

**DIN 1.2344 ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA OLUŞAN KESME
KUVVETLERİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN MODELLENMESİ**

Hakan YURTKURAN

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

KARABÜK

Haziran 2013

Hakan YURTKURAN tarafından hazırlanan “DIN 1.2344 ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA OLUŞAN KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN MODELLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/ 06/ 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)



...../...../2013

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Hakan YURTKURAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DIN 1.2344 ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA OLUŞAN KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN MODELLENMESİ

Hakan YURTKURAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Haziran 2013, 108 sayfa

Bu çalışmada, sertleştirilmiş DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar kullanılarak işlenebilirliği incelenmiştir. Taguchi L_{32} dikey dizinine göre sert tornalama deneyleri yapılmıştır. Esas kesme kuvveti (F_c) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerinde kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızının etkileri incelenmiştir. Kesme şartlarının F_c ve R_a üzerindeki önem seviyeleri varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Ayrıca, F_c ve R_a 'nın tahmini için regresyon analizi (RA) ve yapay sinir ağları (YSA) ile matematiksel modeller geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar ile RA ve YSA sonucunda elde edilen F_c ve R_a değerlerinin karşılaştırılması yapılarak geliştirilen modellerin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

DIN 1.2344 çeliğinin işlenmesinde, en düşük R_a değeri kaplamasız CBN kesici takım ile 150 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,1 mm kesme

derinliğinde 0,23 μm olarak elde edilmiştir. En düşük F_c değeri; 200 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,1 mm kesme derinliğinde 60,62 N olarak ölçülmüştür. ANOVA sonuçlarına göre, R_a üzerinde en fazla öneme sahip değişken %98,68 PCR ile ilerleme miktarı olurken, F_c üzerinde en fazla öneme sahip değişken %62,43 PCR ile kesme derinliği olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Sert tornalama, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, YSA, regresyon analizi, Taguchi, ANOVA.

Bilim Kodu : 914.3.028

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MODELING OF CUTTING FORCES AND SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OF DIN 1.2344 STEEL

Hakan YURTKURAN

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

June 2013, 108 pages

In this study, the machinability of hardened DIN 1.2344 hot work tool steel were investigated using coated and uncoated cubic boron nitride (CBN) cutting tools. Hard turning experiments were carried out according to Taguchi L_{32} orthogonal array. The effects of depth of cut, feed rate and cutting speed on the average surface roughness (R_a) and main cutting force (F_c) were analyzed. The significance levels of cutting conditions on F_c and R_a was determined with analysis of variance (ANOVA). Besides, mathematical models have been developed with regression analysis (RA) and artificial neural networks (ANN) to estimate of the F_c and R_a . The applicability of the developed models has been evaluated by comparing the experimental results with F_c and R_a values obtained from RA and ANN.

In machining of DIN 1.2344 steel, the lowest R_a value was obtained as 0,23 μm by using uncoated CBN tool at cutting speed of 150 m/min, feed rate of 0,05 mm/rev and cutting depth of 0,1 mm. The lowest F_c value was measured as 60,62 N by using

uncoated CBN tool at cutting speed of 200 m/min, feed rate of 0,05 mm/rev and cutting depth of 0,1 mm. According to ANOVA results, the feed rate is the most important variable on R_a with a PCR of 98,68%, while the depth of cut has been determined as the most important variable on F_c with a PCR of 62,43%.

Key Words : Hard turning, surface roughness, cutting force, ANN, regression analysis, Taguchi, ANOVA.

Science Code : 914.3.028

TEŞEKKÜR

Emek ve bilgisiyle bu tez çalışmasının ortaya çıkarılmasında tüm gücüyle yardımcı olan, hiçbir aşamasında beni yalnız bırakmayan tez danışmanım çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Tez çalışmama maddi olarak destek olan Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi'ne, deneysel çalışmalarında yardımını esirgemeyen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Gültekin UZUN'a ve Ostim Meslek Yüksekokulu Öğr. Gör. Ramazan ÇAKIROĞLU'na teşekkür ederim. Çalışmalarında tecrübelerinden yararlandığım KBÜ Meslek Yüksekokulu Öğr. Gör. Nafiz YAŞAR ve KBÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Erdi KORKMAZ'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu tezin ortaya çıkarılma sürecinde benimle birlikte olan ve desteklerini esirgemeyen kıymetli amcam Arş. Gör. Emre YURTKURAN'a, çok değerli arkadaşlarım Şeyma ARSLAN, Ali Rıza Gazanfer ÖZTÜRK ve Mahir AKGÜN'e teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olarak maddi ve manevi hiçbir yardımını esirgemeyen sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.2. MATEMETİKSEL MODELLEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR	10
BÖLÜM 3	16
TALAŞ KALDIRMA ESASLARI VE İŞLENEBİLİRLİK	16
3.1. METAL KESME MEKANİĞİ	16
3.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	18
3.2.1. Yüzey Hatalarının İncelenmesinde Genel Kurallar	19
3.2.2. Yüzey Kalitesinin Değerlendirilmesi	20
3.2.2.1. Ortalama Çizgi Sistemi (M).....	20
3.3.2.2. Zarf Sistemi (E).....	21
3.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri.....	22
3.2.3.1. Yüzey Kalitesini Belirlemede Esas Alınan Sayısal Değerler	23
3.2.4. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler	28

	<u>Sayfa</u>
3.3. KESME KUVVETLERİ	30
3.4. KESİCİ TAKIM	32
3.4.1. Kesici Takım Geometrisi	32
3.4.2. Kesici Takım Malzemeleri	33
3.4.2.1. Yüksek Hız Çeliği	33
3.4.2.2. Sementit Karbür	34
3.4.2.3. Kaplamalı Sementit Karbür	34
3.4.2.4. Sermet	35
3.4.2.5. Seramik	35
3.4.2.6. Çok Sert Kesici Takımlar	36
3.4.3. Kesici Takım Aşınması	37
3.5. İŞLENEBİLİRLİK	37
3.6. DENEYSEL TASARIMI VE MODELLEME YÖNTEMLERİ	40
3.6.1. Taguchi Yöntemi	40
3.6.1.1. Sistem Tasarımı	41
3.6.1.2. Parametre Tasarımı	41
3.6.1.3. Tolerans Tasarımı	42
3.6.1.4. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları	44
3.6.1.5. Uygun Ortağonal Düzenin Seçilmesi	45
3.6.2. Regresyon Analizi	46
3.6.2.1. I. Dereceden (Lineer) Regresyon Modeli	47
3.6.2.2. II. Dereceden Regresyon Modeli	48
3.6.2.3. Logaritmik Regresyon Denklemi	48
3.6.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)	48
3.6.3.1. Biyolojik Sinir Sistemi ve Yapay Sinir Ağları	49
3.6.3.2. Yapay Sinir Ağları Modeli Yapısı	51
3.6.3.3. Transfer (aktivasyon) Fonksiyonu Çeşitleri	53
3.6.3.4. Yapay Sinir Ağları Topolojisi	55
BÖLÜM 4	57
MATERYAL VE YÖNTEM	57
4.1. GİRİŞ	57

	<u>Sayfa</u>
4.2.DENEY MALZEMESİ	57
4.2.1. Deney Malzemesinin Isıl İşlemi	58
4.3. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ	59
4.3.1. Takım Tezgahı ve Kesici Takımlar	60
4.3.2. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı ve Deney Düzeneği	60
4.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı.....	62
4.4. DENEY TASARIMI	63
 BÖLÜM 5	 65
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	65
5.1 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	67
5.2. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	70
5.3. MATEMATİKSEL MODELLEME	74
5.3.1. Regresyon Analizi	74
5.3.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)	75
5.3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi.....	76
5.3.2.2. Esas Kesme Kuvvetinin Modellenmesi	80
5.4. DENEYSEL SONUÇLAR İLE MODEL TAHMİN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	85
 BÖLÜM 6	 97
SONUÇ VE ÖNERİLER	97
 KAYNAKLAR	 100
ÖZGEÇMİŞ	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dik kesme modeli	16
Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri.....	17
Şekil 3.3. Yüzey pürüzlülük profili	19
Şekil 3.4. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi	21
Şekil 3.5. Zarf eğirisinin elde edilişi	22
Şekil 3.6. Ortalama zarf eğrisi.....	22
Şekil 3.7. Yüzey kalitesi için sayısal değerler.....	23
Şekil 3.8. Ordinatlarla R_a 'nın gösterimi	24
Şekil 3.9. Alanlarla R_a 'nın gösterimi	24
Şekil.3.10 On nokta yükseklik hesabı için ortalama ölçümler	27
Şekil 3.11 Yüzey karakteristikleri	28
Şekil 3.12. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler	29
Şekil 3.13. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri	31
Şekil 3.14. Kesici takım geometrisi.	33
Şekil 3.15. Biyolojik sinir hücresinin şematik yapısı.....	50
Şekil 3.16. Yapay nöronun grafik gösterimi	53
Şekil 3.17. Sabit girişlerin YSA modellemesinde gösterimi.....	53
Şekil 3.18. Tam bağlantılı çok katmanlı ağ yapısı	56
Şekil 4.1. Takım tutucu	60
Şekil 4.2. Kistler 9257B dinamometre ve elemanları	61
Şekil 4.3. Deney düzeneği.....	62
Şekil 5.1. Kaplamasız CBN için kesme parametrelerine bağlı R_a 'nın değişimi	67
Şekil 5.2. Kaplamalı CBN için kesme parametrelerine bağlı R_a 'nın değişimi	68
Şekil 5.3. Kistler9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvveti	70
Şekil 5.4. Kaplamasız CBN için kesme parametrelerine bağlı F_c 'nin değişimi.....	71
Şekil 5.5. Kaplamalı CBN için kesme parametrelerine bağlı F_c 'nin değişimi.....	71
Şekil 5.6. CBN kesici takımlarda aşınma fotoğrafları.....	72

Sayfa

Şekil 5.7. Kaplamasız CBN için ağ yapısı	77
Şekil 5.8. Kaplamalı CBN için ağ yapısı	77
Şekil 5.9. Kaplamasız CBN için ağ yapısı	81
Şekil 5.10. Kaplamalı CBN için ağ yapısı	81
Şekil 5.11. Kaplamasız CBN kesici takım için F_c 'nin deney, YSA, RA eğitim ve test sonuçları.....	89
Şekil 5.12. Kaplamalı CBN kesici takım için F_c 'nin deney, YSA, RA eğitim ve test sonuçları.....	90
Şekil 5.13. Kaplamasız CBN kesici takım için R_a 'nın deney, YSA, RA eğitim ve test sonuçları.....	90
Şekil 5.14. Kaplamalı CBN kesici takım için R_a 'nın deney, YSA, RA eğitim ve test sonuçları.....	91
Şekil 5.15. Kaplamasız CBN kesici takımında F_c için YSA ve RA performansı	95
Şekil 5.16. Kaplamalı CBN kesici takımında F_c için YSA ve RA performansı.....	95
Şekil 5.17. Kaplamasız CBN kesici takımında R_a için YSA ve RA performansı.....	96
Şekil 5.18. Kaplamalı CBN kesici takımında R_a için YSA ve RA performansı	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Biyolojik sinir sistemi ve YSA'nın karakteristiği.....	51
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi (%)	57
Çizelge 4.2. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri	63
Çizelge 4.3. Faktörler ve seviyeleri	63
Çizelge 4.4. Deneylerde uygulanan Taguchi L_{32} deney tasarımı	64
Çizelge 5.1. Deney sonuçları	66
Çizelge 5.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları.....	69
Çizelge 5.3. Esas kesme kuvveti için ANOVA sonuçları.....	73
Çizelge 5.4. Kaplamasız CBN takım için her bir nöronun ağırlık değerleri.....	78
Çizelge 5.5. Kaplamalı CBN takım için her bir nöronun ağırlık değerleri.....	79
Çizelge 5.6. Kaplamasız CBN takım için her bir nöronun ağırlık değerleri.....	82
Çizelge 5.7. Kaplamalı CBN takım için her bir nöronun ağırlık değerleri.....	83
Çizelge 5.8. F_c için deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması	85
Çizelge 5.9. R_a için deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması	86
Çizelge 5.10. Test için ayrılan deney sonuçları ile tahmin sonuçları	87
Çizelge 5.11. Kaplamasız CBN takımında F_c için YSA ve RA modeline ait hata kontrol tablosu.	93
Çizelge 5.12. Kaplamalı CBN takımında F_c için YSA ve RA modeline ait hata kontrol tablosu.	93
Çizelge 5.13. Kaplamasız CBN takımında R_a için YSA ve RA modeline ait hata kontrol tablosu	94
Çizelge 5.14. Kaplamalı CBN takımında R_a için YSA ve RA modeline ait hata kontrol tablosu	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

V	: Kesme hızı (m/dak)
f	: İlerleme (mm/dev)
a	: Kesme derinliği (mm)
r	: Kesici takım radyüsü (mm)
R _a	: Ortalama yüzey pürüzlüğü (μm)
R _t	: Maksimum yüzey pürüzlüğü (μm)
R _q	: Geometrik ortalama değeri (μm)
R _z	: Değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalaması (μm)
R _{max}	: Değerlendirme aralığındaki filtre edilmemiş pürüzlülüğün en yüksek çıkıntısı ile en derin girintisi arasındaki mesafe (μm)

KISALTMALAR

YSA	: Yapay sinir ağı (<i>artificial neural network</i>)
YZ	: Yapay zeka (<i>artificial intelligence</i>)
CVD	: Kimyasal buhar çökertme (<i>Chemical vapour deposition</i>)
TiN	: Titanyum nitrür
TiC	: Titanyum karbür
TiCN	: Titanyum karbonitrür
CNC	: Bilgisayarlı sayısal denetim (<i>Computer Numerical Control</i>)
MSE	: Hata kareler ortalaması (<i>Mean squared error</i>)
RMS	: Hata kareler ortalaması karekökü (<i>Root mean square</i>)
MAPE	: Ortalama mutlak yüzde hata (<i>Mean absolute percentage error</i>)
R ²	: Belirlilik katsayısı (<i>Coefficient of determination</i>)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bir ürün kullanılmaya başlamadan önce, istenilen ölçü tamlığı ve yüzey kalitesi gibi özgül karakterleri oluşturmak için döküm, kalıpla biçimlendirme ve çeşitli şekillendirme yöntemleriyle imal edilen bu ürünün parçaları genellikle ilave işlemler ve bitirme işlemleri gerektirir. Bu özgül karakterleri elde edebilmek için uygulanan çeşitli yöntemler genel olarak talaş kaldırma yöntemleri olarak sınıflandırılır. Karmaşık geometriye sahip parçaların imal edilebilirliği döküm, dövme, haddeleme gibi şekillendirme ve kalıpla biçimlendirme yöntemlerine nazaran tornalama, frezeleme, taşlama vb. talaş kaldırma yöntemleri ile daha kolaydır [1,2]. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap vb.) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. Bu bağlamda, takım malzemesi ve geometrisi, iş parçası malzemesi, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği), kesme sıvısı ve takım tezgahı gibi bağımsız değişkenler ile talaş tipi, takım ömrü, kesme esnasında harcanan enerji, kesme sıcaklığı ve yüzey bütünlüğü gibi bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiler iyi değerlendirilmelidir [2].

Farklı geometrilerdeki iş parçalarını talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirebilmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve işlemlere özgü takım tezgâhları geliştirilmiştir. Talaşlı imalat işlemlerinde; kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, enerji tüketimi gibi işleme çıktılarını etkileyen en önemli kesme parametreleri, kesme hızı (V), ilerleme miktarı (f) ve kesme derinliğidir (a). Kesme kuvvetleri, kesici takım performansını doğrudan etkilemesi sebebiyle, talaşlı imalatta önem arzeden hususlardan birisidir. Ayrıca, takım tezgahı imalatı yapanlar için kesme kuvvetlerinin

bilinmesi gerekir. Çünkü, tezgah gücünün ne olması gerektiği bilindiği takdirde tezgahın parçaları kesme kuvvetleri sonucu oluşan gerilmelere dayanabilecek rijitlikte ve titreşimsiz olarak tasarlanabilir. Diğer yandan, kesme kuvvetlerinin kesici takım ömrü ve işlenen yüzeyin kalitesi üzerinde de önemli etkisi vardır.

Günümüzde sertleştirilmiş çelikler, yüksek aşınma dirençleri ve dayanımları nedeniyle birçok uygulamada tercih edilmektedir. Sertleştirilmiş yüksek sertlikteki makina parçaları geleneksel olarak son geometrilerine taşlama işlemiyle getirilirler. Kesici takımlar ve takım tezgahları alanında yapılan gelişmeler sonucu sertleştirilmiş çeliklerin doğrudan tornalama ve frezeleme gibi talaşlı imalat yöntemleriyle işlenmesi mümkün hale gelmiştir [3]. Sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesinde, sert tornalama oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Sert tornalama işlemi, düşük kesme derinliklerinde 45 HRC'den daha fazla sertliğe sahip malzemelerin tornalanması olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem, taşlama işleminin yüksek başlangıç maliyetinden dolayı endüstride rulmanların, hareket ileten millerin, aksların, kalıp malzemelerinin ve çeşitli motor ekipmanlarının imalatında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4,5].

Bu araştırmada;

- Temel talaşlı imalat yöntemlerinden olan tornalama sırasında, kaplamalı/kaplamasız CBN kesici takımlarla DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği malzemesinin farklı kesme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği) işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi,
- Deney tasarım tekniği olarak Taguchi yönteminin kullanılması,
- Deneyler sonucunda elde edilen verilere varyans analizi uygulanarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve esas kesme kuvveti (F_c)'nin en düşük değerleri için en önemli kesme parametrelerinin bulunması,

- Deneysel sonuçlar ışığında esas kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün regresyon analizi (RA) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleriyle matematiksel modellerinin geliştirilmesi,
- Deney sonucunda elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü verilerinin, geliştirilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü modelleri ile karşılaştırılması ve dolayısıyla geliştirilen modellerin uygulanabilirliğinin tespiti amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar, talaşlı imalat işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin modellenmesi, takım ömrü ve aşınması üzerine çalışmaların mevcut olduğu ancak daha verimli kesme modellerine ulaşılabileceği, daha anlaşılabilir kavramlarla, karmaşık analitik yapı içermeyen modeller elde edilebileceğini düşünmektedirler. Ayrıca konunun geliştirilebilirliği açısından son zamanlarda bu durum ilgi odağı haline gelmiştir.

Uygun kesici takım ve kesme parametreleriyle, iş parçası malzemesinin yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi adına araştırmalar, deneyler yapılmıştır. Maliyeti minimuma indirmek, zaman sarfıyatı ve diğer sebeplerin önüne geçmek için yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım ömrü gibi işleme çıktılarının tahmini için matematiksel modeller geliştirilmiştir. İşleme sırasındaki olayların pek çoğu oldukça karmaşık ve çok sayıda faktörün etkileşiminin sonucu olması nedeniyle yüksek işleme performansına erişilmesi güç olabilir. Bu sorunların üstesinden gelmek için araştırmacılar işleme sırasındaki şartları simüle etmeyi ve çeşitli faktörler ile istenilen ürün özellikleri arasında sebep sonuç ilişkilerinin kurulabilmesini amaçlayan modeller önermektedirler. Literatürde, bu modellerin birçok örneğini görmek mümkündür.

2.1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Dövme, dökme, haddeleme vb. yöntemlerle üretilen metal parçaların %80'ninden fazlası son biçim ve boyutlarına talaşlı üretim yöntemleriyle getirilirler. Bu açıdan bakıldığında talaşlı üretim, imalat sektöründe üretim aşamasında önemli bir rol oynamaktadır. Talaşlı imalat alanında, kesme kuvvetleri, takım aşınması, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Ayrıca kesici takım geometrisi ve aşınma üzerine de çalışmalar devam etmektedir.

Kesici takımın bozulması genellikle aynı anda çok farklı aşınma mekanizması tarafından etkilendiği için çok karmaşık bir olaydır [6].

Talaş kaldırma teorisi ve malzeme bilimi üzerine yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Chou ve Song, AISI 52100 çeliğinin sert tornalama işleminde takım ucu radyüsünün etkilerini incelemiştir. Takım ucu radyüsü geometrik bir parametre olduğu için, özellikle beyaz tabaka oluşumunun sert tornalama üzerindeki etkileri üzerinde durulmuştur. Kesici takım radyüsündeki artışla birlikte kesilmemiş talaş kalınlığının azalacağı vurgulanmıştır. Buna bağlı olarak kesme gücünde bir azalma meydana geldiği dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği belirtilmiştir [7].

Remadna ve Rigal, CBN kesici takımla alaşımlı çeliğin (52 HRC, 1900 MPa), sert tornalanması sırasında oluşan takım aşınması ve kesme kuvvetlerinin gelişimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarının kesici takım aşınmasına etkilerini incelemiştir. Çalışmanın amacı, sertleştirilmiş çeliklerin CBN takımlarda işlenmesinde uygun parametreleri tanımlamaktır. Çalışma sonucunda sert tornalamada iyi bir yüzey kalitesi (0,64µm) elde edilmiştir. Bu değere bağlı olarak, sert tornalamada iş parçası-takım etkileşiminin doğru tanımlanması iyi bir yüzey için kriter olarak görülmüştür. [8].

Hong Yan vd., sert tornalama işleminde AISI H13 kalıp çeliğinin kayma gerilmesini incelemiştir. H13 kalıp çeliğini sert tornalama işleminde, kayma gerilmesini bulmak amacıyla bir model oluşturmuşlardır. Bu model, gerginlik, gerginlik oranı ve ısı yumuşatma etkilerini birleştiren Johnson-Cook modelinden yararlanılarak yapılmıştır. Önerilen bu model tahmin edilen çip morfolojileri ve kesme kuvvetleri, deneysel sonuçlar ile yayınlanan sonuçlar ile uyum içindedir. Sonuç olarak, farklı sertliklerde işlenen AISI H13 sıcak iş takım çeliğine karşılık gelen aşınma gerilmesini ve deformasyon tepkisini tahmin etmek için bu model kullanılabilir [9].

Grzesik ve Zak, Al_2O_3 -TiC seramik uçlar kullanarak, 41Cr4 düşük alaşımlı çeliğin, sert tornalanması ve süperfiniş işlemleri kullanarak yüzey modifikasyonu ile

parlatma üzerine bir çalışma yapmışlardır. Farklı kesme parametreleriyle en düşük yüzey kalitesi elde etmeye çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, yüksek kalitede sertleştirilmiş parçalar üretmek isteyen geleneksel tornalama ve taşlama işlemleri için bir alternatif olarak literatürdeki yerini almıştır. Bilyalı parlatma işlemi boyunca yüzey pürüzlülüğünün iyileşme yüzdesi yaklaşık %40'tan %95'lere kadar çıktığını belirtmişlerdir [10].

Bartarya ve Choudhury, sert tornalamada son teknoloji başlıklı bildirilerinde, sert tornalamada üzerine bir çalışma yapmışlardır. Araştırma sonucunda, radyal kuvvetin geleneksel işlemede kuvvet ve sürtünme koşulları üzerinde etkili olduğunu ancak sert tornalamada hala alınması gereken önlemler olduğunu belirlemişlerdir. Sert tornalamada, soğutma sıvısının etkin kullanılması durumunda, yanak aşınmasının büyüme hızını yavaşlattığını, aynı zamanda bu etkin kullanımın çekme kalıntı gerilmelerini kontrol altında tutmaya da faydalı olabileceğini vurgulamışlardır [11].

Kumar vd., tarafından yapılan çalışmada, karma ve zirkona takviyeli seramik kesici takımlarla, sertleştirilmiş EN 24 iş parçasının işlenebilirliği incelenmiştir. Araştırma sonucunda kesme hızının artmasıyla, kesici kenar aşınmasının arttığı ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı belirtilmiştir. Abrasiv aşınma mekanizmasının, kesici takım yan yüzeyindeki aşınma için etkin aşınma mekanizması olduğu vurgulanmıştır [12].

Abukhshim vd., yüksek dayanımlı alaşımlı çeliğin (AISI/SAE-4140) yüksek hızda tornalanmasında oluşan ısı dağılımını araştırmışlardır. Metallerin yüksek kesme hızlarında işlenmesiyle, iş parçasındaki ısıl yumuşamanın artarak birincil kayma düzleminde yüksek sıcaklıklar oluşturduğunu ve bundan dolayı kesme kuvvetlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Bu bilgiye dayanarak yüksek dayanımlı alaşımlı çeliğin, yüksek hızda tornalanmasında, kesici takımdaki ısı dağılım miktarının tahmini üzerine bir çalışma yapmışlardır. Takım talaş arayüzeyinde kesici takıma iletilen ikinci ısı kaynağı oranının kesme hızıyla önemli ölçüde değiştiğini gözlemlemişlerdir [13].

Dalhman vd., sert tornalama işleminde oluşan kalıntı gerilmeler üzerine eğim açısı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde, takım geometrisinin yanı sıra kesme parametrelerinin kalıntı gerilmelere etkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Deneyler sonucunda, kesme derinliğinin kalıntı gerilmeleri etkilemediği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, artan ilerleme miktarının kayda değer bir şekilde yüksek basma gerilmeleri oluşturduğu belirlenmiştir [14].

Bosheh ve Mativenga, CBN takım kullanarak yüksek kesme hızlarında DIN 1.2344 takım çeliğinin sert tornalanması esnasında beyaz tabaka oluşumu üzerine bir araştırma yapmışlardır. 54-56 HRC sertliğine getirilen çubuk malzemeler, 0,05 mm/dev ve 0,1 mm/dev ilerleme hızında ve düşük kesme derinliğinde farklı kesme hızlarıyla işlenmiştir. CBN uçlar kullanılarak sertleştirilmiş takım çelikleri için tavsiye edilen kesme verileri (50 HRC sertlik ve üzeri için) 96-102 m/dak kesme hızı, 0,2-0,25 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme hızı olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, beyaz tabakanın hızlı soğutma veya hızlı ısıtma işlemlerinden kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca CBN takımlarla yüksek hızda talaş kaldırmanın beyaz tabaka eğilimini arttırabileceğini belirtmişlerdir [15].

Attanasio vd., AISI 52100 çeliğin sert tornalanması esnasında beyaz ve koyu tabaka oluşumunun takım aşınmasına etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, bu oluşumun takım aşınmasına etkisinde kesme hızının belirleyici parametre olduğu bulunmuştur. Ayrıca, beyaz ve koyu tabakaların kalınlığının kesici takım yan yüzey aşınmasını artırdığını belirtmişlerdir [16].

Suresh vd., kaplamalı karbür kesici takım kullanarak AISI 4340 çeliğin sert tornalaması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin farklı kesme parametreleri ile sert tornalanmasında kesme kuvvetleri değişimi incelenmiştir. Kesme kuvvetinin önce ilerleme hızı ve talaş derinliği ile arttığı, daha sonra kesme hızı artışı ile azaldığı görülmüştür. Kuvvetlerdeki azalmanın, muhtemelen kayma düzlemi alanındaki sıcaklık artışı nedeniyle meydana geldiği vurgulanmıştır [17].

Aouici vd., H11 çeliğinin CBN kesici takım ile tornalamada yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri değişimini incelemişlerdir. Araştırmacılar, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün tahmin modelinin yanısıra kesme şartlarının optimizasyonu için deneyler yapmışlardır. Çalışma sonucunda en iyi yüzey pürüzlülük değerinin, düşük ilerleme hızı ve yüksek kesme hızında ortaya çıktığı görülmüştür. Kesme derinliğinin, ilerleme kuvveti (F_f) ve kesme kuvveti (F_c)'ni sırasıyla, (%56,77) ve (%31,50) etkilediği tespit edilmiştir. Diğer yandan, kesme hızının kesme kuvvetleri üzerinde çok küçük bir etkiye (%0,14) sahip olduğu vurgulanmıştır [18].

Günay vd., kesici takım talaş açısının esas kesme kuvveti üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğini kesme parametresi olarak seçerek, AISI 1040 çeliği üzerinde tornalama deneyleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda, tüm kesme hızları için esas kesme kuvvetinin negatif talaş açıları için yüksek olduğu, esas kesme kuvveti için ampirik ve deneysel sonuçların benzer bir eğilim sergilediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, küçük kesici takım talaş açıları (-2.5° , 0° ve 2.5°) kullanıldığında ampirik ve deneysel sonuçlar arasındaki sapmanın da küçük olduğu belirtilmiştir [19].

Turgut ve Korkut, frezeleme işlemlerinde kesme kuvvetlerini ölçmek için yüksek kapasiteli üç bileşenli dinamometrenin tasarımı, kurulumu ve kalibrasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, dinamometrenin hem kesme hem de bağlama kuvvetlerinde doğru ölçüm sağladığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, yük hücrelerinin yüksek ölçme kapasitesine (20 kN) sahip olmasına bağlı olarak, kuvvet ölçme sistemin ağır ve hafif kesme koşullarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir [20].

Günay, AISI 1040 çeliğinin işlenmesinde, yüzey kalitesi ve talaş açısı arasındaki etkileşimin incelenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Deneylerde kesme derinliği ve ilerleme miktarı sabit tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda negatif talaş açısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Pozitif talaş açılarında 10° 'ye kadar yüzey kalitesinde bir iyileşme olurken, talaş açısının artırılması ile birlikte yüzey kalitesindeki iyileşmenin önemli miktarda olmadığı belirlenmiştir [21].

Altinkaya ve Güllü, AISI 316 Östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde talaş kırıcı formunun takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deneyler, CVD yöntemiyle üç katman TiN/TiCN/Ti kaplanmış üç değişik talaş kırıcı formlu karbür takım kullanılarak, AISI 316 östenitik paslanmaz çelik üzerinde parmak frezeleme ile işlenerek yapılmıştır. Deneyler sonucunda, uygun talaş kırıcı formu, takım ve talaş arasındaki temas uzunluğunu sınırladığı için, talaşı daha çabuk uzaklaştırdığı görülmüştür. Böylelikle ısı oluşumu azalmış ve takımın kaldırabileceği talaş miktarı artmıştır [22].

Demir vd., sertleştirilebilir paslanmaz takım çeliği Stavax ESR (AISI 420 ESR) üzerine işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Deneyler tornalama işlemiyle altı farklı kesme hızı (160, 200, 240, 280, 320 ve 360 m/dak), dört farklı ilerleme miktarı (0,05, 0,10, 0,15 ve 0,20 mm/dev) ile 1 mm kesme derinliğinde soğutma sıvısı kullanmadan yapılmıştır. En düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin sırasıyla 0,05 ve 0,10 mm/dev ilerleme miktarlarında, 240 ve 280 m/dak kesme hızlarında oluştuğunu belirlemişlerdir [23].

Lalwani vd., MDN 250 çeliğinin sert tornalanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. MDN 250 çeliğinin sert tornalanmasında ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğinin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisini kaplamalı seramik takımlar kullanarak incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin 55 m/dak ile 93 m/dak arasında çok fazla değişiklik göstermediğini belirlemişlerdir. Ayrıca kesme kuvvetlerinin tahmini olarak bulunması için bir matematiksel model ortaya koymuşlardır [24].

Sadık, geliştirilmiş ve farklı sertleştirilmiş çeliklerin CBN uçlarla sert tornalanmasında kesme kuvvetleri ve aşınma üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda, sertleştirilmiş çeliğin kalıntı östenit ve işlenebilirliği arasında net bir ilişki olmadığı belirtilmiştir. Metalik bağlayıcı içeren sertleştirilmiş çeliklerin hızlı aşınmasının geliştirilmesi/önüne geçilmesi adına CBN uçların kombinasyonun önemli olduğu, takım ömrü üzerindeki indüksiyon sertleştirme ve sementasyon süreçlerinin etkisinin birbirine çok benzer olduğu gözlemlenmiştir [25].

Sahoo vd., Kaplamasız ve çok katmanlı kaplamalı karbür uçlar kullanarak AISI 4340 çeliğin sert tornalamansı üzerine deneysel araştırmalar yapmışlardır. Araştırmacılar, çok katmanlı karbür uçlarla sert tornalama yapıldığında ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerini (1,6 μm) önerilen aralıkta bulmuştur. Çalışma sonucunda, çok katmanlı kaplamalı karbür kesici uçlarla kesme yaparken, en iyi performansı sağlayan parametreler olarak, kesme hızı (150 m/dak), ilerleme (0,15 mm/dev), ve kesme derinliği (0,4 mm) şeklinde tespit etmişlerdir [26].

Oliviera vd., PCBN ve whisker takviyeli kesici takımlarla, 56 HRC sertliğinde AISI 4340 çeliğinin, sürekli ve kesikli sert tornalama ile takım ömrü ve termal kararlılık değerlerini incelemişlerdir. En iyi takım ömrünü sürekli tornalama ve PCBN kesici takım ile elde etmişlerdir. Ayrıca, sürekli ve kesikli tornalama için de en iyi termal kararlılığın PCBN takım ile oluştuğunu gözlemlemişlerdir [27].

Bartarya ve Choudhury, AISI 52100 çeliklerin finiş tornalanması sırasında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Cevap yüzey yöntemine göre yapılan deneyler sonucunda, kesme kuvvetlerinin önce azaldığı ve daha sonra kesme hızı artışı ile arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizlerde, kesme kuvvetleri üzerinde en etkin parametrelerin kesme derinliği ve ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir [28].

2.2. MATEMATİKSEL MODELLEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [29].

Kesme kuvvetlerinin modellenmesi metal kesme teorisinin çalışma alanlarından birisidir. Kesme kuvvetlerini etkileyen birbiriyle ilişkili çok sayıda parametrenin varlığı, bu alanda bir matematiksel model geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu zorlukları ortadan kaldırabilmek veya minimuma indirebilmek için yapay sinir ağı (YSA), bulanık uzman sistem, bulanık sinir ağı gibi yapay zekâ dallarını kullanan

modelleme çalışmaları yapılmıştır [30,31]. Diğer yandan, kesme şartlarına göre değişen ve özellikle kesici takım aşınmasından çok fazla etkilenen işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma işlemlerinin verimliliği için önemli bir diğer faktördür. Literatürde yapılan çalışmalarda, yüzey pürüzlülüğünün tahmini için kullanılan en yaygın yöntemler, çoklu regresyon analizi, bulanık küme tabanlı teknikler, YSA modellemesi yöntemleridir [32]. Bu yöntemler kullanılarak yapılan çalışmaların bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Günay ve Yücel, yaptıkları çalışmada, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirin CBN ve seramik kesici takım ile tornalanmasında optimum yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için Taguchi yöntemine dayalı işleme deneyleri yapmışlardır. 62 HRC ve 50 HRC sertlikteki malzemede sert tornalama işleminde, sinyal gürültü oranı (S/N) ve varyans analizi (ANOVA) gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre Taguchi yönteminin, başarılı bir optimizasyon tekniği olduğu yinelenmiştir. Ayrıca, en küçük R_a değerleri CBN takım ile işlemede, 62 HRC ve 50 HRC’de sırasıyla, 0,262 μm , 0,280 μm olarak ölçülmüştür [33].

Sakarya ve Göloğlu, Taguchi yöntemi ile cep işlemede kullanılan takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kullanılan dört farklı parametre ve her bir parametre için dört farklı seviye için Taguchi’nin L_{16} dikey dizisi seçilmiştir. Ceplerin kaba işlenmesi için, son talaşta kullanılacak kesiciler ile aynı özelliğe sahip farklı bir kesici kullanmışlardır. En iyi seviye değerleri seçilerek yapılan işleme sonrası pürüzlülük değerlerinin, en ideal seviyede olacağı öngörülmüştür. En ideal takım yolunun spiral takım yolu olduğu belirtilmiştir. Bu sonucun nedenleri, kullanılan diğer iki takım yolunda (tek yönlü ve zigzag) oluşan talaş, kesiciden kesme hareketiyle kolay uzaklaşabilirken, spiral takım yolunda oluşan talaş kesici etrafında kalarak cep yüzeyi üzerinde istenmeyen izleri oluşturması, kesici üzerinde oluşan aşınmalar, yüzey pürüzlülük ölçüm yerlerinin aynı sağlanamaması olarak vurgulanmıştır [34].

Günay vd., Ti-6Al-4V alaşımasının frezelenmesinde Taguchi yönteminin “en küçük en iyi” yaklaşımını kullanarak işleme parametrelerinin optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deneylerde, L_9 dikey dizinine göre belirlenen deney tasarımı uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre, bileşke kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ilerlemenin artmasıyla artarken kesme hızının artmasıyla azalmıştır. Hem bileşke kesme kuvveti (F_r) hemde yüzey pürüzlülüğü (R_a) için optimum kesme şartları 180 m/dak kesme hızında ve 250 mm/dak ilerlemede elde edilmiştir. Ayrıca, deneysel veriler kullanılarak regresyon analizi yöntemiyle R_a ve F_r 'nin tahmin edici model geliştirilmiştir [35].

Zain vd., parça işleme performansı ve minimum değerleri tahmin etmek için regresyon analizi ve YSA modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen iki modelde, en az R_a değeri tahmininde YSA ile karşılaştırıldığında regresyon analizinin daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür [36].

Çaydaş ve Haşçalık, yapay sinir ağları ve regresyon analizi yöntemi kullanılarak aşındırıcı su jeti (ASJ) ile işleme sürecinde yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Doğrulama üzerinde öngörülen işlem parametrelerinin gerçek performans sonuçları ile sıkı bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Ancak, yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen regresyon modelinin YSA modeline göre biraz daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür. ANOVA sonuçlarına göre ASJ'de en etkin parametre %70,89 ile su jeti basıncı olarak belirtilmiştir [37].

Hessainia vd., sert tornalamada kesme parametreleri ve takım titreşimlerine dayalı yüzey pürüzlülüğü tahmini üzerine bir araştırma yapmışlardır. Deney malzemesi olarak 42CrMo4 (56 HRC) çelik kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, cevap yüzey yönteminin işlenmiş yüzey pürüzlülüğü tahmininde yararlı olduğu görülmüştür. Varyans analizi (ANOVA) verilerine göre, kesme hızı ve ilerleme hızının işlenmiş yüzeylerin pürüzlüğünde önemli bir rol oynadığı saptanmıştır. Bununla birlikte, kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde hiçbir etkisi olmadığı ileri sürülmüştür [38].

Asiltürk ve Çunkaş, yapay sinir ağları ve çoklu regresyon yöntemi kullanılarak tornalama operasyonlarında yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli geliştirmişlerdir. Deneylerde, AISI 1040 çeliği kullanılmış olup kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği işleme parametreleri olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda, çoklu regresyona kıyasla YSA'nın avantajları basitlik ve sonuca daha hızlı ulaşmak olarak görülmüştür. Öğrenme kapasitesi göz önüne alındığında, YSA'nın yüzey pürüzlülüğünü öngörmede güçlü bir araç olduğu belirlenmiştir [39].

Karayel, yapay sinir ağı kullanarak tornalama operasyonunda yüzey pürüzlülük kontrolü üzerine bir araştırma yapmıştır. YSA tahminleri sonucunda, ilerleme hızının baskın bir parametre olduğu ve ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme derinliği etkisinin düzenli olmadığı ve değişken bir yapıya sahip olduğu vurgulanmıştır [40].

Özlü, kesme işlemleri sırasında metallerin gerçek mekanik ve dinamik davranışlarını temsil eden analitik modellerin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Dik ve eğik kesme süreçleri için, analitik modeller geliştirdiği gibi, kesici takım ucu radüsünün dikkate alındığı durumlar için bir ilk yaklaşım modeli önermiştir. Önerilen modellerde, çok az sayıda deneyle sürtünme ve malzeme modeli katsayıları kalibre edilebildiğini göstermiştir. Metal kesme işlemlerindeki diğer önemli bir husus olan kesme sırasındaki dinamik davranış için, dinamik kesme sürecini çok boyutlu bir şekilde ele alan bir kararlılık modeli ortaya koymuştur [41].

Pontes vd., Taguchi dikey dizileri kullanarak sabit tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünün tahmini için radyal temelli fonksiyonların sinir ağı optimizasyonu ile bir çalışma yapmışlardır. AISI 52100 sertleştirilmiş çeliğin tornalanmasında yüzey pürüzlülük tahmini için radyal temel fonksiyonu (RBF) mimarisinin sinir ağlarının tasarımında etkin bir araç olduğunu kanıtlamışlardır. Deney tasarım metodolojisinin kullanımı RBF ağları ile tasarlanmıştır. Bu durumun, sert tornalamada yüzey pürüzlülük tahmini için etkin, verimli ve ekonomik bir alternatif olabileceği vurgulanmıştır [42].

Özel ve Karpat, sert tornalamada yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının regresyon analizi ve yapay sinir ağları kullanılarak modellenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü ve takım yanak aşınması deneysel verilerini yapay sinir ağı modelleri oluşturmak için kullanmışlardır. Kesme hızı verilerinde, tek bir giriş ve çıkış katmanından oluşan sinir ağı modelleri ile iki çıkış katmanından oluşan sinir ağı modelleri daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [43].

Rapetto vd., yapay sinir ağı kullanılarak, normal, kuru, sürtünmesiz, kaba temasta gerçek temas alanının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. YSA modellerinin, veri kümeleri ve giriş parametrelerinin analizi ile giriş parametrelerinin kümesinin eğilimlerini tespit etmek için çok güçlü bir araç oldukları öne sürülmüştür. Yapay sinir ağları ve simülasyon araçları, yapay zeka tekniklerinin tribolojik olayların modellenmesinde bir ilk adım olabilecekleri vurgulanmıştır [44].

Parakkal vd., tornalamada kullanılan talaş kırıcı uçlar için kesme kuvvetlerini tahmin eden bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde eğik kesme şartlarını ortogonal kesme işlemi gibi kabul etmişlerdir. Böylece kesici takımın burun yarıçapı ve talaş akış etkilerini eşdeğer talaş kırıcı parametrelerinin tanımlanmasıyla birleştirmişler ve iş parçası malzemesi olarak AISI 1018 çelik malzeme kullanmışlardır. Model sonuçları ile deneysel kesme kuvveti ölçümleri arasında çok iyi bir uyumun olduğu gözlemlenmiştir. Geliştirdikleri modeli ayrıca, kesme kuvvetleri üzerindeki kesme şartları ve talaş kırıcı parametreleri gibi etkilerin incelenmesi amacıyla da kullanmışlardır [45].

Benardos ve Vosniakos, Taguchi deney tasarımı ve sinir ağları kullanarak CNC yüzey frezelemede yüzey pürüzlülüğünün tahmini üzerine bir araştırma yapmışlardır. YSA'nın tüm parametrelerle doğrudan doğruya meşgul olmadan, sorunların çözümünde güçlü bir araç olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca YSA'nın, yüzey pürüzlülüğünün en iyi tahmini ve doğruluk oranının çok yüksek olduğuna istinaden, güçlü ve güvenli bir kaynak olduğu belirtilmiştir [46].

Davim vd., yaptıkları çalışmada sementit karbür uç kullanılarak makine çeliğinin işlenmesi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için deneyler

yapılmışlardır. Deneyler, Taguchi L_{27} ortogonal dizisine göre yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre geliştirilen YSA modellerinde, ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliği girdi, yüzey pürüzlülüğü çıktı olarak kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü azaltmak için geliştirilen YSA modelleri sonucunda en fazla etkiye kesme hızı ve ilerleme miktarı en düşük etkiye ise kesme derinliğinin sahip olduğu belirtilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının artması ve ilerleme miktarının azalmasıyla doğru orantılı olarak azalma eğiliminde olduğu görülmüştür [47].

Nalbant vd., AISI 1030 çeliği malzemenin PVD ve CVD sementit karbür uçlar kullanarak tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme parametrelerinin etkileri üzerine bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Kesme parametreleri olarak, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40 ve 0,45 mm/dev ilerleme miktarı, 100, 200 ve 300 m/dk kesme hızı seçilmiştir. Çalışma, sabit kesme derinliğinde (2 mm) soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda gerçek ölçümler ile YSA tahminleri arasında kabul edilebilir bir doğruluk gözlemlenmiştir [48].

Reddy vd., eğrisel yüzey tornalama için mekanik bir kuvvet modeli geliştirmişlerdir. Takım geometrisi, iş parçası geometrisi ve takım yolu gibi işleme parametrelerinin bir fonksiyonu olarak talaş yükü, talaş kalınlığı, talaş genişliği ve efektif yanalma açısı gibi mekanik model parametrelerini değerlendirmek için analitik çözümler önermişlerdir. Kesme kuvvetleri üzerinde, bu parametrelerin etkisini analiz etmişler ve modelin kalibrasyonu için bir dizi deneysel çalışma yapmışlardır. Modelin geçerliliği için içbükey ve dışbükey yüzeyleri olan iş parçası kullanmışlardır. Modelin simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlarla büyük bir uyum içinde olduğunu göstermişlerdir [49].

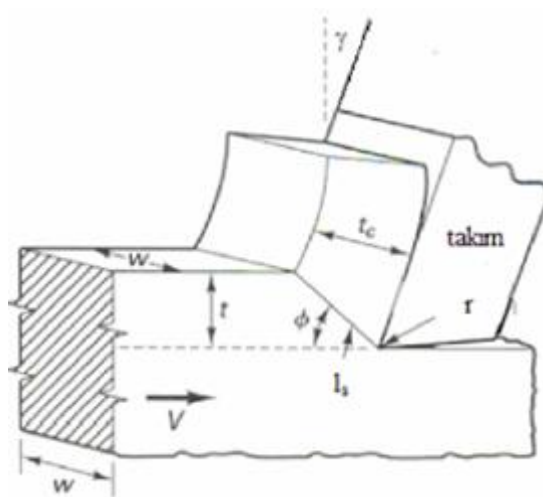
BÖLÜM 3

TALAŞ KALDIRMA ESASLARI VE İŞLENEBİLİRLİK

3.1. METAL KESME MEKANİĞİ

Metal kesme mekaniği şu ana kadar tam olarak anlaşılamamış olup endüstri, üniversite ve laboratuvar araştırmalarının işleme sürecinin modellenmesi üzerindeki çalışmaları halen devam etmektedir [50]. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için metal kesme mekaniğinin tanımlanmasında genellikle iki boyutlu ortogonal (dik) kesme modeli kullanılır (Şekil 3.1). Bu model basit olmasının yanı sıra talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar [51].

Dik kesme işleminde, kesici takım kenarı iş parçası-takım hareket yönüne göre dik olarak hareket eder. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesi değerinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir.



t : deforme olmamış talaş kalınlığı

t_c : deforme olmuş talaş kalınlığı

w : iş parçası genişliği

r : kesici takım uç radyüsü

l_s : kayma düzlemi uzunluğu

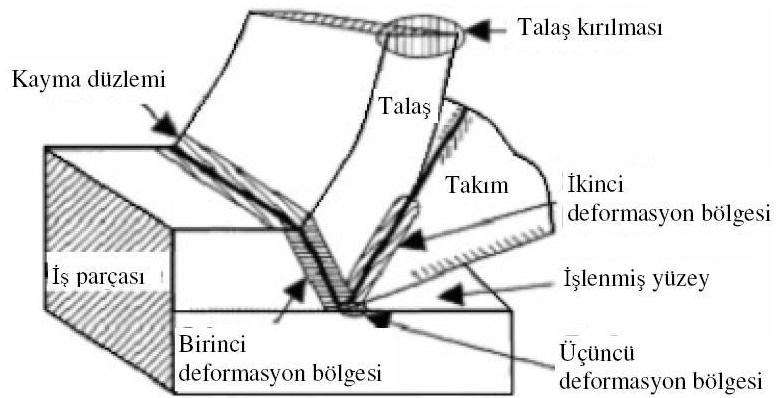
ϕ : kayma düzlemi açısı

γ : kesici takım talaş açısı

V : iş parçası ilerleme yönü

Şekil 3.1. Dik kesme modeli [1].

Gerçekte talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir. Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir [53]. Dik kesme işlemi sırasında oluşan işleme sürecinde üç deformasyon bölgesi oluşmakta olup bunlar Şekil 3.2’de görülmektedir. İş parçasının kesici takım önünde hareketiyle oluşan kayma düzleminde meydana gelen deformasyon birinci deformasyon bölgesidir. İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Sürtünme kuvveti ve takım-talaş teması boyunca meydana gelen basınçtan kaynaklanan takım-talaş ara yüzeyindeki deformasyon, ikinci deformasyon bölgesidir. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken basınca bağlı oluşan yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır. İşleme sürecinin anlaşılmasında ikinci deformasyon bölgesinin önemi büyüktür. Bu bölgenin kalınlığı gerilme, gerinim ve sıcaklıktan çok fazla etkilenir. Bu nedenle ikinci deformasyon bölgesi, maksimum kayma gerilmesi, maksimum kayma gerinim oranı ve talaştaki sıcaklığın en yüksek olduğu yer olarak varsayılmaktadır. Üçüncüsü, işlenen yüzeye kesici takım yan yüzeyinin teması sonucunda oluşan sürtünmenin etkisiyle meydana gelen deformasyondur ve üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılır [53,54].



Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri [53].

3.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaş imalat sırasında işleme yöntemine, kesici takım cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve kesici-iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal (anma) yüzey çizgisinin altında veya üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [55]. Farklı parçaların bir araya gelmesiyle oluşan ürün kalitesi ve endüstriyel makinaların performansını arttırmak, yeterli seviyede hassas işlenmiş yüzeyleri gerektirmektedir. Aynı malzemenin, farklı talaşlı imalat yöntemleriyle aynı yüzey pürüzlülük değerinde işlendiği, bazen bunların korozyon, sürtünme, aşınma ve yorulma dayanımı olarak farklı davranışlar gösterdikleri bilinmektedir. Yüzeylerin pürüzlülüğünden başka, yüzeydeki işleme izlerinin yönü ve dağılımları malzemenin performansını önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle talaşlı imalat ile işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlükleri değerinin yanısıra işleme yönteminin de belirtilmesi istenir [55,57]. Bununla birlikte pürüzlülük; yüzey sürtünmesine sebep olan temas, aşınma, ışık yansıtma, ısı iletimi, yağ filminin tutulması ve dağıtılması kabiliyeti, kaplama veya direnç ömrü gibi parçaların çeşitli fonksiyonel özelliklerini de etkiler. Bu sebeplerden dolayı, makine parçalarının yüksek veya istenen kalitede imalatı için uygun bir yüzey pürüzlülük değeri elde etmek gerekir.

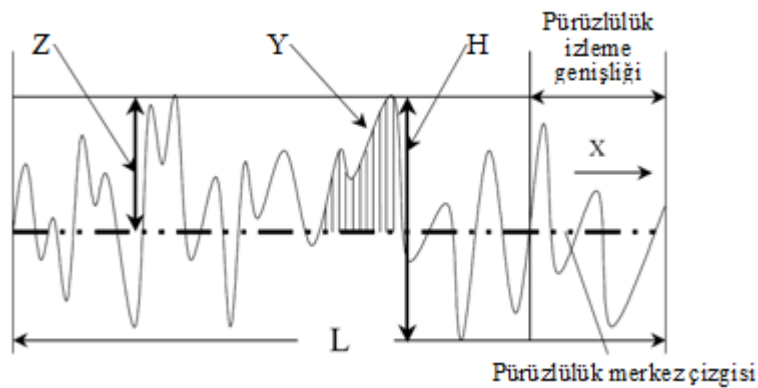
Talaş kaldırarak şekillendirme sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğüne birden fazla faktörün etkisi bulunmakla birlikte; talaş kaldırmada etkili olabilecek en önemli parametrelerler aşağıdaki gibi özetlenebilir [55]:

- Bağlamadan dolayı işlenen malzemede oluşan deformasyon,
- İlerleme mekanizmasındaki düzensizlikler,
- İşlenen malzemedeki yapı bozuklukları,
- Kırılgan malzemelerin işlenmesi sırasında düzensiz talaş akışı,
- Kolay şekillendirilebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında işlendiği zaman, işlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
- Kesme hızında meydana gelen düzensizlikler,

- İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- Kesme esnasındaki kesme derinliği,
- Kesici takımın soğutulma ve yağlanma koşulları,
- İşlenen malzemenin kimyasal bileşimi ve metalürjik (atomik) yapısı,
- Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- Takım tezgâhının tipi, rijitliği ve çalışma şartları,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- İşlenen malzemeden talaş kaldırma şekli,
- Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklar, vb.

3.2.1. Yüzey Hatalarının İncelenmesinde Genel Kurallar

Talaş kaldırma yöntemleri ile elde edilen bir parçanın yüzeyi üç boyutlu bir uzaya sahip olduğundan, bir yüzeyin hatasız kabul edilen başka bir yüzeye göre incelenmesi üç boyutlu bir geometri problemidir. Ancak yüzeye dik alınan bir kesit düzlemi üzerinde hata profillerinin incelenmesi ile problem iki boyuta indirgenebilir. Bu durumda pürüzlülüğün derecesi, seçilen bu düzlemin konumuna bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğü profilinde genel olarak oluşabilecek dalgalılık ve pürüzlülüğün iki boyuta indirgendiği grafik Şekil 3.3'te verilmiştir. Burada Y, profil eğrisini, X, profil yönünü; Z, ortalama pürüzlülük yüksekliğini; L, örnekleme uzunluğunu ve H, profil yüksekliğini göstermektedir.



Şekil 3.3. Yüzey pürüzlülük profili [58].

İşlenen yüzeylerde, pürüzler doğrultusunda ölçüm yapılırsa elde edilen pürüzlülük değerinin, pürüzler doğrultusuna dik yapılan ölçümle elde edilene göre daha az olması doğaldır. Bu, tek doğrultulu pürüzlü yüzeyler için doğrudur. Çok yönlü karmaşık izlerde, iki ayrı yönde yapılan ölçüm sonuçları arasındaki fark daha az olur. Tek yönlü izlerin olduğu yüzeylerde, herhangi bir yön belirtilmediğinde pürüzlülük ölçümleri iz doğrultusuna dik yapılmalı, çok yönlü izlerde ise birkaç değişik yönde yapılan ölçümlerin ortalaması alınmalıdır. Tatmin edici bir değer vermesi için esas pürüzlülük izlerinin dalga boyu ne kadar büyük ise, numune uzunluğu o kadar büyük alınmalıdır. Yüzey tamlığı numarası; taşlama, honlama gibi farklı yöntemlerle üretilen, fakat eşit pürüzlülük değerine sahip yüzeyler arasındaki yapı farklılıklarını göstermez. Bunun için yüzeylerin grafiklerinin çizilmesi gereklidir [59]. Pürüzlülük değerleri, sınıf ve numaraları TS 2040 EN ISO 1302 ile standartlaştırılmış ve imalat yöntemine göre işleme izleri; izdüşümü düzlemine paralel, dik, her iki yönde çapraz, çok yönlü dairesel ve radyal olarak sınıflandırılmıştır [60].

3.2.2. Yüzey Kalitesinin Değerlendirilmesi

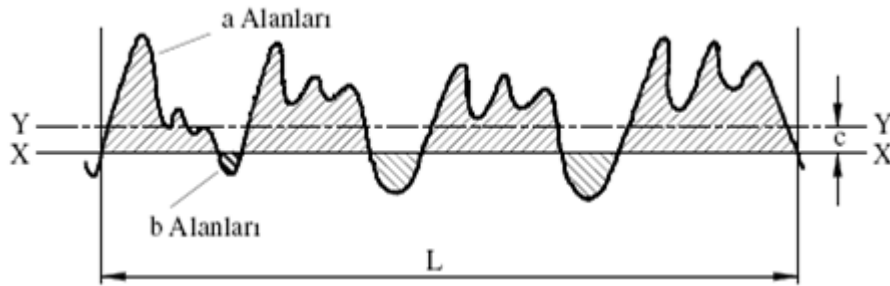
Yüzey kalitesi ölçme problemini çözmek için, üç boyuttan iki boyuta indirmek ve grafik ortalamalarıyla sonucu göstermek mümkün olmasına rağmen, tasarımcının bu şekilde gerekli olan yüzey kalitesini açıkça belirleyebilmesi pratik bir yöntem değildir. Grafik yöntemini, üretim mühendisi ve/veya kalite kontrol elemanı kolayca yorumlayamaz. Bu yüzden ihtiyaç duyulan husus, yüzeyin fonksiyonel özelliklerine ait bazı ilişkilerin yer aldığı ve sayısal olarak yorumlanabilmesidir. Yüzey kalitesinin sayısal değerlerinin belirlenebileceği iki yöntem otoritelerce kabul edilmiştir. Bunlar; ortalama çizgi ve zarf sistemi olarak bilinmektedir [61].

3.2.2.1. Ortalama Çizgi Sistemi (M)

Ortalama çizgi, elde edilen geometrik profili onaylayan bir yöntem olarak tanımlanabilir. Bu yöntemde, ortalama çizgi ile profil arasındaki ordinatların karelerinin toplamı minimum olmalıdır. Dolayısıyla ortalama veya merkez çizgisi pratikte profilin genel yönüne paralel bir çizgi olarak belirlenebilir ve bu çizginin altında ve üstündeki profili oluşturan alanlar (a ve b) birbirlerine eşittir (Şekil 3.4).

Şekil 3.4'te verilmiş olan bir profil ortalama çizgisinin konumu (c) için uygun örnekleme uzunluğu (L)'nin üzerindeki profilin genel yönüne paralel olan XX doğrusu çizilir. Bir düzlem ölçer veya ordinat yöntemi kullanılarak a ve b alanları ölçülür. Sonra XX ve istenen ortalama çizgi YY arasındaki c mesafesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

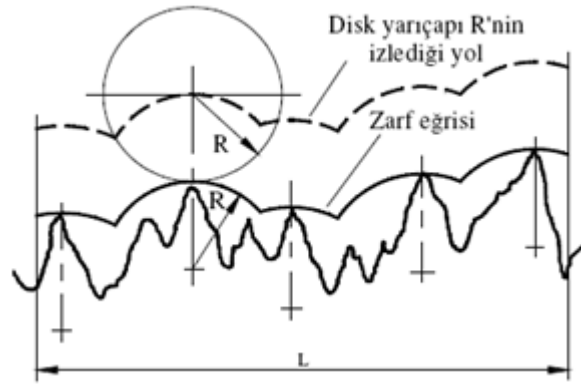
$$c = \left(\sum \text{Alan}(a) - \sum \text{Alan}(b) \right) / L \quad (3.1)$$



Şekil 3.4. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi [62].

3.2.2.2. Zarf Sistemi (E)

Zarf sistemi, işleme izlerine karşı yuvarlanan bir dairenin yarıçapı tarafından üretilen bir çizgi esasına dayanır. Daire merkezinin hareketinden oluşturulan bu eğri R mesafesi tarafından düşey olarak yerleştirilmiştir. Bu çizgi yüzeyin üzerinde yer alır. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi zarf eğrisi, ideal geometrik profile dik açılarda en yüksek profile doğru çizilen ordinatlar tarafından oluşturulur. R 'nin dairesel yayları ordinatlar üzerindeki merkezleriyle birlikte tepelere doğru çizilerek zarf eğrisini oluşturur. Bu eğrinin oluşumu yüzey kalitesinin grafik çıktısının düşey ve yatay eksenlerde aynı oranda büyütüldüğünü kabul eder.



Şekil 3.5. Zarf eğrisinin elde edilmesi [62].

Düşey büyümelerin yataydaki büyümelerden önemli miktarda fazla olması ve dairesel yayların bozularak eliptik şekil alması olağandır. Grafiğin düşey ve yatay büyümesi sırasıyla V ve H ile gösterilecek olursa; zarf profili, dairesel yayların yarıçapları yerine $(R \cdot H^2)/V$ olarak düzeltilmesiyle yeniden elde edilir. Daha sonra üretilen temas halindeki zarf çizgisinin altında ve üstünde eşit olan yüzey profili tarafından kapatılmış yayların pozisyonu ile değiştirilebilir (Şekil 3.6). Bu, zarf eğrisi sistemindeki ortalama çizgiyi karşılama anlamına gelmektedir [62].

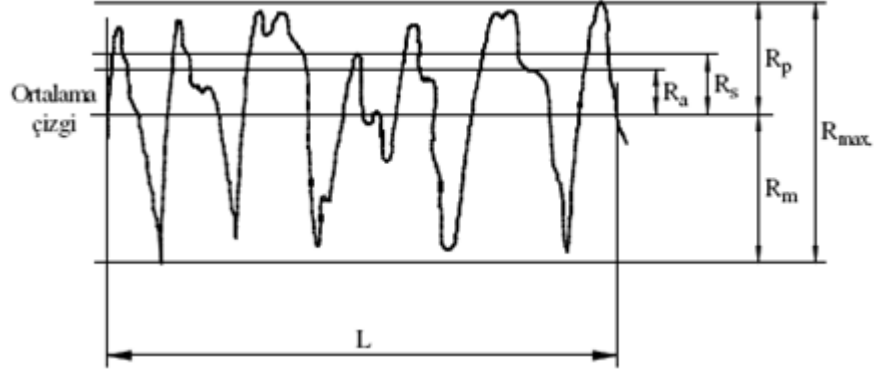


Şekil 3.6. Ortalama zarf eğrisi [62].

3.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri

Günümüzde, gelişmiş ülkelerin büyük bir çoğunluğu M yöntemini benimsemekte, bu ülkelerin bir kısmı ortalama pürüzlülüğü (R_a) bir kısmı da en büyük pürüzlülüğü (R_{max}) yüzey pürüzlülüğü ölçme kriteri olarak kullanmaktadır (Şekil 3.7). Yüzey

pürüzlülüğü, pürüzlülük değerine bağlı olarak değişen ve “değerlendirme uzunluğu” olarak tanımlanan standart bir aralıkta ölçülmektedir [63,64].



Şekil 3.7. Yüzey kalitesi için sayısal değerler [62].

3.2.3.1. Yüzey Kalitesini Belirlemede Esas Alınan Sayısal Değerler

Birkaç farklı yoldan birisiyle, sayısal bir yüzey kalite profilinin verilmesi, başlangıç noktasının sağlanması için zarf sistemi veya ortalama çizgi sisteminin kullanılması ile mümkündür. Basit bir sayısal değer çeşitli geometrik yönlerin sadece birisinin ölçümü olduğu sürece yüzeyin geometrisini tamamen açıklayamayacağı açıktır. Belirtilen herhangi bir değer seçimi yüzey kalitesinin görünümüne bağlıdır. Bununla fonksiyonel görüntü noktasından kontrolü çok önemlidir. Aşağıda açıklanan değerler en çok kullanılan değerlerdir ve onların ortalama çizgi veya zarf sistemine eşit olarak uygulanabilirliği tekrar vurgulanmıştır [65].

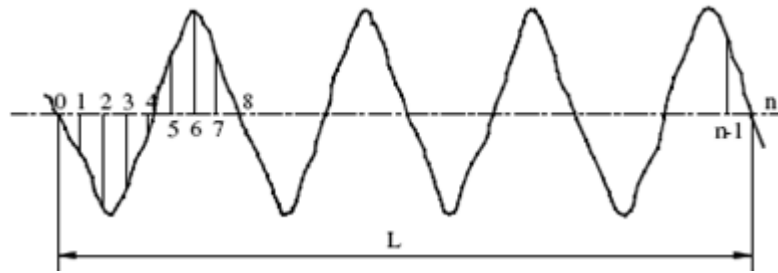
Ortalama eksen çizgi değeri (CLA, R_a): Bu parametre aritmetik ortalama pürüzlülük değeri AA (*arithmetic average*) veya CLA (*center line average*) olarak bilinir ve pürüzlülüğün en çok kullanılan parametresi olup, genel olarak R_a diye tanımlanır. Yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntıların alan bakımından eşitlendiği orta eksenin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arası mesafe olan R_a , profil düzensizliklerinin ortalamasını vermesi sebebiyle, genel yüzey yapısı hakkında önemli bir kriterdir. Bu nedenle, R_a tahmin tekniğinin hassas, güvenilir, düşük maliyetli ve tahribatsız yapılması önemlidir. Diğer bir tarife göre R_a , seçilen örnekleme uzunluk sınırlarında, eksen çizgisinin altında ve üstünde oluşan profil

sapmalarının aritmetik ortalama değeridir (ISO 4287/1-1984). Şekil 3.7’de işaret edilen durumun matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (3.2)$$

Burada L , örnekleme uzunluğunu; y , ortalama eksen çizgisinden bağımsız dikeydeki yer değiştirmeleri göstermektedir. Ayrıca R_a , yüzeyin bütün ordinatlarının orta çizgiden ortalama yüksekliği olarak da tanımlanabilir. Şekil 3.8’de gösterilen ordinatlar 1, 2, 3, ..., n ve ordinatların yükseklikleri $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ olmak üzere; R_a için aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

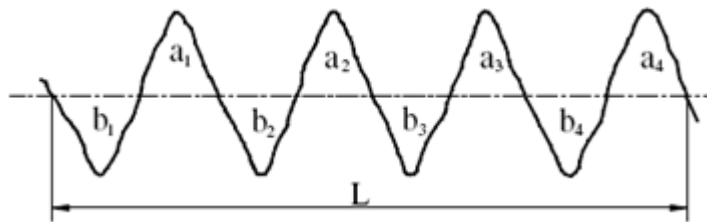
$$R_a = (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) / n = (\sum h) / n \quad (3.3)$$



Şekil 3.8. Ordinatlarla R_a 'nın gösterimi [66].

R_a 'nın değeri, Şekil 3.9’da görüldüğü gibi düzensiz bir alanın eşit uzunlukta parçalara bölünerek bu uzunluklara tekabül eden orta çizginin (eksen çizgisinin) üstünde ve altında kalan alanların (sırasıyla a ve b) düzlem ölçer ile ölçülüp bu alanların toplamının örnek uzunluğa (L) bölünmesi ile de belirlenebilir [66].

$$R_a = \left(\frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + b_1 + b_2 + b_3 + b_4}{L} \right) \times \frac{10^3 \mu m}{\text{Düşey büyütme}} \quad (3.4)$$



Şekil 3.9. Alanlarla R_a 'nın gösterimi [66].

Düzgün geometrik profillerden başka, tepe-dip yükseklikleri ve ortalama eksen çizgisi arasında sabit bir ilişki bulunmamaktadır. Uygulamada R_t/R_a , tornalama ve frezelemeyle üretilmiş kaba yüzeyler için 3~5 arası alınırken, honlama ve leplemeyle üretilmiş daha hassas yüzeyler için bu oran 14'e kadar alınır (örneğin; kare biçimli profiller için $R_t / R_a = 4$ 'tür).

Maksimum tepe-dip yüksekliği (R_{max} , R_t): Örnekleme boyunda dikkate alınan en yüksek tepe ve en düşük dip arasındaki mesafe tepe-dip yüksekliği olarak adlandırılır (Şekil 3.7). R_t değeri, örnekleme boyundaki yüzey düzensizliklerinin frekansı göz önüne alınmazsa yüzey pürüzlülüğünün tam bir tanımıdır. Tepe-dip yüksekliği ortalama değerini daha da iyileştirmek için en yüksek tepe ve en düşük dip hesaba katılmaz. Böylece, örnekleme uzunluğunda çok yüksek tepe ve dibin bulunması etkisiz duruma gelir.

Ortalamaların kareleri toplamının karekökü (R_q , R_s , RMS): Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarında, eksen çizgisinin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeridir:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx} \quad (3.5)$$

Şekil 3.8'deki eşit aralıklı ordinatlar $h_1, h_2, \dots, h_n$ ise;

$$h_{RMS} = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h^2 dL} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir.

R_q 'ya karşılık elde edilen sayısal değer yaygın olarak kullanılmaz. Ortalama değer eksen çizgisi, alan ölçme yöntemleri yoluyla bir grafiğin kolayca ölçülmesi ve izleyici ucun hareketinin hesaplandığı bir elektriksel cihazdaki okuma kolaylığı ve ortalama sonucun bir sayaç üzerinde okunuyor olması avantajlar sağlamaktadır. R_q/R_a oranı; tornalanmış yüzeyler için 1,1 (sinüsoidal biçimli profiller) ile 1,15 (kare

biçimli profiller), taşlanmış yüzeyler için 1,18-1,3 (rasgele) olurken leplenmiş yüzeylerde ise 1,3-1,5 (düz) aralığında değişmektedir [67].

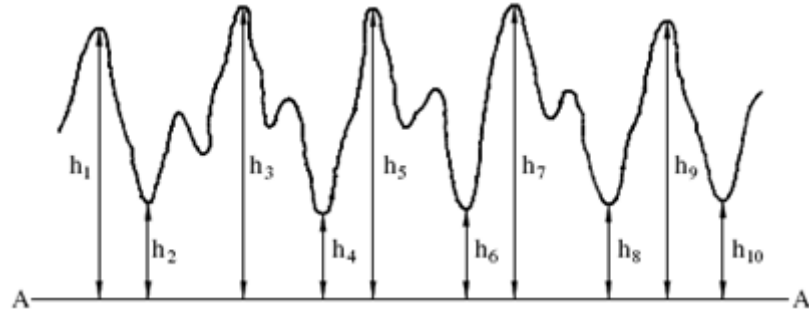
Profil maksimum tepe yüksekliği (R_p): Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en yüksek tepe (çıkıntı) ile temas eden ve eksen çizgisine paralel olan çizgi ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir. Böylece R_p değeri geniş çıkıntı ve dar girintilerden oluşan yüzeylerde küçük, dar çıkıntı ve geniş girintilerden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

Profil maksimum dip derinliği (R_m): Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en dip girintiye temas edecek şekilde ve eksen çizgisine paralel olarak çizilen doğru ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir.

On nokta yüksekliği (R_z): Profilin seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en yüksek beş tepe noktasının yükseklikleri ile en derin beş dip arasının derinliklerinin mutlak değerlerinin ortalamasıdır (Şekil 3.10).

$$R_z = \frac{[(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})]}{5} \quad (3.7)$$

Örnekleme uzunluğu: Sayısal değer olarak pürüzlülük belirleneceği zaman, seçilen profil uzunluğunun etkisi dikkate alınmalıdır. Basit periyodik biçimli yüzeyler için seçilen örnekleme boyu önemsizdir, çünkü adımların sayısı, sonucu yorumlamak için yeterlidir. Bir örnek uzunluk L_1 , maksimum tepe-dip değeri R_{t1} değeri ile bağlantılı olacaktır. Eğer örnek uzunluk L_2 'ye artırılırsa tepe-dip değeri de R_{t2} 'ye artırılmış olacaktır. Bundan dolayı, birbirine uygun sonuçlar elde etmek için yapılan ölçmeye uygun örnek uzunluk seçilmelidir. Seçilen örnek uzunluk yüzey yapısının görünümünü temsil edecek büyüklükte olmalıdır [68].

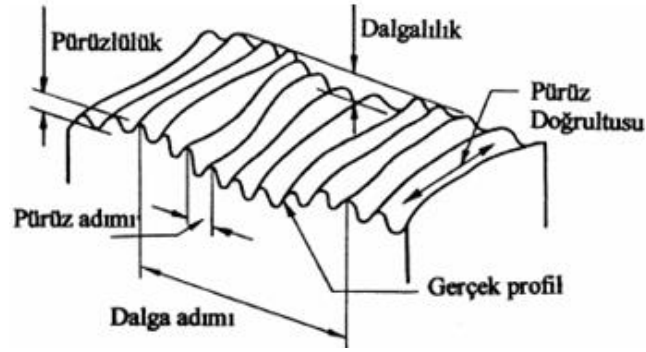


Şekil 3.10. On nokta yükseklik hesabı için ortalama ölçümler [67].

Örnekleme uzunluğu: Sayısal değer olarak pürüzlülük belirleneceği zaman, seçilen profil uzunluğunun etkisi dikkate alınmalıdır. Basit periyodik biçimli yüzeyler için seçilen örnekleme boyu önemsizdir, çünkü adımların sayısı, sonucu yorumlamak için yeterlidir. Bir örnek uzunluk L_1 , maksimum tepe-dip değeri R_{t1} değeri ile bağlantılı olacaktır. Eğer örnek uzunluk L_2 'ye artırılırsa tepe-dip değeri de R_{t2} 'ye artırılmış olacaktır. Bundan dolayı, birbirine uygun sonuçlar elde etmek için yapılan ölçmeye uygun örnek uzunluk seçilmelidir. Seçilen örnek uzunluk yüzey yapısının görünümünü temsil edecek büyüklükte olmalıdır [68].

Yüzey yapısı ve gerçek yüzey: Yüzey tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü, endüstride yaygın olarak kullanılan terimler olup, genellikle yüzey bütünlüğünün düzlemselliğini nitelemek için kullanılır. Yüzey yapısı, nominal bir yüzeyden sapan yüzeyin modelidir (Şekil 3.11). Bu sapmalar tekrarlı veya rasgele olabildiği gibi pürüzlülük; dalgalılık, konum ve yüzey kusurlarından kaynaklanabilir. Bir cismin gerçek yüzeyi, onu dış ortamdan ayıran dış kabuktur. Bu yüzey form hataları, dalgalılık ve yüzey pürüzlülüğü olarak sınıflandırılan yapısal sapmaları aynı şekilde yansıtır [68].

Pürüzlülük ve pürüzlülük genişliği: Yüzey pürüzlülüğü, yüzey yapısının çok küçük düzensizliklerini içerir ve bu düzensizlikler talaş kaldırma işleminin doğal hareketinden kaynaklanır. Pürüzlülük genişliği; takip eden tepe veya pürüzlülüğün hakim modelini oluşturan sert noktalar arasındaki nominal yüzeye paralel mesafedir [68].



Şekil 3.11. Yüzey karakteristikleri [66].

Pürüzlülük izleme (cut-off) genişliği: Pürüzlülük izleme genişliği tekrarlanan yüzey düzensizliklerinin en büyük aralığını gösteren ortalama pürüzlülük yüksekliğinin ölçümünü ihtiva eder. Standart pürüzlülük izleme değerleri 0,08; 0,25; 0,8; 2,5 mm'dir. Eğer herhangi bir değer belirtilmezse 0,8 mm kabul edilir [68].

Dalgalık, dalgalık yüksekliği ve genişliği: Dalgalık, bütün düzensizlikleri ihtiva eder. Onun aralığı pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük ve dalgalık örnekleme uzunluğundan daha azdır. Dalgalık yüksekliği; dip ve tepe değerleri arasındaki mesafedir. Dalgalık genişliği ise ardışık dalga tepe veya dip noktaları arasındaki mesafedir.

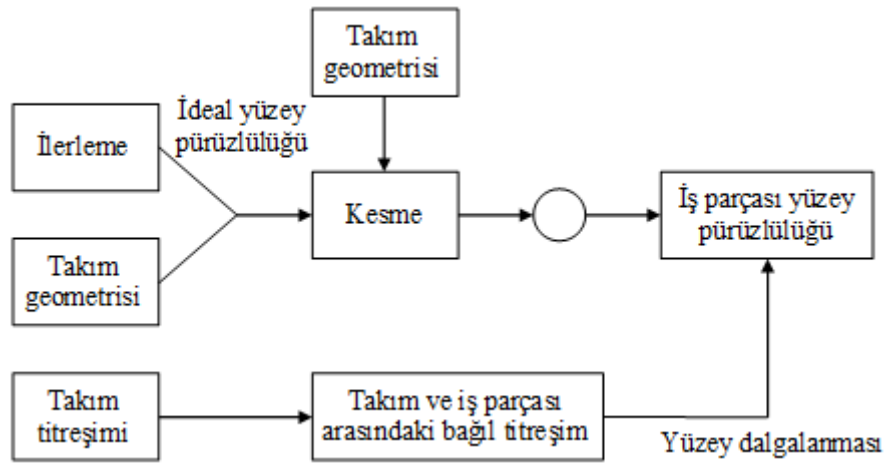
Konum/pozisyon ve kusur/hata: Normal olarak işleme yöntemi tarafından tayin edilen hakim yüzey modelinin doğrultusudur. Kusurlar, parça yüzey topografyasındaki planlanmamış, beklenmedik ve istenmeyen kesintilerdir [68].

3.2.4. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler

Talaş kaldırma işlemlerinde temel hedef, iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaşlı imalatta; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınışının oldukça karmaşıktır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli kesme parametresi olan kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, kesme derinliği ve

ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır. Bu bağlamda, yüzey pürüzlülüğünün yapay sinir ağları ile matematiksel modellenmesi için çoklu değişkenlere ihtiyaç vardır [69].

Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler; takım tezgahlarının yeterli rijitlikte olmaması, tezgahın kinematik mekanizması, yataklama sisteminden kaynaklanan tezgah hataları, kesici takım ve takım tutucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları, takım konumlama ve bağlama hataları, takım aşınmasından kaynaklanan hatalar ve çevrenin etkisi ile oluşan hatalar biçiminde ifade edilebilir. Şekil 3.12’de yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler gösterilmiştir. İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi ve takım-ış parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.



Şekil 3.12. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [70].

Yüzey yapısı, esas itibariyle işleme yöntemine, titreşimlere, tezgah kızaklarındaki hatalara, kesici takımın tipi ve durumuna, kesme parametrelerine, iş parçası malzemesine ve toplam kararlılığa bağlı olarak değişir. Kesici takım ucunun yuvarlatılması, talaş kesitinin bombeli teşekkülüne sebep olur. Bu durumda gerçek talaş kesiti, teorik talaş kesitinden daha küçük olur ve aradaki fark, parça üzerinde artık talaş olarak kalır. Bu kaldırılmamış talaş kesiti, yüzey pürüzlülüğünü meydana getirir [71]. Tornalama, frezeleme, matkapla delme, broşlama, raybalama, taşlama

veya honlama ile yapılan talaş kaldırma işlemlerinde farklı yüzey şekilleri elde edilir. Aynı zamanda, talaşın sürekli veya kesikli oluşumuna göre farklı yüzeyler oluşacaktır. Yüzey kalitesi, farklı işleme yöntemleri için takım geometrisine, takım özelliklerine ve kesme parametrelerine bağlı olarak ifade edilebilir. Genel olarak yüzey pürüzlülüğü, tornalama ve frezeleme için sırasıyla:

$$R_t = f^2 / (8r) \quad (3.8a)$$

$$R_t = f \cdot r^2 \cdot 1000 / (4 \cdot D) \quad (3.8b)$$

biçiminde yazılabilir [72]. Takım ve iş parçası arasındaki titreşimler sebebiyle, gerçek pürüzlülük değeri, yukarıdaki bağıntılardan elde edilenden daha küçüktür. Tornalama operasyonlarında R_a ile kullanılan kesici takımların geometrik özellikleri ve tezgah işleme parametreleri teorik olarak ilişkilendirildiğinde;

$$R_a = \frac{f}{4 \cdot (\tan C_s + \cos C_e)} \quad (3.9)$$

elde edilir. Burada f ilerleme miktarını (mm/dev), C_s takımın yardımcı kenar açısını ve C_e takım ayar açısını göstermektedir. Takım burun yarıçapı r olan bir takım için Eş. 3.9,

$$R_a = 0,0642 \cdot f^2 / r \quad (3.10)$$

olur. Eş. 3.10'dan anlaşılağı üzere pürüzlülük değeri ilerleme miktarı ve takımın burun yarıçapıyla doğrudan ilişkilidir [73].

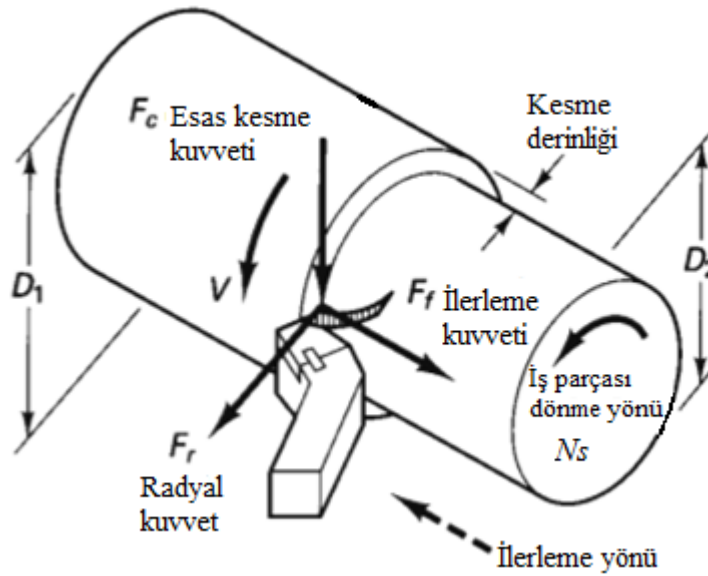
3.3. KESME KUVVETLERİ

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında kullanılmaktadır [29]. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 3.13'te şematik olarak gösterilmiştir.

Tornalamada kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur:

- Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde %99'una karşılık gelir.
- İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Genellikle esas kesme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır.
- Radyal (pasif) kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet ise genellikle ilerleme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır [1].



Şekil 3.13. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [1].

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve şu şekilde hesaplanır:

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (3.11)$$

Kesme kuvvetleri, kesme işlemi performansını, üretilen parçanın kalitesini, kesici takımın aşınmasını ve üretim maliyetini etkilemektedir. Bununla birlikte, ilerleme

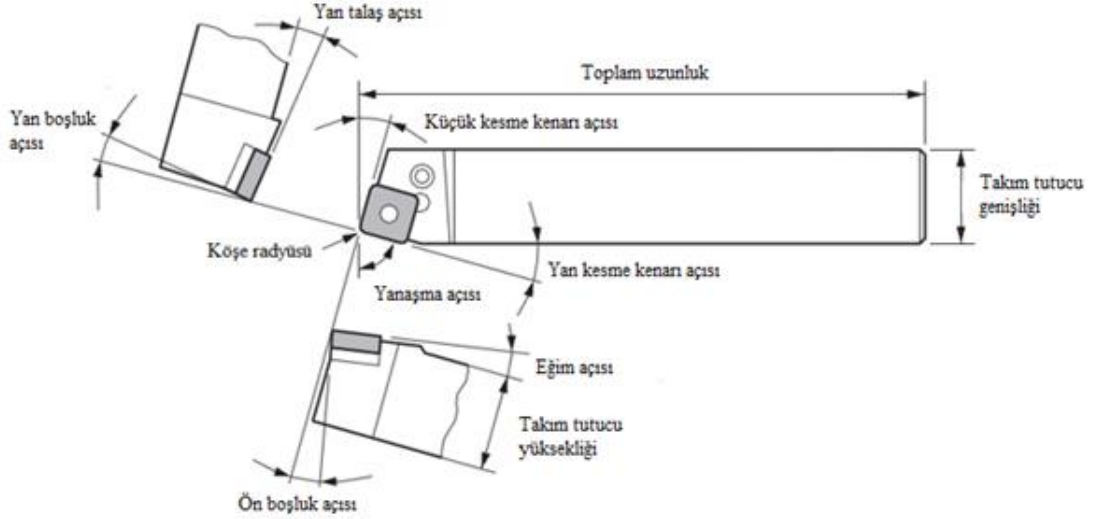
hızı, kesici takım geometrisi, kesme derinliği ve kesme hızı gibi kesme şartları kesme kuvvetlerini doğrudan etkilemektedir. Genellikle, kesme parametreleri olarak ifade edilen bu faktörler dolaylı olarak takım tezgahının gücünün belirlenmesinde ve buna bağlı olarak tezgah tasarımında önemli rol oynamaktadır [1]. Bu nedenlerle yıllardır araştırmacıların ilgisini çeken bu konularda pek çok araştırma yapılmış ve halen araştırma-geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Talaşlı imalat yöntemleri ile üretilen makine parçalarının uzun ömürlü, kaliteli, emniyetli ve ekonomik olabilmesi amacıyla imalat sürecine etki eden bütün kuvvetlerin hassas biçimde belirlenmesi gerekir. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin tayini için deneylere dayalı bilimsel araştırmalar sonucu bulunan çeşitli matematiksel ifadeler olmakla beraber, bu kuvvetlerin dinamometreler ile ölçülmek suretiyle belirlenmesi en etkili yoldur.

3.4. KESİCİ TAKIM

3.4.1. Kesici Takım Geometrisi

Talaşlı imalat yöntemlerinde kesme işleminin etkin bir şekilde yapılabilmesi için kesici takım uygun geometriye sahip olmalıdır. Talaşlı imalat işlemleri için kesici takım geometrileri farklılık gösterir. Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır. Bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olup, tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar aynıdır. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır [72].

Şekil 3.14'te tek noktadan kesme işlemi yapan bir kesici takımın geometrisi görülmektedir.



Şekil 3.14. Kesici takım geometrisi [74].

3.4.2. Kesici Takım Malzemeleri

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [75]:

- Yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
- Yüksek tokluk,
- İş parçası ile kimyasal tepkime oluşturmaması,
- Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye karşı kararlılık,
- Isıl şoklara karşı direnç.

Talaşlı imalat yöntemlerinde kullanılan kesici takım malzemelerinden, endüstriyel anlamda günümüz imalat sektörlerinde yararlanılanlar aşağıda verilmiştir.

3.4.2.1. Yüksek Hız Çeliği

Yüksek hız çeliği, karbon ve düşük alaşımlı çeliklere nazaran yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilmektedir. Yüksek alaşımlı bir takım çeliği olup günümüzde kullanılan en önemli takım malzemelerinden biridir. Matkap, kılavuz, freze çakıları

ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [76].

Yüksek hız çeliği kesici takımlar, sementit karbür ve seramik gibi daha sert kesici takımlardan daha iyi tokluk özellikleri sergilemektedir. Taşlamayla istenilen geometriye kolayca getirilebildikleri için, imalatçılar tarafından tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak da kullanılırlar. Yüksek hız çeliği takımlar, özellikle matkaplar, kesme performanslarının artırılması için TiN ile kaplanırlar [77].

3.4.2.2. Sementit Karbür

Sementit karbür kesici takımlar ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalurjisi yöntemleriyle üretilmişlerdir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır [77].

Çelik ve WC-Co arasındaki güçlü bir kimyasal reaksiyondan dolayı takım-talaş ara yüzeyinde yapışma ve difüzyon vasıtasıyla özellikle çeliklerin işlenmesi esnasında hızlı krater aşınması olduğu için, WC-Co sementit karbür kesici takımlara TiC ve TaC ilave edilerek krater aşınma direnci önemli derecede iyileştirilmiştir [52,77].

3.4.2.3. Kaplamalı Sementit Karbür

Sementit karbürlerin aşınmaya dirençli TiC, TiN ve/veya Al₂O₃ gibi malzemelerle kaplanması kesici takım alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilir. Kimyasal veya fiziksel buhar çökeltme yöntemleriyle sementit karbür altlık üzerine birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katman olarak kaplanan bu malzemeler, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde artırır [52].

Kaplamalar, geliştirildikleri ilk zamanlarda tek katman olarak uygulanmıştır fakat son zamanlarda çok katlı kaplamalar geliştirilmiştir. WC-Co kesici takıma, adhesiv olarak iyi birleşmelerinden ve birbirlerine yakın ısı iletkenlik katsayılarından dolayı

çoğunlukla TiN veya TiCN uygulanır. Bu ilk katmanın üzerine TiN, TiCN ve Al₂O₃ uygulanması yaygındır [52].

3.4.2.4. Sermet

Sermet kelimesi, seramik ve metal kelimelerinden türetilmiş olup sementit karbürlerin müşterek ismidir. Sermet kesici takımda sert parçacıklar WC'den ziyade TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken, birleştirici faz da Ni ve/veya Mo'den oluşur. Sermet kesici takımlar da sementit karbür gibi toz metalurjisi, yöntemleriyle üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında kullanılırlar.

Çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan genellikle daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızları kullanılarak iyi bir yüzey elde edilerek çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz [1,77].

3.4.2.5. Seramik

Seramik kesici takımlar esas olarak alüminyum oksit (Al₂O₃) ve silisyum nitrür (Si₃N₄) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Sementit karbür kesici takımlarla karşılaştırıldıklarında yüksek sertlik ve sıcak sertlik, yüksek aşınma ve plastik deformasyon direnci ve iyi kimyasal kararlılık özelliklerine sahip olmakla birlikte düşük ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu özellikleri sergilerler. Al₂O₃ seramik kesici takımlar dökme demir ve çelik dökümünün yüksek hızlarda işlenmesinde başarıyla kullanılırlar. Rijit olarak bağlama gerçekleştirildiğinde, sertleştirilmiş çeliklerin bitirme işlemleri yüksek hız, düşük ilerleme ve düşük talaş derinliği kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Üretim ve sinterlemedeki iyileştirmelerle ve tokluklarını artırıcı çeşitli elementlerin katılmasıyla seramik kesici takımlar daha iyi dayanım, ısıl şok direnci ve kırılma, tokluğu gibi özelliklere sahip olmuşlardır ve dolayısıyla uygulama alanları genişlemiştir [75].

3.4.2.6. Çok Sert Kesici Takımlar

Doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (PCD) ve kübik bor nitrür (CBN) çok sert kesici takımlar grubuna giren malzemelerdir. Doğada bilinen en sert malzeme doğal elmadır. Sementit karbür veya Al_2O_3 'ten yaklaşık olarak 3-4 kat daha serttir. Anizotropik özellik sergilediği için ölçüm yapılan kristal düzlemine bağlı olarak sertliği 6500–12000 VSD arasında değişir.

Çok yüksek sertliği, mükemmel aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük genleşme katsayısı ve ısı şok direncini artıran yüksek iletkenliği ve iyi uç keskinliği tek kristalli elması takım malzemesi olarak cazip hale getirmiştir.

Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı karbür ve seramik kesici takımlardan, aşınma direnci abrasif aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde çok daha iyidir [52,77].

Çok kristalli elmas kesici takımlar yapay elmasın grafitik karbondan çok yüksek sıcaklık ve basınç altında üretiminden sonra kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli boyut ve şekillerde üretilen elmas parçacıklar bir metalik birleştirici ile birlikte bir araya getirilerek sıcak presleme yöntemiyle çok yüksek basınç altında kesici takım geometrisinde imal edilir. Çoğunlukla 0,5–1 mm kalınlığındaki PCD, sementit karbür alt katman üzerinde kesici takım olarak kullanılır [1].

PCD kesici takımlar rastgele yönlenmiş elmas parçacıklarından oluştuğu için çoğu uygulamalarda izotropik davranış sergilerler. Doğal elmastan elde edilebilecek kadar mükemmel bir kesici ucun PCD kesici takımla elde edilmesi mümkün olmamakla birlikte kesici uç deformasyona daha az duyarlıdır. Bununla birlikte diğer kesici takımlarla karşılaştırıldığında aşınmaya karşı dayanımı mükemmeldir. Çok uzun süre kesme hassasiyetini koruduğu için özel uygulamalar için çok uygundur. Doğal elmas gibi demir dışı ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır [76].

Yüksek dayanım ve sertliğine rağmen yüksek sıcaklıkta çeliğin işlenmesinde hızlı takım aşınmasından dolayı kullanılmaz. Yüksek sıcaklıkta elmasın grafitte dönüşümü

ve/veya elmas ile demir veya atmosfer arasındaki etkileşimden dolayı hızlı takım aşınması gerçekleşir [77].

Yapay elmas üretiminde kullanılan aynı teknoloji ile hekzagonal bor nitrürden CBN üretimi gerçekleştirilmiştir. 3500–4500 VSD sertliği ile elmastan sonra sertlikte ikinci sırada yer alır. 1100 °C sıcaklıkta sertliği 1800–2000 VSD olup sementit karbürün oda sıcaklığındaki sertliğine tekabül eder. Mükemmel aşınma direnci, iyi ısı iletkenliği, düşük sürtünme ve ısıl genleşme katsayıları diğer özellikleridir [77].

3.4.3. Kesici Takım Aşınması

Takım ömrü genellikle belirli bir kritere ulaşmak için gerekli olan etkili kesme zamanı veya pratik olarak, takımın iki bileme arasında geçen etkili çalışma zamanı olarak tanımlanır [6]. Kesici takımda takım ömrü, kesici kenarın yapılması gereken bir işlemden belirlenen bir koşulu yerine getiremeyecek derecede aşınması ile sınırlıdır. Takımın yerine getirmesi gereken koşullar istenilen yüzey kalitesinin, boyut hassasiyetinin sağlanması ve talaş kontrolüdür.

Genellikle takım ömrü ucun veya kenarın kırılması ile sona erer. Ancak talaşlı imalatda modern takımların doğru uygulamalarda kullanılmaları sayesinde bu tip aşınmaya izin verilemez.

Takım ömrü, genellikle yapılan talaş kaldırma işleminin ince veya kaba olmasıyla değişir. Kesici kenar ne zaman aşınmış kenar olarak kabul edileceğinin belirlenmesi için doğru tanımlamalarının yapılması gerekir. Farklı işlemlerde farklı takımlarda aşınma değerleri farklıdır. Fakat bir kesici kenar istenilen yüzey kalitesini vermiyorsa ve belirli bir tolerans aralığını sağlamıyorsa, bu takım daha fazla bu işlemden kullanılamaz [78].

3.5. İŞLENEBİLİRLİK

Talaş kaldırma alanında yapılan araştırmaların genel amacı, en iyi ürün kalitesi ve en düşük işleme maliyetinin oluşmasını sağlayan optimum kesme şartları için iş

parçası-kesici takım etkileşimini araştırmaktır. İşlenebilirlik bir malzemenin takımlama ve işleme süreçleri açısından tasarlanan şekilde (yüzey kalitesi ve tolerans) kolaylıkla kesilebilmesini tanımlamak için kullanılan terimdir. Bir işleme operasyonunda işlenebilirliği ölçmek için talaşların biçiminin yanı sıra ulaşılan takım ömrü, talaş kaldırma oranı, kuvvet bileşenleri, güç tüketimi ve işlenmiş parçaların yüzey kalitesi ve yüzey bütünlüğü kullanılabilir. İşlenebilirlik, seçilen kesme şartları, kesici takım geometrisi ve özellikleri, işlenen malzemenin özellikleri ile kesme ortamı, takım tezgahının rijitliği gibi muhtelif faktörlerden önemli derecede etkilenebilmektedir. İşleme verimliliği, işlenen parçaların toleranslar dahilinde ve bütünlüğünü bozmadan yüksek hızda işlenmesini sağlayacak kesici takım, kesme şartları ve takım tezgahı kombinasyonunun doğru seçilmesiyle önemli oranda iyileştirilebilir [79].

İşlenebilirlik, talaşlı imalatla şekillendirilmek üzere seçilen malzemenin özelliklerinin, seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere bağlı olarak, malzemenin ve talaşlı imalat yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [79]. Bir iş parçasının işlenebilirliğini etkileyen ana faktörler, işleme süresince plastik deformasyonu değerlendirilmesi açısından önemli olup aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- İşleme şartları; kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği,
- Takım yönünden; kesici takım malzemelerinin özellikleri ve mikroyapıları, takım geometrisi, takım kırılma direnci,
- İş parçası yönünden; mekanik, fiziksel ve ısı özellikler, yüksek gerilme ve yüksek gerilim oranlarında mikroyapısal değişimler,
- Kesme parametreleri kadar iş parçasının mikroyapısı ve özelliklerinden etkilenen kayma düzlemi açısı ve talaş kalınlığı, mekanik enerjinin dağılması süresince oluşan sıcaklık artışıdır.

Sıcaklık yalnızca takım kırılmasıyla değil iş parçasının plastik deformasyon davranışı ve talaş oluşumuna bağlı olarak da artmaktadır [80].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki kalıntılar (inklüzyonlar) ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir [78].

Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracaktır için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısı iletkenlik kesme bölgesinde oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısı iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [77,80].

Alaşım elementleri dayanımı artırır, aynı zamanda her kesme hızı için akma bölgesi sıcaklığını da artırır. Buna bağlı olarak yüksek erime noktasına sahip alaşımlar kesilirken maksimum talaş kaldırma oranı azalmaktadır. Alaşımlara eklenen kükürt ve kurşun akış bölgesinde harcanan enerjinin azalması vasıtasıyla ara yüzey sıcaklığını düşürebilir, ancak bu elementlerin davranışları karmaşıktır ve henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Kritik metal hacmine ulaşamamasının ve küçük boyut nedeniyle araştırılması çok zor bir bölgedir. Öte yandan akış bölgesindeki malzeme davranışının çok iyi anlaşılması, işlenebilirliğin anlaşılabilmesi için önceden bilinmesi açısından önemlidir. Bu araştırmalar şiddetli gerilme ve gerinim oranına maruz kalan malzemelerin davranışı için teorik bir ilişkiye sahiptir. Takım-talaş ara yüzeyinde ikinci deformasyon bölgesinde oluşan çok farklı değişimler ve malzemedeki birinci kayma düzlemi boyunca meydana gelen geçişler işlenebilirlik kavramının ayrıntılı olarak anlaşılmasını sağlar.

İşlenebilirlik, daha önce bahsedilenlere ilave olarak standart mekanik testler yoluyla ölçülen özellikler ile doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte, ikinci kayma bölgesindeki davranış ancak işleme sürecinin gözlemlenmesiyle araştırılabilir. Yüksek erime noktasına sahip olan metaller ve alaşımları için ikinci deformasyon

bölgesindeki ısı ve ısı dağılımı, işlenebilirliğin her yönünden önemli bir rol oynar. Ara yüzeyde oluşan yapışma, difüzyon ve etkileşim anlaşıldığında takım aşınma oranları güvenilir bir şekilde tahmin edilip kontrol edilebilir. Bu özellikle yeni ve pahalı takım malzemelerinin kullanımında önemlidir. Ayrıca, kolay işlenebilir iş parçası malzemelerinin elverişli bir biçimde gelişimi için gereklidir [77].

3.6. DENEYSEL TASARIMI VE MODELLEME YÖNTEMLERİ

Deney tasarımı, istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, 1920’lerde tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için “Varyans Analizi” (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Amerika’da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanan bu yöntem, Amerika’nın bu alanda dünyada lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur [76].

Deney tasarımı daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları, 1970’lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika’da imalat sektörü, 1980’lerin başında deney tasarımını Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deney tasarımı o tarihlerde Japonya’da profesör Genichi Taguchi’nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi, deney tasarımına kurumsal yenilikler getirmemiştir. Ancak, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır [81].

3.6.1. Taguchi Yöntemi

Kesme parametrelerinin daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak ve harcanan zamanı ve malzemeyi azaltmak için Taguchi metodu alternatif bir yaklaşım olarak devreye girmektedir. Temel olarak Taguchi metodu, yüksek kalite sistemleri için güçlü bir yöntemdir. Maliyet, kalite ve performans tasarımlarını optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Taguchi son yıllarda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Taguchi metodu, bir ürün ya da prosesin mühendislik

optimizasyonunu; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır [82].

3.6.1.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı aşaması Taguchi metodunun ilk adımını oluşturmaktadır. Bu aşamada tasarımcı tarafından üründen beklenen fonksiyonların elde edilebilmesi için gerekli olan üretim teknolojileri tasarlanır ve ürün için en uygun olanı seçilir. Fakat bu işlemler tam müşteri tatminini sağlayacak olan hedef değerden minimum sapma ile yapılmalıdır. Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili olarak öncelikle mevcut pazarın tanımlanması, yeniliklerin değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca bu aşamada ürün ağacındaki parçaların, malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde gerekli olan karakteristiklere ilişkin bir takım kararlar verilir.

Herhangi bir ürün için sistem tasarımı süreç aşamasında da gerçekleştirilir. Süreç, ürünü etkileyebilecek faktörlere karşı minimum duyarlı hale getirilir. Amaç, ürünü en ideal kalitede ve mümkün olduğunca minimum maliyetle belirlenen tolerans limitleri dahilinde, üretebilecek bir üretim sistemini tasarlamaktır [83].

Sistem tasarımı yeni ürün ve süreç gelişiminin evrensel safhasıdır. Kavramlar önceki deneyimleri, bilimsel temelleri, mühendislik bilgileri, yeni gelişimleri ve bunların tümünün uygun kombinasyonlarını temel almaktadır. Sistem tasarımının arkasındaki strateji; yeni fikirler almak ve bunları çalışır hale getirmektir [84].

3.6.1.2. Parametre Tasarımı

Taguchi Metodunun ikinci adımı olan parametre tasarımı hem ürün hem de süreç tasarımı için ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapıldığı aşamadır.

Ürün parametre tasarımı, ürün parametreleri, malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi kriterlerin optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Ürün parametre tasarımı ve süreç parametre tasarımında amaç, üründe ve süreçte, varyasyon (hedef değerden farklılık yani kalitesizlik) yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün ve süreçteki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi bu amaçla gerçekleştirilen ürün ve süreç tasarımına sağlam tasarım demektedir. Burada belirtilen sağlam tasarım, kontrol edilemeyen nem, toz, ısı, gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız ürün ve süreç tasarımı anlamında kullanılmaktadır. Sağlam tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka faktörlerin ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti arttırmadan kaliteyi geliştirmek mümkün olmaktadır.

Ürün ve süreç parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerinin belirlenmesi gereken birbiriyle ilişkili çok sayıda kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktör vardır. Bu faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla birçok faktörün ürün üzerindeki etkisini ekonomik olarak belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri tasarım aşamasında almak mümkün olmaktadır [81].

3.6.1.3. Tolerans Tasarımı

Parametre tasarımında, tasarım parametreleri için gerekli olan hedef değerler ayarlanır. Üretim sırasında olabildiğince bu hedef değerlere ulaşılmaya çalışılır. Fakat üretim sürecinde her zaman bir değişim söz konusu olduğundan bir tolerans aralığı verilmesi gerekir. Tolerans tasarımı, parametre çalışmaları sonucu istenilen hedefe varılamadığı takdirde yapılacak süreç veya ürün parametreleri için en iyi toleransları belirleme çalışmalarını ifade etmektedir. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır [85].

Sistem tasarımı tamamlayıp, sistemi oluşturan elemanların parametrelerinin optimal değerleri belirlendikten sonra oluşacak kalite kaybı katlanılacak kalite maliyeti ile birlikte değerlendirilerek, her bir parametre (faktör) için tolerans elde edilir. Tolerans sınırları daraldıkça üretim maliyetleri artacağı için ürün de daha maliyetli olarak üretilir. Üretim maliyetlerindeki artışın nedeni üretim hattının daha sıkı kontrol edilmesi, daha dar toleransla çalışan teknolojik açıdan daha pahalı tezgahlara ihtiyaç duyulmasıdır. Aksi takdirde, tolerans sınırları genişledikçe, ürünün ilgilenilen fonksiyonunun hedef değerden sapmaları da büyüyecektir. Bunun sonucu olarak kalite kayıpları artacaktır. Tolerans tasarım adımında en ekonomik tolerans belirlenir. Belirlenen bu toleranslar ile hedef değerden kabul edilebilir sapmalara göre ürün maliyeti minimize edilmektedir.

Üretim sürecindeki değişimler olabildiğince azaltılsa bile amaç, hedef değere ulaşmaktır. Bazı durumlarda değişkenlik çok büyük olmakta ve değişkenliği düşürmek için toleransların küçültülmesi gerekmektedir. Tipik olarak her bir kontrol parametresinin yaklaşık olarak katkısını belirleyebilmek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmakta böylece tolerans daraltmada, gelişmiş malzeme kullanma durumunda veya diğer yüksek maliyetle kaliteyi geliştirmeye geçecek faktörler tanımlanmış olmaktadır. Üretici daha düşük malzeme özellikleri kullanarak bir üründen daha fazla kar elde etmek amacıyla ürün karakteristiklerinin tolerans limitlerinin uç noktalarına yaklaşılmasına izin vermemelidir. Tasarım parametreleri seçilirken toplam ürün maliyeti ile müşteri maliyetinin toplamı göz önüne alınmalıdır. Tolerans değerleri, ürün karakteristiklerinin hedef değerden olan sapmalarının oluşturduğu toplumsal kayıpla, ürün karakteristiklerinin tolerans dışına çıktığında üreticinin bunu düzeltmek amacıyla yaptığı harcamaları dengeleyecek bir biçimde seçilir. Toleransların uygun seçilmesi önemli bir ekonomik konu olması kadar önemli bir kalite konusudur [76,85].

Tolerans tasarımında üç tür kalite değişkeni vardır:

- *En büyük en iyi*: Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınırı yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik de artacaktır.

- *En küçük en iyi*: Bu tip toleranslar üretim sürecindeki hurda yüzdesi gibi amaç değerin sıfır olduğu toleranslardır. Tolerans azaldıkça sistemin verimliliği artacaktır.
- *Hedef değer en iyi*: Sapmaların iki yönde de oluşabildiği tolerans tipidir. Tolerans tasarımı kalite geliştirme sürecinin bir adımı olmasının yanında aynı zamanda bir kalite değerlendirme faaliyetidir [85].

3.6.1.4. Taguchi' nin Sinyal/Gürültü Oranları

Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü (S/N)oranı tanımlamıştır.

En küçük-En iyi Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/G \text{ Oranı} = -10.\log(\Sigma Y^2/n) \quad (3.15)$$

En büyük-En İyi: Bu durumda Y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki tanımlanmaktadır:

$$S/G \text{ Oranı} = -10.\log[\Sigma(1/Y^2)/n] \quad (3.16)$$

Hedef Değer-En İyi: Bu tür problemlerde, Y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S/G \text{ Oranı} = 10.\log(\bar{Y}^2/S^2) \quad (3.17)$$

Her üç problemde de, amaç S/G oranını maksimize etmektir. Tolerans aralıklarını daralma yöntemiyle üründe gerçekleştirilecek değişkenlik en aza indirilmek istenir. Burada dikkat çekici husus ise toleransları azaltmanın maliyeti arttırıcı etkisi olmasıdır [85].

3.6.1.5. Uygun Ortogonal Düzenin Seçilmesi

Ortogonal dizinin kullanımı sadece Taguchi'ye mahsus değildir. Ancak Taguchi, kullanımları basitleştirmiştir. Ortogonal dizinin ilk kullanılması, 1930'lu yıllarda, İngiltere'de Fisher tarafından olmuştur. Ortogonal dizi, dengelenmiş dizi anlamında kullanılmaktadır [86].

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenmektedir. Ortogonal dizilere tasarım matrisi de denilmektedir. Genel gösterimi;

d: Toplam deney sayısı,

a: Faktörlerin düzey sayısı,

k: Faktör sayısı,

L: Ortogonal dizi,

olmak üzere,

$$L_d(a)^k \text{ ya da } L_d \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Genel olarak kullanılan diziler 2 seviyeliler için L_4 , L_8 , L_{16} ve L_{32} ve 3 seviyeliler için L_9 , L_{18} ve L_{27} dizileri olmaktadır. Dizilerin seçimi düzey sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır.

Ortogonal dizinin seçiminde faktör gurubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Faktör gurubunun serbestlik derecesi, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesine 1 eklendiğinde deneme sayısına eşitse uygunluk sağlanır. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur [85].

3.6.2. Regresyon Analizi

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Bir tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır [85].

Bağımlı değişken (Y) ile bir bağımsız değişken (X_1) arasındaki bağıntıyı inceleyen yöntemine basit regresyon, bir bağımlı değişken (Y) ile iki ya da daha fazla bağımsız değişken ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$) arasındaki bağıntıları modeller aracılığı ile inceleyen yöntemine ise çoklu regresyon adı verilmektedir. Burada verilen bağımlı değişkenlerin, deney esnasında ardışık olarak eklenerek çoklu regresyon analizini oluşturur. Böylece analizin sonunda gözlemlerin sayısının her eklenen değişkenle azaldığı görülür. Kurulan modellerin geçerliliğini analiz için yararlanılan yöntemine ise regresyon analizi adı verilmektedir [87].

Tek değişkenli regresyon analizi: Tek değişkenli regresyon analizi bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceler. Tek değişkenli regresyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil eden bir doğrunun denklemi formüle edilir.

Çok değişkenli regresyon analizi: İçinde bir adet bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu regresyon modelleri çok değişkenli regresyon analizi olarak bilinir.

Regresyon analizinin temeli, gözlenen bir olayın hangi olayların etkisi altında olduğunun araştırılması esasına dayanmaktadır. Bu olayların arasındaki kuşku edilen ilişkinin nicel verilere dayanması gerekmektedir. Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların bir matematiksel gösterimle yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekir. Matematiksel bir ifade olan bu fonksiyona regresyon modeli denilmektedir. Regresyon analizi ile oluşturulan matematiksel modelde yer alan değişkenler, bir bağımlı değişken ve bir veya birden çok bağımsız

değişkenden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler kurulacak modelde bir değişkenli olarak ele alınırsa, basit doğrusal regresyon, birden fazla bağımsız değişkenli olarak alınırsa, çoklu regresyon modeli konusunu oluşturmaktadır.

Regresyon analizi için kurulan model, bağımlı (açıklanan) değişken ve bağımsız (açıklayan) değişkenleri içeren bir modeldir. Böyle bir modelde; bağımlı değişkendeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanmaya çalışılır. Belirlilik katsayısı (R^2) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan miktara olan oranıdır. Regresyon sonuçlarında belirlilik katsayısı (R^2) 1'e yakın bulunursa bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir kısmı bağımsız değişken tarafından açıklanabilmektedir. Analiz sonuçlarındaki "Coef" ifadesi değerlerin katsayılarını belirtir. Regresyon katsayısı bağımsız değişkende bir birimlik değişimin bağımlı değişkende ne kadar etkiye sahip olacağını ifade eder. "Coef SE" ise katsayılarındaki standart hatayı bildirir. Sabit ve regresyon katsayısı için "T" test istatistiklerinin sonucunu ifade eder. "p" ise regresyon analizinin anlamlı olup, olmadığını test etmektedir [88].

3.6.2.1. I. Dereceden (Lineer) Regresyon Modeli

Bağımlı değişken T, bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse lineer regresyon eşitliği (3.19)'daki denklemle ifade edilir.

$$T = k_0 + k_1x + k_2y + k_3z \quad (3.19)$$

Burada k_0 sabit; k_1, k_2, k_3 ise x, y, z bağımsız değişkenlerinin katsayılarıdır.

3.6.2.2. II. Dereceden Regresyon Modeli

Bağımlı değişken T, bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse II. Dereceden regresyon eşitliği (3.20)'deki denklemle ifade edilir.

$$T=k_0+k_1x+k_2y+k_3z+k_4x^2+k_5y^2+k_6z^2+k_7xy+k_8xz+k_9zy \quad (3.20)$$

3.6.2.3. Logaritmik Regresyon Denklemi

Bağımlı değişken T, bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse logaritmik regresyon eşitliği (3.21)'deki denklemle ifade edilir.

$$T=k_0+k_1\ln x+k_2\ln y+k_3\ln z \quad (3.21)$$

3.6.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA), yapay zeka çalışmaları kapsamında insan beynindeki birçok işlem elemanının veya yapay olarak basit işlemcilerin çalışma prensiplerine göre tasarlanmış, olaylar arasındaki ilişkileri bilinen örnekleri kullanarak öğrenme, karar verme, sonuç çıkarma davranışlarının yapay olarak modellenmesi esasına dayalı, paralel çalışma özelliği olan bir bilgi işleme sistemidir. Bu paralel çalışma özelliği sayesinde, çok daha kısa zamanda sonuçlar üretebilmekte, gerçek zamanlı problem çözmede oldukça faydalı sonuçlar ortaya koymaktadır [59,89].

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağları ile insan beynindeki nöronların çalışma prensiplerine dayanılarak modellenen sistemlerdir. Değişkenlerin önemlilik derecesine müdahale edilebilmesi mantığına dayanır. Basit ve sınırsız imkânları nedeniyle yapay zeka uygulamalarında en geniş kullanım alanına sahiptir. Yalnızca eleme ve karar verme değil öğrenme işlevini de gerçekleştiren sistemler yaratma olanağı sunmaktadır.

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını tam olarak modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece YSA denen yeni ve günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yönteminden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır. Yapay sinir

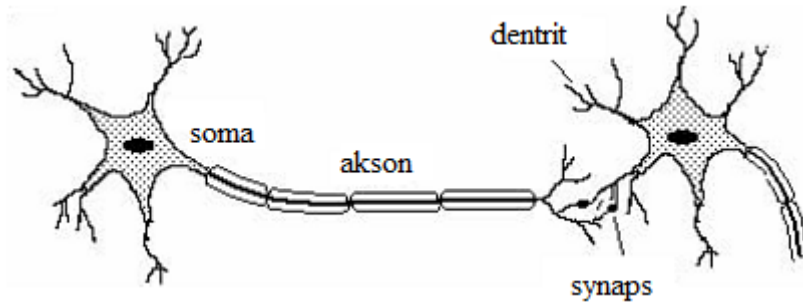
ağları; yapısı, bilgi işleme yöntemindeki farklılık ve uygulama alanları nedeniyle çeşitli bilim dallarının da kapsam alanına girmektedir.

YSA, işlem süresini kısaltmanın yanı sıra daha güvenilir ve kendi karar mekanizmasına sahip sistemler tasarlamak amacıyla geliştirilmiştir. Benzer amaçla geliştirilen diğer YZ yöntemleri gibi optimizasyon, kontrol mühendisliği, sibernetik, tıp, ekonomi ve daha bir çok alanda farklı şekillerde uygulama alanı bulmaktadır.

3.6.3.1. Biyolojik Sinir Sistemi ve Yapay Sinir Ağları

Biyolojik sinir hücresinin şematik yapısı Şekil 3.15'te verilmiş olup; sinir hücresinin bir ucunda liflere benzer ve hücreye diğer hücrelerden veya dış dünyadan bilgiler (sinyaller) getiren “dentrit” adı verilen bir grup bağlantı elemanları yer almaktadır [88]. Diğer ucunda ise diğer hücrelerle birleşme esnasında dağınık dallara ayrılan ve “akson” adı verilen tek bir life benzer ve hücrelerden diğerlerine veya dış dünyaya bilgiler (sinyaller) taşıyan bağlantı elemanı bulunmaktadır. Bu iki uçtaki bağlantı noktalarının elektrofizyolojik olarak hücrelerdeki bilgileri ile elektrik sinyalleri şeklinde birleştiği belirlenmiştir. Sinyaller bir hücrenin aksonundan diğerinin dentritine gönderilir. Bir akson birden fazla dentrit ile ilişkiye girebilir. Bu bağlantının yapıldığı yere “sinaps” adı verilir. Hücreler elektrik sinyalini hücre duvarındaki voltajı değiştirerek üretirler. Bu ise hücrenin içinde ve dışında dağılmış bulunan iyonlar vasıtasıyla olur. Bu iyonlar; sodyum, potasyum, kalsiyum ve klor gibi iyonlardır. Bir hücre diğer bir hücreye elektrik enerjisini bu kimyasal iyonlar vasıtasıyla transfer eder. Bazı iyonlar elektrik ve magnetik kutuplaşmaya sebep olurken bazıları kutuplaşmadan kurtulup hücre zarını açarak iyonların hücreye geçmesini sağlar. Sinyallerin bir hücreden diğerine akmasını sağlayan da bu kutuplaşmanın azalmasıdır. Sinyaller hücrelerin etkinliğini (dürtüsünü) belirler. Bir hücrenin etkinliği hücreye gelen sinaps sayısı, sinapslardaki iyonların konsantrasyonu ve bir de sinapsın sahip olduğu güç olmak üzere üç faktöre bağlıdır. Bir hücre sahip olduğu dürtü miktarınca diğer hücreleri etkiler. Bazı hücreler diğerlerinin dürtülerini pozitif yönde bazı hücreler de negatif yönde etkiler [59].

YSA, çalışma mantığını canlıların sinir sisteminden alır. Temel yapıtaşı, canlılarda olduğu gibi nöronlardır. YSA birbirine bağlanmış ve hiyerarşik yapıda olan basit işlem elemanlarının (yapay sinir hücreleri) yoğun bir paralel dizisi ve verilen girdilere karşı çıktı üretebilen bir kara kutu olarak da tanımlanabilir [88]. Bu kara kutunun işlevi basitçe, matematiksel bir fonksiyonu temsil etmek şeklinde açıklanabilir. YSA bu fonksiyonun tam olarak bir matematiksel karşılığına ihtiyaç duymaz.



Şekil 3.15. Biyolojik sinir hücresinin şematik yapısı [88].

İnsan beyni gibi birçok işlemi yapmak için bilgiyi paralel işleme yeteneği olan YSA'ların beyin ile biyolojik eşitlikleri de aynıdır. Nöron veya birim olarak adlandırılan işlem elemanlarından ve sinaptik kümeyi temsil eden ağırlıklardan ibarettir. Birleşim fonksiyonu genellikle max, min veya çarpmadır. Biyolojik sinir sistemine karşılık YSA'da kullanılan tanımlamalar ise Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Darbe çalışmanın yerine çoğu YSA'lar haberleşme yöntemi olarak analog değerleri kullanır. Bunlar genellikle bilgisayar yazılımında değişken noktalı sayılarla gösterilir. Nöronların giriş, çıkış ve gizli olmak üzere üç tipi vardır. Giriş ve çıkış nöronları sırasıyla ağa veri girişini ve çıkışını sağlayan nöronlardır. Gizli nöronlar ise ağın içerisinde bulunur ve veri giriş ve çıkışını sağlar [59].

Biyolojik sinir ağları ile benzer karakteristiğe ve yapıya sahip YSA, "nöron" adı verilen ve bilgiyi işleyen birçok birim içerirler. Nöronlar arasında yer alan bağlantı yolları aracılığıyla sinyallerin bir nörondan diğerine taşınması sağlanır. Dolayısıyla nöronların bağlantı yolları (mimari yapı), bağlantı yapısına göre ağırlık değerlerinin

hesaplanma yöntemi (ağın öğrenme algoritması) ve aktivasyon fonksiyonunun türü YSA'nın karakterini belirlemektedir.

Çizelge 3.1. Biyolojik sinir sistemi ve YSA'nın karakteristiği.

<i>Sinir Sistem</i>	<i>YSA</i>
Nöron	İşlem Elemanı
Dentrit (mesaj algılayıcı)	Birleşim Fonksiyonu
Hücre Bedeni	Transfer Fonksiyonu
Akson (mesaj nakledici)	Eleman Çıkışı
Sinaps	Ağırlıklar

Özetle YSA; nöron, hücre, düğüm gibi isimler verilen çok sayıda eleman içerir, bu birimler birbirlerine iletişim hatları ile bağlanır ve her bir iletim hattı ağırlık değeri ile ifade edilir. Ağırlık, aynı zamanda ağın uygulandığı problemin çözüm yöntemine ilişkin bilgiyi de içerir. Nöronların her birinin kendi iç durumu aynı zamanda aktivasyon durumunu (seviyesini) belirler. Bu da nöronun almış olduğu giriş sinyallerine göre bir çıkış fonksiyonu üretmesini sağlar. Bir nöron, bir anda bir tek çıkış fonksiyonu üretebilir. Üretilen sinyal ise aynı anda birçok nöron tarafından alınabilir [59].

3.6.3.2. Yapay Sinir Ağları Modeli Yapısı

YZ uygulamaları, klasik uygulamalardan farklı olarak kesin kurallar doğrultusunda, adım adım işleyen bir algoritmaya sahip değildir. Bu anlamda algoritmik olmayan veya sezgisel metotlar olarak adlandırılırlar. Sezgisel metotlar; deterministik olmayan, mutlak çözüme ulaşmayı hedeflemeyen, kötü veya yanlış da olsa bir karara varmayı, kararsızlık ya da mutlak kararlılığa tercih eden yöntemler olarak tanımlanabilirler. Bu yöntemlerin en önemli avantajı, işlem süresinin kısılması ve çözümsüzlük olasılığının ortadan kalkmasıdır. YZ yöntemlerinin hedefi, insan beyninin, karar verme, akıl yürütme ve düşünme sistemine benzer bir yapıya ulaşmaktır. Bu nedenle de tıp, fizyoloji, psikoloji, davranış bilimleri, biyoloji, dilbilim ve hatta felsefe gibi canlıların davranışlarını açıklamaya çalışan bilimlerin verilerinden yararlanılmakta; modellemeler bu alanlardaki çalışmalardan yola

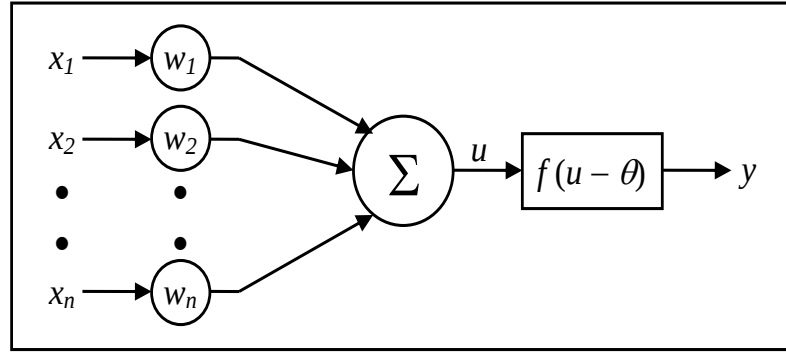
çıkılarak gerçekleştirilmektedir. Klasik algoritmik yöntemlerde karar vermedeki en önemli kıstas, bir soruya verilen yanıtları “doğru” ve “yanlış” olmak üzere iki sınıfa ayırmak, yanlış olanı elemektir. Oysa canlı sistemlerde mutlak doğru veya mutlak yanlışın dışında da seçenekler mevcuttur [59].

Canlı sistemlerin eleme kriteri daha iyi ve daha kötü olanlar arasında seçim yapma yeteneğinin geliştirilmesine bağlıdır. Nelerin daha iyi veya nelerin daha kötü olduğunu belirlemek, ancak birçok karmaşık veriyi, problemin gerektirdiği doğrultuda, bir arada ve mümkün olduğunca hızlı biçimde harmanlayarak makul bir yargıya varmak yoluyla ulaşılacak bir sonuçtur. YZ yöntemleri ile elde edilmek istenen de canlılarınkine benzer esneklikte, hızlı ve mutlak çözüm içeren karar mekanizmalarıdır.

Yapay nöron, YSA’nın temel elemanıdır. Sinyal iletiminde, biyolojik nörondaki kimyasal sürece karşılık, elektriksel potansiyelin toplam değeri iş görür. Bir nöronda üretilen sonuç tek olmasına karşın çok sayıda giriş olabilir. Her bir giriş ($x_1, x_2, \dots, x_n$) için bir de ağırlık değeri ($w_1, w_2, \dots, w_n$) verilir. Söz konusu girişlerin ağırlıklı toplamı (u), belli bir “0” değerini aştığında nöron aktive olur ve bir $f(u)$ aktivasyon fonksiyonu üretir. Giriş ve ağırlık değerlerinin negatif olabilmelerine karşın, toplam değer negatif olamaz, bu durumlar için $u = 0$ sonucu üretilir. Nöronun grafik gösterimi ise Şekil 3.16’da verilmiş olup, nöronun matematiksel ifadesi şöyle gösterilir:

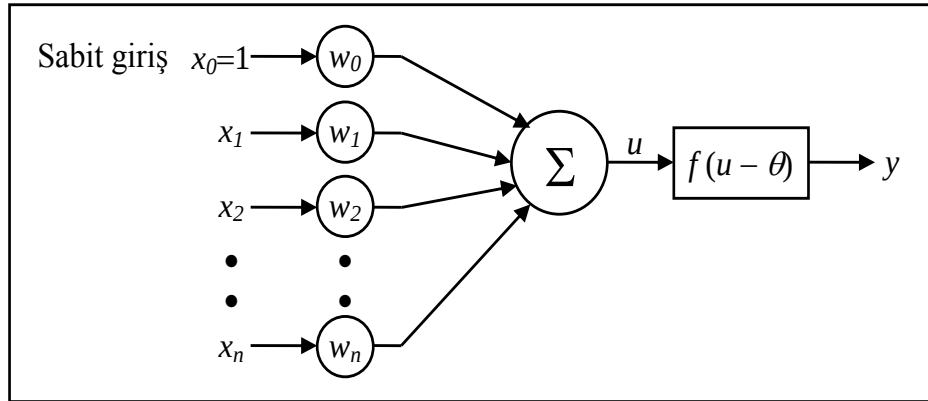
$$u = \sum_{j=1}^p x_j \cdot w_j \quad (3.22)$$

$$y = f(u - \theta) \quad (3.23)$$



Şekil 3.16. Yapay nöronun grafik gösterimi [59].

Bir nöronda giriş ($x_1, x_2, \dots, x_n$) ve ağırlık ($w_1, w_2, \dots, w_n$) değerleri reel olabilir. Ancak işlemleri kolaylaştırmak için genellikle giriş değerleri ve aktivasyon fonksiyonları, mantıksal bir karşılığı olacak şekilde hazırlanırlar. Bir tek nöron için sabit değer içeren giriş bulunabilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Sabit girişlerin YSA modellemesinde gösterimi [59].

3.6.3.3. Transfer (aktivasyon) Fonksiyonu Çeşitleri

Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır.

a) Doğrusal fonksiyon

$$F(o) = k \cdot o \quad (3.24)$$

b) Adım fonksiyonu

$$F(o) = \begin{cases} u \geq 0 \Rightarrow 1 \\ u < 0 \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (3.25)$$

c) Rampa fonksiyonu

$$F(o) = \begin{cases} u < 0 \Rightarrow 0 \\ u = 0 \Rightarrow u/k \\ u > 0 \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (3.26)$$

d) Sigmoid fonksiyonu

$$F(o) = \frac{1}{1 + e^{-\sum x_j \cdot w_j}} \quad (3.27)$$

$$F(o) = \begin{cases} u > 0 \Rightarrow 1 \\ u = 0 \Rightarrow 0 \\ u < 0 \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (3.28)$$

e) Fermi fonksiyonu

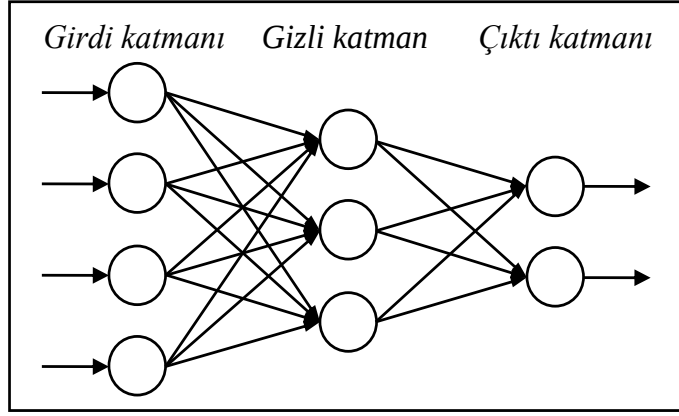
$$F(o) = \frac{1}{1 + e^{-4 \left(\sum_{i=1}^n I_i \cdot w_i - 0,5 \right)}} \quad (3.29)$$

3.6.3.4. Yapay Sinir Ağları Topolojisi

YSA, birbirlerine bağ ağırlıkları ile bağli, katmanlar halinde düzenlenmiş ve kendine ait çıkış değerini belirlemek için toplama ve eşik fonksiyonu gibi işlemler gerçekleştiren ve işlem elemanı denilen yapılardan meydana gelir. Her işlem elemanının bilgi toplama ve bunu işleyerek diğer elemanlara gönderme özelliği vardır. YSA, gerçekleşen örnekleri kullanarak öğrendiği için kullanılan örneklerin, bilgisayarın öğrenmesi istenen ilişkileri doğru şekilde temsil etme özelliklerinin olması gerekmektedir. Ağı oluşturan işlem elemanları birbirleri ile bağlıdır. Her bağlantının bir değeri vardır. Bu değerler ağın olay hakkında sahip oldukları bilgiyi temsil eder. YSA'nın fonksiyonlarını gerçekleştirmede, sahip oldukları fiziki yapının da rolü vardır. Birbirinden farklı yaklaşık 30 civarında farklı yapılanma veya topolojiden (modelden) bahsedilmekte ve bu sayı her geçen gün artmaktadır [88]. YSA temel olarak, basit yapıda ve yönlü bir çizge biçimindedir. Bir YSA modeli, sahip olduğu birleşme fonksiyonu, transfer fonksiyonu, mimarisi, kullanılan öğrenme kuralı ve öğrenme stratejisi ile tanımlanır. İşlem elemanlarının bir grubu, katman olarak isimlendirilen bir yapıyı oluşturur. İşlem elemanları bağlantılarla birbirlerine bağlanıp katmanlar elde edilerek bir ağ oluşturur. Bir ağın yapısı, ağın bağlantı tarzı ve işlem elemanlarının katman yapısına bağli olarak tanımlanır.

YSA'lar işlem elemanlarının katman yapısına bağli olarak tek ve çok katmanlı ağlar olmak üzere iki grupta tanımlanırlar [88]. Tek katmanlı ağlar: Verilerin ağa sunulduğu girdi katmanı ile çıkışların elde edildiği çıktı katmanından ibarettir ve sadece lineer problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Çok Katmanlı Ağlar: Genel itibariyle birbirine bağlanan; ağın giriş değerlerinin verildiği girdi katmanı, girdi katmanından gelen bilgileri transfer (aktivasyon) fonksiyonuyla işleyerek çıktı katmanına ileten gizli katman ve ağın çıkış değerlerinin elde edildiği çıktı katmanı olmak üzere üç tür katmandan oluşur (Şekil 3.23). Girdi katmanındaki giriş sayısı kadar nöron (işlem elemanı) bulunur ve bu katmandaki işlem elemanları veriyi değer olarak gizli katmandaki işlem elemanlarına aktarırlar. Yani girdi katmanında çoğu zaman bilgi işleme söz konusu olmaz. Çıktı katmanındaki işlem elemanı sayısı problemin çıkış sayısı kadardır. Taşıdıkları sinyali toplayan ağırlık kümesi ve takip eden işlem elemanlarından oluşan katmanlardaki işlem elemanları; tam bağlantılı

(Şekil 3.18), kısmi bağlantılı veya ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Genellikle, bir katmandaki her iki işlem elemanı, aynı birleşme ve transfer fonksiyonu ile aynı öğrenme kuralına sahiptir [89].



Şekil 3.18. Tam bağlantılı çok katmanlı ağ yapısı.

İşlem elemanlarının birbirleriyle ilişkileri ve katmanlar arası ilişkiler değişik yapısal modellerin oluşmasına neden olmaktadır. YSA'daki bağlantıların düzeni, mimarisini teşkil etmektedir. Genelde bağlantılara göre tek yönlü hiyerarşik ve çift yönlü tam bağlantılı sinir ağı olmak üzere iki sınıf mimarinin mevcut olduğu söylenebilir [89]. Tek yönlü hiyerarşik bağlantılı sinir ağında ayrı ayrı işlem elemanı grupları katmanlara yerleştirilmiştir. Her bir işlem elemanı katmanındaki işlem elemanları önceki ve sonraki katmanlardaki işlem elemanlarıyla ilişkilendirilmiş olup; sinyalin yönü sadece girişten çıkışa doğru yönlendirilen bir ağ topolojisiyle gösterilmiştir. YSA ile modellemede yaygın olarak kullanılan geri yayılma (*back propogation*) modeli bu tür topolojiye örnek olarak verilebilir. Çift yönlü tam bağlantılı sinir ağında ise tüm elemanlar birbiri ile birleştirilmiştir. Yani her bir işlem elemanı çıkışı diğer tüm işlem elemanlarının girişleri ile ilişkilendirilmiştir (n işlem elemanı olan böyle bir ağda ilişkilerin sayısı $n \times n$ olacaktır).

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, literatür araştırması ışığında planlanan ve gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda verilmiştir:

- Malzemenin temin edilmesi,
- Temin edilen malzemelerin, ısıtılma işlemine tabi tutulması,
- Belirlenen işleme parametrelerine göre kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için sert tornalama deneylerinin yapılması,
- Deneysel olarak ölçülen, esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerinin istatistiksel yöntemler ile analizi,
- Elde edilen deneysel veriler kullanılarak, esas kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modellenmesi.

4.2. DENEY MALZEMESİ

Deneysel çalışmalarda, DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır. Alüminyum gibi hafif metallerin enjeksiyon, ekstrüzyon ve dövme kalıplarında, kalıp çekirdeği, kolon vb. kalıp elemanlarının imalatında kullanılan DIN 1.2344 çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir. DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği, tokluğu yüksek, ısıtılma şoklarına dayanımlı, yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımını kaybetmeyen bir malzemedir.

Çizelge 4.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %).

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
0,40	1,00	0,40	5,1	1,3	1,00	Kalan

4.2.1. Deney Malzemesinin Isıl İşlemi

DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğine uygulanan vakumla sertleştirme yöntemi ile deney numunesinin sertliği 54-55 HRC'ye çıkarılmıştır. Deney numunelerine uygulanan ısıtma işlem yönteminin detayları aşağıda verilmiştir.

Vakum ısıtma işlemi: Vakum ısıtma işlemi çok sayıda avantajları ile öne çıkmaktadır. Kalitesi, işlemin tekrarlanabilirlik özelliği ve çevreyle dost oluşu sayesinde kaliteli takımlarda, özellikle ısıtma işlem sonrasında plazma nitrasyon veya PVD kaplama işlemi görecektir parçalarda tercih edilmektedir. Sıcaklık, soğutma basıncı, soğutma yönü gibi parametrelerin seçimindeki esneklik, bu işlemi tercih edilir hale getirmiştir. Vakum ısıtma işleminin avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür [90]:

- Dekarbürizasyon oluşturmaz,
- Asgari ölçü değişiklikleri ve kontrol edilebilir çarpılma,
- Parlak ve temiz yüzeyler sağlanması, parça yüzeyinde oksidasyon olmaması
- Fırın bölümünde minimum sıcaklık değişikliği ($\pm 5^\circ$),
- Bilgisayar/PLC kontrolü sayesinde, işlemin tekrarlanabilirliği ve bilgisayar tekniği ile sonuçların çoğaltılabilmesi,
- CVD kaplı parçaların ısıtma işlemi tabii tutulması veya vakum ısıtma işlemi akabinde kaplama.

Çarpılma ve ölçü değişikliği: Çarpılma ve ölçü değişikliklerinin birçok nedeni olabilir. Parçadaki homojensizlik veya ısıtma işlem öncesi çarpılma, yanlış malzeme kesimleri veya elverişsiz yapı bunun için tetikleyici olabilir. Ancak vakum altında sertleştirmede, çarpılma aşağıda verilen yöntemler ile asgariye indirilebilir:

- Kontrollü ısıtma ve ısıtma basamaklarının doğru seçilmesi ile gerilimin asgariye indirilmesi,
- Koruyucu gaz atmosferde, konveksiyon ve radyasyon sıcaklığının 850°C 'ye kadar birleşimi ile bütün şarjın eşit şekilde ısıtılması,
- 1-10 bar arasında bir soğutma basıncının seçilmesi ile soğutma hızının uyumunun sağlanması,

- Soğutma gaz yönünün yukarıdan aşağıya veya sağdan sola değiştirilmesi ile homojen soğutma.

Çarpılma bakımından kritik parçalarda (örneğin basınçlı döküm kalıpları), parçadaki sıcaklık farkını dengelemek için bir ön ısıtma yapılabilir, fakat bu işlem her malzeme için uygun değildir. Vakum tesisi bazı uygulamalarda düşük, bazı uygulamalarda yüksek vakuma ulaşana kadar temizlenir. Ardından soğutma basıncı elde edilene kadar tesise koruyucu gaz (azot) verilir. Özel uygulamalar için argon kullanılabilir.

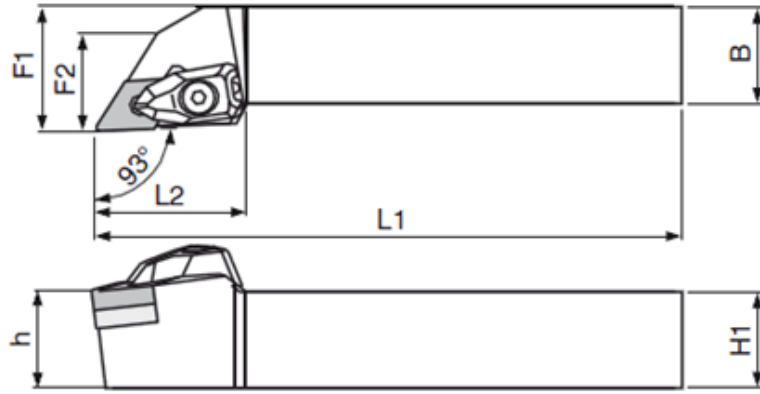
Menevişleme işlemi: Tüm takım ve kalıp çeliklerine sertlik, dayanım, tokluk ve aşınma dayanımı açılarından optimum özellikleri elde etmeleri için ısıtma işlemi uygulanmalıdır. Sertleştirme sonrası gerilimleri giderirken son özellikleri kontrol eden meneviş işlemi karmaşık olabilir, bazı çeliklere bir kaç kez menevişleme gerekir. Isıtma işlemi görmüş takım veya kalıba daha fazla aşınma ve korozyon direnci kazandırmak için nitrasyon, nitrokarbürizasyon, PVD yöntemi ile çeşitli kaplamalar, boronlama gibi yüzey işlemleri yapılabilir. Çeliğin kullanılabilmesi ve en uygun yapıyı elde etmek için iki temperleme gereklidir. İkinci temperleme sonrası bu yapı elde edilmiş olur. Sıcak iş takım çeliklerinde üçüncü bir temperleme de gereklidir. İşlem önce vakum altında yapılmaktadır. Ön ısıtmalar yapıldıktan sonra ısıtma işlemi sıcaklığına çıkılıp, soğutma azot gazı ile yapılmaktadır [90].

4.3. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

DIN 1.2344 çeliğinden hazırlanan deney numunelerinin, işlenebilirlik ölçütleri olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü esas alınmıştır. Tornalama sırasında oluşan radyal kuvvet (F_r), ilerleme kuvveti (F_f) ve esas kesme kuvveti (F_c) deneysel olarak ölçülmüştür. Ancak, değerlendirmelerde tornalamada güç sarfıyatı açısından birinci derecede öneme sahip olan F_c kuvveti dikkate alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde ise ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değeri esas alınmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan makine, takım ve cihazlar aşağıda sunulmuştur.

4.3.1. Takım Tezgahı ve Kesici Takımlar

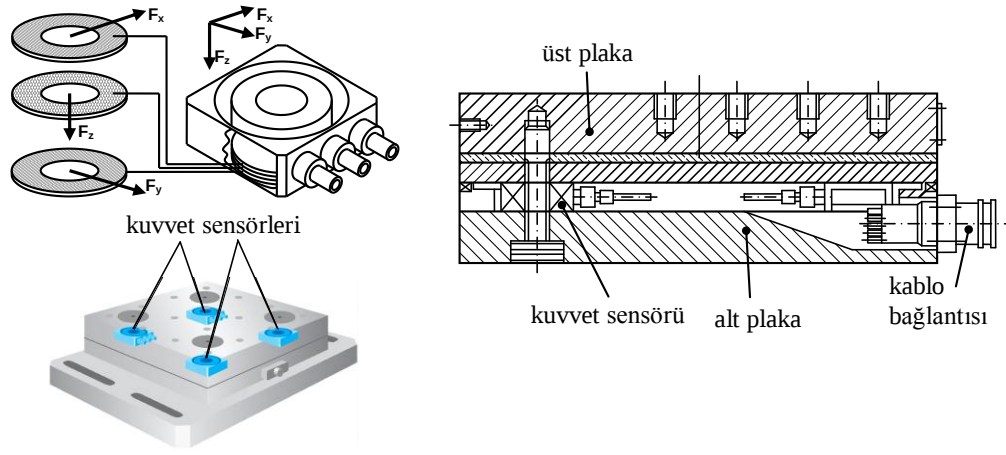
Deneylerde kullanılan takım tezgahı, Johnford TC 35 CNC Fanuc-OT marka olup motor gücü 20 HP'dir. İşleme deneylerinde, kesici takım olarak KYOCERA firmasından temin edilen DNGA150404S01225 KBN510ME kodlu kaplamasız takımlar ile DNGA150404S01225 KBN10ME kodlu kaplamalı CBN kesici takımlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak ise kesici takımların rijit bir şekilde bağlanmasını sağlayan DDJNR 2525M-12 kodlu KYOCERA ürünü dış tornalama kateri kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Takım tutucu [75].

4.3.2. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı ve Deney Düzeneği

Talaş kaldırma esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan; esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvveti (F_r) “KISTLER 9257B” tipi piezoelektrik dinamometre ile ölçülmüştür (Şekil 4.2). Deney düzeneği ve deneysel verilerin analiz aşamaları Şekil 4.3’te şematik olarak verilmiştir.

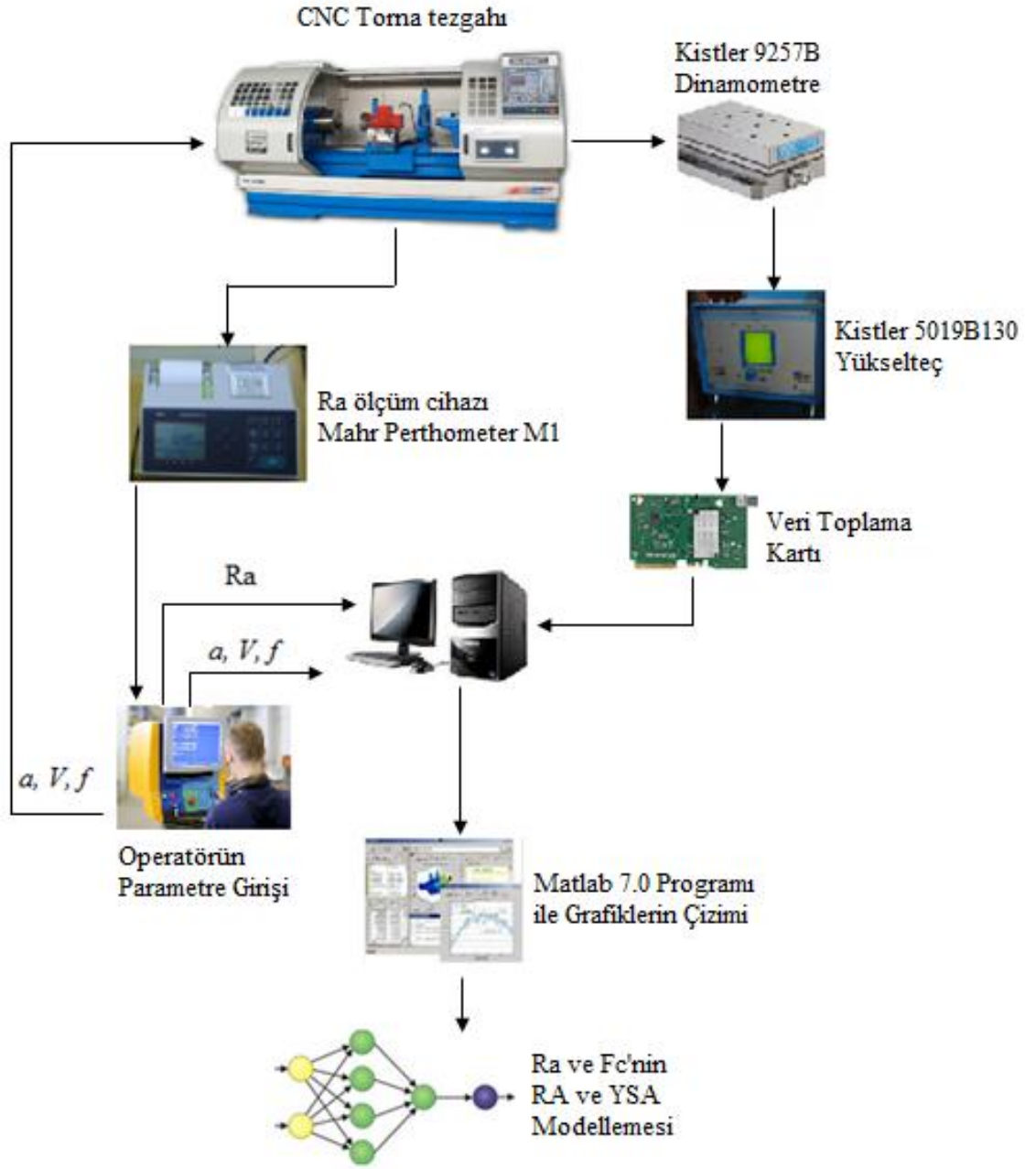


Şekil 4.2. Kistler 9257B dinamometre ve elemanları.

Deney düzeneğinde kullanılan kuvvet ölçme sistemi; üç kuvvet bileşenini (x_{F_r} , y_{F_f} , z_{F_c}) aynı anda ölçebilen dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü (yükselteç), dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program (Dynoware), bilgisayara bağlantı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır (Şekil 4.3).

Yük amplifikatörü, kuvvet sensöründen her yönde gelen (x,y,z) voltaj sinyalleri ayrı ayrı değerlendirebilmektedir. Analog kuvvet sensörlerinin ürettiği sinyallerin analogdan sayısala dönüştürücünün algılama kapasitesinin altında bir değere sahip olabilir, ancak bu tip veri kayıpları önlenmektedir. Aynı zamanda, üç kanallı ve mikroişlemci kontrollüdür.

Dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt cinsinden çıkış vermektedir. İstenilen parametreler cihaz üzerindeki tuşlar vasıtası ile ayarlanabilmekte, LCD ekran ve LED göstergelerden okunabilmesinin yanı sıra cihaz üzerinden RS232 C ve IEEE-488 interface çıkışları sayesinde tez için yapılan deney sonuçları bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 4.3. Deney düzeneği.

4.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

DIN 1.2344 malzemesinin sert tormalanmasında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi için Mahr Perthometer M1 tipi pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın bazı teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri.

Model	Mahr Perthometer M1
İğne uç yarıçapı	2 μm
Ölçme aralığı	100-150 μm
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Ölçülebilen parametreler	R_a , R_z , $R_{\max}$
Örnekleme uzunluğu	0,25 – 0,8 – 2,5 mm
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 mm

4.4. DENEY TASARIMI

Taguchi Yöntemi'ne göre yapılan deney tasarımında ilk olarak işlenebilirlik kriterleri (F_c ve R_a) üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, A- Kesici takım, B- Kesme hızı (m/dak), C- İlerleme miktarı (mm/dev), D- Kesme derinliği (mm), olmak üzere dört faktör seçilmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri ise kesici takım firması ve literatürdeki sert tornalama işlemleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. Bu faktör ve seviyelere göre yapılan karma deney tasarımı için L_{32} dikey dizini kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Taguchi L_{32} dikey dizinine göre uygulanan deney tasarımı Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Faktörler ve seviyeleri.

Sembol	Faktörler	Seviye			
		1	2	3	4
A	Kesici takım (CBN)	Kaplamasız	Kaplamalı	-----	-----
B	Kesme hızı, V (m/dak)	150	200	250	300
C	İlerleme miktarı, f (mm/dev)	0,05	0,1	0,15	0,2
D	Kesme derinliği, a (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4

Çizelge 4.4. Deneylerde uygulanan Taguchi L₃₂ deney tasarımı.

Deney No	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	1	4	4
5	1	2	1	1
6	1	2	2	2
7	1	2	3	3
8	1	2	4	4
9	1	3	1	2
10	1	3	2	1
11	1	3	3	4
12	1	3	4	3
13	1	4	1	2
14	1	4	2	1
15	1	4	3	4
16	1	4	4	3
17	2	1	1	4
18	2	1	2	3
19	2	1	3	2
20	2	1	4	1
21	2	2	1	4
22	2	2	2	3
23	2	2	3	2
24	2	2	4	1
25	2	3	1	3
26	2	3	2	4
27	2	3	3	1
28	2	3	4	2
29	2	4	1	3
30	2	4	2	4
31	2	4	3	1
32	2	4	4	2

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, sertleştirilmiş DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin CBN kesici takımlarla (kaplamalı ve kaplamasız) işlenmesinde, kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği) kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. İş parçası malzemesinin işlenebilirliği sert tornalama yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Talaş kaldırma işleminde kontrol edilebilen bu parametreler/faktörler ışığında, her bir deney için yeni bir CBN kesici takım kullanmak suretiyle Taguchi L₃₂ dikey dizinine göre toplam 32 adet deney yapılmıştır. Kesici takım malzemesi ve kesme parametrelerinin bağımsız değişken (girdi) olarak alındığı bu çalışmada, bağımlı değişken (çıktı) olarak işlenmiş yüzeylerde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvveti değerlendirilmiştir.

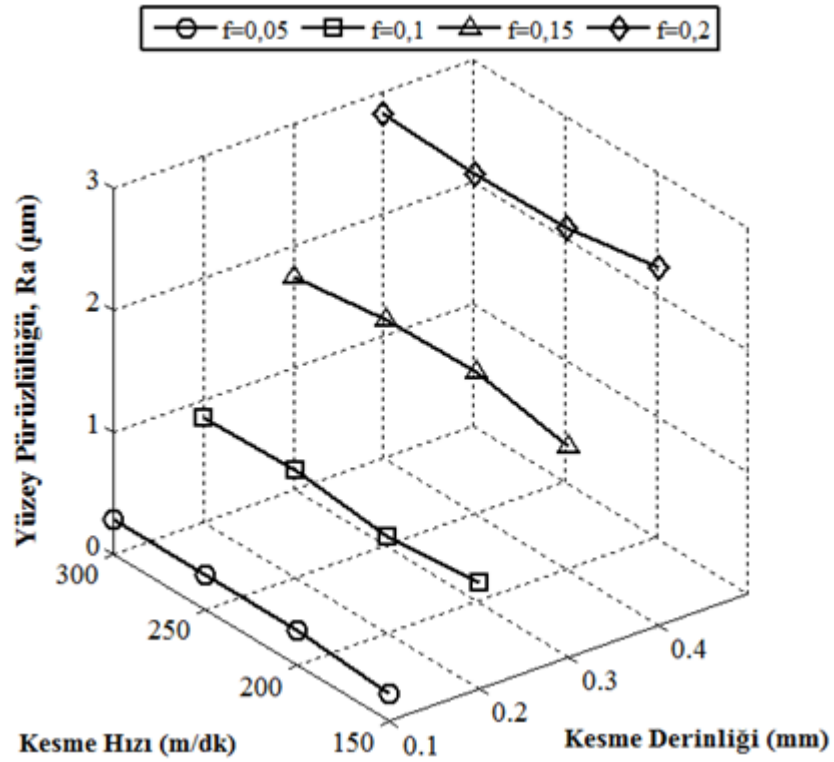
Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler kullanılarak Matlab 7.0 programında çizilen üç boyutlu grafikler ve istatistiksel analizler yardımıyla yapılmıştır. Yapılan sert tornalama deneyleri sonucunda elde edilen esas kesme kuvveti (F_c) ve ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney sonuçları.

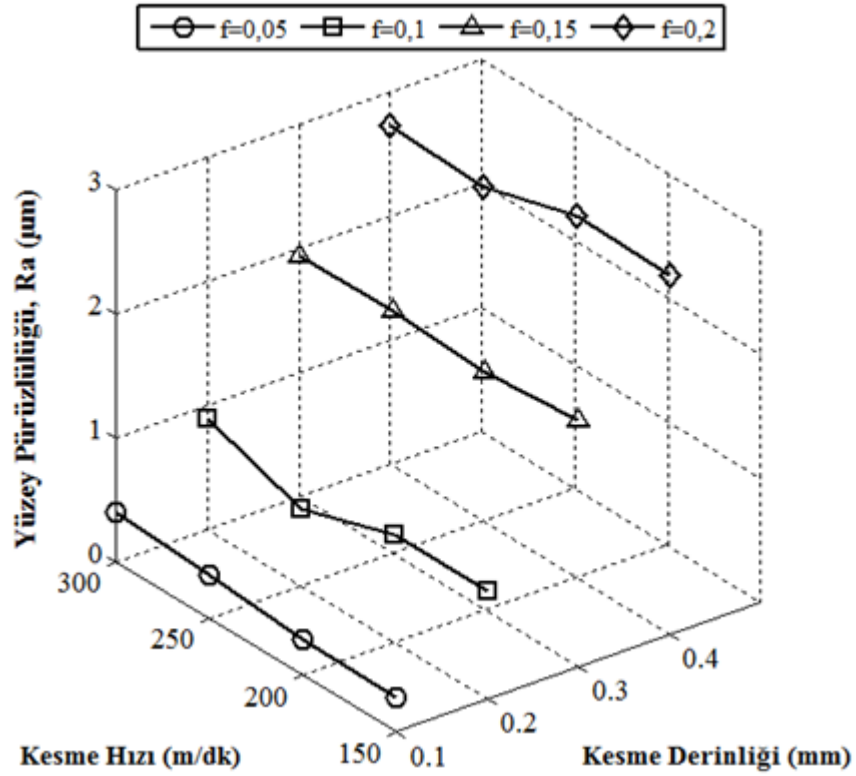
Deney No	Kesici takım	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme miktarı f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)	Esas kesme kuvveti F _c (N)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü R _a (µm)
1	Kaplamasız CBN	150	0,05	0,1	63,27	0,23
2			0,1	0,2	124,57	0,87
3			0,15	0,3	194,68	1,73
4			0,2	0,4	302,5	2,94
5		200	0,05	0,1	60,62	0,29
6			0,1	0,2	124,16	0,80
7			0,15	0,3	193,75	1,89
8			0,2	0,4	280,87	2,81
9		250	0,05	0,2	86,15	0,29
10			0,1	0,1	79,27	0,88
11			0,15	0,4	244,83	1,86
12			0,2	0,3	223,88	2,79
13		300	0,05	0,2	82,25	0,28
14			0,1	0,1	80,15	0,85
15			0,15	0,4	270,16	1,75
16			0,2	0,3	220,28	2,83
17	Kaplama CBN	150	0,05	0,4	138,45	0,28
18			0,1	0,3	155,84	0,87
19			0,15	0,2	162,46	1,99
20			0,2	0,1	98,64	2,90
21		200	0,05	0,4	130,52	0,29
22			0,1	0,3	156,32	0,87
23			0,15	0,2	157,24	1,92
24			0,2	0,1	96,65	2,92
25		250	0,05	0,3	99,87	0,35
26			0,1	0,4	196,6	0,62
27			0,15	0,1	96,94	1,96
28			0,2	0,2	168,3	2,70
29		300	0,05	0,3	102,15	0,40
30			0,1	0,4	200,53	0,89
31			0,15	0,1	100,12	1,95
32			0,2	0,2	151,06	2,73

5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği üzerinde gerçekleştirilen sert tornalama deneyleri sonucunda oluşan yüzeylerin pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde, kontrol kriteri olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) dikkate alınmıştır. Her bir deney sonrası silindirik iş parçasının işlenmiş yüzeyinin üç farklı yerinden ölçülen R_a değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. R_a değerlerinin analizi için öncelikle Matlab 7.0 programında grafikler çizilmiştir. Değerlendirmelerde, kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlarla elde edilen R_a değerlerinin değişimi ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de ilerleme miktarı (f), kesme hızı (V) ve kesme derinliği (a)’ne bağlı olarak R_a ’nın değişimi grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.1. Kaplamasız CBN için kesme parametrelerine bağlı R_a ’nın değişimi.



Şekil 5.2. Kaplamalı CBN için kesme parametrelerine bağlı R_a 'nın değişimi.

Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlarda yüzey pürüzlülüğündeki değişimin benzer olduğu görülmektedir (Şekil 5.1 ve 5.2). Grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artışıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla birlikte pürüzlülüğün artması, Eş. 5.1'den anlaşılabileceği gibi R_a değerinin f 'deki artışla beraber oransal olarak artacağını bir göstergesidir. Diğer yandan, malzemenin işlenmesinde kesme hızının diğer parametrelere göre çok daha az etkili olduğu Şekil 5.1 ve 5.2'den anlaşılabilmektedir.

$$R_a = 0,0642 \cdot f^2 / r \quad (5.1)$$

Kaplamasız takımlarda, en düşük yüzey pürüzlülük değeri 150 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,1 mm kesme derinliğinde 0,23 μm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise, 150 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,4 mm kesme derinliğinde 2,94 μm şeklinde ölçülmüştür. Kaplamalı takımlarda, en düşük yüzey pürüzlülük değeri 150 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/dev

ilerleme ve 0,4 mm kesme derinliğinde 0,28 μm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise, 300 m/dk kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme ve 0,1 mm kesme derinliğinde 2,92 μm şeklinde ölçülmüştür.

DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği malzemesinin işlenmesinde iki farklı kesici takım malzemesi ile ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğinin dört farklı seviyesi kullanılarak 32 adet deney yapılmıştır. Faktörlerin R_a üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Burada, her bir faktör/değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, her bir değişkenin R_a üzerindeki yüzde etki oranları (Percentage Contribution Ratio_PCR) hesaplanmış olup, ANOVA tablosunda verilmiştir.

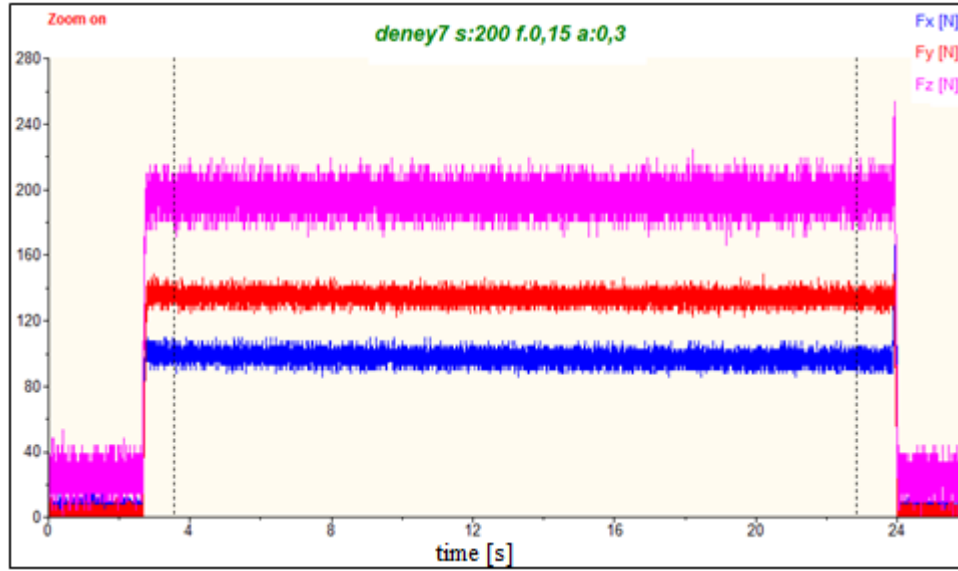
Çizelge 5.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
A	1	1,48	1,484	1,73	0,203	0,08
B	3	1,11	0,369	0,43	0,734	0,06
C	3	1789,31	596,438	695,23	0,000	98,68
D	3	3,32	1,106	1,29	0,304	0,18
Hata	21	18,02	0,858			0,99
Toplam	31	1813,24				100,00

Çizelge 5.2’den görülebileceği gibi ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde en fazla öneme sahip değişken %98,68 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur. Diğer değişkenlerin P değerleri dikkate alındığında, bu değişkenlerin R_a üzerinde %95 güven düzeyinde önemli olmadığı görülmektedir. Bu sonuçlar, literatürde yapılan çalışmalarla benzerlik göstermekte olup, sert tornalama işlemleri için ilerleme miktarının daha önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

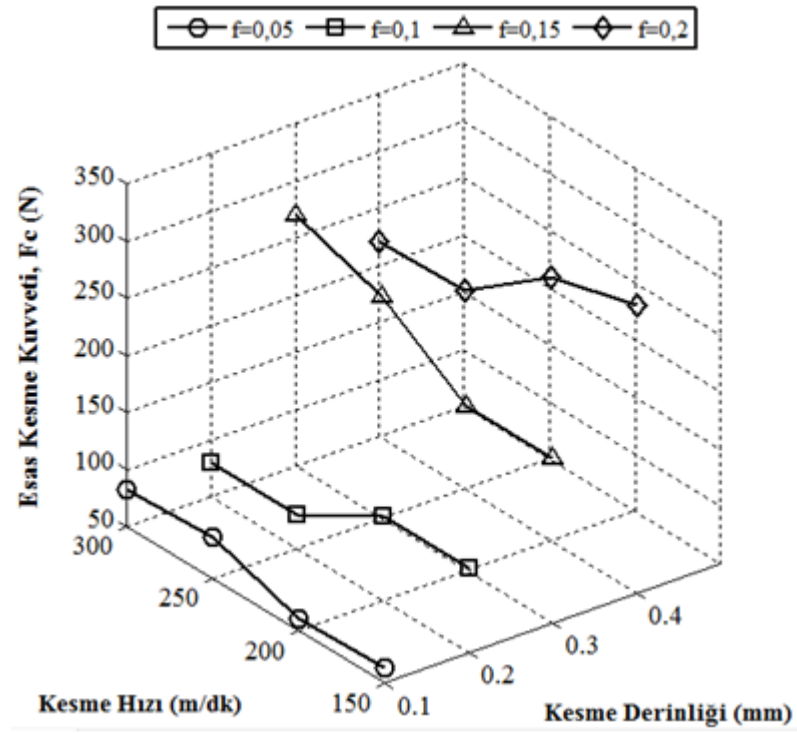
5.2. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin kaplamasız ve kaplamalı kesici takımlarla tormalanması esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri Kistler 9257B dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 5.3'teki örnek grafikte görüldüğü gibi, kesme işlemi sonunda kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama F_c , F_f ve F_r kuvvetleri belirlenebilmektedir. Dinamometre kartezyen kuvvet bileşenleri (F_x , F_y , F_z) biçiminde ölçümler gerçekleştirmekte olup; $F_x = F_f$, $F_y = F_r$ ve $F_z = F_c$ 'ye karşılık gelen kuvvetleri işaret etmektedir.

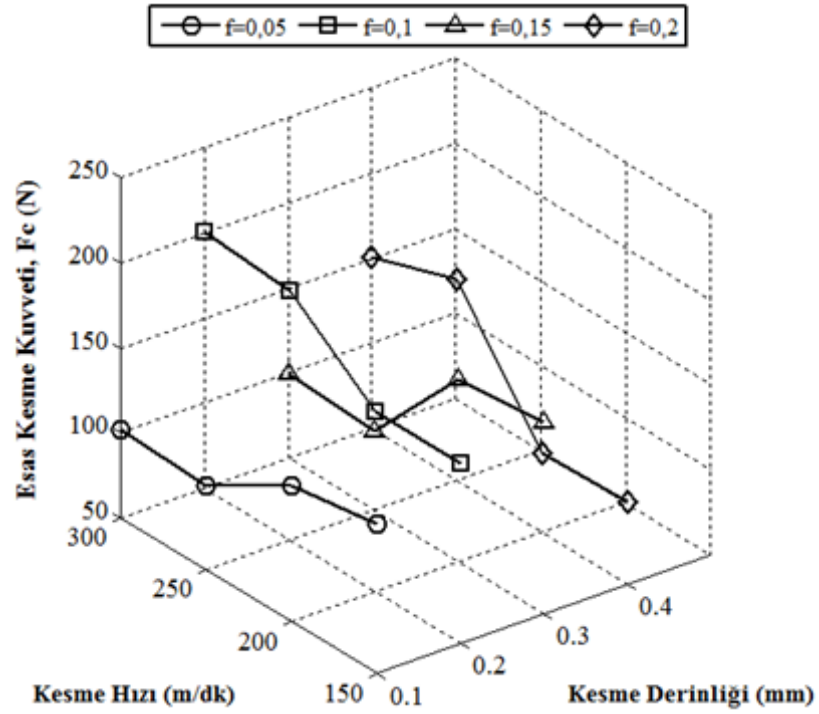


Şekil 5.3. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvvetleri.

Sert tormalama sonucunda oluşan kesme kuvvetlerinin analizinde, tormalamada enerji tüketimi açısından birincil derecede önemli olan F_c değerleri dikkate alınmıştır. Değerlendirmelerde, kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlarla elde edilen F_c değerlerinin değişimi ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te ilerleme miktarı (f), kesme hızı (V) ve kesme derinliği (a)'ne bağlı olarak F_c 'nin değişimi grafik olarak verilmiştir.



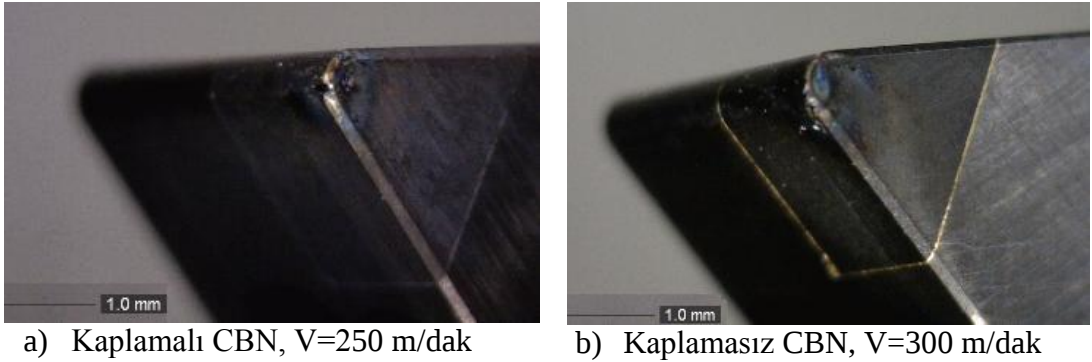
Şekil 5.4. Kaplamasız CBN için kesme parametrelerine bağlı F_c 'nin değişimi.



Şekil 5.5. Kaplamalı CBN için kesme parametrelerine bağlı F_c 'nin değişimi.

Grafikler genel olarak incelendiğinde, kaplamalı ve kaplamasız CBN kesici takımlar için esas kesme kuvvetindeki değişimin çok benzer olmadığı görülmektedir. Kaplamasız CBN takımlarda ilerleme miktarının artması ile kesme kuvvetindeki artışın daha düzenli olduğu görülmektedir (Şekil 5.4). İlerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin artması talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durum, ilerleme miktarındaki artış sonucu artan talaş kesitine atıf edilebilir.

Diğer yandan, kaplamalı CBN kesici takımlar için ilerleme miktarının artmasıyla F_c 'deki artışın düzenli olmadığı açıkça görülebilmektedir (Şekil 5.5). Kaplamalı takımlar için elde edilen bu sonuç L_{32} karma deney tasarımının bir sonucudur. Çizelge 5.1 incelenecek olursa, kaplamalı ve kaplamasız kesiciler ile yapılan deneylerde kesme derinliği parametresinin aynı olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla, kesme derinliğinin aynı değerlerde olmamasına bağlı olarak değişen talaş kesit alanlarının, F_c değerlerindeki artışların düzensizliğine neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kesme hızının 200 m/dak'dan sonraki değerlerinde yapılan kesme işleminde esas kesme kuvveti değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu durumu, yüksek kesme hızlarında kesici takımlarda oluşan aşınma ile açıklamak mümkündür (Şekil 5.6). Çünkü, 200 m/dak'dan büyük kesme hızı değerleri, CBN kesici takım için üretici firma tarafından önerilen değer üzerindedir [75].



Şekil 5.6. CBN kesici takımlarda aşınma fotoğrafları.

Şekil 5.4 ve 5.5 incelendiğinde, kaplamalı CBN kesici takımlar ile ölçülen F_c değerlerinin, özellikle 0,15 ve 0,2 mm/dev ilerleme değerlerinde, kaplamasız CBN kesici takımlarda elde edilen F_c değerlerinden nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonucu, L_{32} karma deney tasarımından kaynaklanan

talaş kesit alanı ile açıklamak mümkündür. Çizelge 5.1 incelenecek olursa, yukarıda bahsedilen f değerlerinde kaplamalı ve kaplamasız kesiciler ile yapılan deneylerde kesme derinliği parametresinin aynı olmadığı görülmektedir.

Kaplamasız kesici takım ile en düşük esas kesme kuvveti; 200 m/dak kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,1 mm kesme derinliğinde 60,62 N olarak elde edilmiştir. En yüksek esas kesme kuvveti ise, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,4 mm kesme derinliğinde 280,87 N şeklinde ölçülmüştür. Kaplamalı kesici takımlarda en düşük kesme kuvveti; 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,1 mm kesme derinliğinde 96,65 N olarak elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvveti ise, 300 m/dk kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme ve 0,4 mm kesme derinliğinde 200,53 N şeklinde ölçülmüştür.

DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği malzemesinin işlenmesinde kaplamalı ve kaplamasız CBN kesici takım ile ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğinin dört farklı seviyesi kullanılarak 32 adet deney yapılmıştır. Faktörlerin F_c üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Burada, her bir faktör/değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki P değeri dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, her bir değişkenin R_a üzerindeki yüzde etki oranları (PCR) hesaplanmış olup, ANOVA tablosunda verilmiştir.

Çizelge 5.3. Esas kesme kuvveti için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
A	1	2,194	2,1941	9,86	0,005	0,48
B	3	0,524	0,1748	0,79	0,515	0,12
C	3	163,744	54,5815	245,32	0,000	35,94
D	3	284,407	94,8024	426,1	0,000	62,43
Hata	21	4,672	0,2225			1,03
Toplam	31	455,542				100,00

Çizelge 5.3 incelendiğinde, esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken %62,43 PCR ile kesme derinliği olarak bulunmuştur. F_c üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %35,94'lük PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. ANOVA tablosundaki P değerlerine göre, kesme hızının %95 güven düzeyinde F_c için önemli olmadığı belirlenmiştir.

5.3. MATEMATİKSEL MODELLEME SONUÇLARI

5.3.1. Regresyon Analizi

Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımların her biri için kullanılan kontrol faktörleri ilerleme miktarı (f), kesme hızı (V), kesme derinliği (a) ile çıkış faktörleri; esas kesme kuvveti (F_c), ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasında tahmini model oluşturma ve bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır.

Sert tornalama deneylerinden elde edilen F_c ve R_a değerlerine uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda, çıkış faktörlerinin matematiksel modelleri ikinci dereceden denklem olarak geliştirilmiş olup, Eş.5.1-Eş.5.4'te sunulmuştur.

Kaplamasız kesici takım için F_c modeli;

$$F_c = 15,7 + 0,017 \cdot V - 329 \cdot f + 566 \cdot a + 1,99 \cdot V^2 - 1,37 \cdot f^2 + 1740 \cdot a^2$$

$$(R^2 = \%99,7)$$
(5.1)

Kaplamalı kesici takım için F_c modeli;

$$F_c = -247 + 1,22 \cdot V + 1208 \cdot f + 589 \cdot a - 5,63 \cdot V^2 - 2,27 \cdot f^2 + 3832 \cdot a^2$$

$$(R^2 = \%95,1)$$
(5.2)

Kaplamasız kesici takım için R_a modeli;

$$R_a = -0,477 + 0,00142 \cdot V + 16,3 \cdot f - 3,38 \cdot a - 0,0221 \cdot V^2 + 0,0048 \cdot f^2 + 20,6 \cdot a^2$$

$$(R^2 = \%99,2)$$
(5.3)

Kaplamalı kesici takım için R_a modeli;

$$R_a = 2,21 - 0,0089 \cdot V + 18,6 \cdot f - 5,86 \cdot a + 0,0306 \cdot V^2 + 0,0205 \cdot f^2 - 13,2 \cdot a^2$$

($R^2 = \%99,1$) (5.4)

İlerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliği (bağımsız değişkenler) ile çıkış faktörleri (bağımlı değişkenler) arasındaki ilişkileri gösteren regresyon modellerinin her biri için bulunan belirlilik katsayısı (R^2) %95'in üzerindedir. R^2 , aynı zamanda regresyon denkleminin uygunluğunu ifade eden katsayıdır. Belirlilik katsayısı, 1'e yaklaştıkça; bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon modelinin, istatistiksel olarak gerçeğe yakınlığının arttığı kabul edilmektedir. R^2 'nin %80 ve üzeri kabul edilebilir sınırlar içinde olup, değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Buradan, çoklu regresyon analizi ile elde edilen F_c ve R_a matematiksel modellerinin iyi bir tahmin edici model olarak kullanılabileceğini söylemek mümkündür.

5.3.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, literatüre bakıldığında birçok mühendislik alanında kullanılmış ve bu alanlarda olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı alanlarda zamandan tasarruf sağlanmış ve masraflarda azalma görülmüştür. Deneysel olarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında hata oranının çok az olduğu tespit edilmiştir [81].

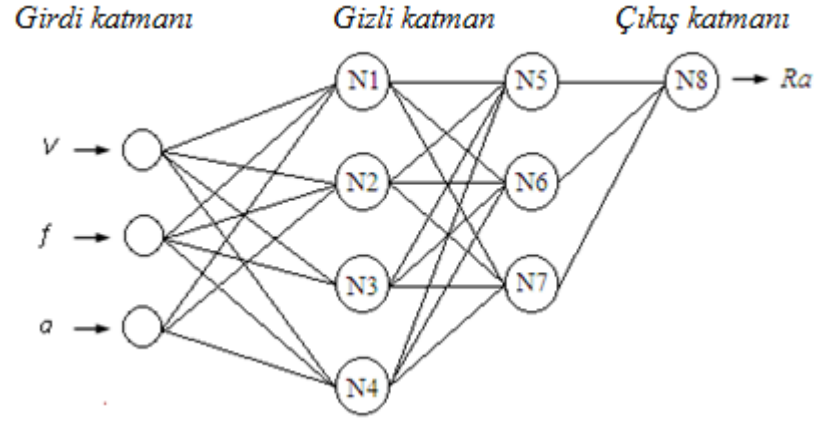
YSA analiz sonuçları ile Regresyon analizi sonuçlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla kaplamalı ve kaplamasız CBN kesici takımlar için ayrı ayrı YSA modelleri geliştirilmiştir. DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde elde edilen esas kesme kuvveti (F_c) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için YSA modellemesi *Pythia* programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *Pythia*'da YSA ile modelleme, genellikle eğitim süreci ve test süreci olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Eğitim sürecinde ağa verilen giriş ve çıkış değerleri kontrol edilerek hata (sapma) değeri en aza indirilmeye çalışılırken, test aşamasında ise ağırlık değerleri değiştirilmeksizin giriş değerleri verilerek sonucun tahmin edilmesi istenir. Kaplamasız ve kaplamalı

CBN kesici takımların her biri için 16 olmak üzere toplam 32 adet sert tornalama deneyi sonucunda ölçülen F_c ve R_a değerleri için YSA analizleri yapılmıştır. *Pythia* programına; kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği *giriş* faktörleri, F_c ve R_a değerleri de *çıkış* faktörleri olarak girilmiştir.

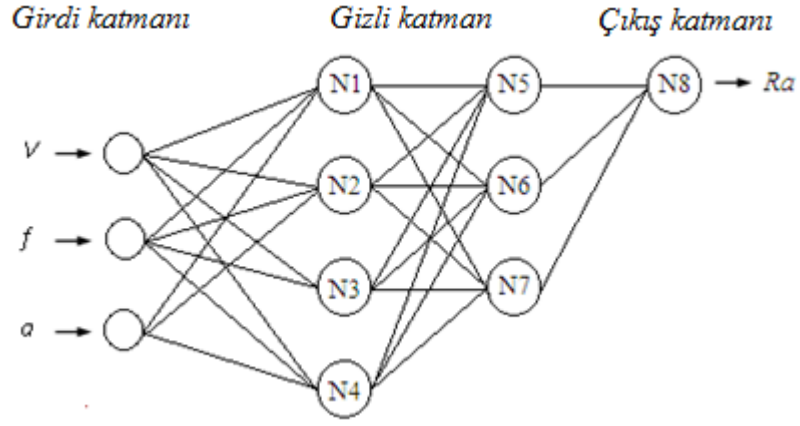
5.3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi

Her bir kesici takım için YSA ile modellemede 4 adet deney sonucu test edilmesi (doğrulanması) için seçilmiş, bunun dışında kalan diğer 12 adet deney değeri ise *Pythia*'da öğrenme verisi olarak kullanılmıştır. *Giriş* ve *çıkış* bilgileri programa aktarıldıktan sonra, model için en uygun ağ yapısının analizine geçilmiştir. Program veri setindeki üç *giriş* ve bunlara bağlı olarak bir *çıkış* değerini inceleyerek uygun ağ yapısını bulmak için çok sayıda denemeler yapılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğünün YSA ile modellenmesinde kaplamasız CBN kesici takım için uygun ağ yapısı 3-4-3-1 olarak belirlenmiştir. Kaplamalı CBN kesici takım için de uygun ağ yapısı olarak 3-4-3-1 seçilmiştir. Seçilen ağ yapısına göre, *Pythia* programında her iki kesici takım için iki seviyeli *gizli* katmanın uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Buna göre birinci ve ikinci seviyedeki *gizli* katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından sırasıyla 7 ve 7 olarak seçilmiştir. Sonuç olarak, kaplamasız CBN kesici takım için N_1, N_2, N_3, N_4 nöronları *gizli* katmandaki birinci seviye ve N_5, N_6, N_7 nöronları da *gizli* katmandaki ikinci seviye olarak belirlenmiştir. N_8 ise ağın çıkış nöronudur. Benzer şekilde, kaplamalı CBN için N_1, N_2, N_3, N_4 nöronları *gizli* katmandaki birinci seviye ve N_5, N_6, N_7 nöronları da *gizli* katmandaki ikinci seviye olarak belirlenmiştir. Yine N_8 ise ağın çıkış nöronudur. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de sırasıyla kaplamasız ve kaplamalı kesici takımlar için R_a 'nın tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi verilmiştir.



Şekil 5.7. Kaplamasız CBN için ağ yapısı.



Şekil 5.8. Kaplamalı CBN için ağ yapısı.

YSA'da uygun ağ yapısı belirlendikten sonra, ağın eğitilmesi için gerekli parametreler girilerek ağın eğitilmesi sağlanır. Eğitim sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunur ve YSA çıktı değerleri ile gerçek deney sonuçlarından ortalama sapma değeri hesaplanır. Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), Fermi aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R_a = \frac{1}{1 + e^{-4 \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot N_i - 0,5 \right)}} \quad (5.5)$$

Burada, n gizli katmanda kullanılan nöron sayısını ve w_i nöronların ağırlık değerlerini göstermektedir. N_i ise gizli katmanda kullanılan her bir nöronun R_a değeri üzerindeki etkisi olup, YSA modelinde kullanılan kesme parametrelerine göre;

$$E_i = 4 \cdot (c_{1i} \cdot V + c_{2i} \cdot f + c_{3i} \cdot a - 0,5) \quad (5.6)$$

olmak üzere,

$$N_i = \frac{1}{1 + e^{-E_i}} \quad (5.7)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Burada C_{ij} sabitleri, *Pythia* programında veri setinin eğitimi sonucunda gizli katmanda kullanılan her bir nöron için ağırlık değerlerini (w) göstermektedir. Kaplamasız CBN kesici takım için her bir nöronun R_a değeri üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_{ij} sabitleri) Çizelge 5.4'te verilmiştir. Nöronların ağırlık değerleri *Pythia* programından elde edilmiş olup, C_{ij} sabitlerinden birinci seviyede üç, ikinci seviyede dört sabit bulunmaktadır. Birden fazla yapılan ağ eğitimlerinde en uygun ağ topolojisi belirlenmiş ve bu topoloji içerisinde yer alan nöronların ağırlık değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Kaplamasız CBN takım için her bir nöronun ağırlık değerleri.

i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}
<i>Birinci seviye nöronlar</i>				
1	0,496392	-1,17712	0,246951	----
2	0,477925	1,835843	1,403257	----
3	0,0684	1,080223	-0,02631	----
4	0,061552	-0,51607	0,103239	----
<i>İkinci seviye nöronlar</i>				
5	-0,6032	0,269946	0,889169	0,015087
6	-1,29021	-1,67792	2,44787	-1,27053
7	1,432614	-0,06724	-0,80333	0,111138

Kaplamasız kesici takım için R_a 'nın ağ yapısında iki seviyeli gizli katman olduğundan; birinci seviye nöronlar (N_1, N_2, N_3, N_4) Eş. 5.6 doğrultusunda Eş. 5.7'ye göre C_{ij} sabitleri yardımıyla ifade edilmiş olup, sırasıyla gizli katmanlar için Eş.5.8

ve Eş.5.9 kullanılmıştır. Ancak ikinci seviye nöronların (N_5 , N_6 , N_7) birinci seviye nöronlarla bağlantısı nedeniyle, $i= 5, 6, 7$ için Eş.5.6 yerine Eş.5.8 ve Eş.5.9 kullanılmıştır. Kesme parametrelerine dayalı R_a tahmin modeli (ağın çıkış nöronu, N_{10}), YSA ağ yapısındaki ağırlık değerleri kullanılarak Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre elde edilmiştir (Eş.5.10).

$$E_{i1-4} = w_{1i} \cdot V + w_{2i} \cdot f + w_{3i} \cdot a \quad (5.8)$$

$$E_{i5-7} = w_{i5} \cdot N_1 + w_{i6} \cdot N_2 + w_{i7} \cdot N_3 \quad (5.9)$$

$$R_a = \frac{1}{1 + e^{-4(0,495486N_5 + 1,608885N_6 - 1,91738N_7 - 0,5)}} \quad (5.10)$$

Kaplamalı CBN kesici takım için her bir nöronun R_a değeri üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_{ij} sabitleri) Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Nöronların ağırlık değerleri *Pythia* programından elde edilmiştir. C_{ij} sabitlerinden birinci seviyede üç, ikinci seviyede dört sabit bulunmaktadır. Çizelge 5.5'te, birden fazla yapılan ağ eğitimlerinde en uygun ağ topolojisi belirlenmiş ve bu topoloji içerisinde yer alan nöronların ağırlık değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Kaplamalı CBN takım için her bir nöronun ağırlık değerleri.

i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}
<i>Birinci seviye nöronlar</i>				
1	-0,6112	-0,39031	1,017868	----
2	-0,02456	-0,04805	0,987003	----
3	-0,01648	-1,33286	0,735662	----
4	-0,28482	0,879782	-0,09557	----
<i>İkinci seviye nöronlar</i>				
5	-0,27628	0,704296	-0,03572	0,627297
6	-1,39109	-1,35647	-0,29464	1,136881
7	1,052356	-0,41506	1,454755	-1,54256

Kaplamalı CBN kesici takım için R_a tahmin modelinin bulunmasında kaplamasız CBN takım için uygulanan işlem basamakları sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hata fonksiyonları ve R_a tahmin edici matematiksel model Eş.5.11-Eş.5.13'te sırasıyla verilmiştir:

$$E_{i1-4} = w_{1i} \cdot V + w_{2i} \cdot f + w_{3i} \cdot a \quad (5.11)$$

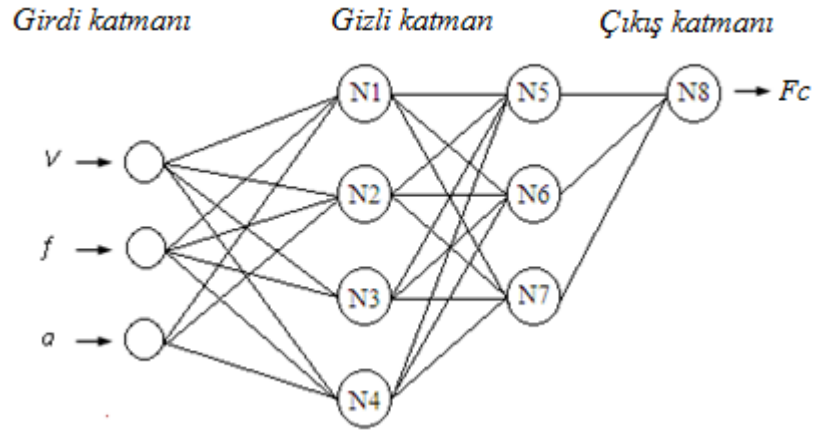
$$E_{i5-7} = w_{i5} \cdot N_1 + w_{i6} \cdot N_2 + w_{i7} \cdot N_3 \quad (5.12)$$

$$R_a = \frac{1}{1 + e^{-4 \cdot (0,890312N_5 + 1,675515N_6 - 1,20084N_7 - 0,5)}} \quad (5.13)$$

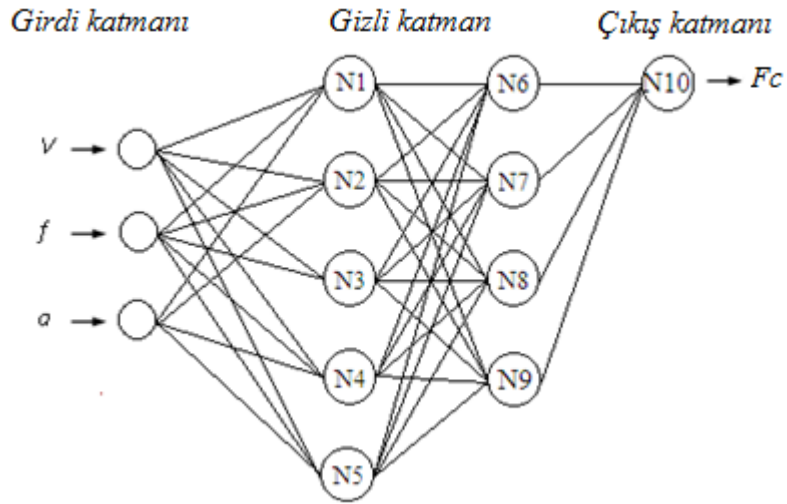
5.3.2.2. Esas Kesme Kuvvetinin Modellenmesi

DIN 1.2344 çeliğinin sert tornalanması sırasında oluşan esas kesme kuvvetinin YSA ile modellenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü için uygulanan işlemler aynen gerçekleştirilmiştir. Kaplamasız CBN kesici takım için uygun ağ yapısı 3-4-3-1 olarak belirlenirken, kaplamalı CBN kesici takım için uygun ağ yapısı ise 3-5-4-1 şeklinde seçilmiştir. Her iki kesici takım içinde, iki seviyeli *gizli* katmanın uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Buna göre, birinci ve ikinci seviyedeki *gizli* katmanlarda kullanılacak nöron sayısı *Pythia* programı tarafından sırasıyla 7 ve 9 olarak seçilmiştir. Bu durumda, kaplamasız CBN kesici takım için N_1, N_2, N_3, N_4 nöronları *gizli* katmandaki birinci seviye olurken N_5, N_6, N_7 nöronları *gizli* katmandaki ikinci seviye olarak belirlenmiştir. N_8 ise ağın çıkış nöronu olup, F_c değerini temsil etmektedir. Kaplamalı CBN kesici takım için, N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 nöronları *gizli* katmandaki birinci seviye, N_6, N_7, N_8, N_9 nöronları ise *gizli* katmandaki ikinci seviye olarak belirlenmiştir. N_{10} ise ağın çıkış nöronudur.

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sırasıyla kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takım için F_c 'nin tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Kaplamasız CBN için ağ yapısı.



Şekil 5.10. Kaplamalı CBN için ağ yapısı.

YSA'da uygun ağ yapıları belirlendikten sonra, ağın eğitilmesi için gerekli parametreler girilerek ağın eğitilmesi sağlanmıştır. Eğitim sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunarak, YSA çıktı değerleri ile gerçek deney sonuçlarından ortalama sapma değeri hesaplanmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar için esas kesme kuvveti (F_c), Fermi aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_c = \frac{1}{1 + e^{-4 \left(\sum_i^n w_i \cdot N_i - 0,5 \right)}} \quad (5.14)$$

Burada, n gizli katmanda kullanılan nöron sayısını ve w_i nöronların ağırlık değerlerini göstermektedir. N_i ise gizli katmanda kullanılan her bir nöronun F_c değeri üzerindeki etkisi olup, YSA modelinde kullanılan kesme parametrelerine göre;

$$E_i = 4 \cdot (c_{1i} \cdot V + c_{2i} \cdot f + c_{3i} \cdot a - 0,5) \quad (5.15)$$

olmak üzere,

$$N_i = \frac{1}{1 + e^{-E_i}} \quad (5.16)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Burada C_{ij} sabitleri, *Pythia* programında veri setinin eğitimi sonucunda gizli katmanda kullanılan her bir nöron için ağırlık değerlerini (w) göstermektedir. Kaplamasız CBN kesici takım için her bir nöronun F_c üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri (C_{ij}) Çizelge 5.6’da verilmiştir. Nöronların ağırlık değerleri *Pythia* programından elde edilmiş olup, C_{ij} sabitlerinden birinci seviyede üç, ikinci seviyede dört sabit bulunmaktadır.

Çizelge 5.6. Kaplamasız CBN takım için her bir nöronun ağırlık değerleri.

i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}
<i>Birinci seviye nöronlar</i>				
1	-0,53382	-0,02118	-0,18434	----
2	0,609241	-0,77723	-1,14437	----
3	-0,87231	-0,23239	0,850939	----
4	0,314513	0,464002	0,128553	----
<i>İkinci seviye nöronlar</i>				
5	1,0486608	1,386345	0,249972	-0,50625
6	-1,77599	0,29778	0,72311	0,483559
7	0,036702	1,072214	-0,16898	-0,07704

Kaplamasız CBN kesici takım için F_c 'nin ağ yapısında iki seviyeli gizli katman olduğundan; birinci seviye nöronlar (N_1, N_2, N_3, N_4) için Eş.5.17 kullanılmıştır. Ancak ikinci seviye nöronların (N_5, N_6, N_7) birinci seviye nöronlarla bağlantısı nedeniyle, $i = 5, 6, 7$ için Eş.5.18 kullanılmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak geliştirilen R_a tahmin modeli (ağın çıkış nöronu, N_{10}), YSA ağ yapısındaki ağırlık değerleri kullanılarak Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre elde edilmiştir (Eş.5.19).

$$E_{i1-4} = w_{1i} \cdot V + w_{2i} \cdot f + w_{3i} \cdot a \quad (5.17)$$

$$E_{i5-7} = w_{i5} \cdot N_1 + w_{i6} \cdot N_2 + w_{i7} \cdot N_3 \quad (5.18)$$

$$F_c = \frac{1}{1 + e^{-4(1,55029N_5 + 2,392022N_6 - 1,33045N_7 - 0,5)}} \quad (5.19)$$

Kaplamalı CBN kesici takım için her bir nöronun F_c değeri üzerindeki etkisinin tanımlamasında kullanılan ağırlık değerleri w (başka bir deyişle C_{ij} sabitleri) Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kaplamalı CBN takım için her bir nöronun ağırlık değerleri.

i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}	C_{5i}
Birinci seviye nöronlar					
1	1,733879	-2,19434	0,015732	----	----
2	0,023795	0,580052	-2,33555	----	----
3	-0,28112	1,627903	0,243355	----	----
4	-0,77847	-0,86349	0,120776	----	----
5	0,69476	0,237448	-0,13577	----	----
İkinci seviye nöronlar					
6	0,878568	-1,35447	0,435777	0,499995	0,055347
7	-0,26664	1,20855	0,045482	0,654413	0,192354
8	1,367971	-0,87435	-2,18047	1,01395	-0,25659
9	0,157776	-0,07851	-0,22248	-0,52376	-1,06589

Kaplamalı CBN kesici takım için F_c 'nin ağ yapısında iki seviyeli gizli katman olduğundan; birinci seviye nöronlar (N_1, N_2, N_3, N_4, N_5) için Eş.5.20 kullanılmıştır. İkinci seviye nöronların (N_6, N_7, N_8, N_9) birinci seviye nöronlarla bağlantısı nedeniyle, $i = 6, 7, 8, 9$ için Eş.5.21 kullanılmıştır. F_c tahmin modeli (ağın çıkış nöronu, N_{10}), YSA ağ yapısındaki ağırlık değerleri kullanılarak Fermi aktivasyon fonksiyonuna göre elde edilmiştir (Eş.5.22).

$$E_{i1-5} = w_{1i} \cdot V + w_{2i} \cdot f + w_{3i} \cdot a \quad (5.20)$$

$$E_{i6-9} = w_{i6} \cdot N_1 + w_{i7} \cdot N_2 + w_{i8} \cdot N_3 + w_{i9} \cdot N_4 \quad (5.21)$$

$$F_c = \frac{1}{1 + e^{-4(2,065858N_6 - 1,07075N_7 - 2,28258N_8 + 0,457745N_9 - 0,5)}} \quad (5.22)$$

5.4. DENEYSEL SONUÇLAR İLE MODEL TAHMİN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar ile işlenmesinde oluşan esas kesme kuvveti (F_c) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ile matematiksel modellerden elde edilen tahmin sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.8-Çizelge 5.10'da sunulmuştur. Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de, modellemede eğitim için belirlenen 12 adet deney sonucu ile F_c ve R_a için YSA ve Regresyon analizi (RA) kullanılarak geliştirilen modellerin tahmin sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.9'da ise test için ayrılan deneysel sonuçlar ile matematiksel modellerden elde edilen değerler karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.8. F_c için deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması.

KAPLAMASIZ							KAPLAMALI						
Parametreler				Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	RA Sonuçları	Parametreler				Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	RA Sonuçları
No	V	f	a	F_c (N)	F_c (N)	F_c (N)	No	V	f	a	F_c (N)	F_c (N)	F_c (N)
1	150	0,15	0,3	194,68	203,576	200,125	1	150	0,05	0,4	138,45	138,527	130,215
2	150	0,2	0,4	302,5	292,248	295,55	2	150	0,1	0,3	155,84	154,943	161,86
3	200	0,05	0,1	60,62	65,443	60,45	3	150	0,15	0,2	162,46	161,365	155,185
4	200	0,1	0,2	124,16	108,443	119,2	4	200	0,1	0,3	156,32	156,978	160,66
5	200	0,15	0,3	193,75	188,996	195,35	5	200	0,15	0,2	157,24	158,129	151,26
6	200	0,2	0,4	280,87	280,033	288,9	6	200	0,2	0,1	96,65	97,258	103,54
7	250	0,05	0,2	86,15	89,838	90,475	7	250	0,05	0,3	99,87	100,535	111,955
8	250	0,1	0,1	79,27	86,114	76,55	8	250	0,1	0,4	196,6	195,59	199,93
9	250	0,15	0,4	244,83	246,787	239,025	9	250	0,15	0,1	96,94	98,421	87,705
10	250	0,2	0,3	223,88	225,813	225,1	10	300	0,1	0,4	200,53	198,873	187,38
11	300	0,05	0,2	82,25	85,152	82,6	11	300	0,15	0,1	100,12	100,23	95,13
12	300	0,1	0,1	80,15	77,348	80,5	12	300	0,2	0,2	151,06	151,761	157,68

Çizelge 5.9. R_a için deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması.

KAPLAMASIZ							KAPLAMALI						
Parametreler				Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	RA Sonuçları	Parametreler				Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	RA Sonuçları
No	V	f	a	R_a (μm)	R_a (μm)	R_a (μm)	No	V	f	a	R_a (μm)	R_a (μm)	R_a (μm)
1	150	0,15	0,3	0,87	0,89	0,9145	1	150	0,05	0,4	0,87	0,866	0,9625
2	150	0,2	0,4	1,73	1,725	1,81275	2	150	0,1	0,3	1,99	1,99	1,9005
3	200	0,05	0,1	2,94	2,804	2,917	3	150	0,15	0,2	2,90	2,902	2,9705
4	200	0,1	0,2	0,29	0,372	0,262	4	200	0,1	0,3	0,29	0,299	0,198
5	200	0,15	0,3	1,89	1,778	1,79	5	200	0,15	0,2	1,92	1,918	1,89
6	200	0,2	0,4	2,81	2,814	2,863	6	200	0,2	0,1	2,92	2,894	2,934
7	250	0,05	0,2	0,29	0,295	0,18675	7	250	0,05	0,3	0,35	0,344	0,379
8	250	0,1	0,1	0,88	0,869	0,9435	8	250	0,1	0,4	0,62	0,615	0,788
9	250	0,15	0,4	2,79	2,831	2,615	9	250	0,15	0,1	2,70	2,699	2,56
10	250	0,2	0,3	0,28	0,283	0,2505	10	300	0,1	0,4	0,40	0,397	0,318
11	300	0,05	0,2	0,85	0,787	0,928	11	300	0,15	0,1	0,89	0,886	0,906
12	300	0,1	0,1	1,75	1,65	1,8595	12	300	0,2	0,2	1,95	1,947	2,038

Çizelge 5.10. Test için ayrılan deney sonuçları ile tahmin sonuçları.

KAPLAMASIZ								KAPLAMALI						
Parametreler				Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	RA Sonuçları		Parametreler				Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	RA Sonuçları
No	f	V	a	F _c (N)	F _c (N)	F _c (N)		No	f	V	a	F _c (N)	F _c (N)	F _c (N)
1	0,1	150	0,2	124,57	97,232	122,457		1	0,2	150	0,1	98,64	97,361	110,19
2	0,05	150	0,1	63,27	67,051	61,475		2	0,05	200	0,4	130,52	131,499	131,74
3	0,15	300	0,4	270,16	238,38	227,4		3	0,2	250	0,2	168,3	150,271	175,68
4	0,2	300	0,3	220,28	240,085	225,3		4	0,05	300	0,3	102,15	99,98	124,83
KAPLAMASIZ								KAPLAMALI						
Parametreler				Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	RA Sonuçları		Parametreler				Deney Sonuçları	YSA Sonuçları	RA Sonuçları
No	f	V	a	R _a (μm)	R _a (μm)	R _a (μm)		No	f	V	a	R _a (μm)	R _a (μm)	R _a (μm)
1	0,05	150	0,1	0,23	0,471	0,222		1	0,05	150	0,4	0,28	0,298	0,156
2	0,1	200	0,2	0,80	0,878	0,923		2	0,1	200	0,3	0,87	1,017	0,978
3	0,15	250	0,4	1,86	1,71	1,858		3	0,15	250	0,1	1,96	2,31	2,151
4	0,2	300	0,3	2,83	2,833	2,537		4	0,2	300	0,2	2,73	2,529	2,626

Çizelge 5.10'da verilen sonuçlar incelendiğinde, kaplamasız CBN kesici takım için $f = 0,05$ mm/dev, $V = 150$ m/dak ve $a = 0,1$ mm kesme şartlarında F_c değeri 63,27 N olarak ölçülürken, YSA tahmininde %5,64 artarak 67,051 N, RA tahmininde %2,91 azalarak 61,475 N olarak elde edilmiştir. $f = 0,2$ mm/dev, $V = 300$ m/dak ve $a = 0,3$ mm kesme şartlarında F_c değeri 220,28 N olarak elde edilirken, YSA tahmin sonucunda %8,25 artarak 240,085 N, RA ile tahmin sonucunda ise %2,23 artarak 225,3 N olarak bulunmuştur.

Kaplamalı CBN kesici takımda ise $f = 0,05$ mm/dev, $V = 200$ m/dak, $a = 0,4$ mm kesme şartlarında F_c değeri 130,52 N olarak elde edilirken, YSA tahmininde % 0,75 artarak 131,499 N, RA tahmininde %0,93 artarak 131,74 N olarak elde edilmiştir. $f = 0,2$ mm/dev, $V = 150$ m/dak, $a = 0,1$ kesme şartlarında ise deney sonucu 98,64 N olarak ölçülüp, YSA tahmin sonucunda %1,3 azalarak 97,361 N ve RA tahmin sonucunda ise %13,17 oranında artarak 110,19 N olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.10'daki değerlerin tamamı değerlendirildiğinde; kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar için elde edilen esas kesme kuvveti tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında ortalama $\pm 10\%$ 'dan az hatanın olduğu belirlenmiştir.

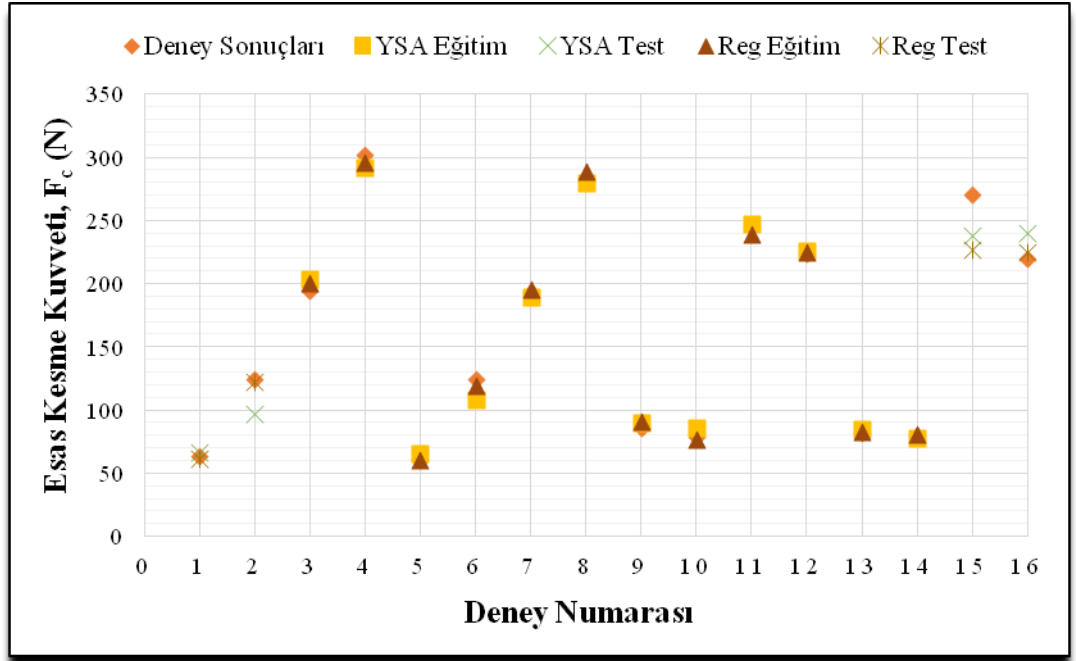
Çizelge 5.10'da R_a için verilen karşılaştırma tablosu incelendiğinde, kaplamasız CBN kesici takımda $f = 0,1$ mm/dev, $V = 200$ m/dak, $a = 0,2$ mm kesme şartlarında yapılan deney sonucu R_a değeri 0,80 μm olarak elde edilirken, YSA tahmininde %8,89 artarak 0,878 μm , RA tahmininde %13,33 artarak 0,923 μm olarak elde edilmiştir. $f = 0,15$ mm/dev, $V = 250$ m/dak, $a = 0,4$ mm kesme şartlarında yapılan deneyde R_a değeri 1,86 μm olarak ölçülürken, YSA tahmin sonucunda %8,77 azalarak 1,71 μm , RA tahmin sonucunda ise %0,9 azalarak 1,858 μm olarak elde edilmiştir.

Kaplamalı CBN kesici takımda ise; $f = 0,2$ mm/dev, $V = 300$ m/dak, $a = 0,2$ mm kesme şartlarında yapılan deney sonucu R_a değeri, 2,73 μm olarak elde edilirken, YSA tahmininde %8,3 azalarak 2,52 μm , RA tahmininde %4,1 azalarak 2,62 μm olarak bulunmuştur. $f = 0,1$ mm/dev, $V = 200$ m/dak, $a = 0,3$ mm kesme şartlarında ise deney

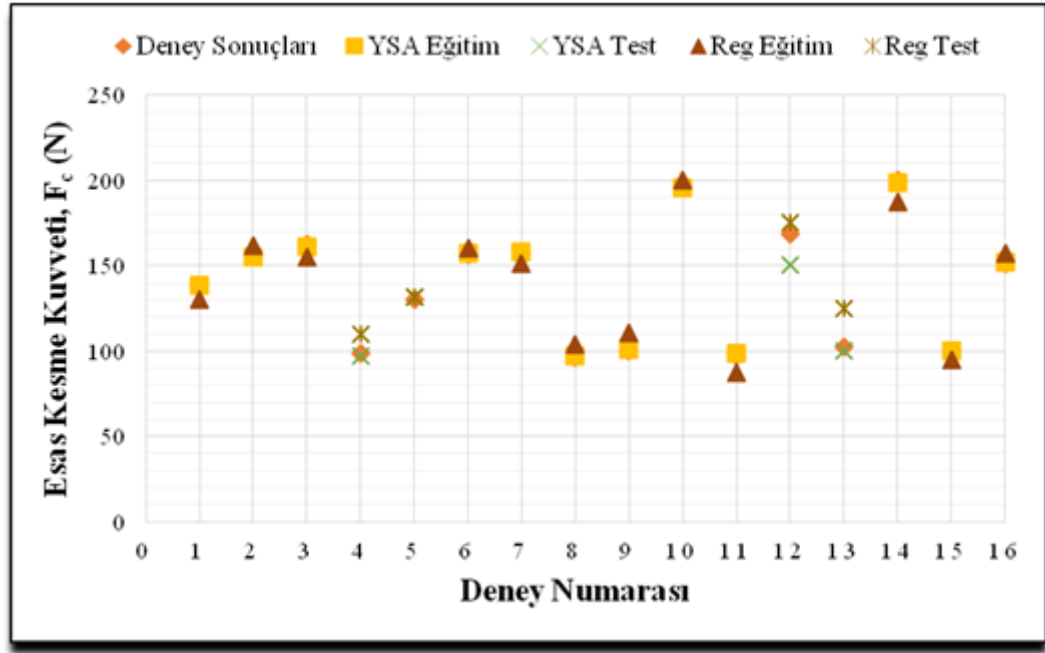
sonucu 0,87 μm olarak ölçölüp, YSA tahmin sonucunda %11 artarak 1,01 μm ve RA tahmin sonucunda ise %8,31 artarak 0,97 μm olarak elde edilmiştir.

Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar için ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tamamı karşılaştırıldığında (Çizelge 5.10), tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında ortalama $\pm$ % 14'den az hatanın olduğu tespit edilmiştir.

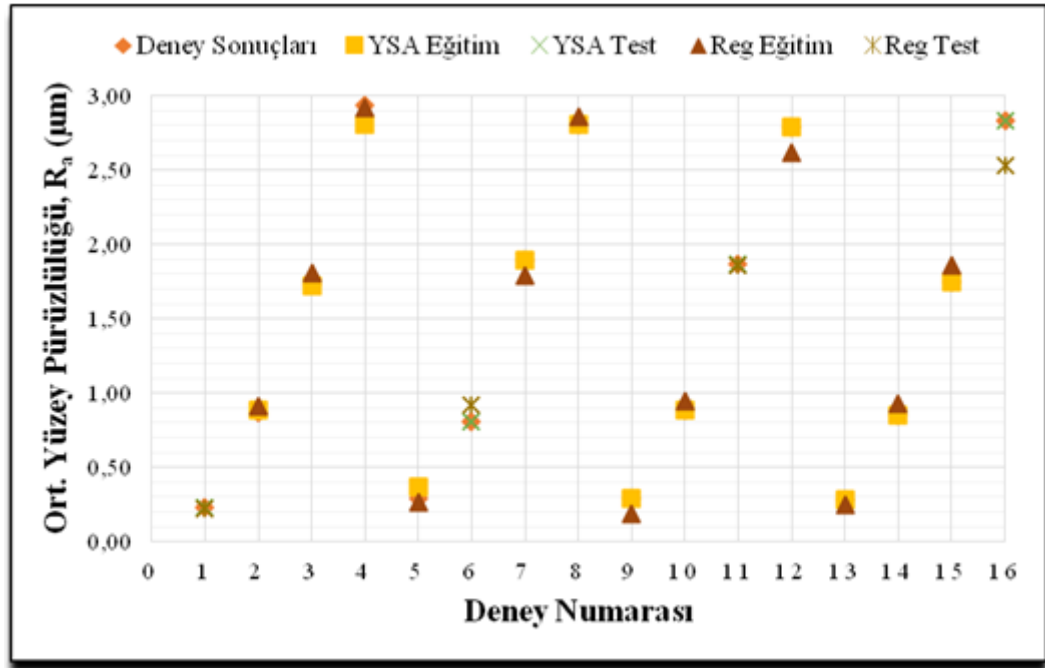
Şekil 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14'te deney sonuçları, YSA, RA eğitim ve test sonuçlarının karşılaştırılması, kaplamalı ve kaplamasız CBN kesici takımlara göre nokta grafiği olarak gösterilmiştir.



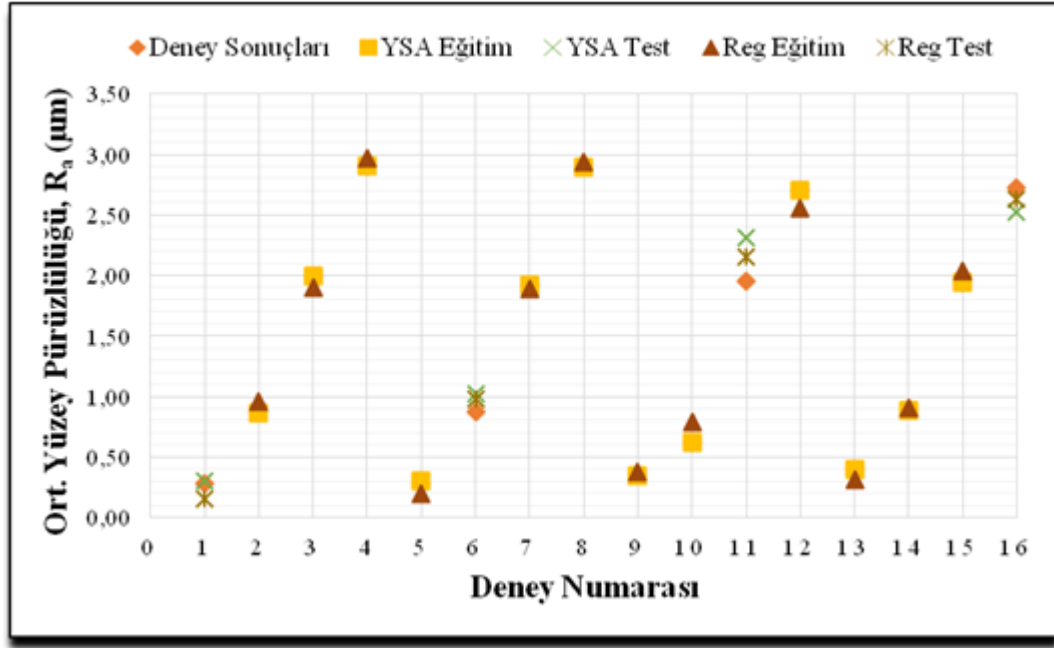
Şekil 5.11. Kaplamasız CBN kesici takım için F_c 'nin deney, YSA, RA eğitim ve test sonuçları.



Şekil 5.12. Kaplamalı CBN kesici takım için F_c 'nin deney, YSA, RA eğitim ve test sonuçları.



Şekil 5.13. Kaplamasız CBN kesici takım için R_a 'nın deney, YSA, RA eğitim ve test sonuçları.



Şekil 5.14. Kaplamalı CBN kesici takım için R_a 'nın deney, YSA, RA eğitim ve test sonuçları.

Bu çalışmanın son aşamasında, daha çok deneysel veriler yardımıyla geliştirilen matematiksel modellerin uygunluğunu göstermek amacıyla modellerin güvenilirliği çeşitli hata kontrol yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

YSA'daki eğitim ve test işlemleri belirli bir hata (deney sonucu elde edilen değer ile YSA sonucu bulunan değer arasındaki fark, e_i) değeriyle yapıldığından, bu hata değerleri toplamının ortalamasının minimize edilmesi gerekir. Bu minimize edilmek istenen değer hata kareler ortalaması (*mean squared error, MSE*) aynı zamanda ağ performansını da belirleyen bir kriterdir. Öğrenme sonundaki YSA model sonuçlarının gerçek deney sonuçlarına uygunluğunda; hata kareler ortalaması karekökü (*root-mean-squared, RMS*), belirlilik katsayısı (R^2) ve ortalama mutlak yüzde hata (*mean absolute percentage error, MAPE*) kriter alınmıştır. Ayrıca YSA sonucu bulunan tüm değerlerin yüzde hata ($\% Hata$) değerleri belirlenmiştir:

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_i e_i^2 = \frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2 \quad (5.23)$$

$$RMS = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2} \quad (5.24)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i (o_i)^2} \right) \quad (5.25)$$

$$\%Hata = \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (5.26)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (5.27)$$

Eş. 5.23 – Eş. 5.27’de p , t_i , o_i ve e_i ; sırasıyla örnek deney sayısını, deney sonucu elde edilen çıktı değişkeni değerini, YSA sonucu bulunan çıktı katmanı değerini ve hata değerini göstermektedir. %Hata bütün örnekler için hesaplanmakta ve bunlar içinden en yüksek olanı maksimum yüzde hatayı vermektedir. Yüzde hataları toplamının örnek sayısına bölünmesiyle ortalama mutlak yüzde hata (*MAPE*) değerleri bulunmuştur. Eş. 5.24’deki *RMS*’nin 0’a yakınlığı geliştirilen modelin başarı oranını gösteren bir kriter olarak kullanılmıştır. Eş. 5.25’deki R^2 gerçek deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki uyumu belirten bir katsayıdır. R^2 değeri 1’e yaklaştıkça geliştirilen modelin başarı oranı yükselmektedir. Eş. 5.27’deki en küçük *MAPE* değeri modelin uygulanabilirlik başarısını göstermektedir [85, 89].

Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de, kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takım için geliştirilen modellerle hesaplanan F_c değerlerinin gerçek sonuçlara uygunluğunda kullanılan hata kareler ortalaması karekökü (*RMS*), belirlilik katsayıları (R^2), ve ortalama mutlak yüzde hata ($\pm \% MAPE$) değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.11. Kaplamasız CBN takımında F_c için YSA ve RA modeline ait hata kontrol tablosu.

	RMS	R²	MAPE
YSA Eğitim Verisi	0,68918	0,9935	4,42721
YSA Test Verisi	2,32587	0,98315	12,169
Regresyon Eğitim Verisi	0,438898	0,999425	1,969388
Regresyon Test Verisi	2,15809	0,984624	5,731612

Çizelge 5.12. Kaplamalı CBN takımında F_c için YSA ve RA modeline ait hata kontrol tablosu.

	RMS	R²	MAPE
YSA Eğitim Verisi	0,093574	0,999959	0,585682
YSA Test Verisi	0,911521	0,9944	3,720865
Regresyon Eğitim Verisi	0,786934	0,997096	5,603521
Regresyon Test Verisi	1,326403	0,990733	9,807888

Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12 incelendiğinde, eğitim sonucundaki ortalama mutlak yüzde hata (MAPE); kaplamasız kesici takımında esas kesme kuvveti için YSA ve RA’da sırasıyla %4,4272 ve %1,9693 olurken, kaplamalı kesici takım için %0,5856 ve %8,6035 olarak hesaplanmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında ise MAPE; kaplamasız kesici takım için %12,169 ve %5,7316 olurken, kaplamalı kesici takım için %3,7208 ve %9,8078 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’den görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar, özellikle R^2 değerinin %99 olarak hesaplanması, F_c için geliştirilen YSA ve RA modellerinin uygunluğunu göstermektedir.

Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14’te, kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takım için geliştirilen modellerle hesaplanan R_a değerlerinin gerçek sonuçlara uygunluğunda kullanılan RMS , R^2 , ve $MAPE$ değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.13. Kaplamasız CBN takımında R_a için YSA ve RA modeline ait hata kontrol tablosu.

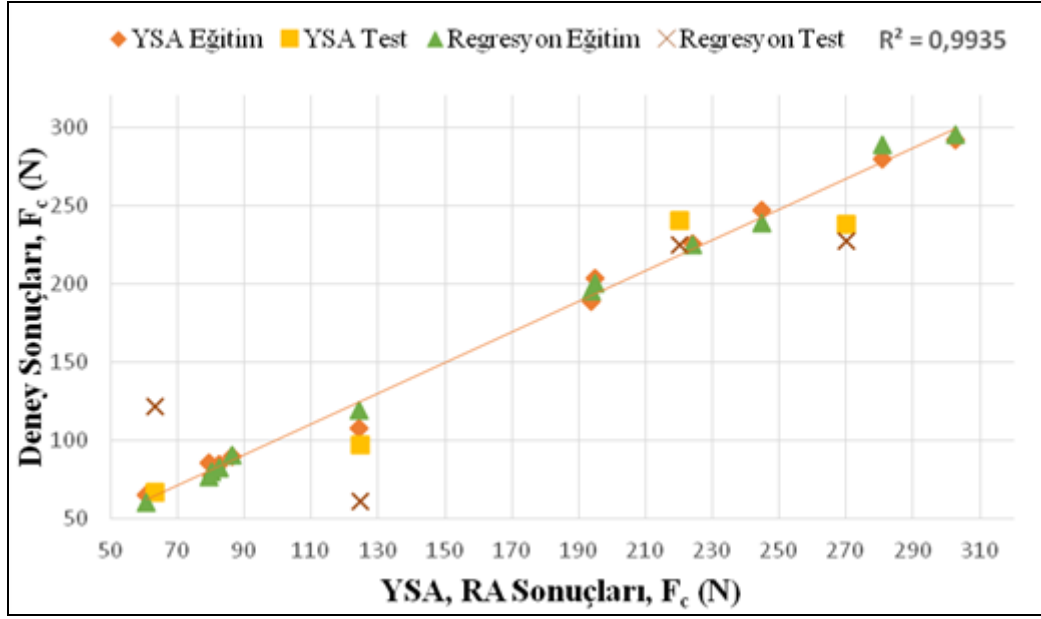
	RMS	R²	MAPE
YSA Eğitim Verisi	0,006751	0,998443	4,92275
YSA Test Verisi	0,014727	0,992736	30,27903
Regresyon Eğitim Verisi	0,00857	0,997569	8,682916
Regresyon Test Verisi	0,015809	0,990735	7,332468

Çizelge 5.14. Kaplamalı CBN takımında R_a için YSA ve RA modeline ait hata kontrol tablosu.

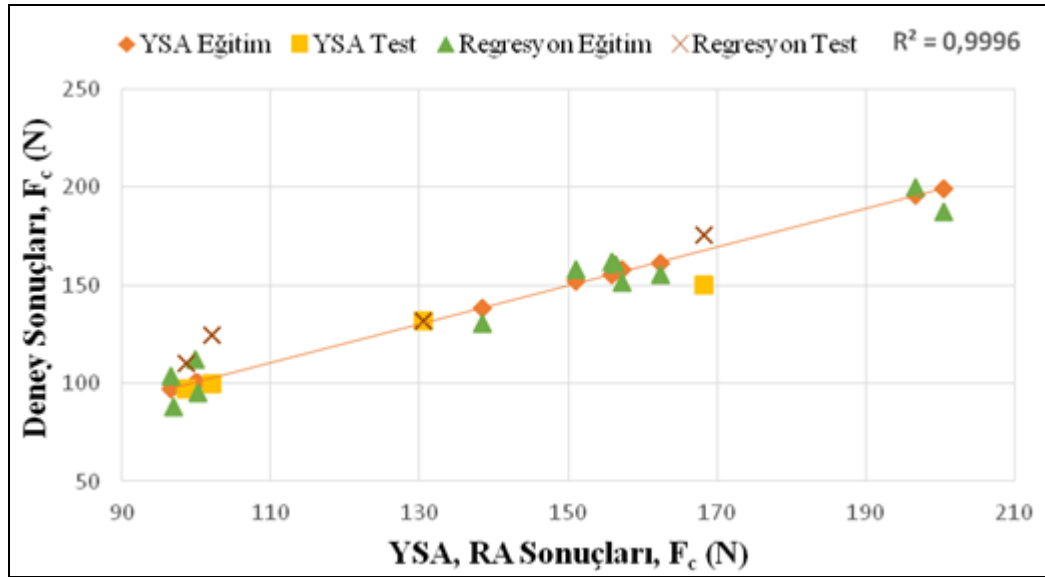
	RMS	R²	MAPE
YSA Eğitim Verisi	0,000918533	0,999973208	0,827414
YSA Test Verisi	0,021615555	0,985461502	12,28372675
Regresyon Eğitim Verisi	0,008897	0,997499	9,725707
Regresyon Test Verisi	0,013674	0,994019	17,42214

Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14 incelendiğinde, eğitim sonucundaki ortalama mutlak yüzde hata (MAPE); kaplamasız kesici takımında ortalama yüzey pürüzlülüğü için YSA ve RA’da sırasıyla %4,922 ve %8,682 olurken, kaplamalı kesici takım için %0,8247 ve %9,725 olarak hesaplanmıştır. Test sonuçları incelendiğinde ise MAPE; kaplamasız kesici takım için YSA ve RA’da sırasıyla %30,279 ve %7,332 olurken, kaplamalı kesici takım için %12,283 ve %17,422 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, R^2 değerlerinin %99 olarak bulunması R_a için geliştirilen YSA ve RA modellerinin uygunluğunu göstermektedir.

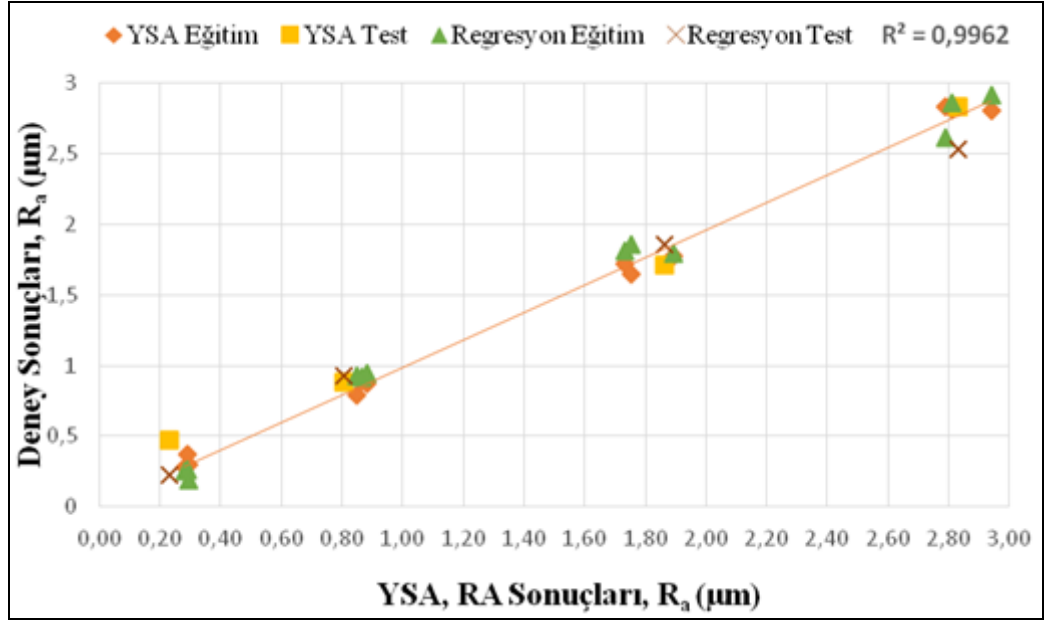
Şekil 5.11-5.14’te, kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar için YSA ve RA ile geliştirilen matematiksel modeller kullanılarak hesaplanan F_c ve R_a sonuçları ile gerçek sonuçların uygunluğunu gösteren grafikler verilmiştir. Deneysel sonuçlar ile RA ve YSA sonuçları karşılaştırıldığında, sonuçların birbirine çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca, deneysel ve tahmini sonuçlar arasında %99 gibi yüksek belirlilik katsayısında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.



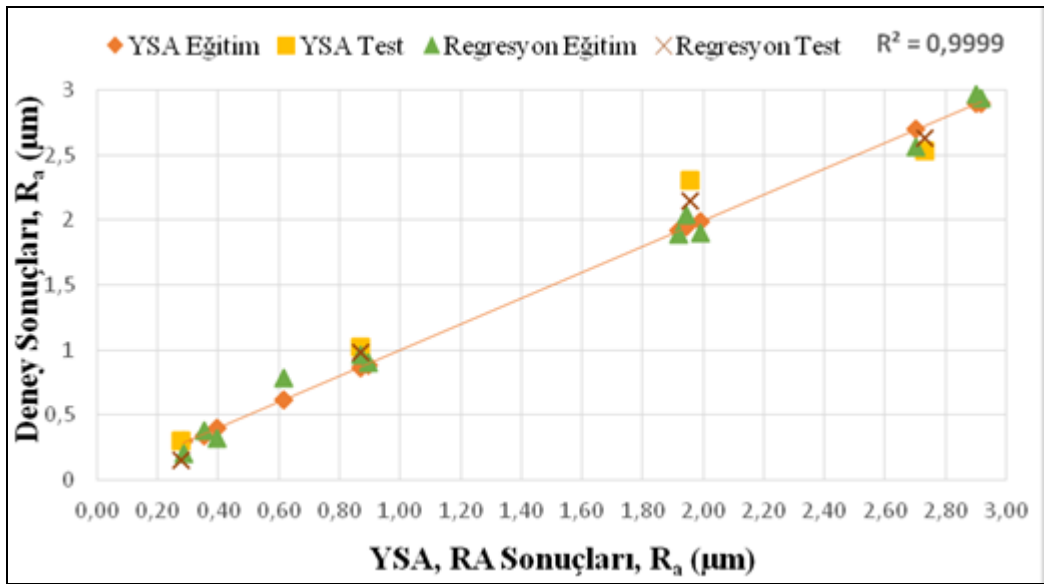
Şekil 5.15. Kaplamasız CBN kesici takımında F_c için YSA ve RA performansı.



Şekil 5.16. Kaplamalı CBN kesici takımında F_c için YSA ve RA performansı.



Şekil 5.17. Kaplamasız CBN kesici takımında R_a için YSA ve RA performansı.



Şekil 5.18. Kaplamalı CBN kesici takımında R_a için YSA ve RA performansı.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sertleştirilmiş DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin sert tornalama yöntemiyle işlenebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, literatür araştırması ışığında gerçekleştirilen işleme deneylerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve esas kesme kuvveti (F_c)'nin tahminini amaçlayan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu amaçla, Taguchi L_{32} dikey dizinine göre yapılan sert tornalama deneyleri sonucunda oluşan R_a ve F_c değerleri belirlenmiştir. Regresyon analizi (RA) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri kullanılarak, R_a ve F_c için kaplamalı ve kaplamasız CBN kesici takıma göre ikişer model olmak üzere toplam dört matematiksel model oluşturulmuştur. Geliştirilen matematiksel modellerin sert tornalama operasyonlarında pratik kullanımı ve doğruluğu incelenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar için ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış gözlenmiştir.
- Kaplamasız takımlarda, en düşük R_a değeri 150 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,1 mm kesme derinliğinde 0,23 μm olarak elde edilmiştir. Kaplamalı takımlarda ise, en düşük R_a değeri 150 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,4 mm kesme derinliğinde 0,28 μm olarak elde edilmiştir.
- Kaplamasız CBN kesici takımlarda ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artması ile esas kesme kuvvetindeki artışın daha düzenli olduğu görülmektedir. Diğer yandan, kaplamalı CBN kesici takımlar için ilerleme miktarının artmasıyla

F_c 'deki artışın düzenli olmadığı belirlenmiştir. Kaplamalı takım için bu sonucun L_{32} karma deney tasarımından kaynaklandığı bulunmuştur.

- Kesme hızının 200 m/dak'dan sonraki değerlerinde yapılan kesme işleminde F_c değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu durum, CBN kesici takım üretici firması tarafından önerilen değerin üzerinde yüksek kesme hızlarında kesici takımlarda oluşan aşınma ile açıklanmıştır.
- Kaplamasız kesici takım ile en düşük F_c ; 200 m/dak kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,1 mm kesme derinliğinde 60,62 N olarak elde edilmiştir. Kaplamalı kesici takımlarda ise, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/dev ilerleme ve 0,1 mm kesme derinliğinde 96,65 N olarak elde edilmiştir.
- Faktörlerin R_a ve F_c üzerindeki etki seviyelerini belirlemek amacıyla %95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. R_a üzerinde en fazla öneme sahip değişken %98,68 PCR ile ilerleme miktarı olarak bulunurken, F_c üzerinde en fazla öneme sahip değişken %62,43 PCR ile kesme derinliği olarak tespit edilmiştir.
- F_c ve R_a değerlerine uygulanan çoklu regresyon analizi sonucunda, çıkış faktörlerinin matematiksel modelleri ikinci dereceden denklem olarak geliştirilmiş olup, hesaplanan R^2 değerleri bu modellerin iyi bir tahmin edici olarak kullanılabileceğini göstermiştir.
- Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar için elde edilen esas kesme kuvveti tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında ortalama $\pm\%10$ 'dan az hatanın olduğu belirlenmiştir.
- Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takımlar için ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tamamı karşılaştırılmış olup, tahmin sonuçları ile deney sonuçları arasında ortalama $\pm\%14$ 'den az hatanın olduğu tespit edilmiştir.
- Kaplamasız ve kaplamalı CBN kesici takım için geliştirilen matematiksel modeller ile hesaplanan F_c ve R_a değerlerinin gerçek deney sonuçlarına

uygunluğu, hata kareler ortalaması karekökü (RMS), belirlilik katsayısı (R^2), ve ortalama mutlak yüzde hata ($\pm$ % MAPE) gibi hata kontrol yöntemleri ile değeriendirilmiştir. Özellikle R^2 değeriinin %99 olarak bulunması, F_c ve R_a için geliştirilen YSA ve RA modellerinin uygunluğunu onaylamıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre şu öneriler yapılabilir:

- DIN 1.2344 çeliğinin sert tornalama işleminde, CBN kesici takım için takım ömrü modeli geliştirilebilir.
- Farklı sıcak iş takım çeliği serisi malzemeler için, seramik kesici takım ile CBN kesici takımın performansı incelenebilir.
- DIN 1.2344 çeliğinin sert tornalama işleminde kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. DeGarmo, E. P., Black, J. T. and Kohser, R. A., “Materials and Processes in Manufacturing”, **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey, 589-652 (1997).
2. Kalpakjian, S. and Schmid, S. R., “Manufacturing Processes For Engineering Materials”, **Prentice Hall**, New Jersey, 404-460 (2003).
3. Uçun, İ. ve Aslantaş, K., “Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürlü kesici takımın performansının araştırılması”, **5. Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu**, 13-15 Mayıs, Karabük, 92-97 (2009).
4. Grzesik, W., Rech, J. and Wanat, T., “Surface finish on hardened bearing steel parts produced by superhard and abrasive tools”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 47: 255–262 (2007).
5. Zhou, J. M., Andersson, M. and Stahl, J. E., “Identification of cutting errors in precision hard turning process”, **Journal of Materials Processing Technology**, 153–154: 746–750 (2004).
6. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri”, **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 163-170 (2001).
7. Chou, Y. and Song, H., “Tool nose radius effects on finish hard turning”, **Journal of Materials Processing Technology**, 148: 259–268 (2004).
8. Remadna, M. and Rigal, J. F., “Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts”, **Journal of Materials Processing Technology**, 178: 67–75 (2006).
9. Yan, H. H. J. and Shivpuri R., “Flow stres of AISI H13 die steel in hard machining”, **Materials and Design**, 28: 272–277 (2007).
10. Grzesik, W. and Zak, K., “Modification of surface finish produced by hard turning using superfinishing and burnishing operations”, **Journal of Materials Processing Technology**, 212: 315– 322 (2012).
11. Bartarya, G. and Choudhury S. K., “State of the art in hard turning”, **International Journal of Machine Tools&Manufacture**, 53: 1–14 (2012).
12. Kumar, A. S., Durai, A. R. and Sornakumar, T., “Machinability of hardened steel using alumina based ceramic cutting tools”, **Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 21: 109–117 (2003).

13. Abukhshim, N. A., Mativenga, P. T. and Sheikh, M. A., "Investigation of heat partition in high speed turning of high strength alloy steel", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 45 (15): 1687-1695 (2005).
14. Dalhman, P., Gunnberg, F. and Jacobson, M., "The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning", ***Journal of Materials Processing Technology***, 147: 181–184 (2004).
15. Bosheh, S. S. and Mativenga P. T., "White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speeds using CBN tooling", ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 46: 225–233 (2006)
16. Attanasio A., Umbrello, D., Cappellini, C., Rotella, G. and M'Saoubi, R., "Tool wear effects on white and dark layer formation in hard turning of AISI 52100 steel", ***Wear***, 286–287: 98–107 (2012).
17. Suresh, R., Basavararajappa, S. and Samuel, G. L., "Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool", ***Measurement***, 45: 1872–1884 (2012).
18. Aouici, H., Yallese, M. A., Chaoui, K., Mabrouki, T. and Rigal, F., "Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: prediction model and cutting conditions optimization", ***Measurement***, 45: 344–353 (2012).
19. Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ. and Şeker, U., "Investigation of the effect of rake angle on main cutting force", ***International Journal of Machine Tools & Manufacture***, 44: 953–959 (2004).
20. Turgut Y. and Korkut I., "High capacity three-component dynamometer design, construction and its calibration", ***Scientific Research and Essays***, 7 (30): 2699-2707 (2012).
21. Günay, M., "Investigation of the interaction between the surface quality and rake angle in machining of AISI 1040 steel", ***SİGMA Journal of Engineering and Natural Sciences***, 26 (2): 105-111 (2008).
22. Altınkaya, E. ve Güllü A., "AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde talaş kırıcı formunun takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi", ***Politeknik Dergisi***, 11 (1): 13-17 (2008).
23. Demir H., Ulaş B. ve Zeyveli, M., "Stavax esr çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi", ***5. Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu***, Karabük, 1270-1273 (2009).
24. Lalwani, D. I., Mehta, N. K. and Jain, P. K., "Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel", ***Journal of Materials Processing Technology***, 206 (1-3): 167-179 (2008).

25. Sadik, M. İ., “Wear development and cutting forces on CBN cutting tool in hard part turning of different hardened steels”, ***Procedia CIRP*** **1**, 232–237 (2012).
26. Sahoo, A. K. and Sahoo, B., “Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts”, ***Measurement***, **45**: 2153–2165 (2012).
27. Oliveira, A. J., Diniz, A. E. and Ursolino, D. J., “Hard turning in continuous and interrupted cut with PCBN and whisker-reinforced cutting tools”, ***Journal of Materials Processing Technology***, **209** (12-13): 5262-5270 (2009).
28. Bartarya, G., and Choudhury, S. K., “Effect of cutting parameters on cutting force and surface roughness during finish hard turning AISI52100 grade steel”, ***Procedia CIRP*** **1**, 651–656 (2012).
29. Zhang, J. H., “Theory and Technique of Precision Cutting”, ***Pergamon Press***, Oxford, 1-50 (1991).
30. Özkan, İ. A., “Tornalamada kesme kuvvetlerinin ve takım ucu sıcaklığının bulanık mantık ve yapay sinir ağı teknikleriyle tahmin edilmesi”, ***Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Konya, 1-3 (2006).
31. Kadirgama, K. and Abou-El-Hossein, K. A., “Predicting of cutting force model by using neural network”, ***Journal of Applied Sciences***, **6**: 31-34 (2006).
32. Taşdemir, Ş., Neşeli, S., Sarıtaş İ. and Yıldız S., “Prediction of surface roughness using artificial neural network in lathe”, ***CompSysTech’08***, Bulgaria, 6-8 (2008).
33. Günay, M. ve Yücel, E., “Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron”, ***Measurement***, **46**: 913-919 (2013).
34. Sakarya, N. ve Göloğlu, C., “Taguchi yöntemi ile cep işlemede kullanılan takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin belirlenmesi”, ***Gazi Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık Fakültesi Dergisi***, **21**: 603-611 (2006).
35. Günay, M., Kaçal, A. and Turgut, Y., “Optimization of machining parameters in milling of Ti-6Al-4V alloy using taguchi method”, ***E-journal of New World Sciences Academy***, **6**: 1 (2011).
36. Zain, M. A., Haron, H., Qasem, S. N. and Sharif, S., “Regression and ANN models for estimating minimum value of machining performance”, ***Applied Mathematical Modelling***, **36**: 1477–1492 (2012).
37. Çaydaş, U. and Haşçalık, A., “A study on surface roughness in abrasive waterjet machining process using artificial neural networks and regression analysis method”, ***Journal of Materials Processing Technology***, **202**: 574–582 (2007).

38. Hessainia, Z., Belbah, A., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J., “On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations”, **Measurement**, 46 (5): 1671-1681 (2013).
39. Asiltürk, İ. and Çunkaş, M., “Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method”, **Expert Systems with Applications**, 38: 5826–5832 (2011).
40. Karayel D., “Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network”, **Journal of Materials Processing Technology**, 209: 3125–3137 (2009).
41. Özlü, E., “Analytical modeling of cutting process mechanics and dynamics for simulation of industrial machining operations", Doktora Tezi, **Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-12 (2008).
42. Pontes, J. F., Paiva, A., Balestrassi, P. P., Ferreira J. R. and Silva, M. B., “Optimization of Radial Basis Function neural network employed for prediction of surface roughness in hard turning process using Taguchi’s orthogonal arrays”, **Expert Systems with Applications**, 39: 7776–7787 (2012).
43. Özel, T. and Karpaz, Y., “Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 45: 467–479 (2005).
44. Rapetto, M. P., Almqvist, A., Larsson, R. and Lugt, P. M., “On the influence of surface roughness on real area of contact in normal, dry, friction free, rough contact by using a neural network”, **Wear**, 266: 592–595 (2009).
45. Parakkal, G., Zhu, R., Kapoor, S. G. and DeVor, R. E., “Modeling of turning process cutting forces for grooved tools”, **Int. Journal of Machine Tools and Manufacture**, 42: 179-191 (2002).
46. Benardos, P. G. and Vosniakos, G. C., “Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi’s design of experiments”, **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, 18: 343–354 (2002).
47. Dawim, J. P., Gaitonde, V. N. and Karnik, S. R., “Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models”, **Journal of Materials Processing Technology**, 205: 16–23 (2008).
48. Nalbant, M., Gökkaya, H., Toktaş, İ. and Sur, G., “The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks”, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 25 (1): 211-223 (2009).

49. Reddy, R. G., Kapoor, S. G. and DeVor, R. E., “A mechanistic force model for contour turning”, *Transactions of the ASME, Journal of Manuf. Science and Eng.*, 122: 398-405 (2000).
50. Hu, X., “An experimental and analytical study of the effect of material microstructures on the machinability of Al-Si alloys”, PhD. Thesis, *Michigan Technological University*, Michigan, 20-85 (2005).
51. Shaw, M. C., “Metal Cutting Principles”, *Oxford University Press*, Oxford, 19-29 (1989).
52. Groover, M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems”, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, USA, 251-639 (1996).
53. Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A. and Manoharan, N., “Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques”, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (4): 32-36 (2008).
54. Günay, M., “Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiC_p kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 107-126 (2009).
55. Güllü, A., Özdemir, A. ve Demir, H., “Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi”, *Teknoloji/Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 6 (1-2): 79-92 (2003).
56. Thomas, T. R., “Characterizing of surface roughness”, *Precision Engineering*, 3: 97-104 (1981).
57. Sherington, I. and Smith, E. H., “Parameters for characterizing the surface topography of engineering components”. *Proc. Instn Mech. Engrs*, 201 (4): 297-360 (1987).
58. Yang, J. L. and Chen, J. C., “A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations”, *Journal of Industrial Technology*, 17 (2): 2-8 (2001).
59. Kirik A., “Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre yüzey pürüzlülüğünün tahmini için model geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-37 (2010).
60. Bağcı, M., “Makine Teknik Resmi”, *Milli Eğitim Basımevi*, Yayın No: 410, İstanbul, 140-142 (1996).
61. Güllü, A., “Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-30 (1995).

62. Scarr A. J. T., "Metrology and Precision Engineering", **McGraw-Hill**, London, 2-213 (1967).
63. Thomas, T. R. and Charton, G., "Variation of roughness parameters on same typical manufactured surfaces", **Precision Engineering**, 3 (2): 91-96 (1981).
64. King, T. G. and Spedding, T. A., "On the relationships between surface profile height parameters", **Wear**, 83: 91-108 (1982).
65. Sarı, H., "Frezelemede takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri", Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 12-13 (2008).
66. Galyer, J. F. W. and Shotbolt, C. R., "Metrology For Engineers", **Cassell Publishers Limited**, London, (1990).
67. Yim, D. Y. and Kim, S. W., "Optimum sampling for R_a roughness measurement", **Journal of Mechanical Engineering Science**, 205: 139-142 (1991).
68. Lou, M. S., Chen, J. C. and Li, C. M., "Surface roughness prediction technique for cnc end-milling", **Journal of Industrial Technology**, 15 (1): 2-6 (1998).
69. Kwon, Y., "Robust control of surface roughness in a turning operation", **Bell and Howell Information and Learning Company**, The University of Iowa (2000).
70. Cheung, C. F. and Lee, W. B., "A theoretical and experimental investigation of surface roughness formation in ultra-precision diamond turning", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 40: 979-1002 (2000).
71. Akkurt, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", **Birsan Yayınevi**, İstanbul, 104-105 (2000).
72. Sandvik, "Modern Metal Cutting-A Practical Handbook", **Sandvik Coromant**, Sandviken, Sweden, 18-24 (1996).
73. Begeman, M. L., Ostwald, P. F. and Amstead, B. H., "Manufacturing Processes", **John Willey & Sons Inc.**, Singapore, 114-116 (1987).
74. Kyocera Ind. Cer. Cor., Kyocera Cutting Tools Turning Catalogue, **Kyocera Industrial Ceramics Corporation**, North America, (2012).
75. Sandvik Coromant, "Modern Metal Cutting-A Practical Handbook English Edition", **Sandvik Coromant**, Sweden, 1-3 (1994).

76. Yücel, E., “Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin (Ni-Hard) işlenebilirlik parametrelerinin taguchi yöntemi ile optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 20-44 (2010).
77. Trent, E. M., “Metal Cutting”, **Butterworths Press**, London, 1-171 (1989).
78. Özdemir, U. ve Erten M., “Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri”, **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, 1: 37-50 (2003).
79. Ezugwu, E. O., “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 45 (12-13): 1353-1367 (2005).
80. Zhang, H., “Plastic deformation and chip formation mechanics during machining of copper, aluminium and an aluminium matrix composite”, PhD. Thesis, **University of Windsor**, Canada, 5-106 (2000).
81. Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı: Taguchi Yaklaşımı”, **Literatür Yayıncılık**, İstanbul, 1-112 (1997).
82. Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y., “Taguchi’s Quality Engineering Handbook”, **John Wiley & Sons, Inc.**, New Jersey, USA (2005).
83. Ünal, Y. A., “Şanzıman giriş mili imalatındaki proses parametrelerine taguchi metodunun uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 28-57 (2001).
84. Keleş, Ö. ve Taptık, Y., “Kalite Savaşı”, **Kalder Yayınları**, İstanbul, 23: 23-36 (2011).
85. Çakıroğlu R., “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 31-38 (2011).
86. Hamzaçebi, C. ve Kutay, F., “Taguchi metodu: Bir uygulama”, **Teknoloji Dergisi**, Ankara, 3-4: 7-17 (2003).
87. Biçkici B., “Çok değişkenli varyans analizi ile çoklu doğrusal regresyon analizinin uygulamalı olarak karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzurum, 23-30 (2007).
88. Akkuş, H., “Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 62-67 (2010).
89. Toktaş, İ., “Mekanik sistemler için bir kavramsal tasarım modelinin geliştirilmesinde yapay sinir ağlarının kullanılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 24-26 (2003).

90. İnternet: “Vakum Isıl İşlemi”,
<http://www.istasas.com.tr/admin/images/brosurler/827d020110421203101.pdf>
(2013).

ÖZGEÇMİŞ

Hakan YURTKURAN, 1987 yılında Ankara’da doğdu. İlköğrenimini Polatlı 13 Eylül İlköğretim okulunda, Ortaöğrenimini ise Polatlı Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi CNC bölümünde tamamladı. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Atatürk Meslek Yüksekokulu Endüstriyel Kalıpcılık bölümünde iki yıl süren eğitimini tamamladı ve 2007 yılında, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği programına girmeye hak kazandı. 2011 yılında pekiyi derece ile mezun oldu. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

İletişim Bilgileri:

Adres : Zafer Mah. Başak. Cad. Başak APT. No:5 Polatlı/ANKARA

E-posta : yurtkuranhakan@gmail.com