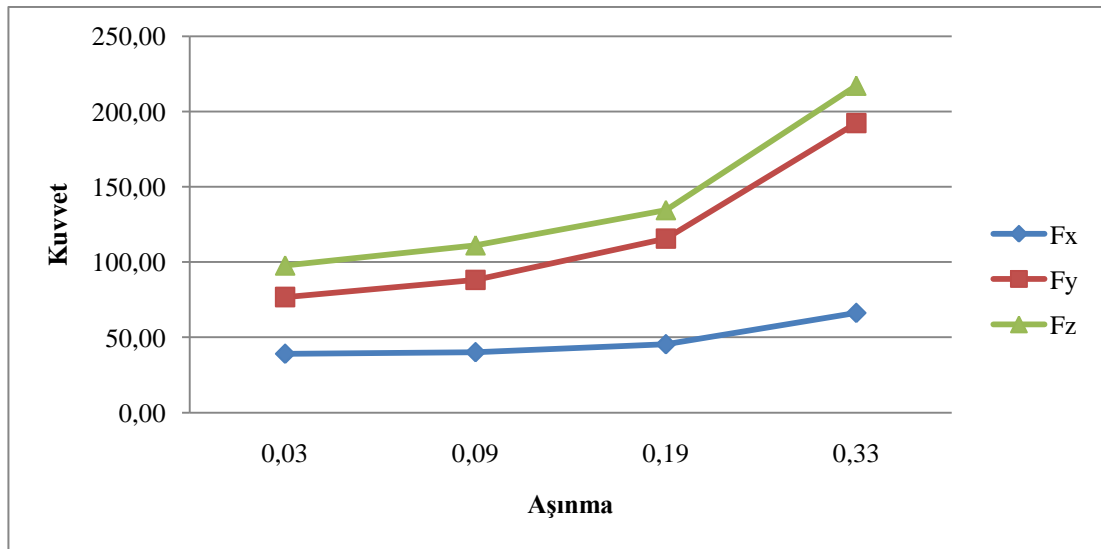
Tablo 12.21 IC830 Yarım faktoriyel 8. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
8	1	2,67	2,67	0,83	4,65	0,03	0,05	0,07	0,08	39,08	76,75	97,67
8	2	2,58	5,25	0,82	4,67	0,09	0,09	0,15	0,16	40,14	88,19	111,10
8	3	2,67	7,92	0,81	4,71	0,19	0,21	0,35	0,36	45,40	115,60	134,50
8	4	0,58	8,50	0,85	4,94	0,33	0,37	0,64	0,65	66,23	192,31	217,25



Şekil 12.43 IC830 Yarım faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri

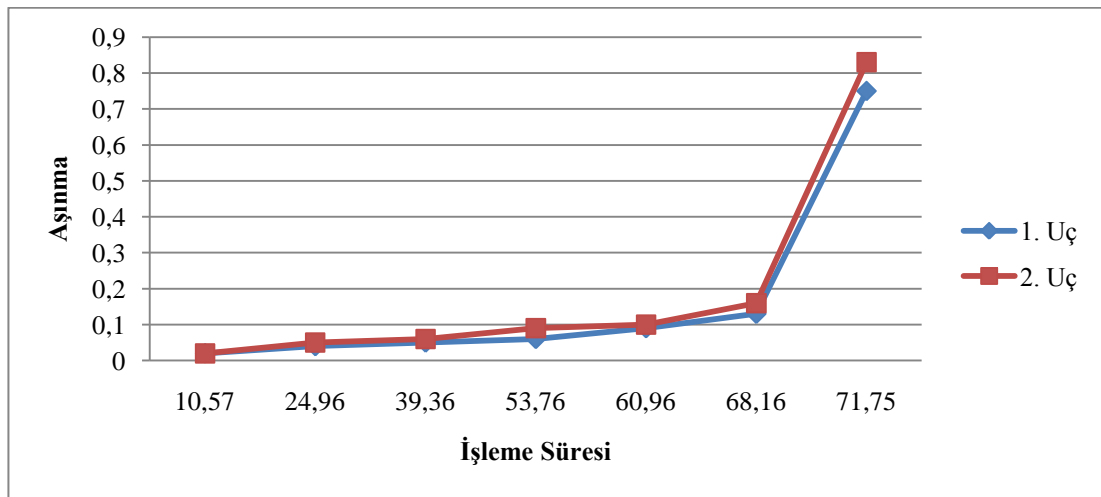


Şekil 12.44 IC830 Yarım faktoriyel 8. Deney kuvvet grafikleri

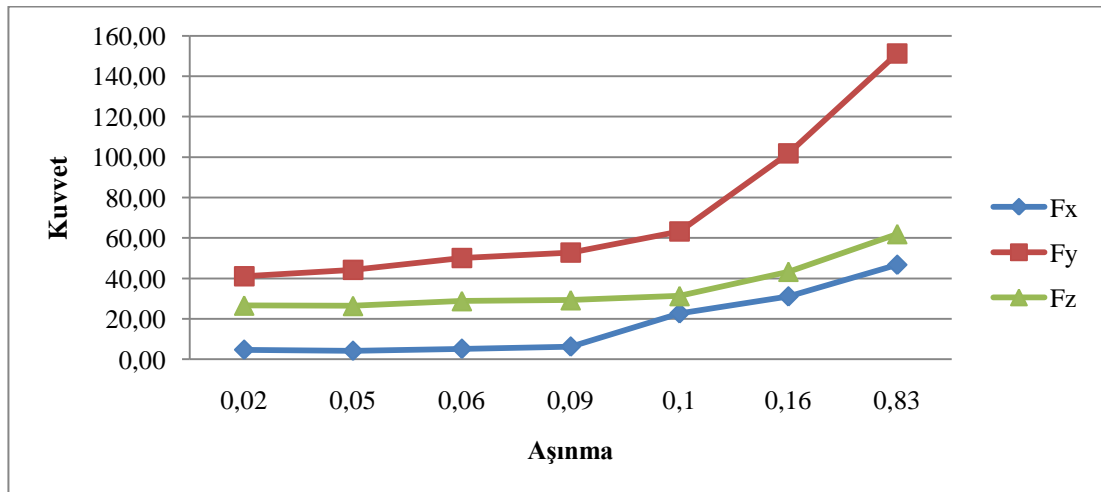
Tablo 12.22 IC830 Yarım faktoriyel 9. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
9	1	10,57	10,57	0,32	2,06	0,02	0,02	0,04	0,04	4,67	41,02	26,64
9	2	14,40	24,96	0,42	2,26	0,04	0,05	0,08	0,1	4,13	44,23	26,43
9	3	14,40	39,36	0,42	2,32	0,05	0,06	0,11	0,11	5,15	50,09	28,83
9	4	14,40	53,76	0,41	2,35	0,06	0,09	0,13	0,16	6,23	52,74	29,28
9	5	7,20	60,96	0,41	2,37	0,09	0,1	0,18	0,2	22,67	63,22	31,33
9	6	7,20	68,16	0,49	2,95	0,13	0,16	0,24	0,29	31,07	101,83	43,32
9	7	3,60	71,75	0,65	3,92	0,75	0,83	0,75	0,83	46,76	151,21	61,94



Şekil 12.45 IC830 Yarım faktoriyel 9. Deney aşınma grafikleri

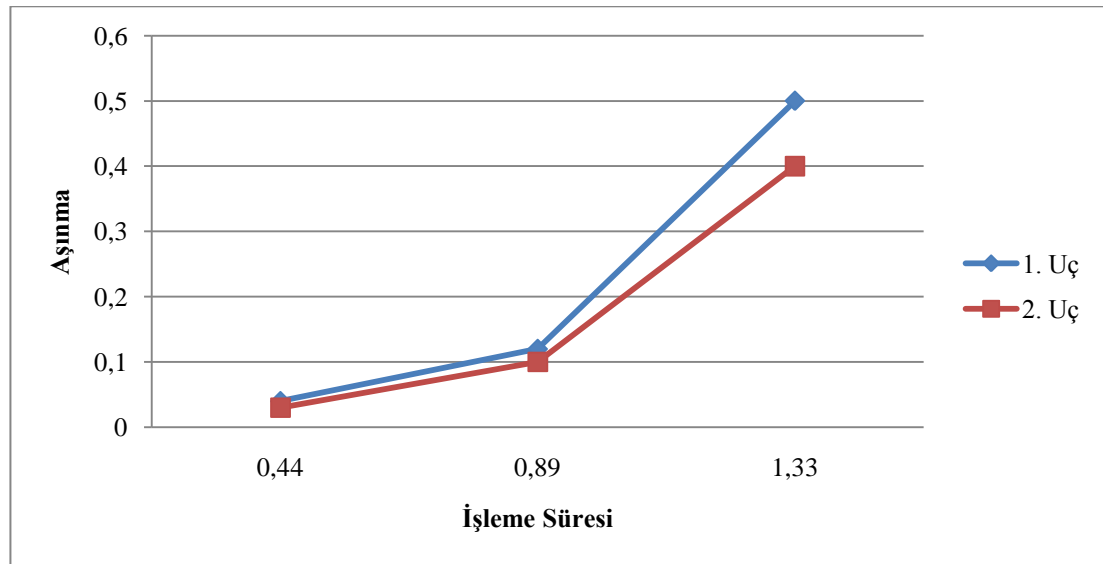


Şekil 12.46 IC830 Yarım faktoriyel 9. Deney kuvvet grafikleri

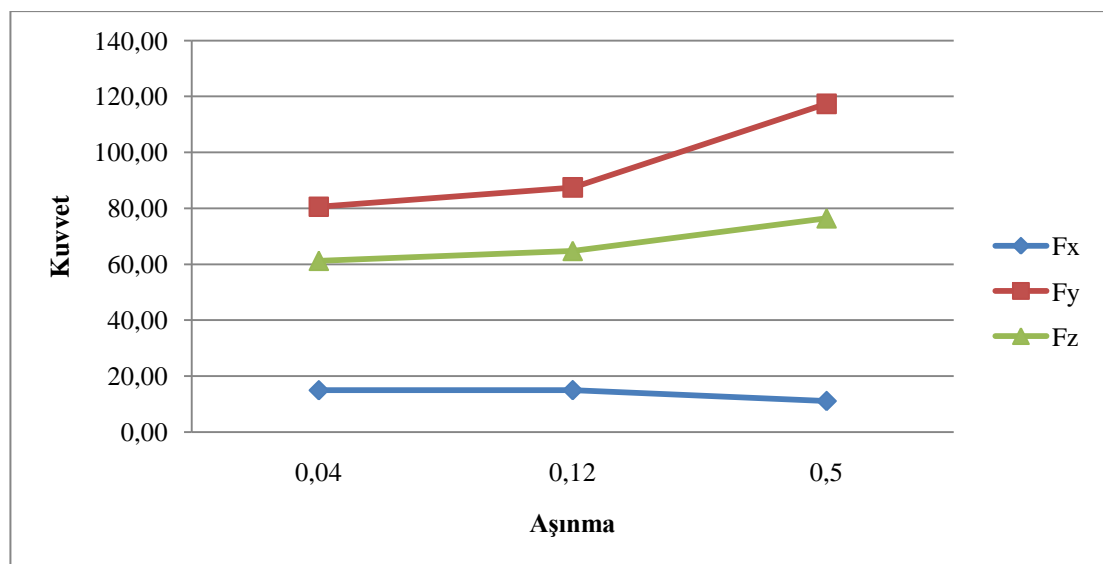
Tablo 12.23 IC830 Yarım faktoriyel 8. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
12	1	0,44	0,44	0,83	4,46	0,04	0,03	0,06	0,06	14,97	80,60	61,20
12	2	0,44	0,89	0,86	4,61	0,12	0,1	0,22	0,2	15,01	87,47	64,73
12	3	0,44	1,33	0,88	4,93	0,5	0,4	0,52	0,52	11,11	117,36	76,39



Şekil 12.47 IC830 Yarım faktoriyel 12. Deney aşınma grafikleri

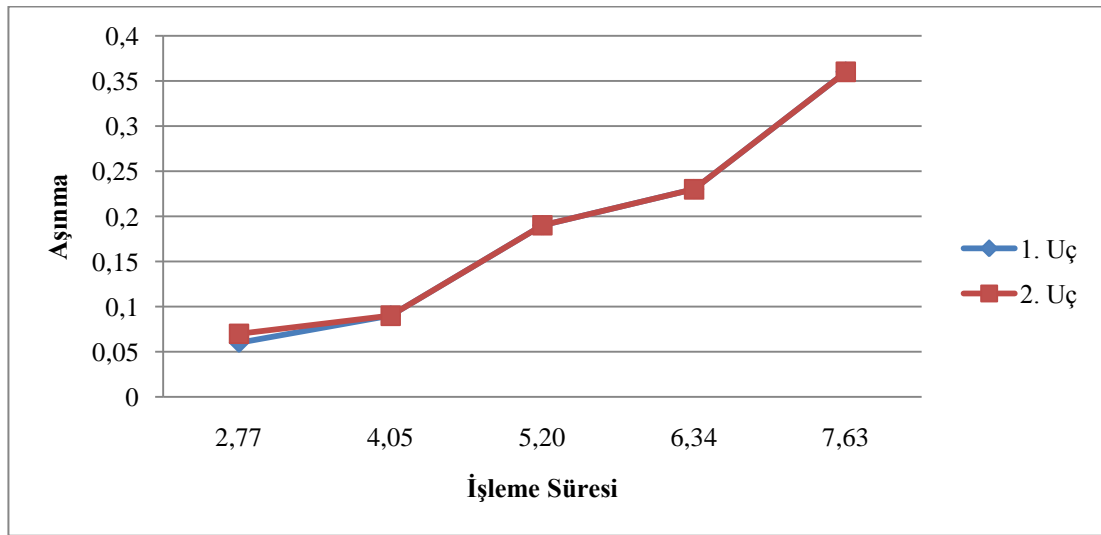


Şekil 12.48 IC830 Yarım faktoriyel 12. Deney kuvvet grafikleri

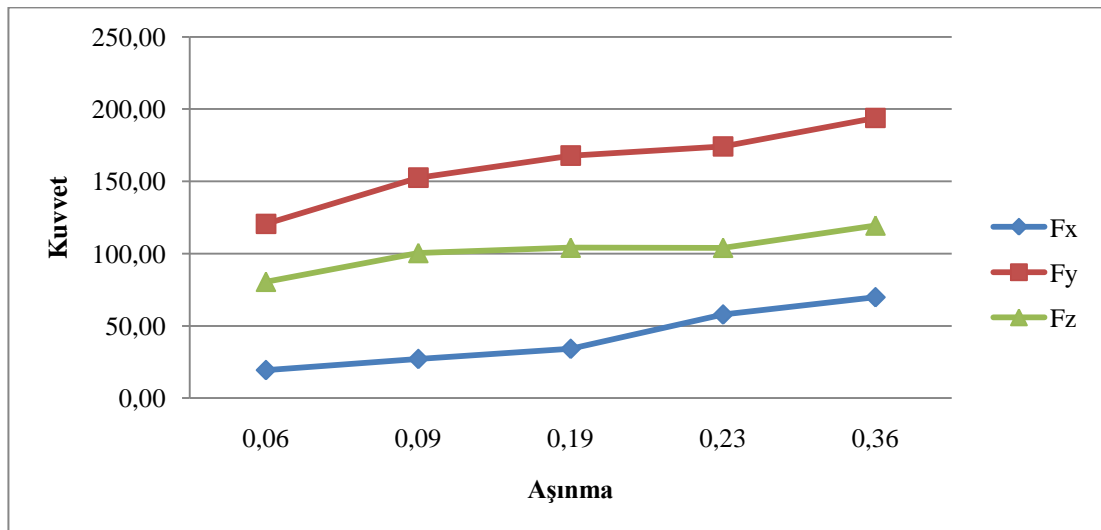
Tablo 12.24 IC830 Yarım faktoriyel 14. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
14	1	2,77	2,77	0,67	3,66	0,06	0,07	0,1	0,14	19,46	120,59	80,48
14	2	1,29	4,05	0,78	4	0,09	0,09	0,16	0,18	27,13	152,56	100,42
14	3	1,14	5,20	0,83	4,16	0,19	0,19	0,38	0,38	34,12	167,84	104,11
14	4	1,14	6,34	0,86	4,22	0,23	0,23	0,44	0,44	57,83	174,23	104,06
14	5	1,29	7,63	0,85	4,44	0,36	0,36	0,52	0,52	69,78	193,94	119,50



Şekil 12.49 IC830 Yarım faktoriyel 14. Deney aşınma grafikleri

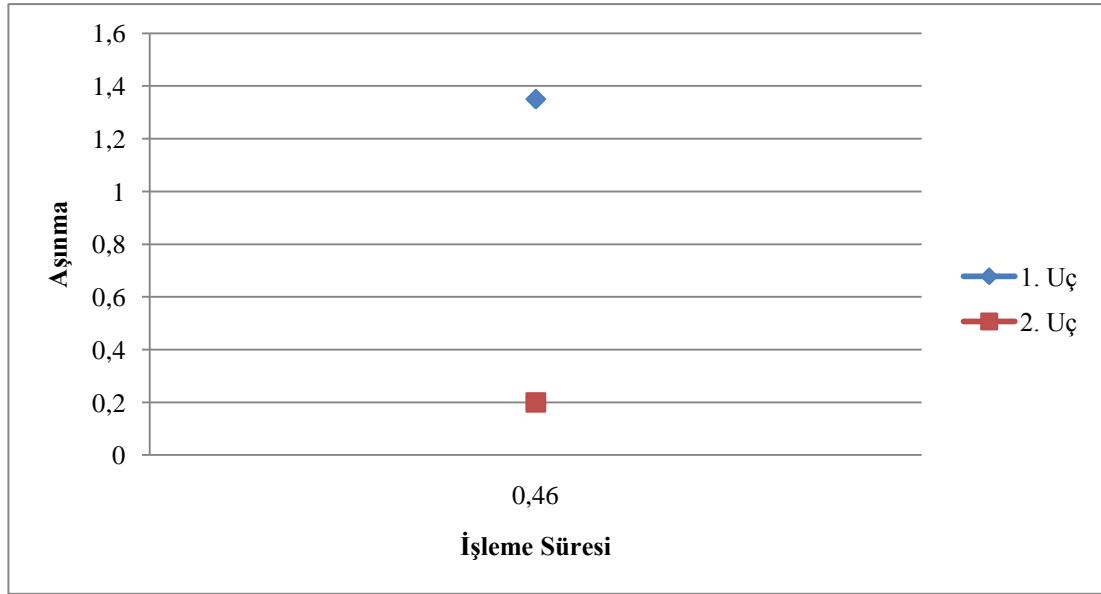


Şekil 12.50 IC830 Yarım faktoriyel 14. Deney kuvvet grafikleri

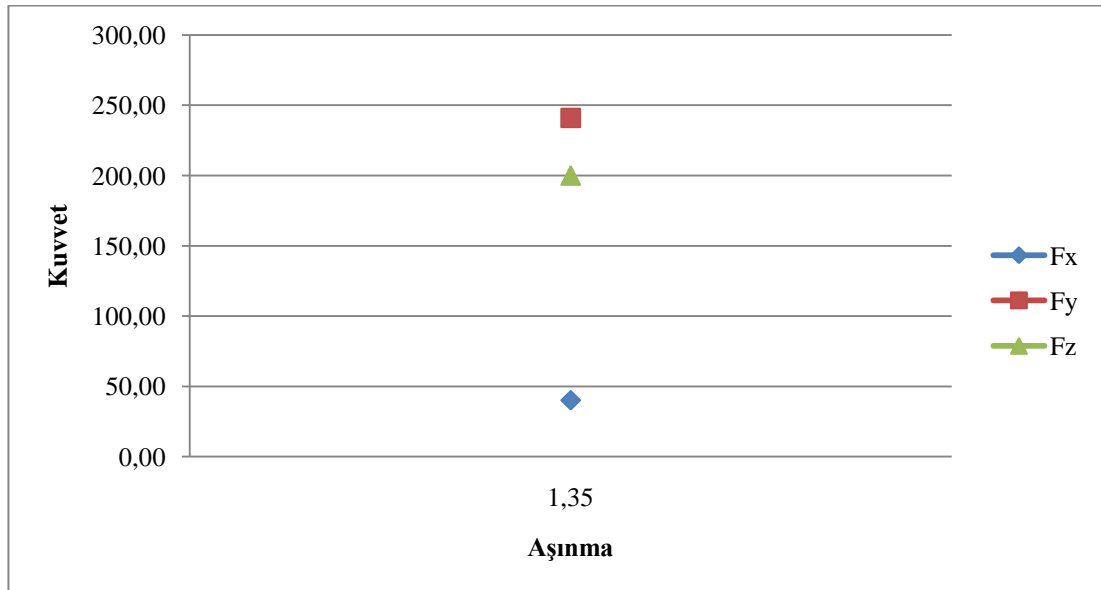
Tablo 12.25 IC830 Yarım faktoriyel 15. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
15	1	0,46	0,46	1,05	6,03	1,35	0,2	1,35	0,35	40,23	241,03	200,13



Şekil 12.51 IC830 Yarım faktoriyel 15. Deney aşınma grafikleri

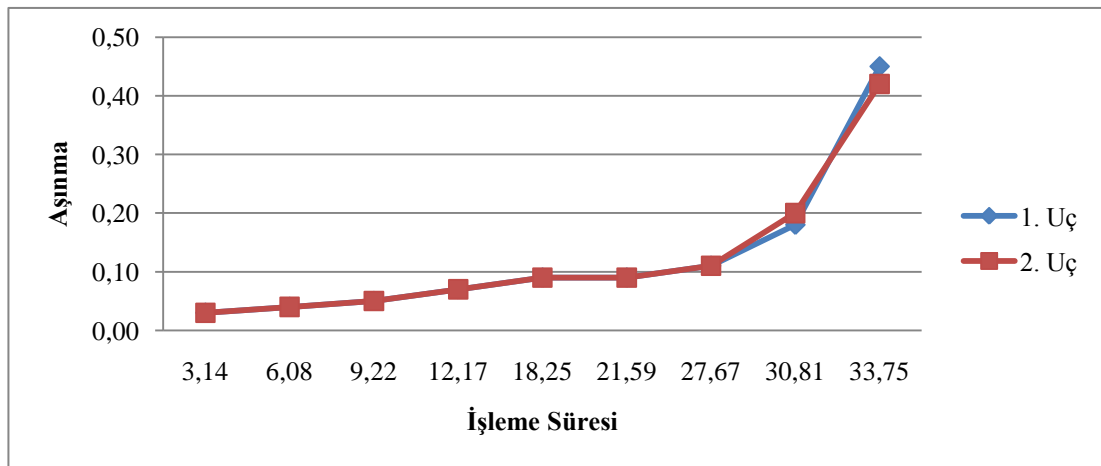


Şekil 12.52 IC830 Yarım faktoriyel 15. Deney kuvvet grafikleri

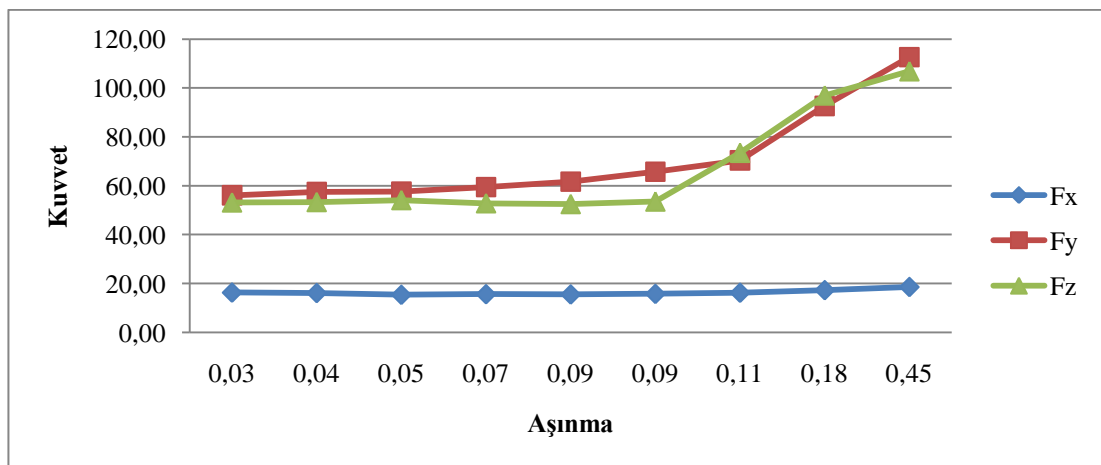
Tablo 12.26 IC830 Yarım faktoriyel 17_a. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
17_a	1	3,14	3,14	0,66	3,84	0,03	0,03	0,06	0,05	16,30	56,10	53,12
17_a	2	2,94	6,08	0,65	3,83	0,04	0,04	0,07	0,08	16,12	57,46	53,28
17_a	3	3,14	9,22	0,65	3,87	0,05	0,05	0,90	0,80	15,39	57,59	54,08
17_a	4	2,94	12,17	0,59	3,84	0,07	0,07	0,09	0,09	15,64	59,45	52,79
17_a	5	6,08	18,25	0,65	3,85	0,09	0,09	0,16	0,14	15,53	61,66	52,47
17_a	6	3,33	21,59	0,64	3,85	0,09	0,09	0,16	0,15	15,77	65,73	53,50
17_a	7	6,08	27,67	0,67	3,86	0,11	0,11	0,20	0,19	16,23	70,36	73,44
17_a	8	3,14	30,81	0,68	3,88	0,18	0,20	0,29	0,30	17,30	92,65	96,92
17_a	9	2,94	33,75	0,64	3,89	0,45	0,42	0,56	0,56	18,59	112,66	106,83



Şekil 12.53 IC830 Yarım faktoriyel 17_a. Deney aşınma grafikleri

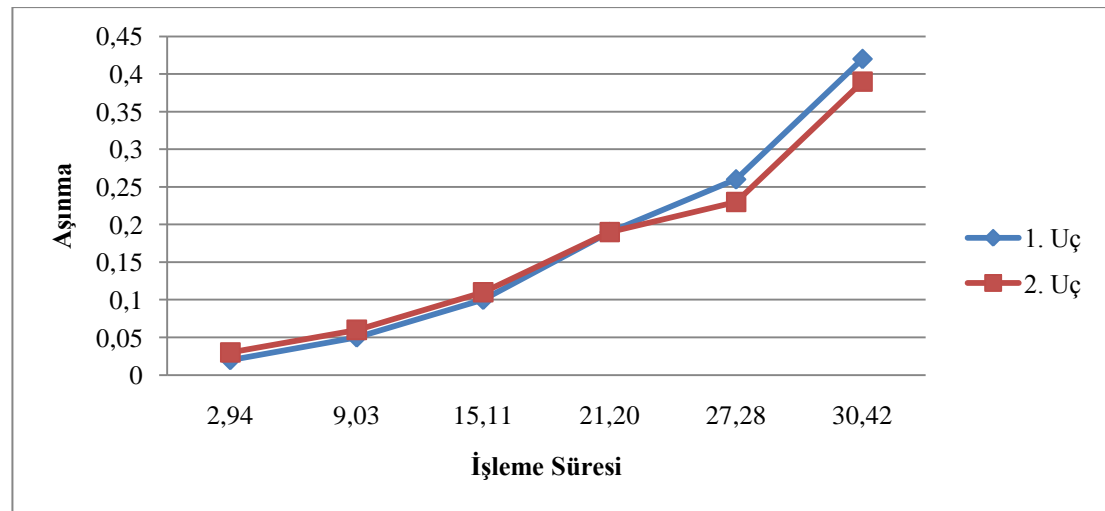


Şekil 12.54 IC830 Yarım faktoriyel 17_a. Deney kuvvet grafikleri

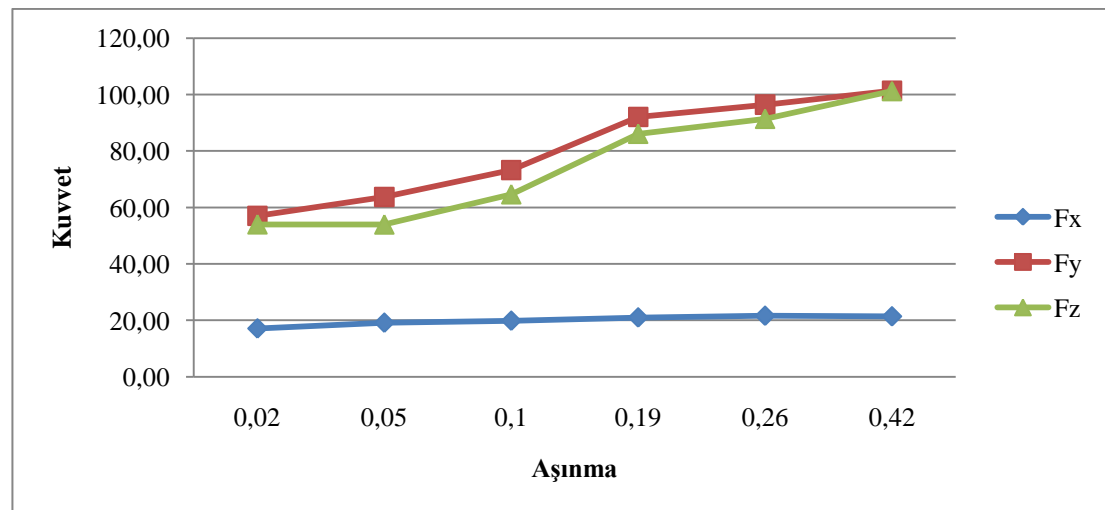
Tablo 12.27 IC830 Yarım faktoriyel 17_b. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
17_b	1	2,94	2,94	0,57	3,88	0,02	0,03	0,04	0,05	17,08	56,99	53,96
17_b	2	6,08	9,03	0,63	3,81	0,05	0,06	0,09	0,11	19,13	63,68	53,91
17_b	3	6,08	15,11	0,68	3,83	0,1	0,11	0,19	0,19	19,82	73,21	64,62
17_b	4	6,08	21,20	0,88	4,52	0,19	0,19	0,32	0,3	20,99	92,02	86,08
17_b	5	6,08	27,28	0,87	4,66	0,26	0,23	0,56	0,53	21,58	96,41	91,38
17_b	6	3,14	30,42	0,84	5,32	0,42	0,39	0,68	0,6	21,38	101,38	101,21



Şekil 12.55 IC830 Yarım faktoriyel 17_b. Deney aşınma grafikleri



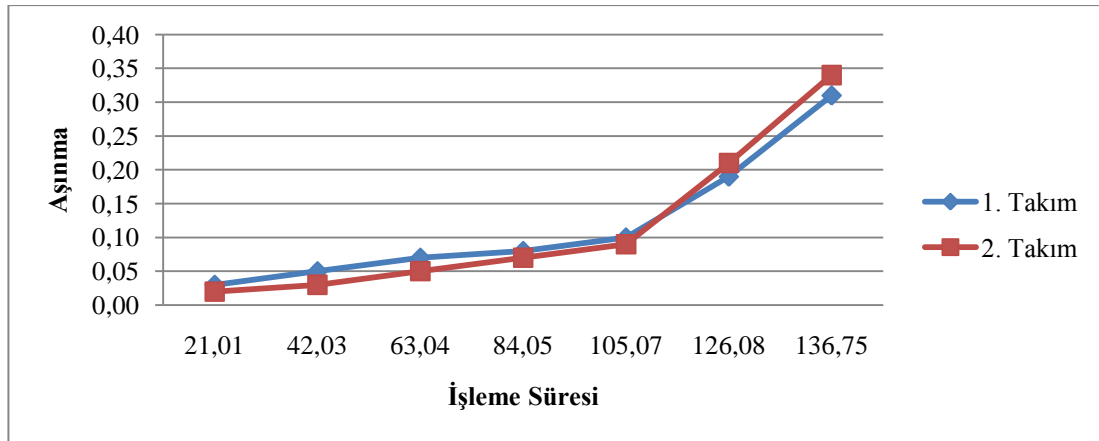
Şekil 12.56 IC830 Yarım faktoriyel 17_b. Deney kuvvet grafikleri

12.3. IC808 Yarım Faktoriyel Deney Sonuçları

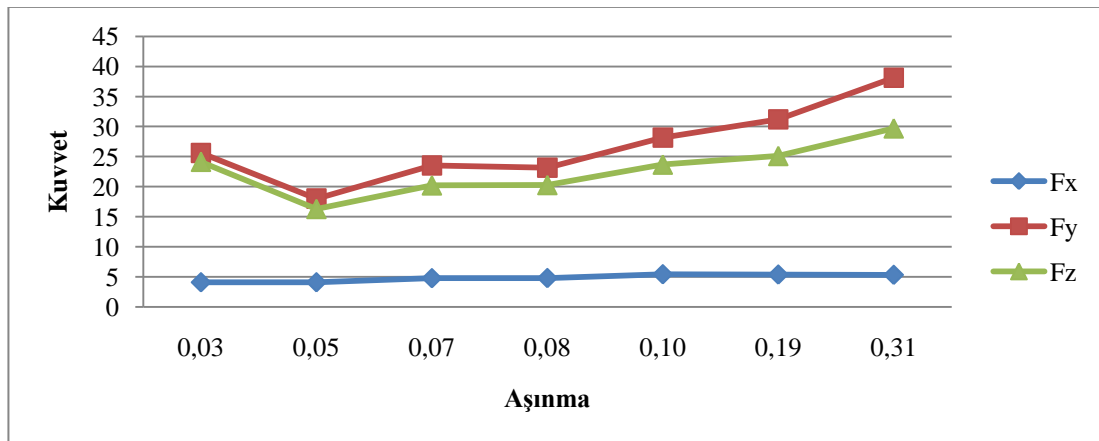
Tablo 12.28 IC808 Yarım faktoriyel 2. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
180	0,025	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
2	1	21,01	21,01	0,51	3,12	0,03	0,02	0,04	0,03	4,09	25,61	24,14
2	2	21,01	42,03	0,53	3,29	0,05	0,03	0,07	0,04	4,09	18,02	16,30
2	3	21,01	63,04	0,56	3,38	0,07	0,05	0,08	0,06	4,78	23,54	20,22
2	4	21,01	84,05	0,58	3,47	0,08	0,07	0,09	0,08	4,80	23,15	20,27
2	5	21,01	105,07	0,59	3,62	0,10	0,09	0,10	0,10	5,44	28,16	23,68
2	6	21,01	126,08	0,61	3,75	0,19	0,21	0,20	0,22	5,39	31,18	25,11
2	7	10,67	136,75	0,23	1,47	0,31	0,34	0,41	0,44	5,34	38,11	29,70



Şekil 12.57 IC808 Yarım faktoriyel 2. Deney aşınma grafikleri

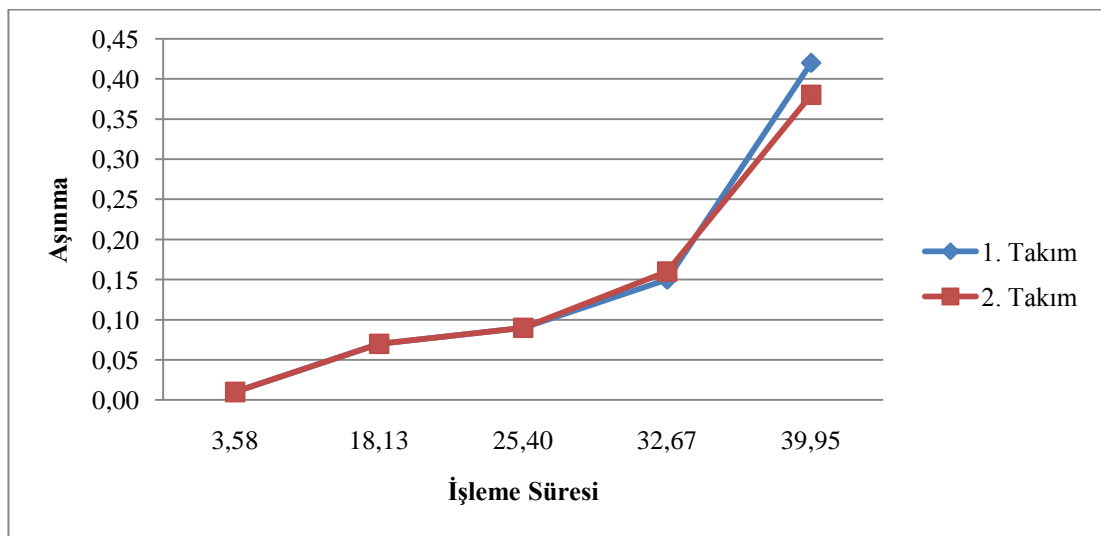


Şekil 12.58 IC808 Yarım faktoriyel 2. Deney kuvvet grafikleri

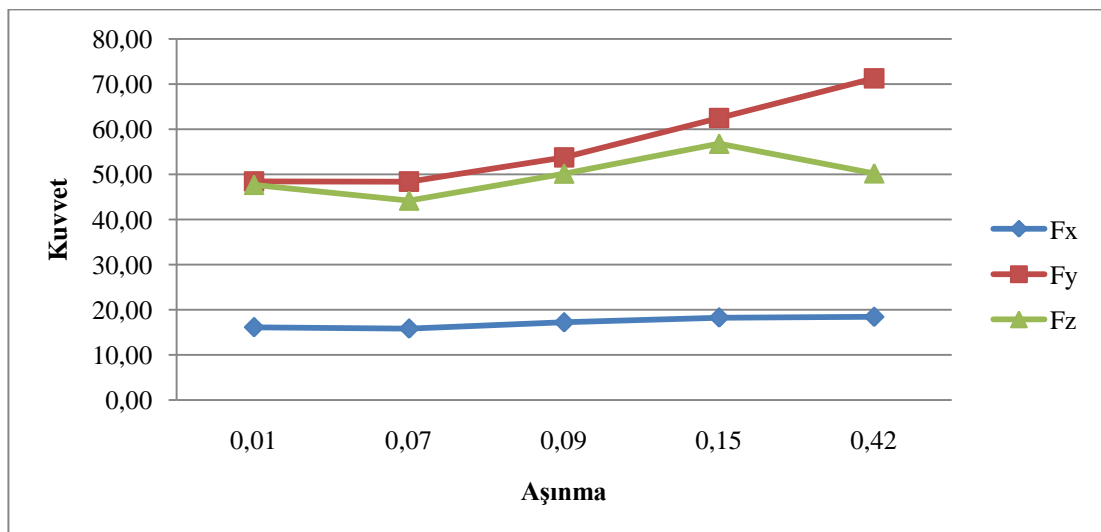
Tablo 12.29 IC808 Yarım faktoriyel 3. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,1	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
3	1	3,58	3,58	0,77	5,10	0,01	0,01	0,01	0,01	16,15	48,44	47,68
3	2	14,55	18,13	0,67	4,41	0,07	0,07	0,15	0,16	15,84	48,40	44,19
3	3	7,27	25,40	0,64	3,59	0,09	0,09	0,17	0,19	17,22	53,76	50,17
3	4	7,27	32,67	0,57	3,17	0,15	0,16	0,21	0,23	18,28	62,48	56,78
3	5	7,27	39,95	0,48	3,06	0,42	0,38	0,61	0,45	18,44	71,27	50,22



Şekil 12.59 IC808 Yarım faktoriyel 3. Deney aşınma grafikleri

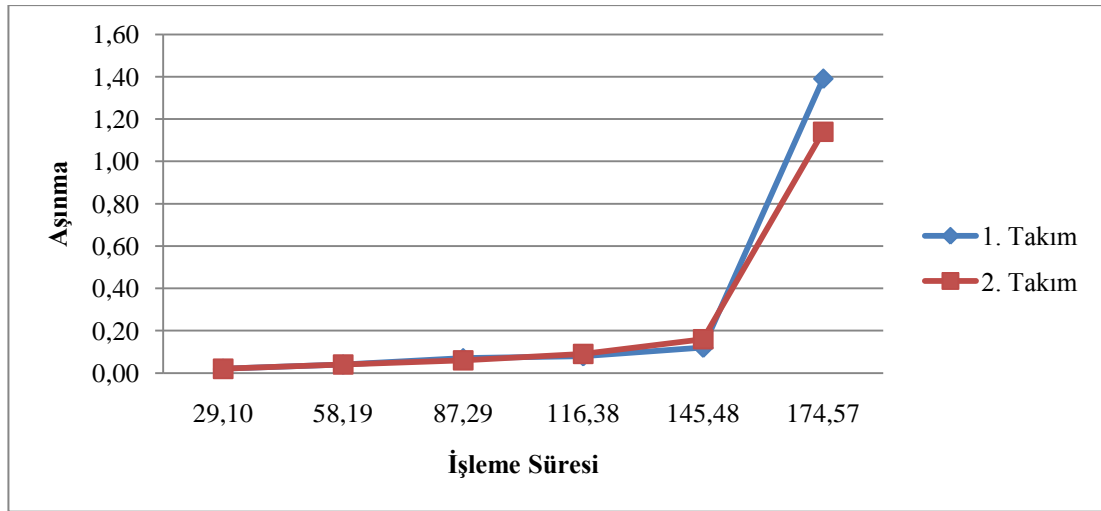


Şekil 12.60 IC808 Yarım faktoriyel 3. Deney kuvvet grafikleri

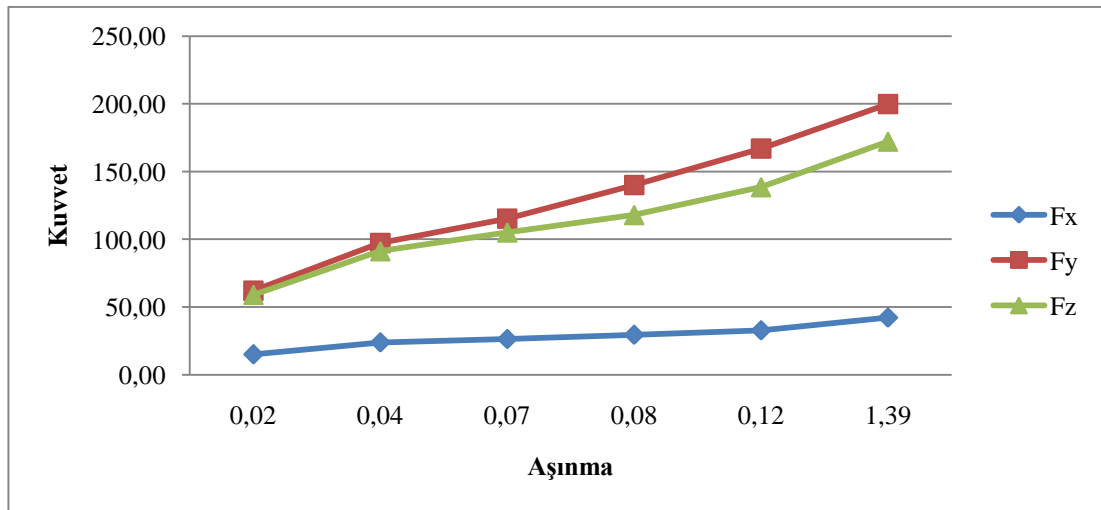
Tablo 12.30 IC808 Yarıf faktoriyel 5. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
5	1	29,10	29,10	0,48	3,36	0,02	0,02	0,05	0,05	15,01	61,96	59,03
5	2	29,10	58,19	0,31	2,02	0,04	0,04	0,09	0,08	23,83	97,32	91,25
5	3	29,10	87,29	0,32	2,45	0,07	0,06	0,11	0,11	26,28	115,18	105,10
5	4	29,10	116,38	0,28	2,11	0,08	0,09	0,12	0,14	29,44	140,03	117,98
5	5	29,10	145,48	0,42	2,70	0,12	0,16	0,16	0,22	32,71	167,00	138,57
5	6	29,10	174,57	0,46	2,83	1,39	1,14	1,39	1,14	42,15	199,89	172,25



Şekil 12.61 IC808 Yarıf faktoriyel 5. Deney aşınma grafikleri

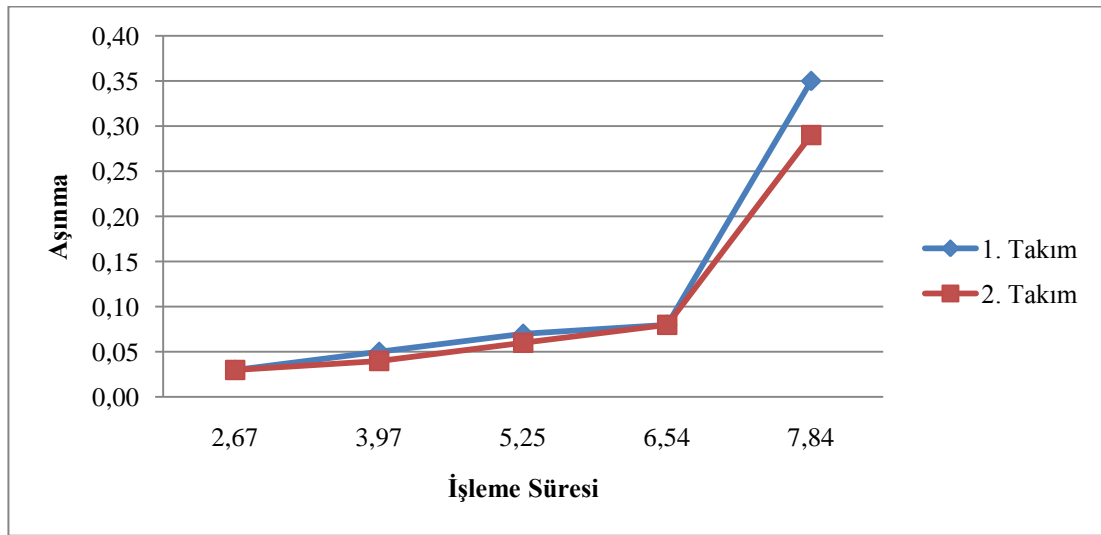


Şekil 12.62 IC808 Yarıf faktoriyel 5. Deney kuvvet grafikleri

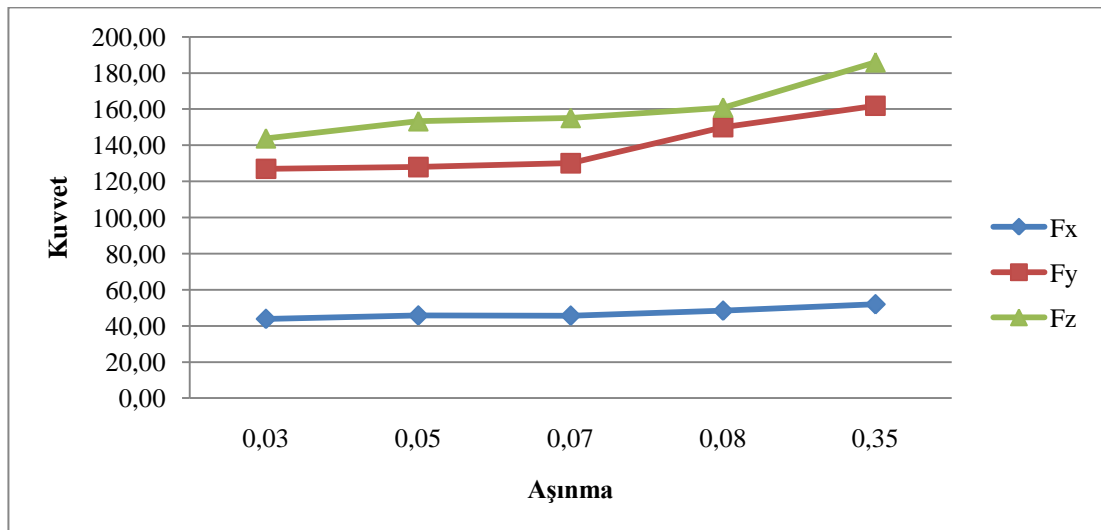
Tablo 12.31 IC808 Yarım faktoriyel 8. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
8	1	2,67	2,67	1,08	7,26	0,03	0,03	0,06	0,07	43,88	126,95	143,80
8	2	1,30	3,97	1,13	7,20	0,05	0,04	0,12	0,11	45,76	127,92	153,27
8	3	1,29	5,25	0,46	3,40	0,07	0,06	0,12	0,12	45,67	130,05	155,07
8	4	1,29	6,54	0,74	4,58	0,08	0,08	0,14	0,14	48,41	149,98	160,85
8	5	1,30	7,84	0,52	3,55	0,35	0,29	0,52	0,41	51,95	161,90	185,86



Şekil 12.63 IC808 Yarım faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri

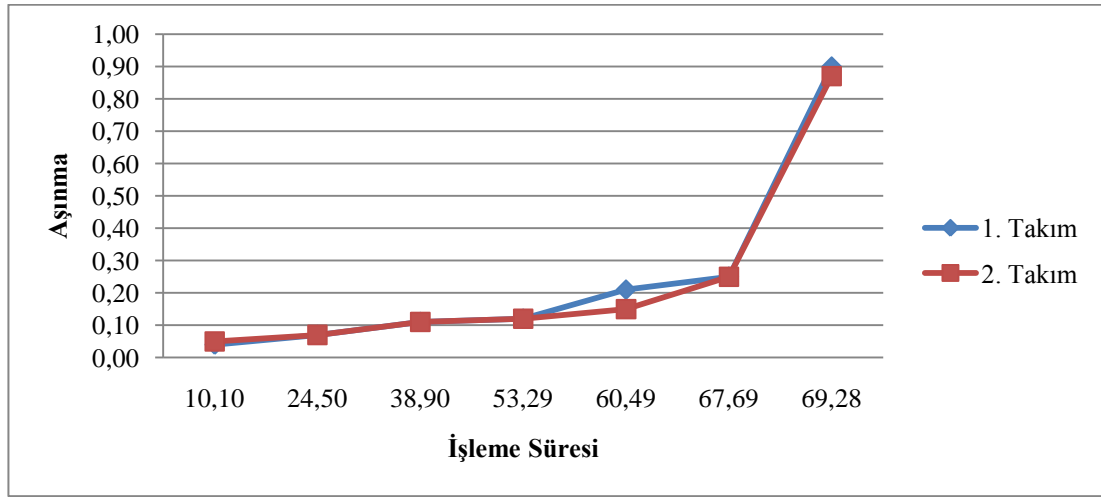


Şekil 12.64 IC808 Yarım faktoriyel 8. Deney kuvvet grafikleri

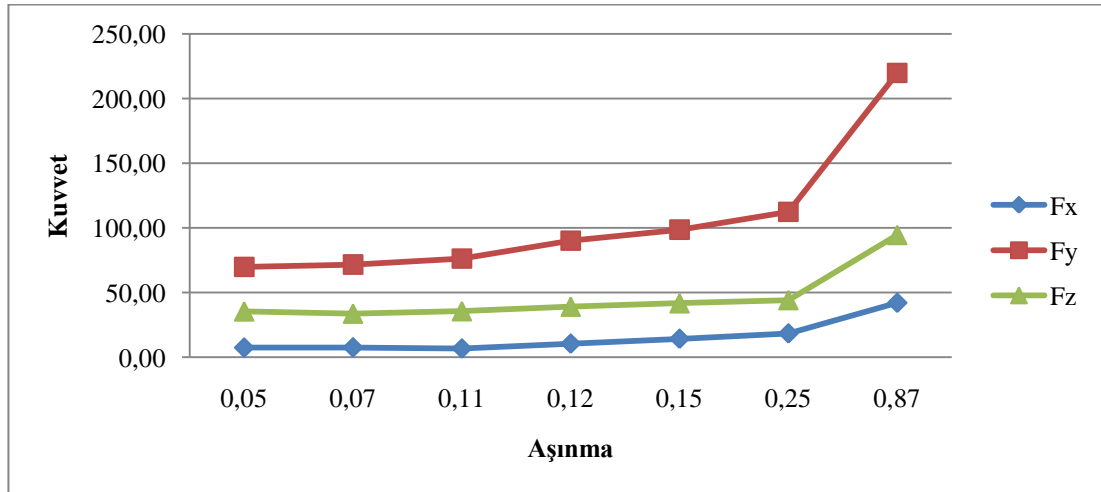
Tablo 12.32 IC808 Yarım faktoriyel 9. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
9	1	10,10	10,10	0,38	2,84	0,04	0,05	0,07	0,07	7,40	69,77	35,51
9	2	14,40	24,50	0,37	2,84	0,07	0,07	0,11	0,10	7,57	71,66	33,80
9	3	14,40	38,90	0,37	2,84	0,11	0,11	0,21	0,20	6,71	76,22	35,65
9	4	14,40	53,29	0,40	2,88	0,12	0,12	0,21	0,20	10,48	90,06	39,18
9	5	7,20	60,49	0,39	2,89	0,21	0,15	0,36	0,26	14,27	98,63	41,78
9	6	7,20	67,69	0,45	3,01	0,25	0,25	0,42	0,43	18,39	112,43	44,23
9	7	1,58	69,28	0,67	3,98	0,90	0,87	0,90	0,87	42,10	219,67	94,59



Şekil 12.65 IC808 Yarım faktoriyel 9. Deney aşınma grafikleri

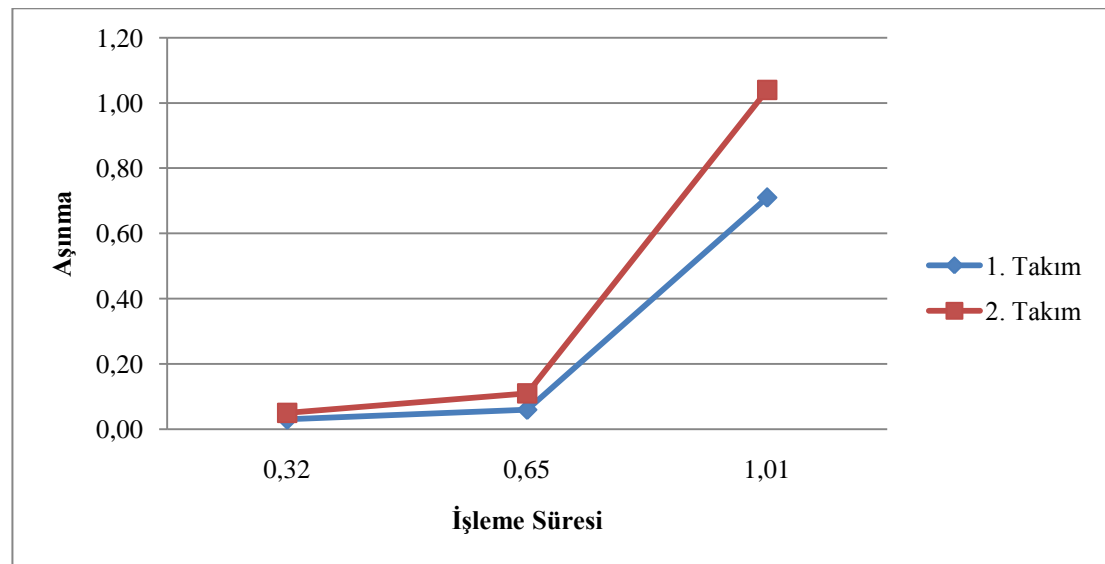


Şekil 12.66 IC808 Yarım faktoriyel 9. Deney kuvvet grafikleri

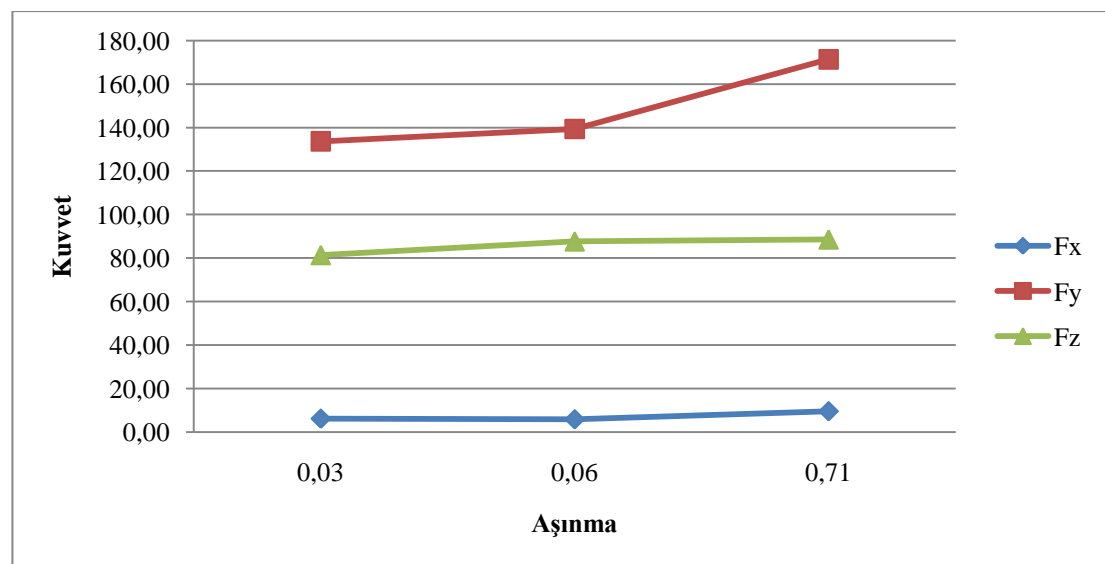
Tablo 12.33 IC808 Yarım faktoriyel 12. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
12	1	0,32	0,32	0,68	4,64	0,03	0,05	0,07	0,08	6,14	133,66	81,40
12	2	0,33	0,65	0,74	4,74	0,06	0,11	0,10	0,16	5,84	139,33	87,69
12	3	0,36	1,01	0,79	4,94	0,71	1,04	0,71	1,04	9,59	171,36	88,59



Şekil 12.67 IC808 Yarım faktoriyel 12. Deney aşınma grafikleri

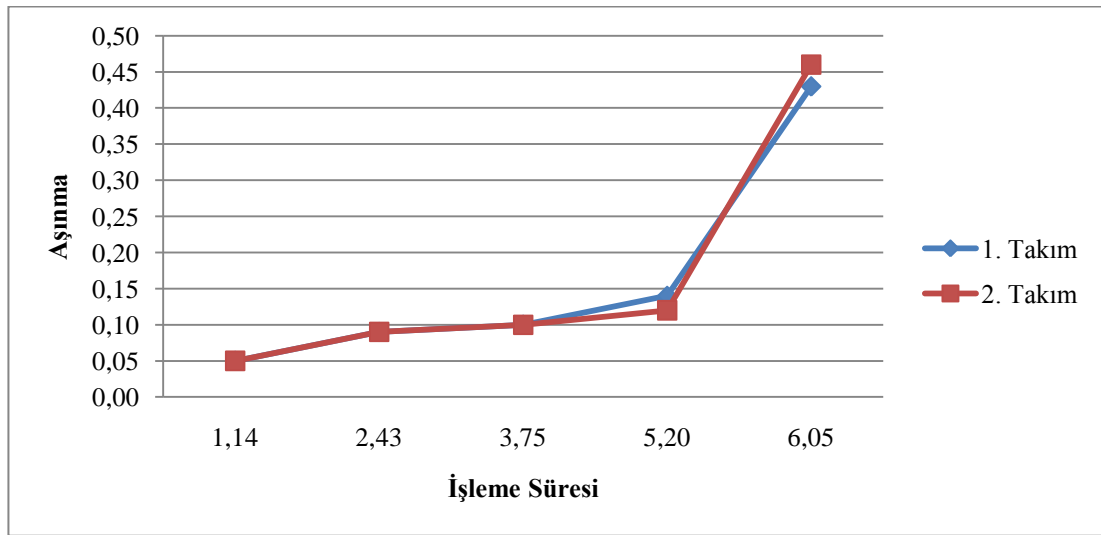


Şekil 12.68 IC808 Yarım faktoriyel 12. Deney kuvvet grafikleri

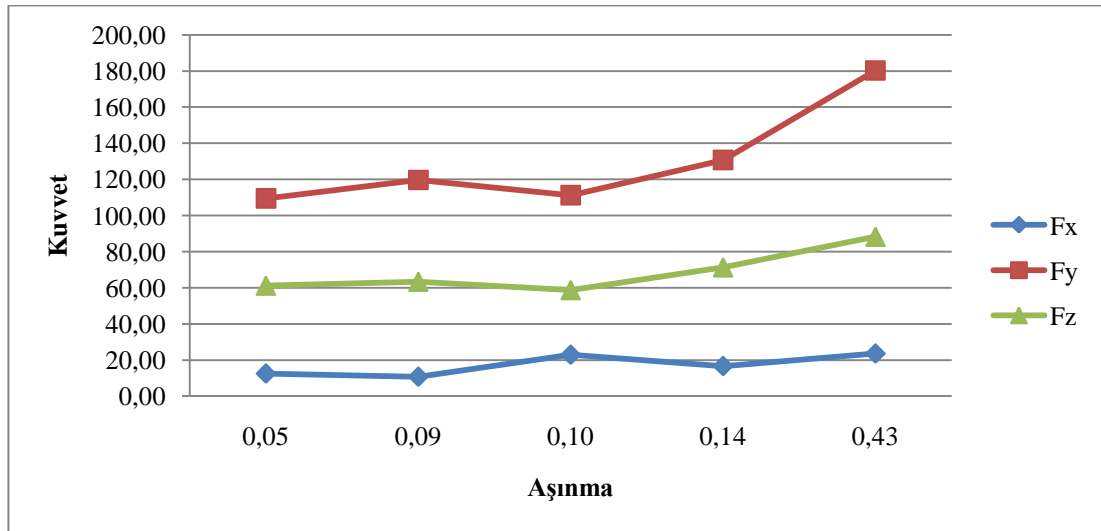
Tablo 12.34 IC808 Yarım faktoriyel 14. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
14	1	1,14	1,14	0,89	3,99	0,05	0,05	0,08	0,09	12,52	109,47	61,22
14	2	1,29	2,43	0,88	3,95	0,09	0,09	0,12	0,12	10,77	119,67	63,42
14	3	1,32	3,75	0,89	3,97	0,10	0,10	0,12	0,12	22,89	111,24	58,74
14	4	1,45	5,20	0,85	3,81	0,14	0,12	0,19	0,18	16,64	130,75	71,31
14	5	0,85	6,05	0,91	4,05	0,43	0,46	0,62	0,71	23,56	180,26	88,28



Şekil 12.69 IC808 Yarım faktoriyel 14. Deney aşınma grafikleri

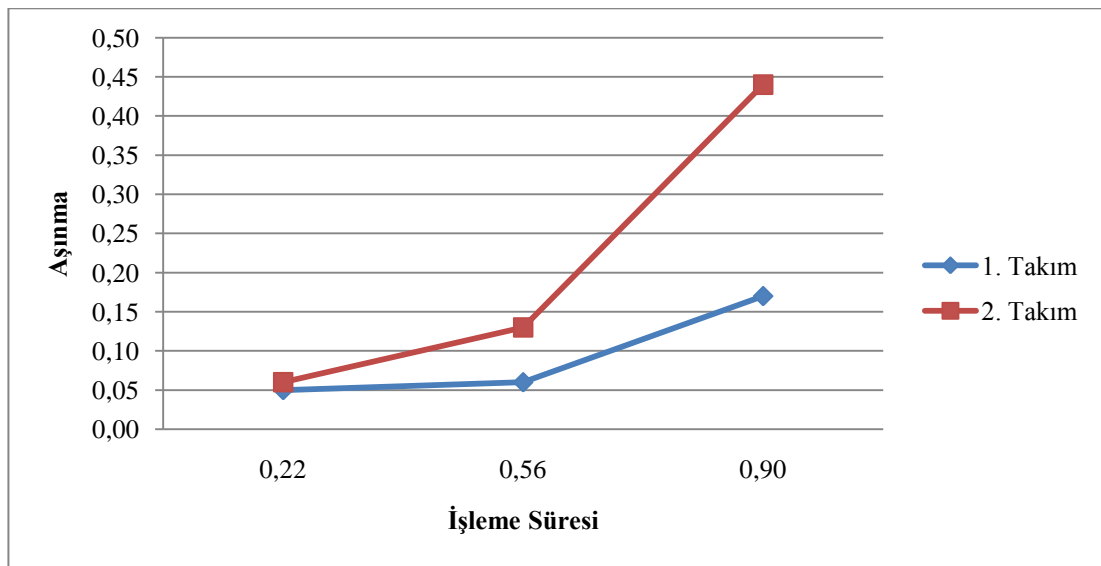


Şekil 12.70 IC808 Yarım faktoriyel 14. Deney kuvvet grafikleri

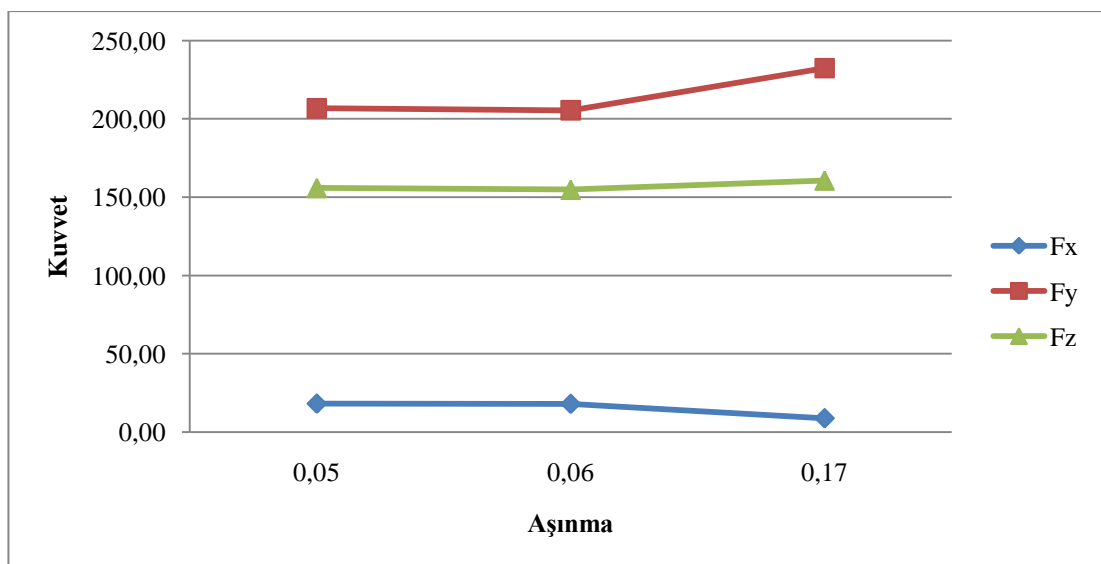
Tablo 12.35 IC808 Yarım faktoriyel 15. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
15	1	0,22	0,22	1,31	7,51	0,05	0,06	0,05	0,06	18,14	206,71	155,88
15	2	0,34	0,56	1,32	7,56	0,06	0,13	0,08	0,18	18,02	205,45	154,80
15	3	0,34	0,90	1,30	7,62	0,17	0,44	0,21	0,61	8,85	232,31	160,65



Şekil 12.71 IC808 Yarım faktoriyel 15. Deney aşınma grafikleri

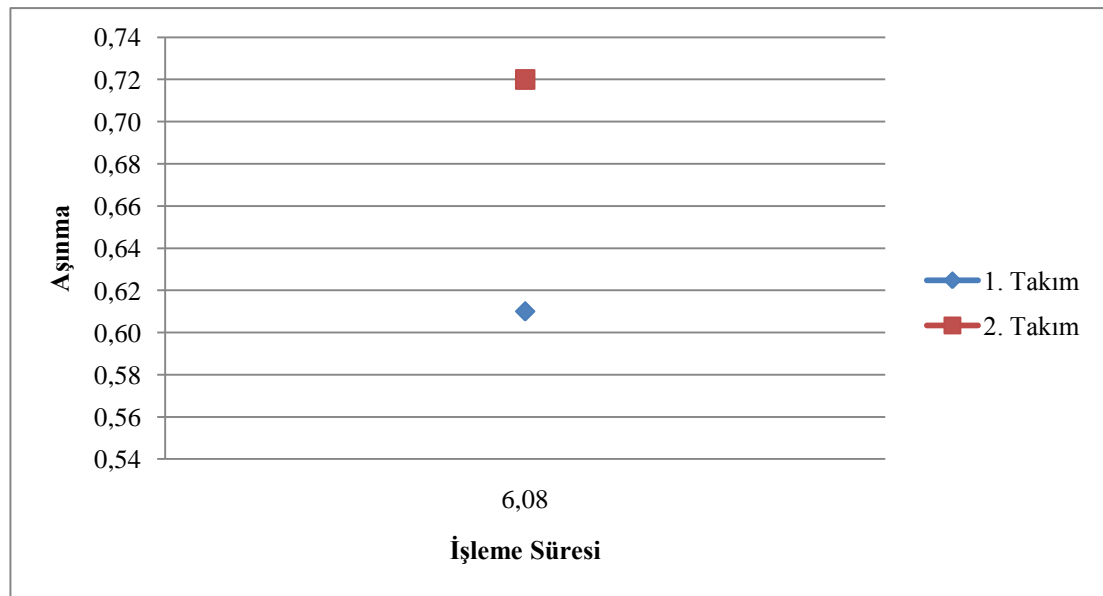


Şekil 12.72 IC808 Yarım faktoriyel 15. Deney kuvvet grafikleri

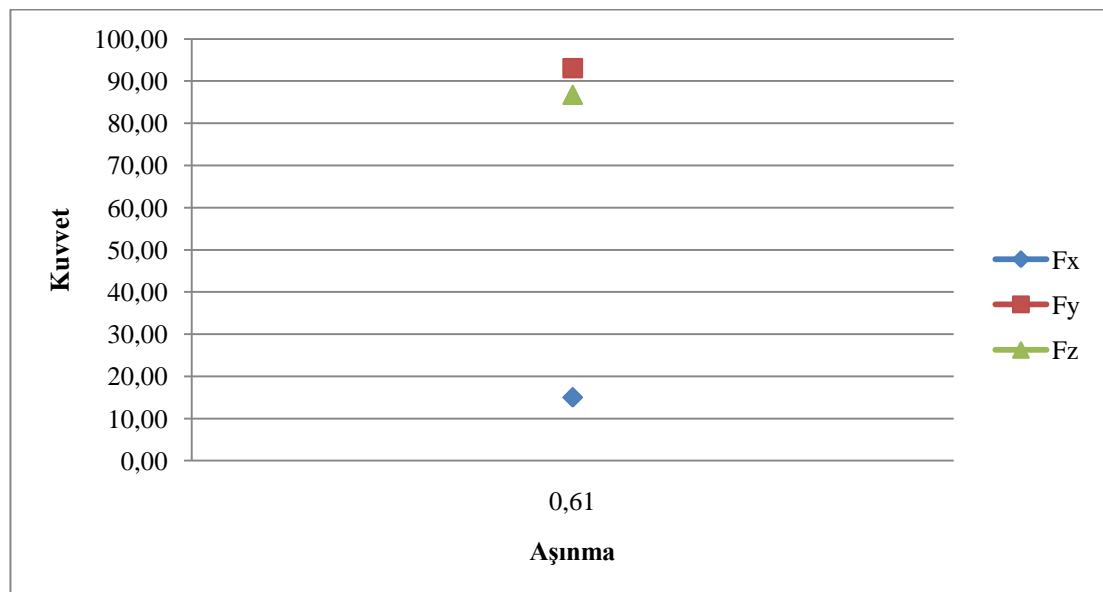
Tablo 12.36 IC808 Yarım faktoriyel 17_a. Deneysel verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deneysel No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
17_a	1	6,08	6,08	0,39	2,51	0,61	0,72	0,61	0,72	15,01	93,06	86,76



Şekil 12.73 IC808 Yarım faktoriyel 17_a. Deneysel aşınma grafikleri

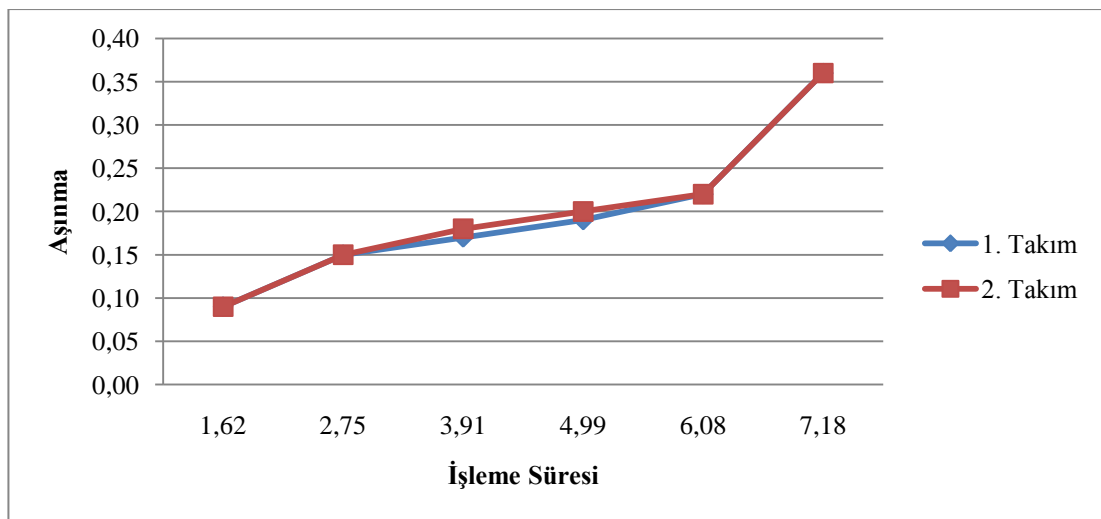


Şekil 12.74 IC808 Yarım faktoriyel 17_a. Deneysel kuvvet grafikleri

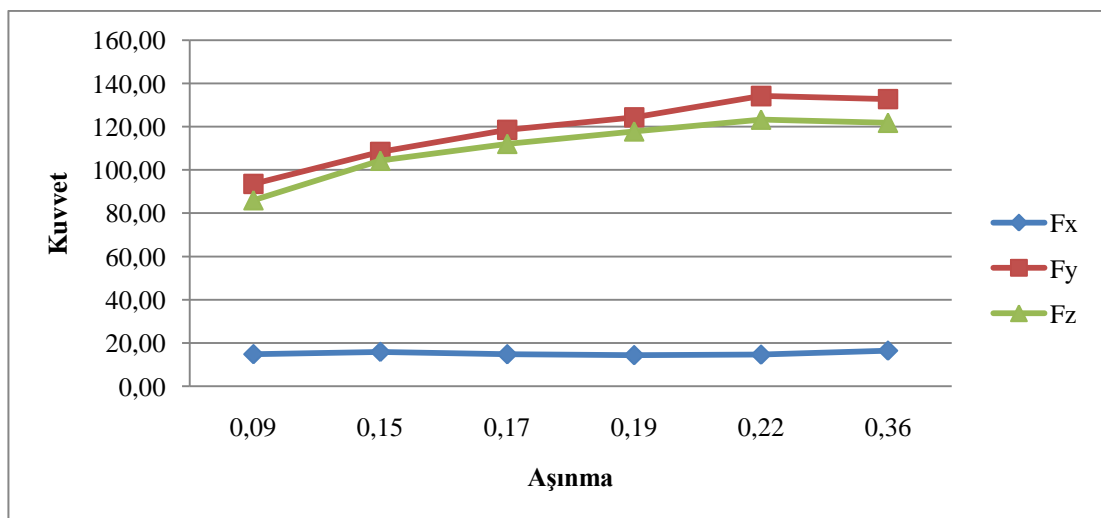
Tablo 12.37 IC808 Yarım faktoriyel 17_b. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
17_b	1	1,62	1,62	0,85	5,30	0,09	0,09	0,20	0,19	14,84	93,48	85,99
17_b	2	1,13	2,75	0,85	5,10	0,15	0,15	0,24	0,20	15,90	108,27	104,26
17_b	3	1,16	3,91	0,86	4,59	0,17	0,18	0,26	0,25	14,80	118,57	112,08
17_b	4	1,08	4,99	0,83	4,54	0,19	0,20	0,29	0,31	14,38	124,33	117,85
17_b	5	1,10	6,08	0,80	4,59	0,22	0,22	0,35	0,36	14,62	134,15	123,29
17_b	6	1,10	7,18	0,78	4,55	0,36	0,36	0,43	0,45	16,49	132,70	121,84



Şekil 12.75 IC808 Yarım faktoriyel 17_b. Deney aşınma grafikleri



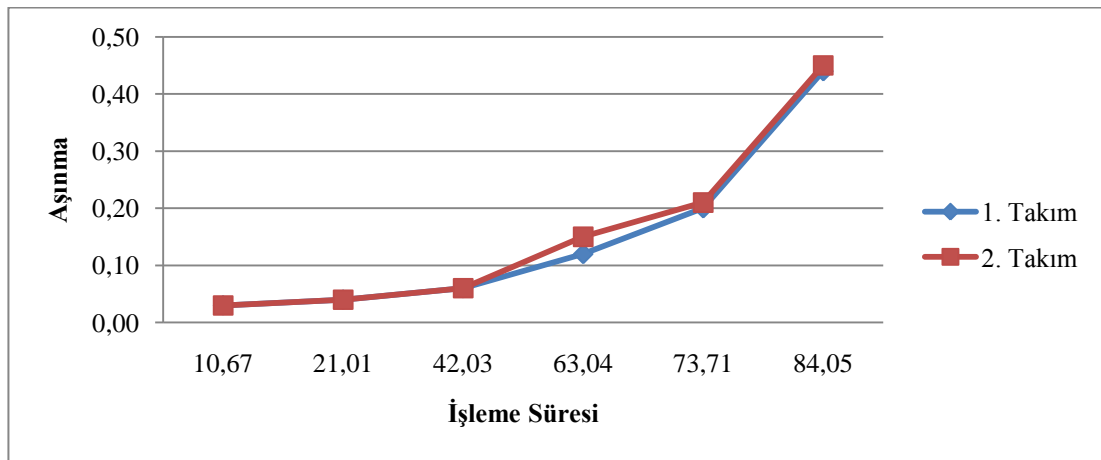
Şekil 12.76 IC808 Yarım faktoriyel 17_b. Deney kuvvet grafikleri

12.4. IC330 Yarım Faktoriyel Deney Sonuçları

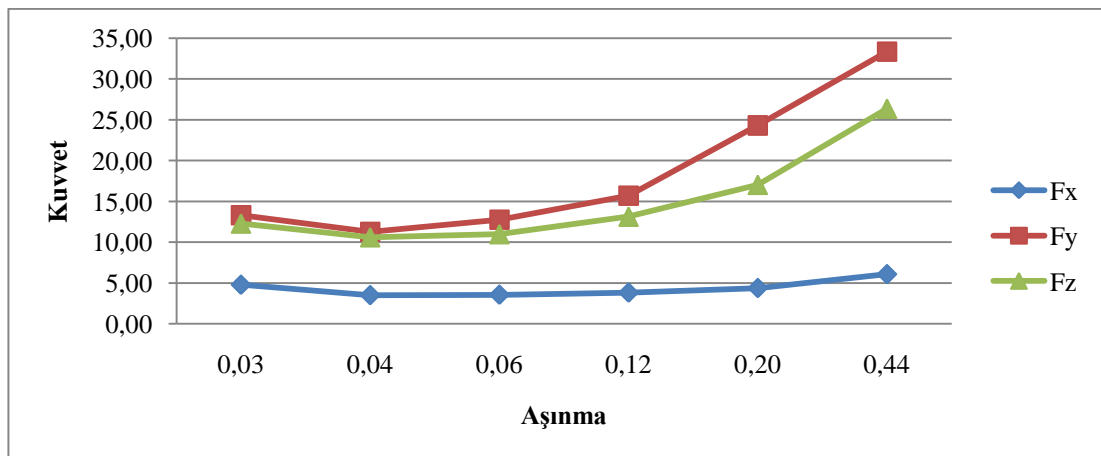
Tablo 12.38 IC330 Yarım faktoriyel 2. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
180	0,025	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
2	1	10,67	10,67	0,45	2,75	0,03	0,03	0,05	0,05	4,78	13,30	12,29
2	2	10,34	21,01	0,33	2,37	0,04	0,04	0,06	0,06	3,50	11,26	10,61
2	3	21,01	42,03	0,42	2,64	0,06	0,06	0,09	0,09	3,56	12,76	10,99
2	4	21,01	63,04	0,34	2,22	0,12	0,15	0,19	0,21	3,82	15,68	13,13
2	5	10,67	73,71	0,33	2,54	0,20	0,21	0,31	0,32	4,37	24,30	17,03
2	6	10,34	84,05	0,38	2,78	0,44	0,45	0,71	0,72	6,07	33,33	26,35



Şekil 12.77 IC330 Yarım faktoriyel 2. Deney aşınma grafikleri

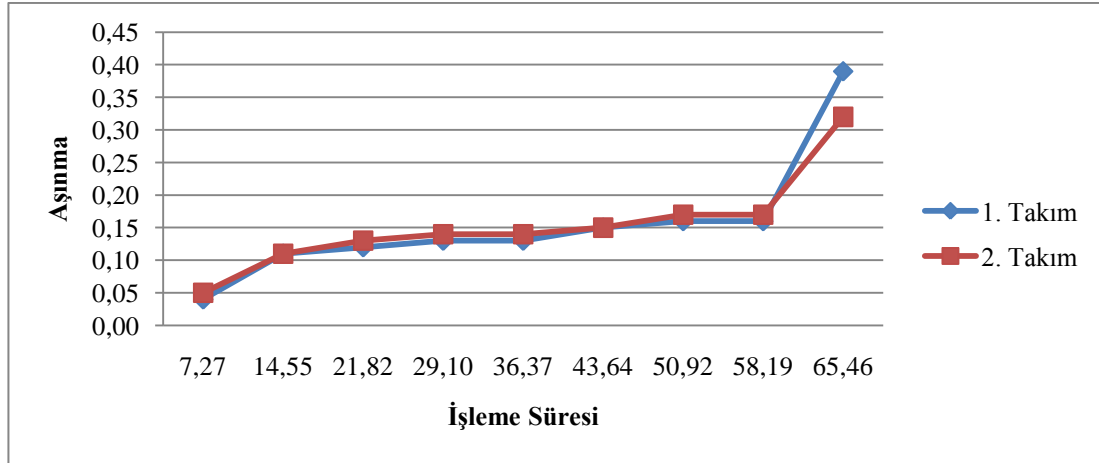


Şekil 12.78 IC330 Yarım faktoriyel 2. Deney kuvvet grafikleri

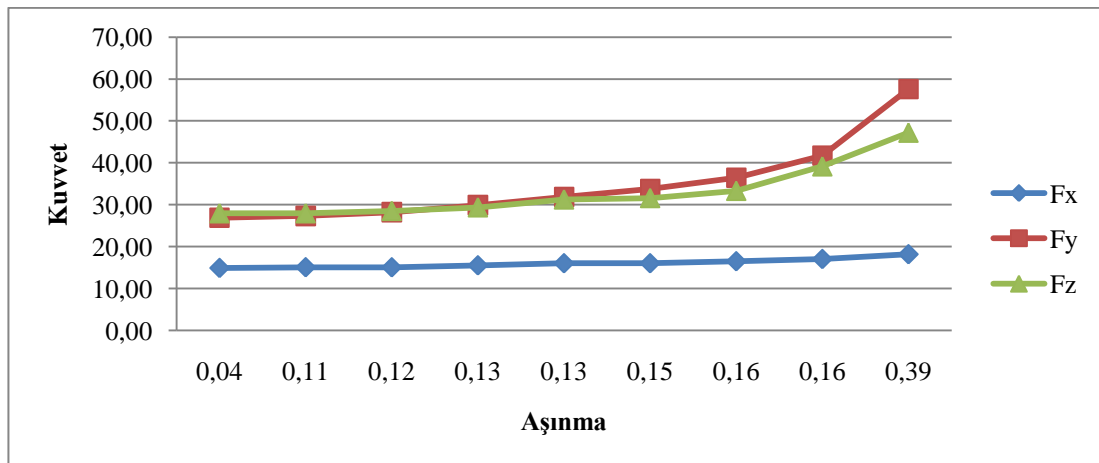
Tablo 12.39 IC330 Yarım faktoriyel 3. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,1	1	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
3	1	7,27	7,27	0,43	3,32	0,04	0,05	0,10	0,09	14,88	26,88	27,93
3	2	7,27	14,55	0,46	3,59	0,11	0,11	0,16	0,16	15,05	27,30	27,93
3	3	7,27	21,82	0,35	2,91	0,12	0,13	0,19	0,22	15,03	28,22	28,49
3	4	7,27	29,10	0,36	3,01	0,13	0,14	0,21	0,23	15,51	29,90	29,35
3	5	7,27	36,37	0,39	3,25	0,13	0,14	0,22	0,23	16,00	31,85	31,24
3	6	7,27	43,64	0,40	3,40	0,15	0,15	0,27	0,29	16,01	33,75	31,58
3	7	7,27	50,92	0,38	3,21	0,16	0,17	0,28	0,30	16,48	36,45	33,30
3	8	7,27	58,19	0,41	3,28	0,16	0,17	0,31	0,32	17,02	41,69	39,16
3	9	7,27	65,46	0,45	3,54	0,39	0,32	0,55	0,55	18,16	57,60	47,22



Şekil 12.79 IC330 Yarım faktoriyel 3. Deney aşınma grafikleri

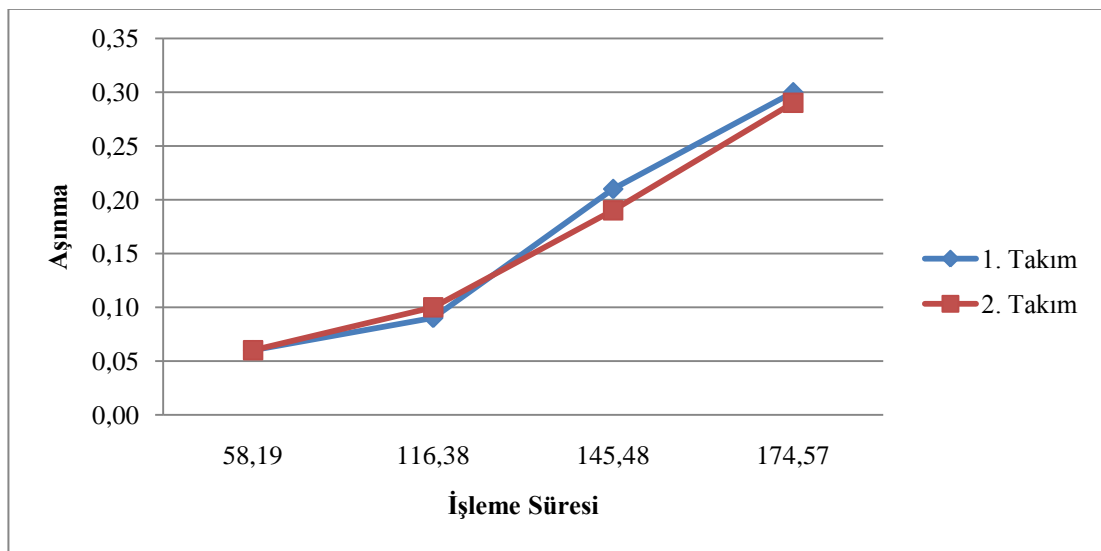


Şekil 12.80 IC330 Yarım faktoriyel 3. Deney kuvvet grafikleri

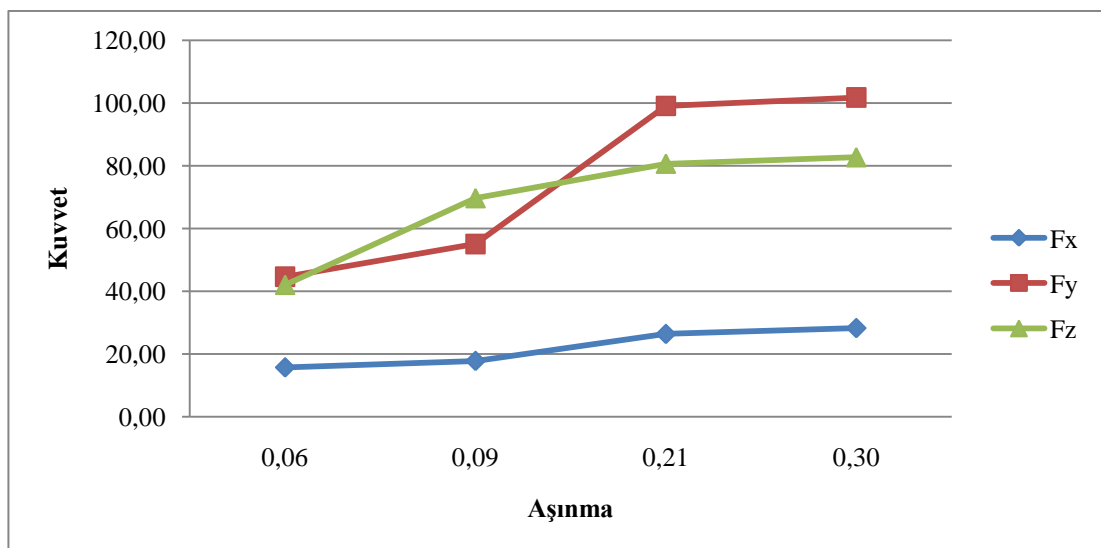
Tablo 12.40 IC330 Yarım faktoriyel 5. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
5	1	58,19	58,19	0,31	1,73	0,06	0,06	0,12	0,13	15,70	44,60	41,99
5	2	58,19	116,38	0,33	1,73	0,09	0,10	0,16	0,17	17,77	55,04	69,62
5	3	29,10	145,48	0,33	1,70	0,21	0,19	0,31	0,25	26,38	99,05	80,62
5	4	29,10	174,57	0,29	1,76	0,30	0,29	0,42	0,51	28,25	101,74	82,67



Şekil 12.81 IC330 Yarım faktoriyel 5. Deney aşınma grafikleri

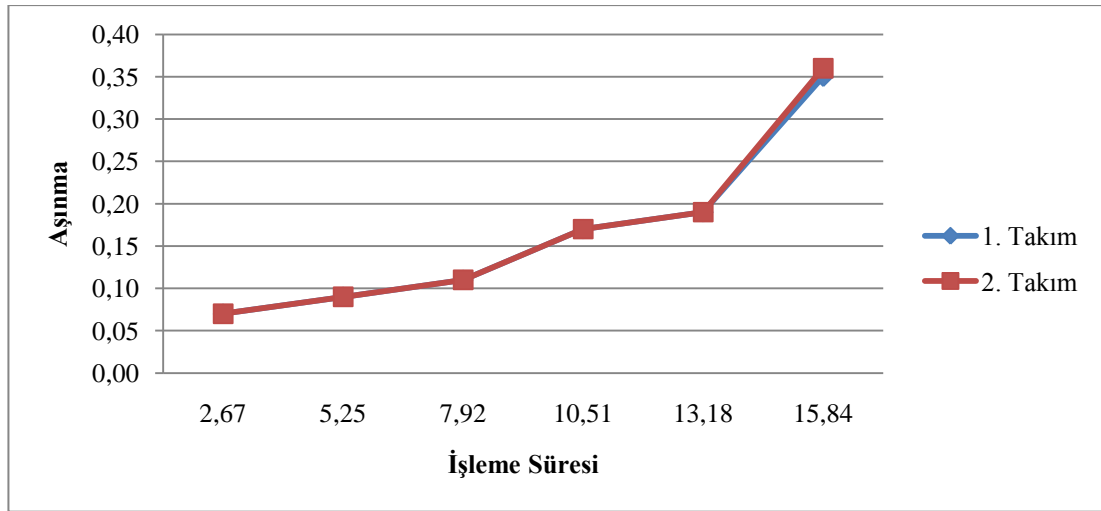


Şekil 12.82 IC330 Yarım faktoriyel 5. Deney kuvvet grafikleri

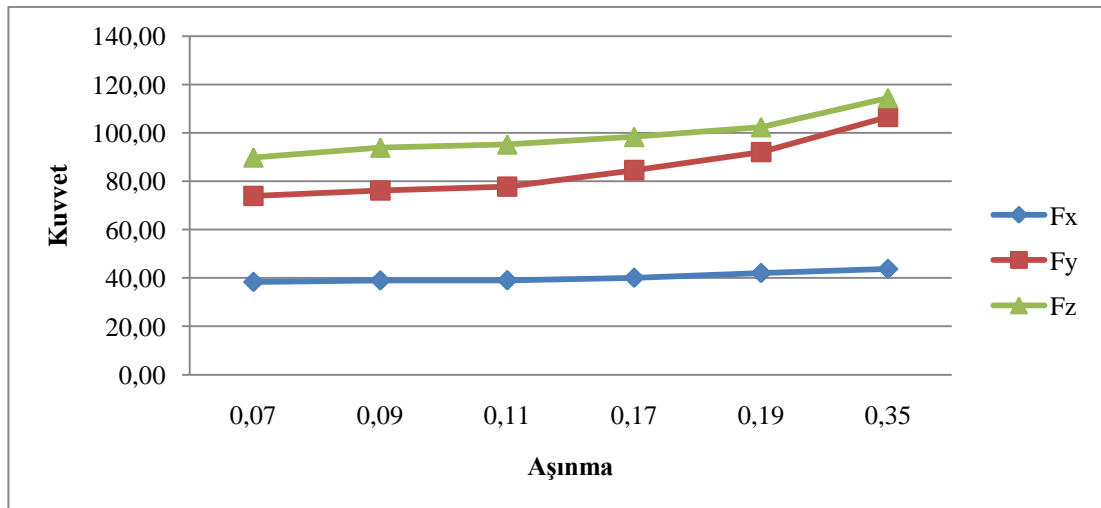
Tablo 12.41 IC330 Yarım faktoriyel 8. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
8	1	2,67	2,67	0,64	4,44	0,07	0,07	0,12	0,12	38,31	73,92	89,86
8	2	2,58	5,25	0,64	4,55	0,09	0,09	0,13	0,14	38,92	76,16	93,92
8	3	2,67	7,92	0,48	3,17	0,11	0,11	0,26	0,24	39,02	77,74	95,23
8	4	2,58	10,51	0,53	3,55	0,17	0,17	0,33	0,32	40,06	84,57	98,36
8	5	2,67	13,18	0,55	3,65	0,19	0,19	0,35	0,35	42,01	92,03	102,40
8	6	2,67	15,84	0,57	3,94	0,35	0,36	0,55	0,56	43,68	106,59	114,41



Şekil 12.83 IC330 Yarım faktoriyel 8. Deney aşınma grafikleri

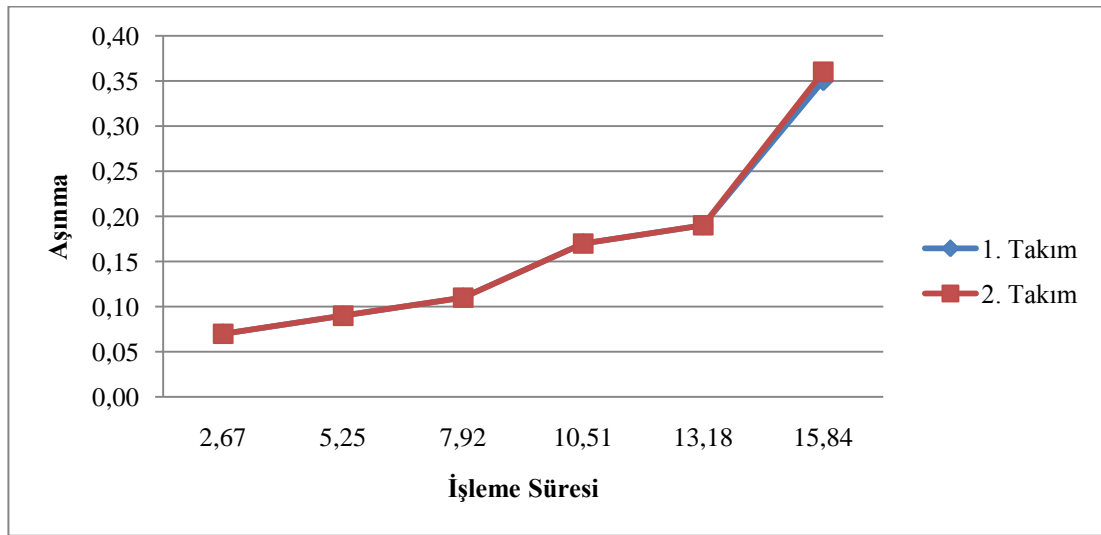


Şekil 12.84 IC330 Yarım faktoriyel 8. Deney kuvvet grafikleri

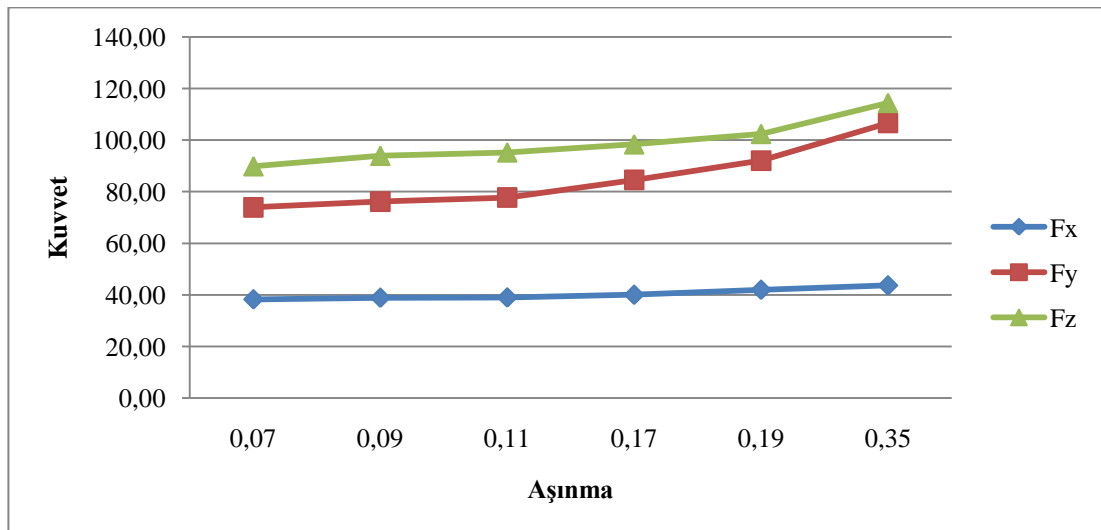
Tablo 12.42 IC330 Yarım faktoriyel 9. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
9	1	7,20	7,20	0,29	2,01	0,01	0,01	0,01	0,01	5,81	39,00	22,59
9	2	14,40	21,60	0,35	2,22	0,03	0,04	0,04	0,04	7,01	47,59	28,94
9	3	14,40	35,99	0,33	2,14	0,08	0,08	0,12	0,08	8,64	59,58	33,54
9	4	7,20	43,19	0,35	2,15	0,14	0,12	0,19	0,17	15,72	74,69	37,43
9	5	7,20	50,39	0,50	2,68	0,32	0,30	0,49	0,46	18,27	89,67	39,66



Şekil 12.85 IC330 Yarım faktoriyel 9. Deney aşınma grafikleri

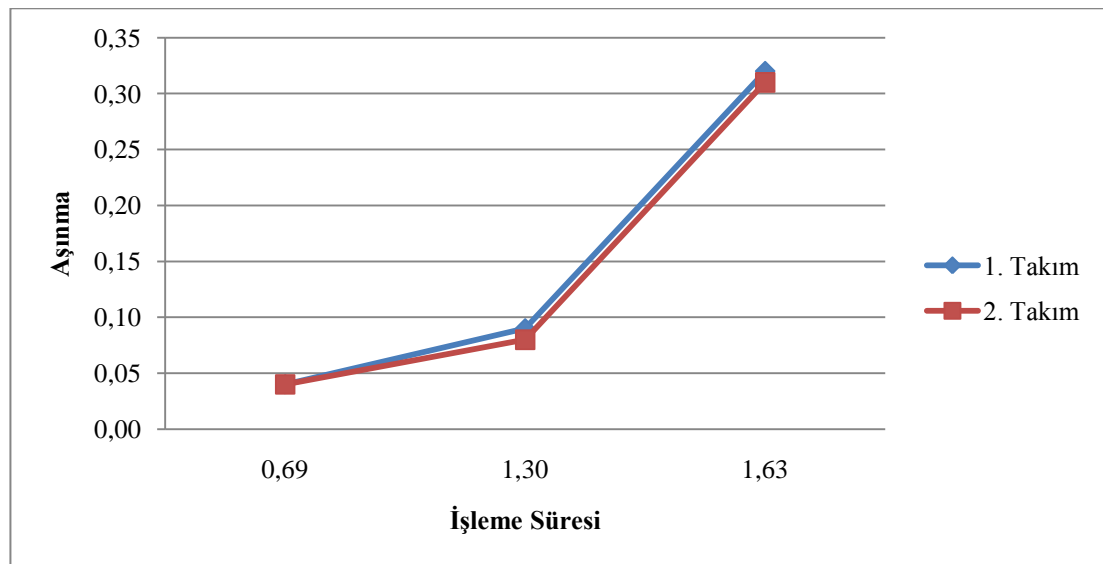


Şekil 12.86 IC330 Yarım faktoriyel 9. Deney kuvvet grafikleri

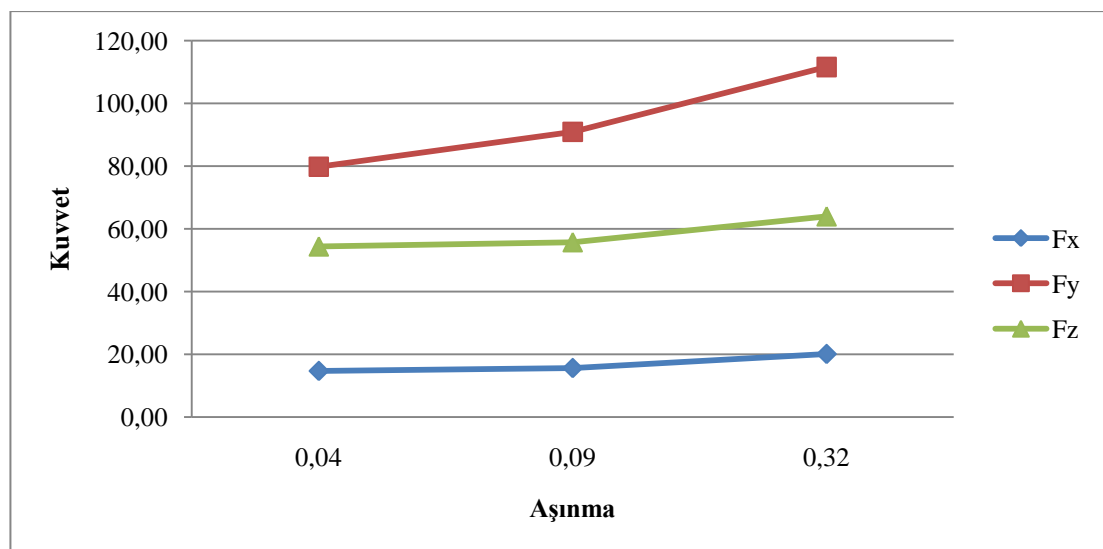
Tablo 12.43 IC330 Yarım faktoriyel 12. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
12	1	0,69	0,69	0,60	4,48	0,04	0,04	0,09	0,09	14,67	79,76	54,33
12	2	0,61	1,30	0,66	4,58	0,09	0,08	0,19	0,19	15,60	90,90	55,69
12	3	0,33	1,63	0,74	4,64	0,32	0,31	0,39	0,35	20,10	111,56	63,97



Şekil 12.87 IC330 Yarım faktoriyel 12. Deney aşınma grafikleri

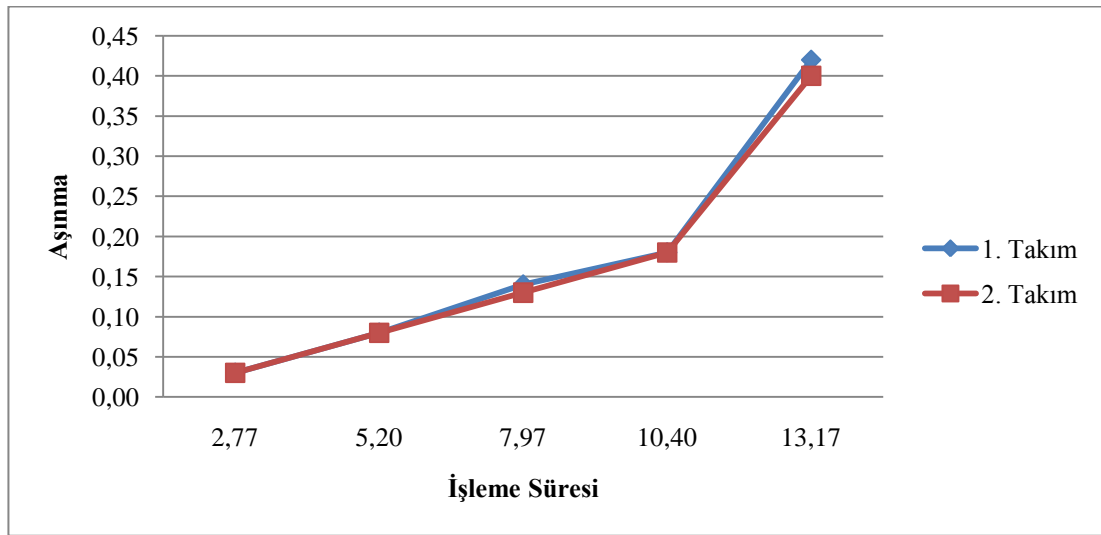


Şekil 12.88 IC330 Yarım faktoriyel 12. Deney kuvvet grafikleri

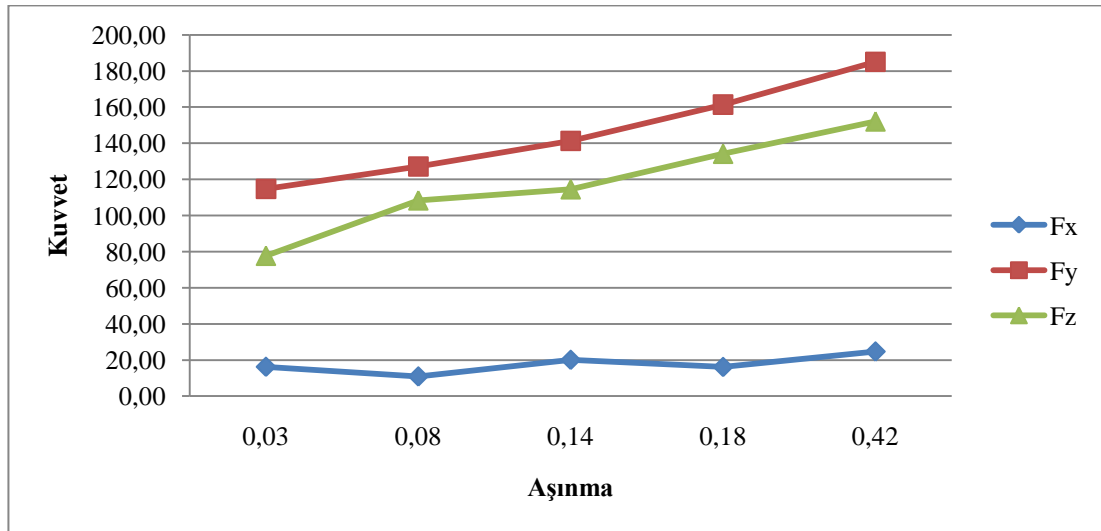
Tablo 12.44 IC330 Yarım faktoriyel 14. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
14	1	2,77	2,77	0,63	3,34	0,03	0,03	0,03	0,03	16,24	114,68	77,72
14	2	2,43	5,20	0,58	3,80	0,08	0,08	0,14	0,16	10,85	127,09	108,40
14	3	2,77	7,97	0,78	4,06	0,14	0,13	0,21	0,21	20,11	141,33	114,56
14	4	2,43	10,40	0,90	4,90	0,18	0,18	0,28	0,33	16,13	161,38	134,21
14	5	2,77	13,17	0,98	5,36	0,42	0,40	0,42	0,40	24,76	185,10	152,12



Şekil 12.89 IC330 Yarım faktoriyel 14. Deney aşınma grafikleri

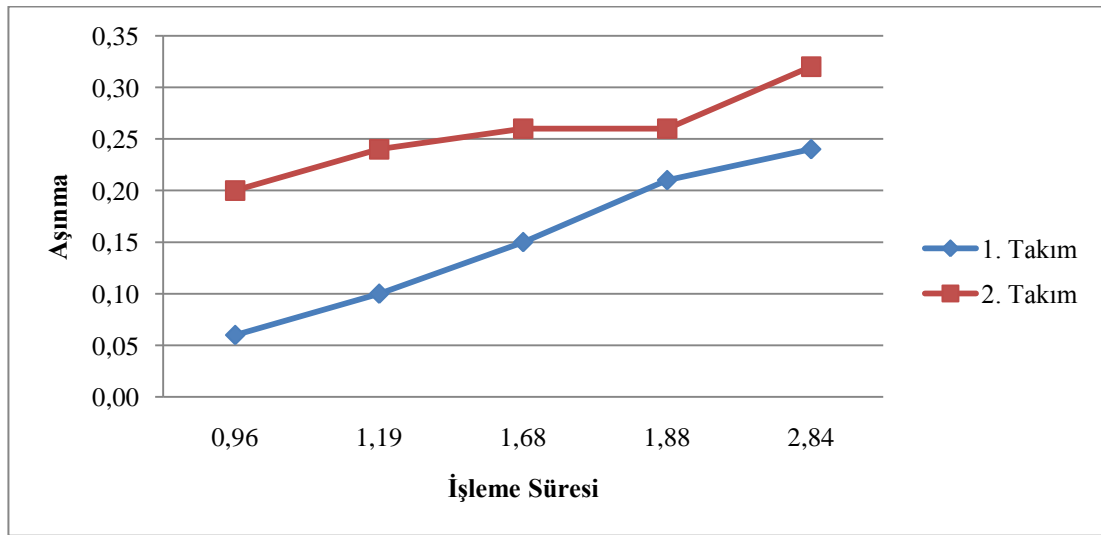


Şekil 12.90 IC330 Yarım faktoriyel 14. Deney kuvvet grafikleri

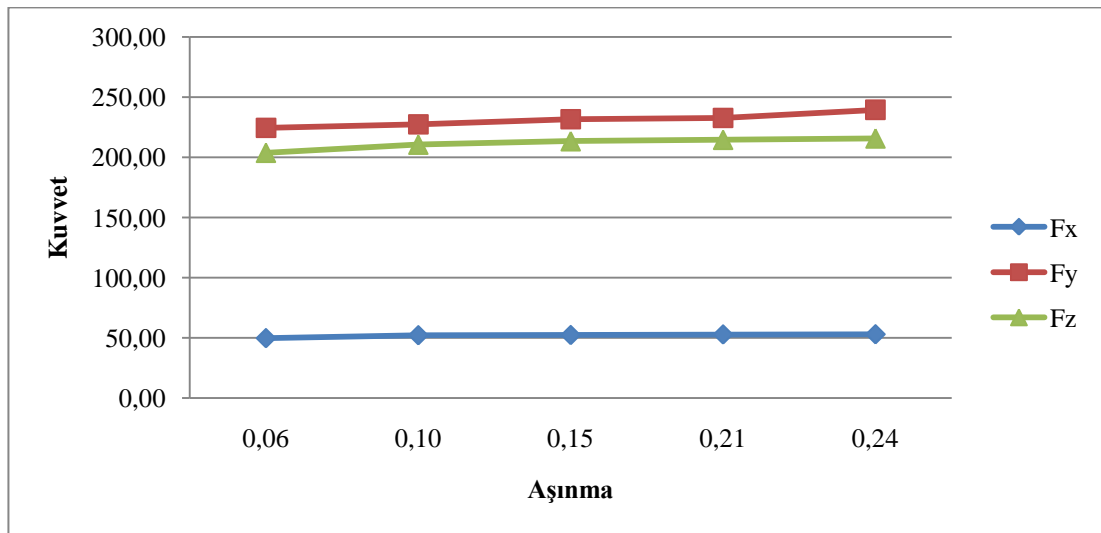
Tablo 12.45 IC330 Yarım faktoriyel 15. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
15	1	0,96	0,96	1,29	6,50	0,06	0,20	0,12	0,27	49,77	224,51	203,80
15	2	0,23	1,19	1,34	6,66	0,10	0,24	0,18	0,36	52,20	227,32	210,56
15	3	0,49	1,68	1,28	6,73	0,15	0,26	0,22	0,38	52,37	231,56	213,41
15	4	0,20	1,88	1,28	6,90	0,21	0,26	0,30	0,38	52,86	232,69	214,58
15	5	0,96	2,84	1,29	7,25	0,24	0,32	0,36	0,45	53,02	239,42	215,71



Şekil 12.91 IC330 Yarım faktoriyel 15. Deney aşınma grafikleri

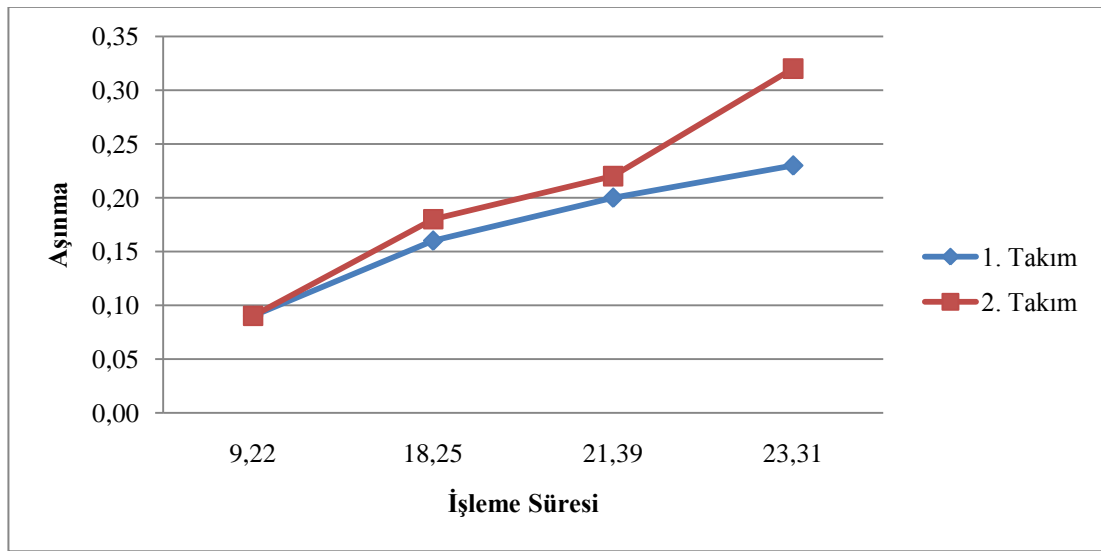


Şekil 12.92 IC330 Yarım faktoriyel 15. Deney kuvvet grafikleri

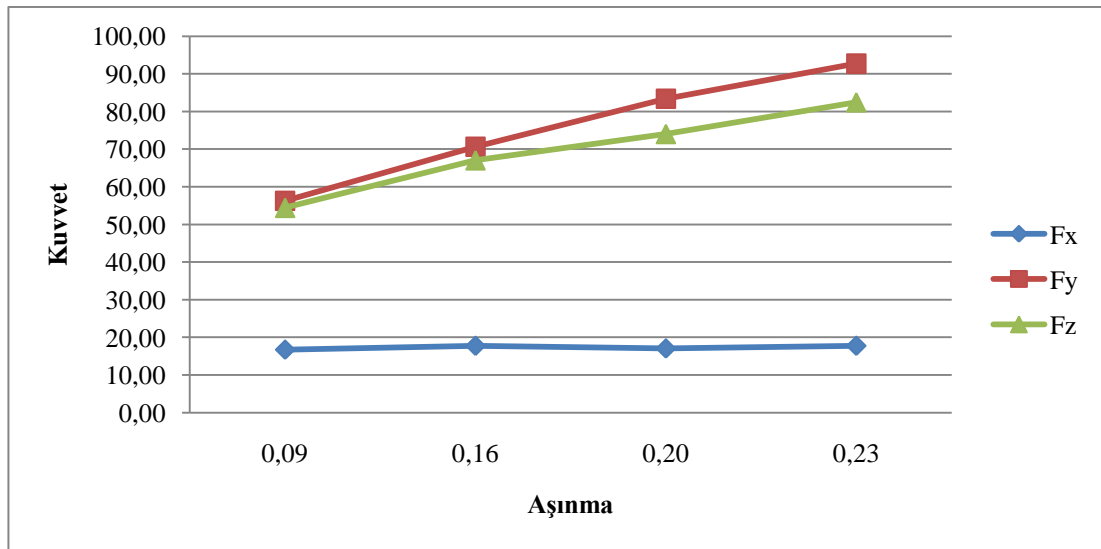
Tablo 12.46 IC330 Yarım faktoriyel 17_a. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
17_a	1	9,22	9,22	0,44	3,48	0,09	0,09	0,23	0,24	16,71	56,26	54,44
17_a	2	9,03	18,25	0,52	3,51	0,16	0,18	0,33	0,33	17,73	70,62	67,05
17_a	3	3,14	21,39	0,54	3,45	0,20	0,22	0,42	0,44	17,03	83,36	74,04
17_a	4	1,92	23,31	0,55	3,48	0,23	0,32	0,48	0,53	17,75	92,71	82,45



Şekil 12.93 IC330 Yarım faktoriyel 17_a. Deney aşınma grafikleri

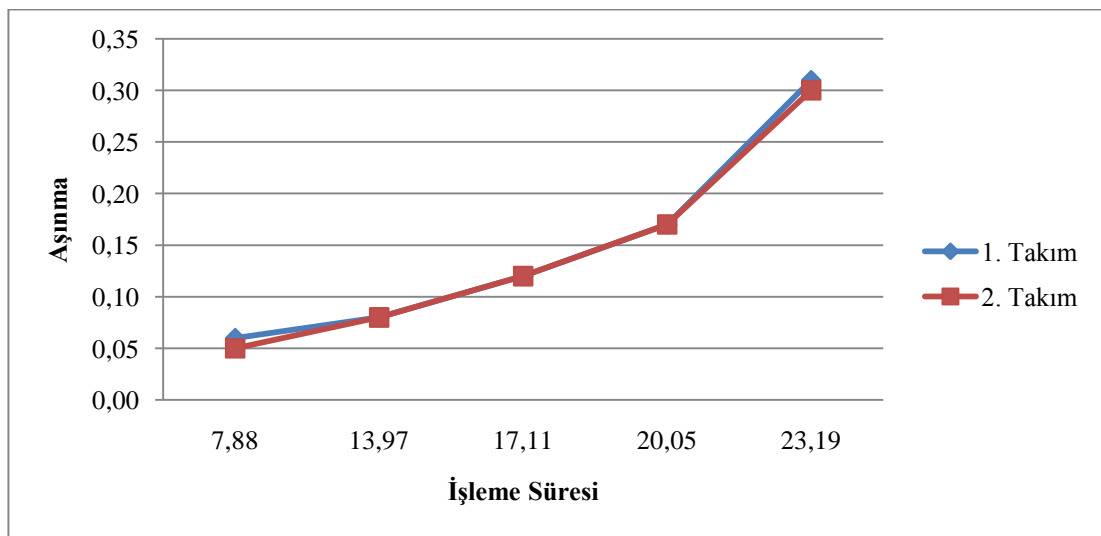


Şekil 12.94 IC330 Yarım faktoriyel 17_a. Deney kuvvet grafikleri

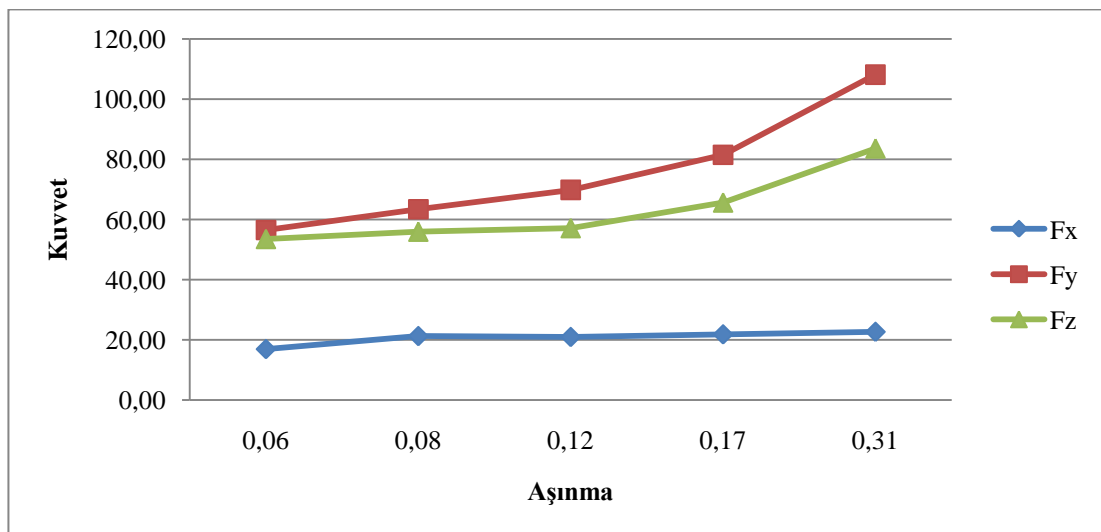
Tablo 12.47 IC330 Yarım faktoriyel 17_b. Deney verileri

Kesme Hızı	İlerleme (f)	ap	ae
130	0,025	3	1

Deney No	Tekrar No	İşleme Süresi (dk)	İşleme Süresi	Yüzey Pürüz.		Aşınma Miktarı VB1		Aşınma Miktarı VB2		KUVVETLER		
				Ra	Rz	1. Uç	2. Uç	1. Uç	2. Uç	Fx	Fy	Fz
17_b	1	7,88	7,88	0,43	3,47	0,06	0,05	0,11	0,11	16,94	56,47	53,52
17_b	2	6,08	13,97	0,43	3,32	0,08	0,08	0,22	0,18	21,28	63,40	55,95
17_b	3	3,14	17,11	0,48	3,37	0,12	0,12	0,24	0,21	20,98	69,83	57,13
17_b	4	2,94	20,05	0,49	3,38	0,17	0,17	0,29	0,24	21,85	81,47	65,64
17_b	5	3,14	23,19	0,55	3,45	0,31	0,30	0,46	0,43	22,71	108,11	83,60



Şekil 12.95 IC330 Yarım faktoriyel 17_b. Deney aşınma grafikleri



Şekil 12.96 IC330 Yarım faktoriyel 17_b. Deney kuvvet grafikleri

13. TAHMİN MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

13.1. Yapay Sinir Ağları Tahmin Modelinin Geliştirilmesi

Deneylelerden elde edilen sonuçları değerlendirmek ve takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün önceden tahminini yapabilmek amacıyla MATLAB 7.4'ın Toolboxes'ında bulunan Neural Network penceresinden yararlanılmıştır. Modelin geliştirilmesinde IC 808 takım referans olarak alınmıştır.

Yapay sinir ağları metodunun kullanılabilmesi için tüm verilerin 0 ila 1 arasına indirgenmeleri gerekmektedir. Bu nedenle tüm veriler normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

$$\text{Normalizasyon formülü; } x_n = \frac{x_i - x_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \text{ şeklindedir.}$$

13.1.1. Model Faktörlerinin Belirlenmesi

Yapay sinir ağları AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilmesi için akıllı bir model inşa etmek için kullanılmıştır. Akıllı modelin etkinliğini ve doğruluğunu büyük ölçüde model faktörleri, yani eğitim numune sayısı, gizli nöron sayısı, öğrenme oranı, momentum değeri ve maksimum öğrenme döngüsü tayin etmektedir. Bu çalışmada eğitim numune sayısı 90 ve öğrenme döngüsü 5000 olarak uygulanmıştır. Yapay sinir ağları modeli için seçilen tüm parametreler Tablo 13.1.'de gösterilmiştir.

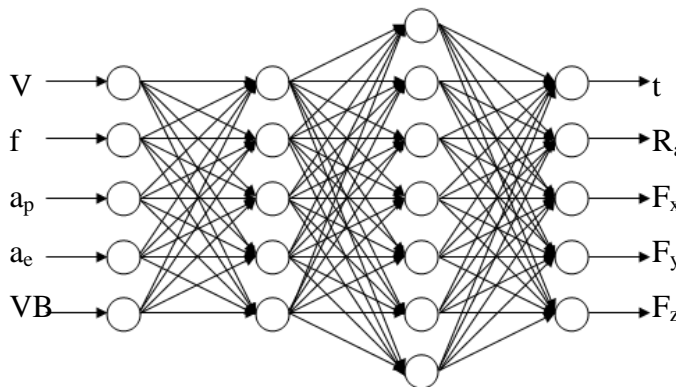
Tablo 13.1. YSA modeli için seçilen faktör değerleri

Ağ Parametreleri	Değeri
Eğitim veri sayısı	90
Gizli katman sayısı	2
Öğrenme oranı	0,001
Momentum değeri	0,1
Döngü sayısı	5000

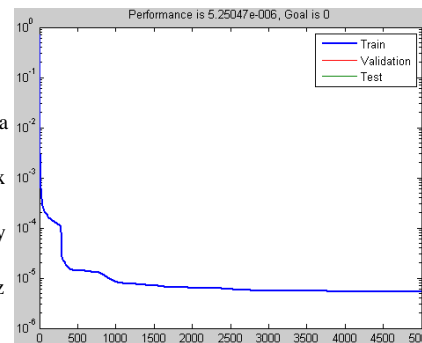
Yapay sinir ağlarının eğitimi için girdi bilgileri olarak; kesme hızı (V), ilerleme(f), aksel paso (ap), radyal paso (ae) ve aşınma (VB) alınmıştır. Çıktı bilgileri ise; işleme süresi (t), yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve kesme kuvvetleri (Fx, Fy, Fz) olmuştur (Tablo 13.2.). Şekil 13.2’de YSA modeli görülmektedir

13.1.2. Ağın Hazırlanması ve Eğitilmesi

Çalışmada, çok tabakalı ileri beslemeli YSA modeli kullanılmış olup ağırlıkların ayarlanmasında hatanın geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Aynı zamanda aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve geriye yayılma algoritmasının yakınsama hızını etkileyen parametreler olan öğrenme oranı 0,001 ve momentum 0,1 olarak sabit alınmıştır.



Şekil 13.2. YSA modeli



Şekil 13.1. YSA eğitimindeki MSE hata değişimi grafiği

Eğitim işlemi süresince YSA modeline ait iterasyonla MSE'deki (Mean Square Error (Ortalama Karasel Hata)) azalma Şekil 13.1'de görülmektedir. 5000 iterasyona ulaşıldığında ortalama karesel hata $5,25047 \cdot 10^{-6}$ olarak bulunmuştur. (Şekil 13.1.)

Tablo 13.2. YSA'nın eğitilmesi için kullanılan değerler ve bu değerler arasındaki % hata

Ölçülen Girdi Değerleri					Ölçülen Çıktı Değerleri					Tahmin Edilen Çıktı Değerleri					% Hata				
v	f	a _p	a _e	VB	Süre	R _a	F _x	F _y	F _z	Süre	R _a	F _x	F _y	F _z	Süre	R _a	F _x	F _y	F _z
130,00	0,025	1,00	1,00	0,02	14,78	0,30	4,93	17,82	16,34	14,77	0,30	5,25	17,87	17,28	0,10	1,20	6,57	0,29	5,78
130,00	0,025	1,00	1,00	0,03	43,88	0,23	6,11	18,13	16,94	43,87	0,25	5,70	17,79	15,76	0,01	7,30	6,69	1,89	6,98
130,00	0,025	1,00	1,00	0,04	58,19	0,26	6,11	17,28	16,67	58,17	0,24	6,15	17,90	15,82	0,04	8,33	0,75	3,61	5,10
130,00	0,025	1,00	1,00	0,06	232,76	0,23	6,91	21,70	18,80	232,76	0,25	7,04	20,53	19,47	0,00	7,24	1,92	5,40	3,57
130,00	0,025	1,00	1,00	0,07	247,54	0,25	6,95	21,73	18,70	247,61	0,25	7,43	23,22	22,32	0,03	1,00	6,95	6,84	19,35
130,00	0,025	1,00	1,00	0,08	290,96	0,27	8,24	27,39	28,09	290,76	0,26	7,79	26,56	25,29	0,07	4,46	5,49	3,03	9,95
130,00	0,025	1,00	1,00	0,09	305,73	0,27	8,33	29,97	29,24	305,99	0,26	8,08	30,17	28,04	0,08	2,65	3,05	0,68	4,12
130,00	0,025	1,00	1,00	0,12	320,05	0,27	8,65	31,95	32,20	319,28	0,27	8,56	31,94	32,92	0,24	1,67	0,95	0,05	2,25
130,00	0,025	1,00	1,00	0,14	334,83	0,27	8,18	32,38	31,23	337,58	0,28	8,63	32,37	33,57	0,82	3,87	5,47	0,03	7,51
130,00	0,025	1,00	1,00	0,15	349,15	0,28	8,75	36,40	36,63	346,53	0,28	8,62	36,39	33,57	0,75	1,18	1,45	0,04	8,34
130,00	0,025	1,00	1,00	0,18	363,93	0,29	8,56	33,31	32,77	364,92	0,29	8,54	33,32	33,93	0,27	0,94	0,31	0,03	3,53
130,00	0,025	1,00	1,00	0,20	378,24	0,32	9,26	38,23	34,92	377,53	0,30	8,60	38,24	34,99	0,19	5,89	7,13	0,02	0,21
130,00	0,025	1,00	1,00	0,22	393,02	0,32	7,84	40,57	37,15	393,31	0,31	8,90	40,35	36,36	0,07	2,28	13,54	0,53	2,12
130,00	0,025	1,00	1,00	0,25	407,34	0,32	10,41	42,21	37,43	407,31	0,34	9,81	42,44	37,80	0,01	5,34	5,75	0,55	0,98
130,00	0,025	1,00	1,00	0,30	422,12	0,39	11,37	45,39	38,19	422,12	0,39	11,50	45,35	38,14	0,00	0,87	1,16	0,08	0,14
250,00	0,025	1,00	1,00	0,02	3,70	0,25	3,83	23,48	26,97	3,71	0,25	3,90	23,49	26,96	0,32	1,66	1,92	0,06	0,04
250,00	0,025	1,00	1,00	0,09	7,69	0,25	6,43	46,40	55,73	7,68	0,24	6,13	46,38	55,71	0,09	3,29	4,77	0,04	0,04
250,00	0,025	1,00	1,00	0,14	12,07	0,26	7,82	44,93	53,38	11,98	0,26	8,13	44,94	53,39	0,77	1,32	3,93	0,04	0,02
250,00	0,025	1,00	1,00	0,21	16,04	0,31	8,73	45,39	60,91	16,03	0,31	8,61	45,40	60,93	0,03	0,16	1,39	0,03	0,03
250,00	0,025	1,00	1,00	0,28	19,52	0,35	7,52	36,87	42,97	19,53	0,35	7,55	36,88	42,95	0,07	0,53	0,37	0,02	0,05
250,00	0,025	1,00	1,00	1,45	23,22	0,38	8,02	42,50	54,27	23,20	0,38	8,02	42,50	54,27	0,08	0,23	0,01	0,00	0,01
130,00	0,10	1,00	1,00	0,02	3,69	0,26	14,09	35,14	39,63	6,20	0,26	14,17	35,47	39,38	67,86	1,46	0,56	0,93	0,64
130,00	0,10	1,00	1,00	0,03	7,27	0,28	14,18	35,53	39,80	6,92	0,27	14,23	35,11	40,07	4,87	2,34	0,33	1,16	0,70
130,00	0,10	1,00	1,00	0,07	10,97	0,30	14,52	35,64	39,91	11,01	0,30	14,51	35,44	41,04	0,39	0,11	0,07	0,56	2,83
130,00	0,10	1,00	1,00	0,08	14,55	0,30	14,82	34,10	42,83	12,45	0,30	14,58	34,57	41,22	14,45	1,38	1,58	1,37	3,76
130,00	0,10	1,00	1,00	0,12	18,24	0,31	14,98	36,37	41,05	20,46	0,31	14,97	35,55	42,23	12,16	0,01	0,04	2,25	2,87
130,00	0,10	1,00	1,00	0,13	25,52	0,31	15,11	37,75	42,88	23,16	0,31	15,09	38,54	42,39	9,23	0,13	0,16	2,07	1,14
130,00	0,10	1,00	1,00	0,16	32,79	0,31	15,27	39,62	43,75	33,37	0,31	15,49	39,35	43,11	1,76	0,70	1,42	0,68	1,46

130,00	0,10	1,00	1,00	0,18	40,06	0,31	15,70	40,93	45,47	41,64	0,31	15,81	41,20	46,26	3,92	0,24	0,67	0,66	1,73
130,00	0,10	1,00	1,00	0,19	47,34	0,31	16,18	47,95	50,43	45,90	0,31	15,99	47,79	50,06	3,05	0,57	1,18	0,33	0,73
130,00	0,10	1,00	1,00	0,22	54,61	0,30	16,62	59,34	59,04	54,67	0,30	16,63	59,36	59,04	0,11	0,01	0,09	0,03	0,01
130,00	0,10	1,00	1,00	1,30	61,88	0,38	24,41	86,95	90,13	61,88	0,38	24,41	86,95	90,13	0,00	0,05	0,01	0,01	0,00
250,00	0,10	1,00	1,00	0,07	0,93	0,42	13,30	34,01	36,60	1,31	0,42	13,30	34,00	36,61	41,48	0,01	0,02	0,03	0,03
250,00	0,10	1,00	1,00	0,14	1,92	0,46	15,43	52,99	56,47	1,31	0,46	15,43	52,98	56,47	31,86	0,01	0,00	0,02	0,01
250,00	0,10	1,00	1,00	0,93	2,86	0,45	18,12	78,33	78,45	2,87	0,45	18,12	78,34	78,48	0,45	0,01	0,00	0,01	0,03
130,00	0,025	3,00	1,00	0,02	14,78	0,42	16,63	63,71	58,77	14,77	0,42	16,61	63,57	59,11	0,10	0,01	0,14	0,22	0,57
130,00	0,025	3,00	1,00	0,04	29,10	0,42	17,38	62,65	59,20	29,11	0,42	17,53	63,11	58,16	0,04	0,01	0,82	0,74	1,76
130,00	0,025	3,00	1,00	0,05	72,97	0,42	18,38	67,05	58,96	72,98	0,42	18,48	67,53	60,12	0,01	0,16	0,51	0,72	1,97
130,00	0,025	3,00	1,00	0,06	116,38	0,51	19,88	74,35	65,02	116,38	0,51	19,44	72,83	64,55	0,00	0,28	2,21	2,05	0,72
130,00	0,025	3,00	1,00	0,08	145,48	0,55	20,88	81,89	70,00	145,49	0,55	21,16	82,71	70,04	0,01	0,20	1,33	1,00	0,06
130,00	0,025	3,00	1,00	0,12	174,57	0,58	23,87	94,86	78,17	174,59	0,58	23,82	94,74	78,16	0,01	0,02	0,21	0,12	0,01
130,00	0,025	3,00	1,00	1,30	203,67	0,67	25,87	113,24	87,40	203,66	0,67	25,87	113,23	87,41	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
250,00	0,025	3,00	1,00	0,02	3,70	0,48	13,85	60,48	62,27	3,71	0,48	13,85	60,47	62,28	0,32	0,03	0,01	0,01	0,01
250,00	0,025	3,00	1,00	0,81	7,44	0,53	21,41	97,85	105,77	7,43	0,53	21,40	97,83	105,76	0,25	0,18	0,01	0,01	0,01
130,00	0,10	3,00	1,00	0,02	3,69	0,40	45,80	105,84	130,83	3,59	0,40	45,78	105,63	130,82	2,92	0,13	0,04	0,20	0,00
130,00	0,10	3,00	1,00	0,08	7,39	0,55	47,45	108,25	130,32	7,43	0,55	47,55	109,75	130,33	0,49	0,06	0,21	1,39	0,00
130,00	0,10	3,00	1,00	0,10	18,24	0,48	49,39	121,04	139,68	18,22	0,48	49,20	117,41	139,69	0,10	0,17	0,38	2,99	0,00
130,00	0,10	3,00	1,00	0,11	21,94	0,47	50,19	121,17	189,56	21,94	0,47	50,30	123,74	189,56	0,01	0,16	0,22	2,12	0,00
130,00	0,10	3,00	1,00	0,13	25,52	0,48	56,37	144,71	241,30	25,52	0,48	56,37	144,45	241,30	0,02	0,05	0,00	0,17	0,00
130,00	0,10	3,00	1,00	1,10	29,21	0,48	55,50	157,00	235,28	29,23	0,48	55,50	157,00	235,28	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
250,00	0,10	3,00	1,00	0,03	0,60	0,85	41,91	120,18	144,01	1,10	0,85	41,91	119,18	144,01	84,43	0,01	0,00	0,84	0,00
250,00	0,10	3,00	1,00	0,07	1,20	0,81	42,83	123,65	148,63	1,27	0,81	42,83	126,91	148,62	5,52	0,01	0,00	2,64	0,01
250,00	0,10	3,00	1,00	0,10	1,81	0,90	46,48	136,16	166,42	1,39	0,90	46,48	134,11	166,44	23,04	0,00	0,00	1,50	0,01
250,00	0,10	3,00	1,00	0,13	2,42	0,91	52,98	142,97	182,14	1,52	0,91	52,98	142,55	182,14	37,20	0,00	0,00	0,29	0,00
250,00	0,10	3,00	1,00	0,25	3,08	0,95	54,73	185,65	210,77	2,83	0,95	54,72	185,94	210,78	8,08	0,01	0,00	0,16	0,00
130,00	0,025	1,00	4,00	0,02	4,75	0,31	8,57	88,88	51,53	4,85	0,31	8,41	88,87	51,55	2,22	0,01	1,91	0,01	0,03
130,00	0,025	1,00	4,00	0,04	28,64	0,34	8,08	97,52	54,70	28,39	0,34	8,60	97,59	54,67	0,87	0,01	6,43	0,07	0,05
130,00	0,025	1,00	4,00	0,05	43,04	0,34	9,32	101,85	56,87	43,24	0,34	9,01	101,80	56,88	0,47	0,06	3,42	0,05	0,02
130,00	0,025	1,00	4,00	0,10	57,43	0,42	26,75	139,43	70,33	57,41	0,42	26,76	139,43	70,33	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00
130,00	0,025	1,00	4,00	1,40	64,63	0,44	26,41	288,79	197,05	64,62	0,44	26,41	288,79	197,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00

250,00	0,025	1,00	4,00	0,05	0,82	0,51	8,28	90,19	57,34	1,14	0,51	8,24	90,20	57,35	38,43	0,05	0,44	0,02	0,02
250,00	0,025	1,00	4,00	0,10	1,75	0,55	13,27	125,21	85,29	1,14	0,55	13,27	125,18	85,29	34,88	0,07	0,01	0,02	0,00
250,00	0,025	1,00	4,00	0,31	2,70	0,52	23,83	197,06	137,94	3,17	0,52	23,83	197,07	137,93	17,29	0,14	0,00	0,01	0,01
130,00	0,10	1,00	4,00	0,01	1,00	0,49	4,87	116,11	79,20	1,01	0,49	4,87	116,49	79,22	0,92	0,76	0,01	0,33	0,02
130,00	0,10	1,00	4,00	0,03	4,60	0,50	3,90	116,83	79,07	4,60	0,50	3,90	116,46	79,06	0,10	0,78	0,06	0,32	0,02
130,00	0,10	1,00	4,00	1,20	8,20	0,54	6,07	168,49	86,32	8,18	0,54	6,07	168,48	86,33	0,23	0,00	0,00	0,00	0,01
250,00	0,10	1,00	4,00	0,14	0,88	0,75	5,97	120,68	70,25	1,27	0,75	5,97	120,67	70,24	44,72	0,00	0,03	0,01	0,01
250,00	0,10	1,00	4,00	0,54	1,23	0,75	23,84	185,94	94,14	1,27	0,75	23,84	185,94	94,13	2,66	0,00	0,00	0,00	0,01
130,00	0,025	3,00	4,00	0,01	1,18	0,67	13,73	112,15	64,16	0,89	0,67	13,74	112,14	63,67	24,97	0,03	0,06	0,01	0,76
130,00	0,025	3,00	4,00	0,05	7,20	0,70	14,32	112,47	66,18	8,02	0,69	14,25	112,55	67,23	11,36	1,95	0,45	0,07	1,59
130,00	0,025	3,00	4,00	0,06	11,03	0,60	13,92	114,20	67,74	10,67	0,62	13,98	114,13	68,22	3,23	3,72	0,40	0,07	0,70
130,00	0,025	3,00	4,00	0,10	21,60	0,62	16,41	130,93	74,87	21,13	0,60	16,41	130,93	72,96	2,14	3,36	0,04	0,00	2,54
130,00	0,025	3,00	4,00	0,14	25,43	0,64	21,26	145,21	77,75	27,72	0,67	21,26	145,21	79,76	9,00	5,24	0,00	0,00	2,58
130,00	0,025	3,00	4,00	0,15	32,63	0,71	29,08	161,04	83,14	30,16	0,69	29,09	161,04	81,94	7,55	3,25	0,00	0,00	1,45
130,00	0,025	3,00	4,00	0,17	35,99	0,70	29,17	165,74	87,06	36,53	0,70	29,16	165,74	87,09	1,49	0,19	0,00	0,00	0,03
130,00	0,025	3,00	4,00	1,47	38,45	0,87	32,14	216,56	113,47	38,43	0,87	32,14	216,57	113,48	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01
250,00	0,025	3,00	4,00	0,06	1,38	0,61	13,29	100,91	59,86	1,39	0,61	13,29	100,90	59,85	1,02	0,38	0,02	0,01	0,02
250,00	0,025	3,00	4,00	0,12	3,16	0,64	20,38	138,36	79,21	3,17	0,64	20,37	138,37	79,24	0,08	0,63	0,01	0,01	0,03
250,00	0,025	3,00	4,00	0,36	4,75	0,84	25,61	159,08	90,14	4,73	0,84	25,61	159,09	90,15	0,44	0,21	0,00	0,01	0,01
130,00	0,10	3,00	4,00	0,05	0,96	1,11	21,14	208,25	171,82	1,44	1,11	21,14	208,23	171,81	49,89	0,00	0,02	0,01	0,00
130,00	0,10	3,00	4,00	0,09	1,80	1,24	20,81	218,00	180,21	1,44	1,24	20,81	218,01	180,20	20,22	0,00	0,00	0,00	0,00
130,00	0,10	3,00	4,00	0,56	2,30	1,29	17,76	239,14	177,90	2,28	1,29	17,76	239,13	177,91	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00
250,00	0,10	3,00	4,00	0,07	0,30	1,36	22,23	201,78	157,69	0,13	1,36	22,23	201,83	157,69	56,85	0,00	0,02	0,02	0,00
250,00	0,10	3,00	4,00	0,12	0,47	1,42	18,72	220,37	166,48	0,59	1,42	18,72	220,32	166,48	26,33	0,00	0,02	0,03	0,00
180,00	0,05	1,75	2,00	0,03	1,23	0,87	13,53	90,84	80,79	1,31	0,87	13,61	90,42	80,72	6,36	0,00	0,61	0,46	0,08
180,00	0,05	1,75	2,00	0,04	2,04	0,75	13,93	90,38	79,36	1,94	0,75	13,80	90,86	79,47	4,65	0,00	0,94	0,53	0,13
180,00	0,05	1,75	2,00	0,05	3,28	0,82	13,89	92,00	77,66	3,25	0,82	13,88	91,97	77,62	0,82	0,00	0,08	0,03	0,06
180,00	0,05	1,75	2,00	0,09	5,73	0,88	13,37	111,01	94,79	5,99	0,88	13,67	110,89	94,72	4,65	0,02	2,28	0,11	0,08
180,00	0,05	1,75	2,00	0,10	6,47	0,90	13,87	122,19	102,41	6,29	0,90	13,62	122,24	102,48	2,83	0,01	1,80	0,05	0,06
180,00	0,05	1,75	2,00	0,75	7,28	0,88	15,76	155,91	127,52	7,30	0,88	15,76	155,91	127,52	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo 13.3. YSA'nın test edilmesi için kullanılan değerler ve bu değerler arasındaki % hata

Ölçülen Girdi Değerleri					Ölçülen Çıktı Değerleri					Tahmin Edilen Çıktı Değerleri					% Hata				
v	f	a _p	a _e	VB	Süre	R _a	F _x	F _y	F _z	Süre	R _a	F _x	F _y	F _z	Süre	R _a	F _x	F _y	F _z
180,00	0,025	1,00	1,00	0,03	21,01	0,51	4,09	25,61	24,14	21,01	0,51	4,09	25,61	24,15	0,02	0,00	0,06	0,00	0,03
180,00	0,025	1,00	1,00	0,05	42,03	0,53	4,09	18,02	16,30	42,01	0,53	4,09	18,01	16,34	0,03	0,00	0,06	0,05	0,27
180,00	0,025	1,00	1,00	0,07	63,04	0,56	4,78	23,54	20,22	63,02	0,56	4,78	23,55	20,21	0,03	0,00	0,02	0,04	0,05
180,00	0,025	1,00	1,00	0,08	84,05	0,58	4,80	23,15	20,27	84,07	0,58	4,80	23,14	20,28	0,02	0,00	0,01	0,05	0,01
180,00	0,025	1,00	1,00	0,10	105,07	0,59	5,44	28,16	23,68	105,08	0,59	5,44	28,16	23,67	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
180,00	0,025	1,00	1,00	0,19	126,08	0,61	5,39	31,18	25,11	126,08	0,61	5,39	31,18	25,11	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02
180,00	0,025	1,00	1,00	0,31	136,75	0,23	5,34	38,11	29,70	136,76	0,23	5,34	38,10	29,70	0,00	0,00	0,05	0,02	0,01
180,00	0,10	3,00	1,00	0,03	2,67	1,08	43,88	126,95	143,80	2,66	1,08	43,88	126,94	143,80	0,36	0,00	0,00	0,01	0,00
180,00	0,10	3,00	1,00	0,05	3,97	1,13	45,76	127,92	153,27	3,97	1,13	45,76	127,92	153,28	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
180,00	0,10	3,00	1,00	0,07	5,25	0,46	45,67	130,05	155,07	5,27	0,46	45,67	130,04	155,08	0,40	0,01	0,00	0,01	0,00
180,00	0,10	3,00	1,00	0,08	6,54	0,74	48,41	149,98	160,85	6,54	0,74	48,41	149,97	160,86	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
180,00	0,10	3,00	1,00	0,35	7,84	0,52	51,95	161,90	185,86	7,85	0,52	51,95	161,91	185,85	0,12	0,00	0,00	0,01	0,00
180,00	0,10	1,00	4,00	0,03	0,32	0,68	6,14	133,66	81,40	0,34	0,68	6,14	133,65	81,40	5,27	0,01	0,03	0,01	0,00
180,00	0,10	1,00	4,00	0,06	0,65	0,74	5,84	139,33	87,69	0,63	0,74	5,84	139,32	87,70	2,57	0,00	0,03	0,01	0,01
180,00	0,10	1,00	4,00	0,71	1,01	0,79	9,59	171,36	88,59	1,01	0,79	9,59	171,36	88,60	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
180,00	0,025	3,00	4,00	0,05	1,14	0,89	12,52	109,47	61,22	1,14	0,89	12,52	109,48	61,22	0,33	0,00	0,00	0,01	0,00
180,00	0,025	3,00	4,00	0,09	2,43	0,88	10,77	119,67	63,42	2,45	0,88	10,77	119,66	63,43	0,66	0,00	0,02	0,01	0,01
180,00	0,025	3,00	4,00	0,10	3,75	0,89	22,89	111,24	58,74	3,76	0,89	22,89	111,25	58,75	0,21	0,00	0,00	0,01	0,00
180,00	0,025	3,00	4,00	0,14	5,20	0,85	16,64	130,75	71,31	5,19	0,85	16,64	130,74	71,32	0,17	0,00	0,00	0,01	0,01
180,00	0,025	3,00	4,00	0,43	6,05	0,91	23,56	180,26	88,28	6,03	0,91	23,56	180,27	88,28	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
155,00	0,05	1,75	2,00	0,09	1,62	0,85	14,84	93,48	85,99	1,60	0,85	14,84	93,49	85,99	0,86	0,00	0,01	0,01	0,00
155,00	0,05	1,75	2,00	0,15	2,75	0,85	15,90	108,27	104,26	2,74	0,85	15,90	108,26	104,26	0,27	0,00	0,01	0,01	0,01
155,00	0,05	1,75	2,00	0,17	3,91	0,86	14,80	118,57	112,08	3,92	0,86	14,79	118,58	112,08	0,37	0,00	0,00	0,01	0,00
155,00	0,05	1,75	2,00	0,19	4,99	0,83	14,38	124,33	117,85	4,98	0,83	14,38	124,33	117,84	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
155,00	0,05	1,75	2,00	0,22	6,08	0,80	14,62	134,15	123,29	6,08	0,80	14,62	134,16	123,29	0,14	0,00	0,00	0,01	0,00
155,00	0,05	1,75	2,00	0,36	7,18	0,78	16,49	132,70	121,84	7,17	0,78	16,49	132,70	121,83	0,14	0,00	0,01	0,00	0,01

13.2. Cevap Yüzey Metodu Tahmin Modelinin Geliştirilmesi

Kesme değişkenleri ile takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün matematik modelle temsilinde cevap yüzey metodu kullanılmış ve bu metoda göre ilişkilerin belirlenmesinde aşağıdaki yol izlenmiştir.

1. Matematik modelin önerilmesi
2. Deneysel dizayn
3. Gerçek kesme koşullarının seçimi ve bağımsız değişkenler için test bölgelerinin saptanması
4. Deney
5. Önerilen model katsayılarının tahmini

Takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri tahmin modeli kesirli faktoriyel dizayn kullanılarak elde edilmiştir. Bu deneysel tasarımda dizayn matrisi aşağıdaki şekildedir.

Dizayn Matrisi

$$\begin{bmatrix} +1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & +1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Kodlanmış seviyelerle bağımsız değişkenler (kesme parametreleri) arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$$x_1 = 2 \times \left(\frac{\ln \mathcal{G} - \ln \mathcal{G}_{üst}}{\ln \mathcal{G}_{üst} - \ln \mathcal{G}_{alt}} \right) + 1 = 2 \times \left(\frac{\ln 180 - \ln 130}{\ln 180 - \ln 130} \right) + 1$$

$$x_2 = 2 \times \left(\frac{\ln f - \ln f_{üst}}{\ln f_{üst} - \ln f_{alt}} \right) + 1 = 2 \times \left(\frac{\ln 0,1 - \ln 0,025}{\ln 0,1 - \ln 0,025} \right) + 1$$

$$x_3 = 2 \times \left(\frac{\ln a_p - \ln a_{p_{üst}}}{\ln a_{p_{üst}} - \ln a_{p_{alt}}} \right) + 1 = 2 \times \left(\frac{\ln 3 - \ln 1}{\ln 3 - \ln 1} \right) + 1$$

$$x_4 = 2 \times \left(\frac{\ln a_e - \ln a_{e_{üst}}}{\ln a_{e_{üst}} - \ln a_{e_{alt}}} \right) + 1 = 2 \times \left(\frac{\ln 4 - \ln 1}{\ln 4 - \ln 1} \right) + 1$$

13.2.1. Birinci Derece Modelle Takım Ömrü Denklemine Tahmini

Genelleştirilmiş takım ömrü denklemi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$T = C \mathcal{G}^a f^b a_p^c a_e^d$$

Bu ilişkide her iki tarafın logaritması alınarak;

$$\ln T = \ln C + a \ln \mathcal{G} + b \ln f + c \ln a_p + d \ln a_e \text{ elde edilir.}$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \varepsilon$$

Bu ilişkide 1. derece model oluşturulmuş olur. Burada x_1 x_2 x_3 x_4 f a_p ve a_e 'nin logaritmik dönüşümleridir. Buradan tahmin edilen ilişki modeli;

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 \text{ şeklindedir.}$$

13.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Denklemine Tahmini

$$R_a = C_{Ra} \times \mathcal{G}^{a_1} \times f^{b_1} \times a_p^{c_1} \times a_e^{d_1}$$

$$\ln R_a = \ln C_{Ra} + a_1 \ln \mathcal{G} + b_1 \ln f + c_1 \ln a_p + d_1 \ln a_e$$

$$y = \beta_0 + \beta_1' x_1 + \beta_2' x_2 + \beta_3' x_3 + \beta_4' x_4 + \varepsilon$$

$$y = b_{01}' + b_{11}' x_1 + b_{21}' x_2 + b_{31}' x_3 + b_{41}' x_4$$

13.2.3. Kuvvet Denklemlerinin Tahmini

$$F_x = C_{F_x} \times g^{a_2} \times f^{b_2} \times a_p^{c_2} \times a_e^{d_2}$$

$$y = b_{02} + b_{12} x_1 + b_{22} x_2 + b_{32} x_3 + b_{42} x_4$$

$$F_y = C_{F_y} \times g^{a_3} \times f^{b_3} \times a_p^{c_3} \times a_e^{d_3}$$

$$y = b_{03} + b_{13} x_1 + b_{23} x_2 + b_{33} x_3 + b_{43} x_4$$

$$F_z = C_{F_z} \times g^{a_4} \times f^{b_4} \times a_p^{c_4} \times a_e^{d_4}$$

$$y = b_{04} + b_{14} x_1 + b_{24} x_2 + b_{34} x_3 + b_{44} x_4$$

Takım Ömrü Denklemleri

Cevap Yüzey Metodu kullanılarak elde edilen takım ömrü denklemleri 3 tür kalite takım için;

IC 808 kalite takım için;

$$y = 2,53 - 0,57 x_1 - 1,276 x_2 - 0,433 x_3 - 0,37 x_4$$

IC 830 kalite takım için;

$$y = 2,89 - 0,41 x_1 - 1,33 x_2 - 0,67 x_3 - 1,29 x_4$$

IC 330 kalite takım için;

$$y = 3,103 - 0,595 x_1 - 0,879 x_2 - 0,125 x_3 - 0,995 x_4$$

elde edilmiştir.

Kesme Kuvveti Denklemleri

Cevap Yüzey Metodu kullanılarak elde edilen kesme kuvveti denklemleri 3 tür kalite takım için;

IC 808 kalite takım için;

$$y_{F_x} = 2,5328 - 0,10725 x_1 + 0,3288 x_2 + 0,4886 x_3 - 0,17986 x_4$$

$$y_{F_y} = 4,433 + 0,011796 x_1 + 0,33 x_2 + 0,34165 x_3 + 0,3842 x_4$$

$$y_{F_z} = 4,2145 + 0,013 x_1 + 0,417 x_2 + 0,399 x_3 + 0,1297 x_4$$

IC 830 kalite takım için;

$$y_{F_x} = 2,7 + 0,04875 x_1 + 0,508 x_2 + 0,559 x_3 + 0,0537 x_4$$

$$y_{F_y} = 4,08 + 0,0339 x_1 + 0,2859 x_2 + 0,4969 x_3 + 0,5 x_4$$

$$y_{F_z} = 3,999 + 0,0649 x_1 + 0,3598 x_2 + 0,4916 x_3 + 0,267 x_4$$

IC 330 kalite takım için;

$$y_{F_x} = 2,745 - 0,0546 x_1 + 0,5092 x_2 + 0,548 x_3 + 0,0595 x_4$$

$$y_{F_y} = 4,024 - 0,01933 x_1 + 0,3245 x_2 - 0,433 x_3 + 0,527 x_4$$

$$y_{F_z} = 3,288 - 0,0183 x_1 + 0,428 x_2 + 0,619 x_3 + 0,3386 x_4$$

elde edilmiştir.

Yüzey Pürüzlülüğü Denklemleri

Cevap Yüzey Metodu kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü denklemleri 3 tür kalite takım için;

IC 808 kalite takım için;

$$y_{Ra} = 0,38956 + 0,0743 x_1 + 0,2739 x_2 + 0,2855 x_3 + 0,049 x_4$$

IC 830 kalite takım için;

$$y_{Ra} = -0,688 + 0,0976 x_1 + 0,2654 x_2 + 0,196 x_3 + 0,16 x_4$$

IC 330 kalite takım için;

$$y_{Ra} = -0,55 + 0,074 x_1 + 0,3487 x_2 + 0,2047 x_3 + 0,1489 x_4$$

elde edilmiştir.

Paslanmaz çeliklerin işlenmesinde, Cevap yüzey metodu ile matematik tahmin modelleri oluşturulan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerine kesme parametrelerinin etkisi farklı kalitede takımlar için incelendiğinde;

1. Takım ömrünün kesme parametrelerinin düşük değerlerinde arttığı görülmekte ve takım ömrüne en büyük etkiyi ilerleme göstermektedir. Takım ömrü açısından IC 330 kalite takım daha iyi işlenebilirlik performansına sahip olmaktadır.
2. Eş yönlü frezeleme yöntemi kullanıldığı deneylerde beklenildiği gibi en düşük kesme kuvveti değerleri ilerleme yönündeki F_x kuvveti olmaktadır. Birbirine yakın değerlerde ve F_x 'den daha yüksektir. F_y ve F_z Kuvvetlerine en büyük etkiyi ilerleme, aksenal kesme derinliği ve radyal kesme derinliği göstermekte en az etkiyi ise kesme hızı göstermektedir. F_x kuvvetine ise ilerleme ve aksenal kesme derinliği fazla, radyal kesme derinliği ve kesme hızı daha az etki etmektedir. IC 808, IC830 ve IC 330 takım kaliteleri kesme kuvvetlerinde farklı bir etki göstermemektedir.
3. Kesme parametrelerinin küçük değerleri için yüzey pürüzlülüğü azalmakta ve en az etkiyi kesme hızı göstermektedir. IC830 ve IC330 kalite takımlar için daha iyi yüzey kalitesi elde edildiği görülmüştür. Kesme parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri kesme hızı, radyal kesme derinliği, aksenal kesme derinliği ve ilerleme sıralaması ile giderek artmaktadır.

14. DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA

Kesme parametreleri ve kesme şartlarının değişimi ve talaş/takım geometrisi, kesme kuvvetlerinde ve işlenen parçaların yüzey kalitesinde, VB ve R_a değerlerinde değişime sebep olmaktadır. Alın frezeleme işlemlerinden elde edilen kesme kuvvetleri, bir veri toplama ve kayıt sistemi aracılığıyla, eş zamanlı olarak bilgisayara kayıt edilmiş ve değerlendirmeye imkan sağlanmıştır.

Takım aşınması, takım-iş parçası ve işleme şartları etkileşimlerinin bir sonucu olarak, tabii bir olgudur. Takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri artmakta ve yüzey pürüzlülüğünde değişimler meydana gelmektedir. Bu konuda takım aşınma mekanizmalarına bağlı aşınma tipleri, takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler incelenmiştir.

AISI 304 paslanmaz çeliklerin IC808, IC830 ve IC 330 kalite takımlarla frezelenmesi ile ilgili grafiklerden verilen kesme şartları için elde edilen takım ömrü değerlerine ait veriler Tablo 14.1.'de verilmiş ve ilgili değerlendirmeler aşağıda yapılmıştır.

Tablo 14.1. Grafikleri verilen şartlar için işleme süreleri değerleri

Kesme Koşulları	İşleme Süresi (dakika)		
	IC830	IC808	IC330
$V_c=180$ m/dk, $a_p=1$ mm, $a_e=1$ mm, $f=0,025$ mm/diş	126	105	63
$V_c=130$ m/dk, $a_p=1$ mm, $a_e=1$ mm, $f=0,1$ mm/diş	47	32	58
$V_c=130$ m/dk, $a_p=3$ mm, $a_e=1$ mm, $f=0,025$ mm/diş	160	145	145
$V_c=180$ m/dk, $a_p=3$ mm, $a_e=1$ mm, $f=0,1$ mm/diş	8,5	6,5	13

- 1) Kesme hızı ve ilerleme miktarlarındaki artış ile takım ömrünün azaldığı yukarıda verilen grafiklerden de görülmektedir. İlerleme hızının 0,025 mm/diş' den 0,1 mm/diş'e çıkması ile artan kuvvetler nedeniyle takım ömrünün önemli derecede azaldığı görülmektedir.

- 2) Düşük ilerleme değerlerinde IC 830, yüksek ilerleme değerlerinde ise IC330'un kullanılmasının daha uygun olduğu belirlenmiştir (Tablo 14.1).
- 3) Yüksek paso ile düşük ilerleme hızlarında IC830, yüksek paso ve yüksek ilerleme hızlarında ise IC330'un kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. (Tablo 6.1) Dolayısıyla IC330'un yüksek ilerleme değerleri için daha uygun olduğu belirlenmiştir.
- 4) Kesme hızını artması ve ilerlemenin azalması ile takım ömrünün azaldığı ve bu durumda en iyi performansı IC 830 kalite takım gösterdiği görülmüştür.

En düşük takım ömür değerleri hız, ilerleme ve aksel kesme derinliğinin yüksek değerlerinde elde edilmiştir.

AISI 304 paslanmaz çeliklerin frezelenmesi deneylerinde; IC 808 kalite uçlara uygulanan tam faktoriyel işlemler sonucu aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır:

f , a_p ve a_e değerleri sabitken, kesme hızındaki artış takım ömründe dikkate değer azalmaya neden olmuştur. 1 ve 2 no'lu deneylerde; düşük ilerleme değerinde (0.025 mm/diş), $a_p=1$ mm ve $a_e=1$ mm parametreleri sabitken kesme hızının 130 m/dk'dan 250 m/dk'ya çıkması takım ömrünün 422.4 dk' dan 19,58 dk'ya düşmesine neden olmuştur. 3 ve 4 no'lu deneylerde; yüksek ilerleme değerinde (0.1 mm/diş), kesme hızındaki artışın etkisi, düşük ilerleme değerinde olduğu gibi takım ömrünü aynı oranda azaltmıştır. Takım ömrü 55.15 dk' dan 2,11 dk'ya düşmüştür. Buradan anlaşılacağı üzere ilerleme de takım ömrüne fark edilir biçimde etki etmiştir.

V , a_p ve a_e değerleri sabitken, ilerlemedeki artışın takım ömrüne kesme hızının etkisi kadar olmasa da önemli derecede azalttığı görülmüştür. 1 ve 3 no'lu deneylerde; düşük kesme hızlarında (130 m/dk), $a_p=1$ mm $a_e=1$ mm parametrelerinde ilerlemenin 0.025 mm/diş'den 0.1 mm/diş'e çıkması ile takım ömrü 422.4 dk'dan 55,15 dk'ya düşmüştür. 2 ve 4 no'lu deneylerde; yüksek kesme hızlarında (250 m/dk) ilerleme artışının etkisinin hemen hemen aynı oranda takım ömrünü azalttığı görülmüştür.

Kesme hızı, ilerleme ve a_e parametreleri sabitken a_p parametresindeki değişimin, yüksek hız ve yüksek ilerleme değerlerinin birlikte uygulandığı frezeleme işlemlerinde etkisinin neredeyse hiç olmadığı görülmüştür. Fakat, kesme hızı ve ilerleme parametrelerinden ikisinin ya da birinin minimum değerlerde olduğu talaş kaldırma işlemleri esnasında takım ömrünün yaklaşık olarak yarı yarıya azaldığı tespit edilmiştir. 4 ve 8 no'lu deneylerde yüksek kesme hızı (250 m/dk) ve yüksek ilerleme (0,1 mm/diş) değerlerinde a_e parametresi sabitken takım ömrü 3 dk civarında olmuştur. 1, 5, 9 ve 13 no'lu deneylerde a_p deki değişimin takım ömrünü yarı yarıya azalttığı görülmektedir.

Kesme hızı, ilerleme ve a_p parametreleri sabitken a_e parametresindeki değişimin takım ömrüne, a_p parametresinden daha fazla etki ettiği görülmüştür. Yüksek kesme hızı (250 m/dk) ve yüksek ilerleme (0.1 mm/diş) değerlerinin birlikte uygulandığı frezeleme işlemlerinde takım ömrünün yarı yarıya düştüğü, kesme hızı ya da ilerleme değerlerinden birinin minimum olduğu değerlerde yapılan çalışmalarda ise takım ömrünün 7-8 kat azaldığı tespit edilmiştir. 1 ve 9 no'lu deneylerde a_e parametresindeki değişim takım ömrünün 422.4 dk'dan 58'54 dk'ya, 2 ve 10 no'lu deneylerde 19.58 dk'dan 2.65 dk'ya, 3 ve 11 no'lu deneylerde 55.15 dk'dan 5.43 dk'ya, 4 ve 12 no'lu deneylerde ise 2,11 dk'dan 1.02 dk'ya düşmesine neden olmuştur.

15. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada, alın frezelemede takım durumu hakkında karar vermek için takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi referans alınmıştır. Bu maksatla IC 808 kalite uç için tam faktöriyel dizayn faktörü oluşturulmuş ve 16 asıl 2 tekrar deneyi yapılmıştır. Deney sayısını azaltmak için IC 830 ve IC 330 kalite takımlara kısmi faktöriyel dizayn faktörü oluşturulmuştur. Bu dizayn faktörlerinde ise 8 asıl 2 tekrar deneyleri yapılmıştır. Alın frezeleme deneyleri sonucu elde edilen kesme kuvvetleri ile VB değerlerinin çizilen eğrileri değerlendirilerek, takım aşınması ile kesme kuvvetlerinin artışları gözlemlenmiştir. Bunların VB ve R_a 'nın değişimi üzerinde, kesme parametrelerinin ve özellikle F_y ve F_z kuvvetlerinin etkili olduğu tespit edilmiştir.

Paslanmaz çeliklerin farklı kalitedeki takımlarla işlenmesinde takım performansları açısından IC 330 ve IC 808 kalite uçların daha uzun takım ömrü verdiği, kesmede F_x , F_y , F_z kuvvetlerinin takım kalitesinden etkilenmediği, eş yönlü frezelemede beklenildiği gibi F_x kuvvetinin daha küçük değerlerde, F_y ve F_z kuvvetlerinin daha yüksek değerlerde elde edildiği tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en büyük etkiyi ise ilerleme değeri göstermektedir.

Cevap yüzey metodu özellikle kesirli faktöriyel dizayn kullanılarak daha az deneyle kesme parametrelerinin bağlı değişkene etkilerini analiz etmede ve optimum kesme koşullarını bulmada etkili bir teknik olmaktadır.

Cevap yüzey metodu kullanarak işleme parametrelerinin analizi işlenebilirlik değerlendirmesinde her işleme parametrelerinin etkisinin incelenmesinde yararlıdır.

Paslanmaz çeliklerin işlenmesi üzerine yoğun ve uzun süreli çalışmalar yapılmaktadır. Deneysel çalışmalar uzun süreli olmasının yanı sıra malzeme ve takım harcanarak yapıldığı için ekonomik yükümlülük gerektiren çalışmalardır. Bundan dolayı yapay sinir ağları gibi yapay zekâ yöntemlerinin kullanılmasıyla, deneysel verileri yüksek oranda tahmin edebilen modeller geliştirilmesi deneysel çalışmaların

zorluklarını aşmada alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenmesinde takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini tahmin edebilecek bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin yüksek bir tahmin potansiyeline sahip olduğu ve talaşlı imalat teknolojisinde yapay zekâ yöntemlerinin kullanılabilirliği üzerine yapılacak çalışmalarda faydalı olacağı belirlenmiştir.

Tahmin modellerinin bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda optimum kesme koşullarının elde edilmesi, adaptif kontrol ve takım durumu izleme gibi talaşlı imalatın geliştirilmesi çalışmalarında kullanılması önerilmektedir.

Çoklu girdiye karşılık; Yapay sinir ağlarında çoklu çıktı, cevap yüzey metodunda ise tek çıktı elde edilebilmektedir. Bu nedenden dolayı Yapay sinir ağlarının kullanılmasının cevap yüzey metoduna göre daha fazla çıktı vermesi ve çıktılarının etkileşimlerinin incelenebilmesinden dolayı daha rasyonel olacağı görülmüştür.

Yapay sinir ağlarında çevrim içi çalışma cevap yüzey metoduna göre bir avantaj sağlamaktadır. Yapay sinir ağları ile çevrim içi çalışma durumunda ağ sürekli olarak eğitilebilmekte ve gerçek zamanlı izleme gerçekleştirilmektedir.

Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği üzerine aşınma mekanizmaları ve malzeme içyapısının işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılması bundan sonraki çalışmalar için önerilir.

KAYNAKLAR

Abou-El-Hossein, K.A., Yahya, Z. "High-speed End-Milling of AISI 304 Stainless Steels Using New Geometrically Developed Carbide Inserts", *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 596-602, (2005)

A Practical Handbook, "Modern Metal Cutting", *Sandvik Coromant*, Sweden, 31-33(1997).

Akasawa T., Sakurai, H., Nakamura M., Tanaka, T. And Takano, "Effects of free-cutting additives on the machinability of austenitic stainless steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 66-71 (2003)

Akkurt M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", *Birsen Yayın Evi*, İstanbul, 57-71, (1998)

Askeland, D. R. "The Science and Engineering of Materials", *Erdoğan*, M, Ankara, 193-203(2000)

Asm Metals Reference Book, *Asm Publisher*, 41 -42 (1984)

Belejchak, P., "Machinig Stainless Steel", *Advanced Materials & Processes*, 23-25 (1997)

Bingöl, O., "Yapay Sinir Ağı ile Modellenen Alan Yönlendirmeli bir Asenkron Motorun Üç Seviyeli Evirici ile Hız Denetimi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2005)

Chien, W. T. And Chou C. Y., "The Predictive model for machinability of 304 stainless Steel", *Journal of Materials Processing Technology*, **118**, 442- 447(2001)

Chin,W.T. And Tsai C. S., "The Investigation on The Prediction of Tool Wear And The Determination of Optimum Cutting Conditions In Machining 17-4PH Stainless Stell", *Journal of Materials Prosesing Technology*, 340- 345 (2003)

Choudhury, S.K., Appa, Rao, I.V.K., "Optimization of Cutting Parameters for Maximizing Tool Life", *Machine Tools&Manufacture*, pp.343-353 (1998)

Choudhury, S.K., Jain, V.K., Rama Rao, C.H.V., "On-Line Monitoring of Tool Wear in Turning Using a Neural Network", Int. J. *Machine Tools&Manufacture*, 39, 489-504 (1999)

Çakır, C., "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını*, Bursa, 35-42 (1999)

Çakır, C., "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını*, Bursa, 35-42 (2000)

- Dan, L., Mathew, J., 1990. "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning" *Int. J. Machine Tools & Manufacture*, 30, Nu.4, pp.579-598 (1990)
- Develi, K., "Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mig Kaynağında Argon Hidrojen Karışımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-26 (2003)
- Elmas, Ç. ve Coşkun, İ., "Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Asenkron Motorun Statör Akımlarının Adaptif Kontrolü", *Elektrik mühendisliği 6. Ulusal Kongresi*, Bursa, 442-445 (1995)
- Elmas, Ç., "Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)", *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 22-37, (2003)
- Elmas, Ç., "Yapay Zeka Uygulamaları", *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 185-250 (2007)
- Erdoğan M. , "Mühendislik Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt 1", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 235-237 (1998)
- Eriksen, E., "Influence From Production Parameters on the Surface Roughness of a Machined Short Fibre Reinforced Thermoplastic". *Int Journal of Machine Tools and Manufacture* 39, pp. 1611-1618. (1999)
- Flores, G., "Qualitaets Begriffe des Honens", *Werkstatt und Betrieb*, Heft 11, Seite 715-756. (1982)
- Fukuda, T. and Shibata, T., "Theory and Applications Neural Networks for Industrial Control Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronic*, 39 (6): 472-489 (1992)
- Gomayel, J. I. El, Bregger, K.D., "On-Line Tool Wear Sensing for Turning Operations", *J. Enging. Ind.*, 108, 44-49. (1986)
- Gülyaz, H., A., Abişev, Kılıç, S. E., "60HRC Sertliğindeki Karbonlu Çeliklerin CBN ile Taşlama Kalitesinde İnce Tornalanmasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmini İçin Model Oluşturulması", *7. Uluslararası Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, ANKARA, S.213. (1996)
- Gürarda A., Çakır M.C., "Yüzey Pürüzlülüğünün Optimum Talaş Kaldırma Faktörleri ve Üretim Maliyeti Üzerindeki Etkisi", *Makine-İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, Konya, (14-15 Ekim 1999)
- Güventürk F., "Çelik El Kitabı", *Güven Çelik San. ve Tic. Ltd. Şti. Yayınları*, İzmir, 35-41 (1990)
- Hebb, D., "The Organization Of Behavior: A Neuropsychological Theory", *Wiley & Sons*, New York, 1-368, (1949)

Hopfield, J. J., "Neural Network And Physical Systems With Emergent Collective Computational Abilities", *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 79: 2554-2558 (1982)

Hopfield, J. J., "Neurons With Graded Response Have Collective Computational Properties Like Those Of Two- State Neurons", *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 81: 3088-3092 (1984)

Iscar, "New Directions in Cutting Tool Materials and Machining Options"

ISO 3685, "Tool-life testing with single-point turning tools"

Jemielniak, K., Szarfarczyk, M., Zavrystovvski, J., "Difficulties in Tool Life Predicting when Turning with Variable Cutting Parameters, *Ann, Cirp*, 34, 113-116. (1985)

Jeong-Du, K., In-Hyu, C, "Development of a Tool Failure Detection System Using Multi-Sensors", *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36,861-870. (1996)

Kandemir, K, Özdemir, A., "Seramik Kesici Uçlarla Tornalamada Taşlama Kalitesinde Yüzey Elde Edilme Şartları", *Teknoloji*, s.125. (1999)

Kasap M., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinde En Uygun Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi ve İşleme Şartlarının Deneysel Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 34-35 (2001)

Kaluç, E., Tülbentçi, K., "Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği", *Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi*, Kocaeli, 7-178(1995)

Kayacan, M. C., Ş. Çelik, A., Salman, Ö., "Mühendis ve Makine", 21:11 (2003)

Kinnander, A., "Choice of Wear-Criteria in Fully Automated Turning" *Annals of Cirp*, vol 41, pp. 255-259. (1992)

Koren, Y., "Flank Wear Model of Cutting Tools Using Control Theory", *Asme J. Engineering For Industry*, Vol. 100, pp. 103-109. (1978)

Korkut, L, Kasap, M., Çiftçi, İ. and Şeker.,U., "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless Steel", *Materials and Desing*, 303-305 (2004)

Kosko, B., "Adaptive Bidirectional Associative Memories", *Appl. Optics*, 26: 4947-4960 (1987)

Kurt, U., "Paslanmaz Çelik Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2-33 (1988)

Lin, T. R., "Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless Steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 127, 8-16 (2002)

Myers, R.H., *Response Surface Methodology*, Boston: Allyn and Bocon, 1971

McCulloch, W. and Pitts, W., "A Logical Calculus Of The Ideas Immanent in Nervous Activity", *Bulletin Mathematical Biophysics*, (5): 115-137, (1943)

Mendi F., "Takım Tezgahları Teori ve Hesapları", *TDFD Ltd. Şti Yayınları*, Ankara, 53-55(1996)

Merchant, M. E., "Mechanics of the Metal Cutting Process" *Journal of Apply. Phys.* Vol, 16, pp. 267-274. (1945)

Mills , B. And Redford , A.H., "Machinability Of Engineering Materials", *University Of Salford*, 107-108 (1983)

Minsky, M. and Papert, S., "Perceptrons: an Introduction to Computational Geometry", *MIT Press*, Cambridge, 1-275 (1969)

Montgomery D.C.; E.A. Peck, "Introduction to Linear Regression Analysis. *John Willey and Sons*, Inc. Canada. (1992)

Moon, K., S., Sutherland, J. W., "The Origin and Interpretation of Spatial Frequencies in a Turned Surface Profile", ASME, *Journal of Engineering for Industry*, Vol, 116., pp.340-346. (1992)

Nagasaka, K., Hashimoto, F., "The Establishment of a Tool Life Equation Considering the Amount of Tool Wear", *Wear* 81, 21 -31. (1982)

Nalbant, M., Korucu, S., Korkut, I., "Ç1030 ve Ç1060 Malzemelerinin Hidrolik Kopya Aparatı İle İşlenerek Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi", 7. *Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, ANKARA, sayfa 1999. (1996)

Patterson, D.W., "Artificial Neural Networks", *Prentice Hall*, Tokyo, 9, (1995)

Paro, J., Hänninen, H. And Veijo., "Tool wear and Machinability of X5 CrMnN 18 18 Stainless Steels", *Kauppinen Journal of Materials Processing Technology*, 14- 20 (2001)

Paro, J., Hanninen, H. And Kauppinen, V., "Tool wear and machinability of HIPed P/M and conventional cast duplex stainless steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 249: 279-284 (2001)

Peng, K.C., *The Design and Analysis of Scientific Experiment*, London, Addison-Wesley, 1976

- Ronkainen, H., Nieminen I., Holmberg, K., "Evaluation of Some Titanium-Based Ceramics Coatings on High Speed Steel Cutting Tools", *Surface and Coating Technology*, vol. 49, pp. 729-740. (1991)
- Rosenblatt, F., "The Perceptron: A Probabilistic Model For Information Storage & Organization in The Brain", *Psychological Review*, (65): 386-408 (1958)
- Rumelhart, D. E. and McClelland, J. L., "Paralel Distributed Processing: Explorations in The Microstructure of Cognition", *MIT Press*, Cambridge, 1-1208 (1986)
- Sağıroğlu, Ő., BeŐdok, E. ve Erler, M., "Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I, Yapay Sınır Ağları", *Ufuk Yayıncılık*, Kayseri, 40-42 (2003)
- Sandvik Coromand, "Modern metal Cutting-A Practical Handbook", *ISBN*, 93-99(1994)
- Santos, Dos, A. I. B., Duarte, A. V. M., Abrao, A. M., Machado, R. A., "An Optimisation Procedure to Determine the Coefficients of the Extended Taylor's Equation in Machining", Int., *Journal of Machine Tools Manufacture*, Vol. 39., pp. 17-31. (1999)
- Schlesinger, G., "Messung der Oberflaechengüte", *Springer Verlag*, Berlin. (1951)
- Smith, F., Smith, W., "Structure and Properties of Engineering Alloys", Erdoğan, M., Ankara, 193-203 (2000)
- Stenbacka, N., "Shielding Gas Technology When Welding Ordinary and High Alloyed Stainless Stells", *Aga Gas AB*, 83-90(1995)
- Trent E.M., Wright P.K., "Metal Cutting Fourth Edition", *Butterworth Heinemann* (2000)
- Ünüvar, A., Sağlam, H., "Takım AŞınmasına Dayalı On-Line Takım Durumu İzleme Sistemleri ve Verilerin Değerlendirilmesi", *Makina-İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, Konya, 27-39. (1999)
- YeŐiyurt, S., "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kesme Parametlerinin Torna Tezgahında İşleme Esnasındaki Sese Dayalı Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20- 33 (2003)
- Yokogawa, K., "Einsfluss der Abricht und Schleifbedingungen auf die Rauheit und Rundheit Geschliffener Oberflaechen", *Werkstatt und Betrieb*, Heft 9, Seite 513-525. (1974)
- Zafer Tekiner, Z. And Yeşilyurt, S., "Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless Steel",

Journal of Materials Processing Technology, 25, 507-513(2004)

Zell, Z.,, "Simulation Neuronaler Netze", *Addision-Wesley*, Bonn, (1994)

Werbos, P., "Beyond Regression: New Tools For Prediction And Analysis in The Behavioral Sciences", *Ph.D. Dissertation, Harvard University*, Cambridge, MA, (1974)

Widrow, B. and Hoff, M. E., "Adaptive Switching Circuits", *IRE Western Electric Show and Convention Record*, (4): 96-104 (1960)

Widrow, B. and Lehr, M. A., "30 Years of Adaptive Neural Networks: Perceptron, Madaline and Backpropagation", *Proceedings The IEEE*, 78 (9): 1415-1442 (1990)

www.cvdtechnologies.com / Web Sitesi

www.pvd-coatings.co.uk / Web Sitesi