

**TORNALAMADA KESME PARAMETRELERİNDEKİ DEĞİŞİME GÖRE
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TAHMİNİ İÇİN MODEL GELİŞTİRME**

ALİ KİRİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2010
ANKARA**

Ali KİRİK tarafından hazırlanan “TORNALAMADA KESME PARAMETRELERİNDEKİ DEĞİŞİME GÖRE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TAHMİNİ İÇİN MODEL GELİŞTİRME” adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Abdullah KURT

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Abdullah KURT

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan KORKUT

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Halil DEMİR

İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 28 / 09 / 2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ali KİRİK

TORNALAMADA KESME PARAMETRELERİNDEKİ DEĞİŞİME GÖRE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TAHMİNİ İÇİN MODEL GELİŞTİRME

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali KIRIK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2010

ÖZET

Yüzey pürüzlülüğü sadece tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu çalışma, talaş kaldırma sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğünün kesme deneyleri yardımıyla belirlenmesini ve kesme parametrelerindeki değişime göre yüzey pürüzlülüğünün tahmini için matematiksel model geliştirmeyi ihtiva etmektedir.

Bu amaçla; kuru kesme şartları altında ISO 3685'e uygun olarak 75° ve 95° yavaşma açılarındaki takım tutucular ile değişik talaş kırıcı geometrilerine sahip SNMG ve CNMG formlarındaki kesici takımlar ile 0,4, 0,8, 1,2 mm burun yuvarlatma yarıçaplarındaki üç farklı talaş kırıcı (PM, QM, PR) formuna sahip kesici takımlar kullanılarak, kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. AISI 1050 deney numuneleri üzerinde üç farklı kesme hızı (300, 350, 400 m/min), iki farklı ilerleme (0,2, 0,4 mm/rev) ve iki farklı kesme derinliği (1, 2 mm) kullanılarak toplam 192 deney yapılmış ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel veriler kullanılarak; yüzey pürüzlülüğünün tahmini için kesme parametrelerine dayalı regresyon modeli ile yapay sinir ağları metodunun kullanıldığı ayrı bir model geliştirilmiştir. Model sonuçları, yüzey

pürüzlülüğünün tahmini için geliştirilen her iki modelin de güvenilir bir biçimde kullanılabileceğini göstermektedir.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Tornalama, yüzey pürüzlülüğü, matematiksel modelleme, yapay sinir ağları
Sayfa Adedi : 118
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Abdullah KURT

**DEVELOPING MODEL FOR SURFACE ROUGHNESS PREDICTION
DEPENDING ON THE CUTTING PARAMETERS VARIATION IN
TURNING
(M.Sc. Thesis)**

Ali KİRİK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2010**

ABSTRACT

The surface roughness is an important factor to be taken into consideration not only in traditional subject of the tribology but also in different areas such as sealing, hydrodynamics, electricity, heat conduction, etc. In this present study includes the experimentally determination of the surface roughness which occur during metal cutting, and developing mathematical models for the surface roughness prediction depending on the cutting parameters variation.

For this purpose, various cutting experiments were carried out under dry conditions using SNMG and CNMG cutting tools have 0,4, 0,8, 1,2 mm nose radiuses, three different chip breaker forms (PM, QM, PR), and 75° and 95° approaching angle tool holder in accordance with ISO 3685. A total of 192 machining tests were performed on AISI 1050 steel using three cutting speeds (300, 350, 400 m/min), two feed rates (0,2, 0,4 mm/rev), and two depths of cuts (1, 2 mm) and the surface roughness was measured. The effects of the cutting parameters on the surface roughness were investigated. Two different mathematical models of the regression model and a separate model with artificial neural network method were developed for the surface roughness prediction based on the cutting parameters using the surface roughness data measured by cutting tests. A good agreement between the results of the

developed models for the surface roughness prediction and the results of experimentally data was seen.

Science Code : 708.3.028
Key Words : Turning, surface roughness, mathematical modelling, artificial neural network
Page Number : 118
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Abdullah KURT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Abdullah KURT'a, çalışmanın her aşamasında bilgilerinden yararlandığım ve deney setinin kullanımına izin veren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada finansman desteği sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje Kodu: 07/2009-08); kesme deneylerinin yapılması sırasında takım tezgâhı ve donanımları ile atelye imkânlarını kullanmama izin veren Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makina Eğitimi Talaşlı Üretim Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN'e, kesme deneylerinin yapılmasına yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT ile Sayın Arş. Gör. Gültekin UZUN'a ve Samet SÜRÜCÜLER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bugünlere gelmemde maddi-manevi en büyük emeği olan anne ve babama saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Yaklaşımların Sınıflandırılması	4
2.1.1. Talaş kaldırma teorisine dayalı yaklaşımlar	4
2.1.2. Deneysel inceleme yaklaşımları	6
2.1.3. Deney deseni tasarımlarının kullanıldığı yaklaşımlar	11
2.1.4. Yapay zekâ yaklaşımları (YZ)	13
2.2. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi	16
3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ (YP)	20
3.1. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler	20
3.2. Yüzey Yapısının Özellikleri	21
3.3. Yüzey Hatalarının İncelenmesinde Genel Kurallar	24
3.4. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak Değerlendirilmesi	25
3.4.1. Ortalama çizgi (<i>M</i>) sistemi	25
3.4.2. Zarf sistemi (<i>E</i>)	25
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri	27
3.5.1. Yüzey kalitesini belirlemede esas alınan sayısal değerler	27
3.6. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	32
3.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Metotları	35
3.7.1. İzleyici uçlu cihazlar (stylus) metodu	37
4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)	39
4.1. Yapay Zekâ (YZ) Yöntemleri	39

	Sayfa
4.1.1. Uzman sistemler.....	39
4.1.2. Bulanık mantık.....	40
4.1.3. Genetik algoritmalar	41
4.1.4. Yapay sinir ağları (YSA)	42
4.2. Biyolojik Sinir Sistemi ve Yapay Sinir Ağları.....	44
4.3. Yapay Sinir Ağları Modeli Yapısı.....	46
4.3.1. Transfer (aktivasyon) fonksiyonu çeşitleri	49
4.4. Yapay Sinir Ağları Topolojisi	50
4.5. Yapay Sinir Ağları Modeli Oluşturma Adımları.....	52
4.6. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri	55
5. MALZEME VE METOT.....	57
5.1. Deneysel Çalışmalar.....	57
5.1.1. Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi	57
5.1.2. Kesici takımlar ve takım tutucu	57
5.1.3. Takım tezgâhı.....	59
5.1.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi	59
5.1.5. Deney değişkenleri.....	60
5.1.6. Deneylerin yapılışı ve değerlendirme esasları	60
5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi	62
5.2.1. Regresyon modeli	63
5.2.2. Yapay sinir ağları modeli.....	66
6. DENEY/MODEL SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	75
6.1. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri	75
6.1.1. PM talaş kırıcı formu için yüzey pürüzlülüğü	75
6.1.2. QM talaş kırıcı formu için yüzey pürüzlülüğü.....	78
6.1.3. PR talaş kırıcı formu için yüzey pürüzlülüğü	81
6.1.4. Kesici takımın talaş kırıcı açısına bağlı yüzey pürüzlülüğü	83
6.2. Model ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	84
6.2.1. Yüzey pürüzlülüğü için regresyon modeli parametreleri.....	84
6.2.2. Yüzey pürüzlülüğü için yapay sinir ağları modeli parametreleri.....	85
6.2.3. Model sonuçlarının deney sonuçlarına uygunluğu	90
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	95

	Sayfa
KAYNAKLAR	101
EKLER.....	108
EK – 1 PM talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları.....	109
EK – 2 QM talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları.....	112
EK – 3 PR talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları	115
ÖZGEÇMİŞ	118

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Pürüzlülük değerleri ve sınıf numaraları.....	23
Çizelge 3.2. YP ölçme yöntemleri ve özellikleri (Güllü ve ark., 2003).....	36
Çizelge 4.1. Biyolojik sinir sistemi ve YSA'nın karakteristiği.....	45
Çizelge 5.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi	57
Çizelge 5.2. Kullanılan kesici takımların kodları ve özellikleri.....	58
Çizelge 5.3. JOHNFORD T35 CNC torna tezgahının özellikleri.....	59
Çizelge 5.4. YP ölçme cihazının teknik özellikleri (Tekaüt, 2008).....	59
Çizelge 5.5. Deneylerde kullanılan kesme değişkenleri	60
Çizelge 6.1. SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için model sabitleri.....	85
Çizelge 6.2. Regresyon modeline ait istatistiksel veriler	85
Çizelge 6.3. SNMG kesici takım formu için her bir nöronun ağırlık değerleri	87
Çizelge 6.4. CNMG kesici takım formu için her bir nöronun ağırlık değerleri.....	87
Çizelge 6.5. YSA modeline ait istatistiksel veriler	89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yüzey formundan sapmalar	4
Şekil 2.2. Yüzü pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin kılçık diyagramı	19
Şekil 3.1. YP'yi etkileyen faktörler	21
Şekil 3.2. Yüzey karakteristikleri	22
Şekil 3.3. YP özellikleri	23
Şekil 3.4. Talaş kaldırma işlemlerindeki pürüzlülük değerleri	23
Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülük profili	24
Şekil 3.6. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi	26
Şekil 3.7. Zarf eğrisinin elde edilişi	26
Şekil 3.8. Ortalama zarf eğrisi	27
Şekil 3.9. Yüzey kalitesi için sayısal değerler	27
Şekil 3.10. Ordinatlara R_a 'nın gösterimi	29
Şekil 3.11. Alanlarla R_a 'nın gösterimi	29
Şekil 3.12. On nokta yükseklik hesabı için ortalama ölçümler	31
Şekil 3.13. Takım uç yarıçapı ve ilerlemenin pürüzlülüğe etkisi	35
Şekil 3.14. İzleyici Uç Prensibi	38
Şekil 4.1. Biyolojik sinir hücresinin şematik yapısı	45
Şekil 4.2. Yapay nöronun grafik gösterimi	49
Şekil 4.3. Sabit girişlerin YSA modellemesinde gösterimi	49
Şekil 4.4. Tam bağlantılı çok katmanlı ağ yapısı	52
Şekil 5.1. Giriş ve çıkış değerlerinin tanımlaması	68
Şekil 5.2. SNMG biçimli kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizi	69
Şekil 5.3. CNMG biçimli kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizi	69
Şekil 5.4. SNMG biçimli kesici uçlar için ağ topolojisi	70
Şekil 5.5. CNMG biçimli kesici uçlar için ağ topolojisi	70
Şekil 5.6. Ağ ağırlıkları için öğrenme parametreleri	72
Şekil 6.1. SNMG / CNMG 120404-PM için YP değerleri	76
Şekil 6.2. SNMG / CNMG 120408-PM için YP değerleri	76
Şekil 6.3. SNMG / CNMG 120412-PM için YP değerleri	76

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. SNMG / CNMG 120404-QM için YP değerleri.....	78
Şekil 6.5. SNMG / CNMG 120408-QM için YP değerleri.....	78
Şekil 6.6. SNMG / CNMG 120412-QM için YP değerleri.....	79
Şekil 6.7. SNMG / CNMG 120408-PR için YP değerleri	81
Şekil 6.8. SNMG / CNMG 120412-PR için YP değerleri	81
Şekil 6.9. SNMG kesici takım formu için YSA performansı	88
Şekil 6.10. CNMG kesici takım formu için YSA performansı	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
V	Kesme hızı (m/min.)
f	İlerleme (mm/rev.)
a	Kesme derinliği (mm)
r	Kesici takım burun yuvarlatma yarıçapı (mm)
γ	Talaş kırıcı geometrisinin talaş kırıcı açısı
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
R_t	Maksimum yüzey pürüzlülüğü (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)

Kısaltmalar	Açıklama
YP	Yüzey pürüzlülüğü
YSA	Yapay sinir ağı (<i>artificial neural network</i>)
YZ	Yapay zekâ (<i>artificial intelligence</i>)
RSM	Response surface methodology (<i>tepki yüzey metodolojisi</i>)
CVD	Chemical vapour deposition (<i>kimyasal buhar çökertme</i>)
TiN	Titanyum nitrit
TiC	Titanyum karbür
TiCN	Titanyum karbon nitrür
BUE	Built-up Edge (<i>talaş yapışması ve sıvanması</i>)
CNC	Computer Numerical Control (<i>bilgisayarlı sayısal denetim</i>)

Kısaltmalar	Açıklama
MSE	Mean squared error (<i>hataların kareleri toplamı</i>)
RMS	Root mean square (<i>karekök ortalama</i>)
MAPE	Mean absolute percentage error (<i>ortalama mutlak yüzde hata</i>)
R²	Coefficient of determination (<i>belirlilik katsayısı</i>)

1. GİRİŞ

İmalat sektöründe teknolojik gelişmelere paralel her geçen gün yeni yöntemler ortaya çıkmaktadır. Modern talaş kaldırma yöntemlerinde teknolojinin gelişmesi ile birlikte boyutsal tamlığın yanı sıra yüzey kalitesi de önemli bir unsur olarak ortaya çıkmıştır. Birbirleriyle çalışan yüzeylerin, hatta birbiriyle hiç ilişkisi olmayan yüzeylerin yüzey kalitelerinin belirlenmesinde, yüzey pürüzlülüğünün (YP) incelenmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Talaşlı imalatın diğer imalat metotları arasında önemli bir yeri vardır. Bütün imalat yöntemlerinde ürünün ölçü ve geometrik toleranslarının yanında tatminkâr bir YP kalitesi de büyük önem arz etmektedir. Makine parçalarının yüzey yapısı iş parçasının, kesici takımın, işleme koşullarının veya tezgâhın herhangi birinin değişmesi ile yani işleme rejiminden doğrudan etkilenir. Üretimi yapılan parçaların gerektiği tarzda çalışması, mekanik ömrü ve dış etkilere karşı direnci, diğer faktörlerin yanında yüzey kalitesine de bağlıdır. Yüzey kalitesinin bu öneminden dolayı imalatçıların dikkati, işlenmiş parçaların YP'sini azaltma konusu üzerinde odaklanmıştır. Teknolojik gelişmelerle birlikte islenen yüzey özelliklerinde iyileşme ve ölçü tamlığı konusunda beklentiler de artmaktadır. 1960'lara kadar yüzey kalitesi için ortalama pürüzlük değeri olarak 100 µm yeterli görülürken, 2000'li yıllarda istenilen yüzey kalitesi 10 µm'ye kadar düşmüştür. Teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte her alanda ölçü, biçim ve görünüş tamlığı isteği artmıştır [Güllü, 1995].

YP; yağlama, sürtünme ve aşınma gibi tribolojik özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmanın yanında elektrik iletimi, ısı iletimi, sızdırmazlık, hidrodinamik vb. farklı alanlarda da dikkate alınan önemli bir parametredir [Çoğun ve Özses, 2002]. Talaşlı imalatla en kısa zamanda istenilen YP değerinin ve toleransının elde edilmesi, işleme zamanından tasarruf ve ürün maliyetinde azalma sağlar. Parçaların imalat resimleri üzerinde bulunan YP değerlerinin ancak kesme parametrelerinin iyi bir kombinasyonu neticesinde elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Bu parametrelerin seçimi genellikle tecrübe veya imalat kataloglarına göre yapılmaktadır. Bu yöntemlerle belirlenen kesme parametrelerinin kombinasyonu

sonucunda elde edilen YP değerleri kabul edilebilir olsa bile, bu pürüzlölük değerlerine daha kısa zamanda ulaşabilecek kesme parametreleri kombinasyonlarının bulunma ihtimali vardır. Bahsedilen en kısa zamanda istenilen YP değerini veren kesme parametreleri ve ilgili takım yolu kombinasyonları ancak bir dizi deney sonucunda kesin olarak tespit edilebilmektedir. Yapılan bu deneyler, harcanan zaman ve malzeme kayıpları açısından az sayıda bir üretim için maliyeti arttırsa da büyük hacimli üretimlerde zamandan sağladığı büyük tasarruf ile maliyeti çok aşağılara çekebilmektedir.

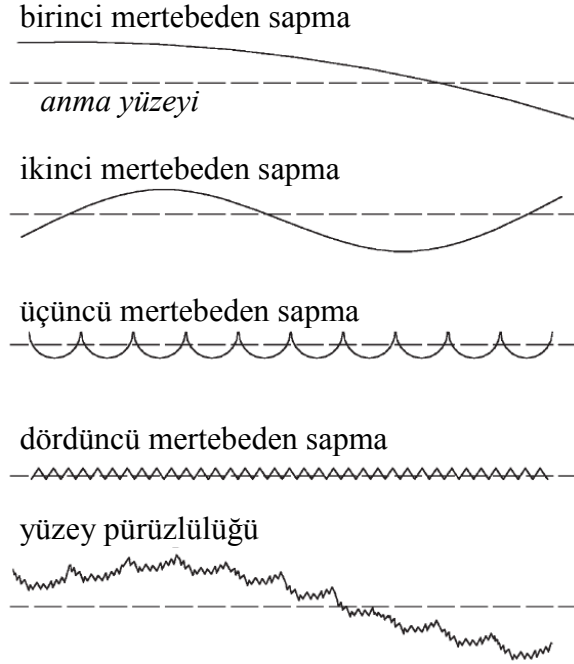
Bu zamana kadar yapılan araştırmalarda, YP'nin iyileştirilmesi ve/veya tahmin edilmesi için kesici takım malzemesi, kesme kuvvetleri, ilerleme, kesme derinliği, kesici takımın bağlanması, kesici takım malzemesi, kesici takım geometrisi, tezgâh rijitliği, titreşim, vb. gibi birçok parametre üzerinde durularak çeşitli çalışmalar yapılmış olup bu alanda çalışmalara devam edilmektedir. Bu araştırmalar sonucunda hassas ve toleranslara uygun iş parçası geometrisi elde etmek için çeşitli veriler elde edilmiştir. Bütün bu araştırmaların sonucunda, kaliteli ve toleranslara uygun YP elde etmek temel amaç olmuştur.

Bu çalışmada, tornalamada kesme parametrelerindeki (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesici takım formu vb.) değişimine bağlı, deneysel olarak YP ölçümleri yapılmış ve bu değişimler neticesinde tahmini matematiksel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model ile yapay sinir ağları (YSA) metodu ile geliştirilen matematiksel modelin sonuçları kıyaslanmıştır. Buna bağlı olarak geliştirilen matematiksel modelin tornalama operasyonları için pratik kullanımı ve ekonomik doğruluğu incelenmiştir. Bu amaçla, imalat sanayisinde yaygın olarak kullanılan AISI 1050 çelik malzeme üzerinde söz konusu parametrelere bağlı olarak hangi kesme parametrelerin nasıl bir YP'nin ortaya çıkacağı ve geliştirilen model ile tahmini yaklaşımların sonuçlarının nasıl gerçekleşeceği, açıklanmaya çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İmalat işlemlerinde mühendislerin karşı karşıya geldiği iki temel uygulama problemi vardır. Birincisi istenilen ürün kalitesine etki eden işleme parametre değerlerini belirlemek ve ikincisi de mevcut kaynakları kullanarak imalat sisteminin performansını maksimum yapmaktır. İmalat mühendisleri tarafından alınan kararlar sadece kendi uzmanlık ve deneyimlerine dayalı olmayıp aynı zamanda işleme sırasında gerçekleşecek olaylara da bağlıdır. İşleme sırasındaki bu olayların pek çoğu oldukça karmaşık ve çok sayıda faktörün etkileşiminin sonucu olması nedeniyle yüksek işlem 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. YP, ürün kalitesi için yaygın olarak kullanılan bir endekstir ve çoğu mekanik ürünler için teknik bir gerekliliktir. İstenilen yüzey kalitesinin sağlanması bir parçanın fonksiyonel davranışı için büyük önem taşımaktadır. Diğer taraftan YP oluşum mekanizması; neredeyse basit bir çözümü imkânsız kılan ilgili olayların etkilediği kontrol edilemeyen çok sayıda faktöre bağlıdır. En yaygın strateji ise klasik işleme parametrelerinin seçilmesini içermektedir.

Yüzey pürüzlülük profili ve farklı mertebeden sapmaların süper pozisyonu (üst üste gelmesi) Şekil 2.1’de gösterilmiştir. YP, anma (nominal) yüzeyinden üçüncü ve altıncı mertebeden sapmaları işaret etmektedir. Birinci ve ikinci mertebeden sapmalar; kesici takım hataları, iş parçası deformasyonu, kurulum ve bağlama hataları, titreşim ve iş parçası malzemesindeki homojensizlikler nedeniyle sırasıyla düzlemsellik, dairesellik, vb. gibi formlara ve dalgalılığa işaret etmektedir. Üçüncü ve dördüncü mertebeden sapmalar talaş oluşumuna bağlı olarak keskin kenarlı biçime sahip periyodik izleri göstermektedir. Beşinci ve altıncı mertebeden sapmalar tanecik ve kafes üzerinde etkin olan fiziksel-kimyasal mekanizmalar (kayma, difüzyon, oksidasyon, kalıntı gerilmeler, vb.) nedeniyle iş parçası malzemesinin yapısına işaret etmektedir [Benardos ve Vosniakos, 2003].



Şekil 2.1. Yüzey formundan sapmalar [Benardos ve Vosniakos, 2003]

2.1. Yaklaşımların Sınıflandırılması

Literatürdeki YP ile ilgili çalışmaları genel olarak i) işlenmiş yüzeyi temsil eden analitik modeller ve/veya bilgisayar algoritmaları geliştirilen talaş kaldırma teorisine dayalı yaklaşımlar, ii) deneylerin yapılması ve sonuçlarının analizi yoluyla çeşitli faktörlerin etkisinin incelenmesi içeren yaklaşımlar, iii) deney deseni tasarımlarının kullanıldığı yaklaşımlar ve iv) Yapay zekâ (YZ) yaklaşımları biçiminde sınıflandırmak mümkündür.

2.1.1. Talaş kaldırma teorisine dayalı yaklaşımlar

Bu kategori; talaş kaldırma işleminin kinematiği, kesici takım özellikleri, talaş oluşum mekanizmaları, vb. gibi talaş kaldırma teorisine dayalı yaklaşımları içermektedir. Bilgisayar destekli tasarım/çizim yöntem ve araçları, işlenmiş yüzey profili oluşumunu simüle edebilecek şekilde bir model oluşturulabilmesini ve böylece yüzey topografyası izleme ve YP'nin değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Genel olarak, geometrik model geliştirmenin temelini matematiksel

denklemlerle yaklaşım oluşturmaktadır. Bu modellerde karmaşık hesaplamaları yapmak için bir bilgisayar algoritması kullanılmaktadır. Ayrıca, ilerleme hızı gibi kesme şartlarına göre ilgili YP'yi tahmin eden bazı teorik modeller de vardır [Boothroyd ve Knight, 1988]. Bu modellerin bir kısmında YP, araştırmacılar tarafından bazı parametre ilaveleriyle incelendiğinden; genelde doğru sonuçlar vermeyebilir. Çoğunda tahmini YP, deneyler yapılarak ölçülen gerçek YP kullanılarak karşılaştırılır.

Grzesik (1996), tornalamadaki YP'nin tahmini için deforme olmamış en küçük talaş kalınlığını kullanmıştır. Talaş-kesici takım ara yüzeyindeki tribolojik etkilerin matematiksel modellenmesinde mekanik sürtünme teorisi ve plastisite teorisi kullanılmıştır. Talaş-kesici takım ara yüzeyindeki sıvanma/yapışma sebebiyle teorik ve ölçülen YP arasında farkın olacağı düşünülmüş ve bu yüzden yaklaşım, kazımadan mikro kesmeye karşılık gelen deforme olmamış en küçük talaş kalınlığına dayandırılmıştır. Tornalanmış bir yüzeyin YP'sini tahmin için model geliştirilmiş ve ölçüm sonuçları ile tahmin sonuçları arasındaki farklılıklar belirgin bir biçimde azaltılmıştır.

Lin ve Chang (1998), titreşim özellikleri bilinen tornalama işleminden sonra elde edilen bitirme yüzey profilini simüle etmek amacıyla bir yüzey topografyası simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Model; kesici takım geometrisi, kesme parametreleri ve kesici takım ile iş parçası arasındaki özellikle radyal, teğet ve eksenel yönlerdeki bağıl hareketlerin bitirme yüzey profili üzerindeki etkilerini içermektedir. Fener mili dönüş hızı üzerindeki titreşim frekansı oranı olarak tanımlanan titreşim frekans oranının, eksenel yön boyunca yüzey dalgalılığının periyodu üzerinde etkili olduğu düşünülmüştür. Radyal yöndeki titreşimlerin YP üzerindeki etkilerinin teğetsel veya eksenel yönlerdeki titreşimlerden daha önemli olduğu belirlenmiştir.

Lasota ve Rusek (1983) tornalamada YP'nin oluşması sırasında takım tezgâhının çektiği enerji tüketiminin nasıl değiştiğini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlüğü R_a 'ya

bağlı olarak, takım–iş parçası sisteminin titreşim genliği ve ilerlemesini içeren yeni bir model geliştirmişlerdir.

Tornalama dışında; Ehmann and Hong (1994), yüzey–şekillendirme sistemi olarak adlandırdıkları yeni bir yöntemle frezelemedeki yüzey oluşum işlemini tanımlamışlardır. Sistem temelde, birinde kesici takım kinematığının modellendiği ve diğerinde de kesici geometrisinin modellendiği iki kısımdan oluşmaktadır.

2.1.2. Deneysel inceleme yaklaşımları

Bu kategorideki çalışmalarda deneyler sırasındaki işleme faktörlerinin YP üzerindeki etkileri dikkate alınmış ve çoğunlukla da deneysel verilere dayalı bir model oluşturma sürecinde regresyon analiz tekniği kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, araştırmacının sezgi ve öngörü olgusunun büyük bir rolü olmakla birlikte; deney verileri doğrultusunda anlamlı sonuçların elde edilebilmesi için incelenen olayın çok iyi anlaşılması gerekmektedir. Deneysel yaklaşım, çoğunlukla çeşitli faktörler arasındaki ilişkilerin etkisinin hiçbir analitik formülasyonu olmayan durumlarda kullanılmaktadır.

Talaş kaldırarak işleme yöntemleri kullanılarak yapılan yüzey operasyonları birçok değişkenden etkilenebilmektedir. Literatürde YP'nin azaltılmasının kesme derinliğinin düşürülmesi, düşük ilerleme ve yüksek kesme hızlarının kullanımı, soğutma sıvısı debisinin artırılması, kesici takımın burun yuvarlatma yarıçapının ve talaş açısı değerlerinin büyük olması gibi faktörlere bağlı olduğu görülmektedir [Thomas, 1982].

Abouelatta ve Madl (2001) kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesici takım burun yuvarlatma yarıçapı, yanalma açısı, iş parçası çapı ve uzunluğu ile radyal ve ilerleme yönlerindeki ivmeler gibi faktörler kullanılarak takım ömrü, YP ve titreşim arasındaki ilişkileri, deneysel veriler kullanılarak regresyon analizi yardımıyla incelemişlerdir. Kesme parametreleri ve radyal yöndeki titreşim değerlerinin birbirlerine olan etkileşimi üzerine dört farklı matematiksel model geliştirmişler ve

ortalama YP (R_a), maksimum YP (R_t) ile genlik dağılım eğrisi (R_{sk}) değerlerini hesaplamışlardır. Deneysel sonuçlar, YP'nin sadece kesme parametrelerine bağlı olmadığını ve titreşimin de YP'ye etki ettiğini ortaya çıkarmıştır.

Ghani and Choudhury (2002) benzer bir yaklaşımı nodüler dökme demirin seramik kesiciyle tornalanmasındaki kesici takım aşınmasının gelişimi YP arasındaki ilişkinin doğrulanması ve kesici takım aşınmasının izlenmesi için uygulamıştır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin artırılmasıyla serbest yüzey aşınması hızlanmış ve dolayısıyla da serbest yüzey aşınmasının artışıyla YP'nin arttığı tespit edilmiştir.

Jang et al. (1996), ortalama YP'nin teorik bir profil (işlemin kinematiği) ile salınım profilinin (işlemin dinamiği) süper pozisyonunun sonucunda oluştuğunu kabul ederek; sert parça tornalanmasındaki kesici takım titreşimlerinin etkilerinin incelendiği bir çevrimiçi pürüzlülük ölçüm tekniği geliştirmişlerdir. Kesici takım ve iş parçası arasındaki bağıl hareketi ölçmek için indüktans tip bir yer değiştirme sensörü kullanmışlardır. Sonuçlar, iş parçasındaki YP'nin ilerleme izleriyle belirlenen belirli frekanslarda (düşük frekans aralığında ve fener mili-iş parçası sistemindeki doğal frekanslara oldukça yakın olan yüksek frekans aralığında) gerçekleştiğini göstermiştir.

Akustik emisyon, malzeme içindeki bölgesel kaynakların enerjisinin hızla serbest kalmasıyla oluşan zamana bağlı elastik dalgalanmalara göre tanımlanan bir olaydır. Bunun gibi kaynakların, tornalamada talaş oluşumundan dolayı birincil, kesici takım ve talaş arasındaki sürtünmeden dolayı ikincil ve kesici takımın yan yüzeyi ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı üçüncül kesme bölgelerinde bulunabilmektedir. Beggan et al. (1999), yüzey kalitesini tahmin etmek üzere akustik emisyon analiz tekniğini kullanmışlardır. Ölçülen akustik emisyon sinyallerinin RMS (*root mean square*; karekök ortalama veya kuadratik ortalama olarak da bilinir) değerini kullanmak yerine, yeni bir yöntemin kullanımı üzerinde durulmuştur.

Tornalamada kesici takımdaki talaş sıvanmasının (BUE) kesici takım aşınması, bitirme yüzey doğruluğu ve YP üzerindeki etkileri Munoz-Escalona ve Cassier

(1998) tarafından deneysel veriler kullanılarak incelenmiştir. YP için kesme parametrelerine dayalı olarak iki matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin birinde kesici takımın burun yuvarlatma yarıçapı, ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliğinin YP üzerindeki etkileri incelenirken, ikinci modele ise iş parçası malzemesinin sertliği dâhil edilmiştir. YP üzerinde sırasıyla ilerleme, kesici takımın burun yuvarlatma yarıçapı ve kesme hızının çok önemli olduğu gösterilmiştir.

İş parçası malzemesinin sertliği ile kesici takımın kenar geometrisinin sert parçaların bitirme tornalanmasındaki YP ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri ise Thiele ve Melkote (1999) tarafından incelenmiştir. Bulgular, YP ve kesme kuvvetleri üzerinde malzeme sertliği ve kesici takımın kenar geometrisinin çok önemli etkilerinin olduğunu göstermiştir.

İlerlemenin YP üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalardan Özses (2002), AISI 5140, AISI 4140 ve St37 malzemelerin karbon miktarına bağlı olarak değişen sertlik ve mekanik özelliklerin YP'yi etkilediğini ifade etmiş; kesme hızının artması ile YP'nin iyileştiğini, ancak takım aşınmasının hızlandığını, dolayısıyla takım ömrünün azaldığını vurgulamıştır. İlerleme hızındaki artış ile YP'nin arttığı ve ilerlemenin YP'ye en çok etki eden parametre olduğunu tespit etmiştir. Can (2003), AISI 5140 çeliklerinin işlenmesinde, uygun takım ömrü ve istenen YP'yi elde etmek için en uygun takım kaplaması ve kesme değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapmıştır. İlerleme hızının artması ve kesme hızının azalmasıyla YP'de bir artışın olduğunu gözlemlemiş; kaplamasız takımın, kaplamalı takıma oranla daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri çıkardığını belirtmiştir. Özel ve Karpat (2005) tarafından yapılan araştırmada da yine düşük ilerleme ile daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği ve yüksek kesme hızının seçilmesiyle YP'nin iyileştiği rapor edilmektedir. Ayrıca, iş parçası sertlik değerinin artmasıyla YP'nin iyileştiği fakat takım aşınmasının da arttığı belirtilmiştir. Nalbant ve Gökkaya (2005) çalışmalarında, üç katman olarak CVD yöntemiyle TiN, Al₂O₃, TiC kaplanmış takım kullanmışlar; kesici takım burun yuvarlatma yarıçapı ve kesme derinliğine göre ilerlemenin YP üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır [Gökkaya ve ark., 2004].

Özçatalbaş (2000) artan kesme hızı ile YP'nin azaldığını tespit etmiş; ancak kesme hızı artışının düşük ilerleme miktarlarında etkisinin fazla olduğunu belirtirken, artan ilerleme miktarında ise kesme hızının YP üzerindeki etkisinin azaldığını gözlemlemiştir. Benzer şekilde, değişik ısıtma işlemleri uygulanmış Ç4140 çeliğinde, düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri yüksek iken, artan kesme hızlarıyla numunelerin YP'si iyileşmiştir.

Çiftçi (2005), AISI 316 ve AISI 304 paslanmaz çelikleri TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanarak işlemiş ve kesici takım kaplaması ve kesme hızının kesme kuvvetlerine ve YP'ye etkisini incelemiştir. Deney sonucunda, TiC/TiCN/TiN kaplanmış kesici takımın TiCN/TiC/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımdan daha düşük kesme kuvvetlerine sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığı, ancak işlenmiş YP'yi önemli derecede etkilediği görülmüştür. Artan kesme hızı ile YP değerleri belirli bir kesme hızı değerine kadar azalmış, ancak bu değerden sonra artan kesme hızı ile de artış eğilimi göstermiştir.

Eriksen (1998), kısa elyaflarla güçlendirilmiş termo-plastik malzemelerin tornalanması sırasında değişik kesme hızı, ilerleme, kesici takım burun yuvarlatma yarıçapı ve elyaf doğrultusu ile YP'nin etkileşimlerini incelemiştir. Optimum işleme koşullarını deneysel olarak belirlemenin mümkün olduğu, ancak teorik olarak hesaplanan değerler ile bu parametrelerin uyuşmadığı ifade edilmiştir. YP'nin ilerlemenin 0,1 mm/rev değerinin üzerinde olduğu durumlarda arttığı, burun yuvarlatma yarıçapı küçüldüğünde ise azaldığı, kesme hızının 500 m/min değerine ulaştığında bozulduğu, buna karşılık 1500 m/min'e varan yüksek kesme hızıyla işlemede ise kesme hızından bağımsız olduğu belirtilmiştir.

Akün (1956), kesici takım ve iş parçasının eksenel ve dönme titreşimlerini üç boyutlu olarak incelenmiş; talaş kesiti, kesme hızları, kesici takım açıları, kesici takım burun yuvarlatma yarıçapı, kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi hususlarının bu titreşimler üzerindeki etkilerini göstermiştir. İki ayrı torna tezgahı

üzerine yapılan araştırmada; YP'yi değerlendirme bakımından prensip olarak kesici takım ve iş parçası titreşimlerinin her doğrultu için ölçülen toplam değerlerin yeter bir kriter olacağı hususunu ele almış ve yapılan deneylerle bu kabulün doğru olduğunu göstermiştir.

Bahar (2007) ve Tekauit (2008) malzemenin işlenmesi sırasında titreşime etki eden faktörlere bağlı olarak, kesici takımında oluşan titreşimin YP'ye etkisini incelemişler ve en iyi kesme şartlarının belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar yapmışlardır. Titreşim ivmesinin artan değerleriyle birlikte YP değerlerinin de yükselme eğiliminde olduğunu vurgulamışlardır.

Işık ve Çakır (2001), talaş kaldırma işlemlerinde YP'nin önceden tahmin edilmesi amacıyla ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliğine dayalı olarak bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Takım çeliklerinin (sıcak iş, soğuk iş, kalıp) YP'sinin önceden tahmini için geliştirilen model sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlar ve teorik değerler ile deneysel sonuçlar arasındaki uygunluğu göstermişlerdir. Çalışmanın sonucunda, YP üzerinde ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin olumsuz, buna karşılık kesici takım burun yuvarlatma yarıçapındaki büyümenin ise olumlu etki yaptığı sonucuna varmışlardır.

Karabay ve Yavuz (1992), CNC tezgâhlarda tornalama işlemlerinde en iyi YP için optimize edilmiş tornalama koşullarını belirlemeyi amaçlayan çalışma yapılmışlar ve R_a , R_t , R_q olarak YP'yi ölçmüşlerdir. Kesme hızı, ilerleme ve kesici takım burun yuvarlatma yarıçapına dayalı olarak YP için üstel, birinci ve ikinci mertebeden üç ayrı regresyon modeli geliştirmişlerdir. Yapılan varyans analizleriyle regresyon modellerinin anlamlı olduğunu göstermişlerdir. Birinci mertebeden regresyon modelinde kesme hızının etkisi az olarak saptanırken; üstel ve ikinci mertebeden regresyon modellerinde ise en etkili parametrenin ilerleme olduğu ve bunu kesici takım burun yuvarlatma yarıçapının izlediği belirtilmiştir.

2.1.3. Deney deseni tasarımlarının kullanıldığı yaklaşımlar

Deney deseni tasarımlarının kullanıldığı yaklaşımların farklı bir kategoride sınıflandırılmasının sebebi; deneylerin planlanması ve optimuma yakın bir biçimde analizlerinin yapılmasıyla ilgili sistematik bir metodun uygulanmasıdır. YP'nin tahmini problemlerinde çoğunlukla tepki yüzey metodolojisi (*the response surface methodology, RSM*) ve Taguchi tekniği kullanılmaktadır.

RSM'de deneyler sırasında YP'yi etkileyen bağımsız değişkenlerin bir polinomla temsil edilmesi benimsenmiştir. Genel olarak en küçük hata ile YP'nin tahmin edilmesi için bağımsız değişkenlere göre polinomla tanımlanan YP eşitliğinin çözümünde bir dizi algoritma uygulanmıştır [Garcia-Diaz ve Phillips, 1995]. Birinci aşamada; YP'yi etkileyen faktörler (bağımsız değişkenler) belirlenir ve iki seviyeli faktöriyel deney deseni tasarlanır. Polinomla tanımlanan YP için kullanılan model, doğrusal forma getirilerek modelde kullanılan sabitler ve her bir faktörün etkisi hesaplanır. YP'nin tahmininde, sürekli olarak hataları uygun adımlarla minimize etmek amacıyla kılavuz olarak kullanılacak referans bir faktör seçilir. Birkaç deney şartı seçilerek denemeler yapılır ve yüzey tepkisinin yükselmesi sağlanır. Tepki artışı sona erdiğinde gerekiyor ise yeni bir yol oluşturulur ve belirtilen işlemler tekrarlanır. İkinci aşamada; üç seviyeli faktöriyel deney deseni uygulanır ve ikinci dereceden polinomla tanımlanan modelde kullanılan sabitler hesaplanır. RSM'nin aşamalı yapısı, araştırmacının, çalışma kapsamındaki aşamaları soruşturarak işlem veya sistem hakkında bilgi sahibi olmasına imkân vermektedir [Myers ve Montgomery, 1995].

RSM'ye dayalı YP'nin tahmini için Choudhury ve El-Baradie, (1997) tarafından geliştirilen model yeterince iyi olmamasına karşın, YP üzerinde kesme hızı ve kesme derinliğine nazaran ilerlemenin oldukça önemli bir etkisinin olduğu gösterilmiştir. RSM'nin kullanıldığı bir diğer çalışmada Kopac ve Bahor (1999), iş parçası malzemesinin işlenmiş yüzeylerindeki yüzey pürüzlüğünün önceki işlemlerden etkilendiğine işaret etmiş ve arzu edilen YP'ye erişmek için kesici takım–iş parçası malzemesinin farklı kombinasyonlarına göre işleme parametrelerinin belirlenmesi

gerektiğini göstermişlerdir. Çalışmalarında, AISI 1060 ve AISI 4140 çelik için kesici takım burun yuvarlatma yarıçapı büyük uç kullanılması halinde, küçük YP değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. İş parçası malzemesi, kesme parametreleri ve fiziksel buhar çökertmeli TiN kesicilerin YP üzerindeki etkisi; bitirme tornalaması işleminde Taguchi tekniğini kullanılarak Kopac et al. (2002) tarafından incelenmiş ve etkileşim grafikleri gösterilmiştir.

Taguchi tekniğinde ise ürün veya süreç performansının daha verimli anlaşılması için deneyde izlenmesi gereken adımlar bir dizi halinde tanımlanır [Benardos ve Vosniakos, 2003]. Planlama aşamasında; problem ile problemi etkileyen ve deneylerde kullanılacak deney parametreleri, sayısı ve seviyeleri belirlenir. Uygun Taguchi kesirli matrisler veya ortogonal diziler seçilir. YP'nin tahmininde parametreler arasındaki etkileşimler belirlenir. Uygulama aşamasında; ortogonal dizilerce belirlenen deneyler tekrarlanır. Analiz aşamasında ise varyans analizi yapılarak deney sonuçları incelenir. Genel olarak iki, üç ve karışık seviyeli olmak üzere üç ortogonal dizi bulunmaktadır. Uygun ortogonal dizinin seçiminde; faktörlerin ve ilgi etkileşimlerinin sayısı ve seviyesi ile istenen deney çözünürlüğü (en az 1 ve en fazla 4 olup, bir deneydeki değerlendirilebilir faktör ve etkileşimlerin münferit etkisini açıklar) veya deney maliyetleri dikkate alınır.

Davim (2001), Taguchi tekniğini kullanarak tornalamada kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve YP ilişkisini incelemiş ve YP üzerinde özellikle ilerlemenin oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

Feng and Wang (2002), bitirme tornalamasında iş parçası malzemesi sertliği, ilerleme, kesici uç açısı, kesme derinliği, fener mili devri ve kesme süresi gibi altı parametrelili bir model oluşturmuş ve modelin yeterliliğini ve performansını hipotez testi ile kontrol etmiştir. Benzer biçimde YP üzerinde yine ilerlemenin oldukça önemli bir etkisinin olduğu gösterilmiştir

Thomas et al. (1996), kuru tornalama şartları altında kesici takım titreşimlerinin YP üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında iş parçası malzemesi ve kesici

takım uzunluğunu tam faktöriyel tasarım olarak uygulamış ve varyans analizi yardımıyla ilerleme ve kesici takım burun yuvarlatma yarıçapının YP ile etkileşimlerini incelemişlerdir. En iyi YP için küçük ilerleme, büyük burun yuvarlatma yarıçapı ve yüksek kesme hızı kombinasyonunun altını çizmişlerdir.

Benga ve Abroa (2003), sertleştirilmiş (62-64 HRC) 100Cr6 rulman çeliğinin sürekli olarak işlenmesinde parçacık takviyeli alümina ve kübik boron nitrit (CBN) takımları kullanılmışlar; tam faktöriyel Taguchi tasarım tekniği yardımıyla kesme hızı ve ilerlemeyi sırasıyla 70-210 m/min ve 0,08-0,28 mm/rev aralığında seçmişler ve takım ömrü ile YP'yi değerlendirmişlerdir. En iyi takım ömrü ve yüzey pürüzlülük sonuçları CBN takımlarla elde edilirken; karma alümina takımlarla düşük ilerlemede ve parçacık takviyeli alümina takımlarda ise ilerleme miktarı arttırıldığında takım ömrü değerleri artmış ve yüzey pürüzlülükleri iyileşmiştir.

Fuh ve Wu (1995), işlenmiş yüzey kalitesi üzerinde kesici takım geometrisi ve kesme şartlarının etkisini incelemek amacıyla RSM ve Taguchi tekniğinin birleştirilerek uygulandığı bir araştırma gerçekleştirmiştir.

2.1.4. Yapay zekâ yaklaşımları (YZ)

YZ yaklaşımları genel olarak mühendislik problemlerinde YSA, genetik algoritma, bulanık mantık ve uzman sistem olarak ele alınmaktadır. Genel olarak bir uzmandaki bilgi, tecrübe ve karar vermenin YP problemlerine simüle edilerek uygulanmasında kullanılmışlardır. YSA, genetik algoritma, bulanık mantık ve uzman sistem olmak üzere YZ teknikleri hakkında ayrıntılı bilgiler Bölüm 4'te verilmiştir.

Bir sensör füzyon tekniği Azouzi ve Guillot (1997) tarafından tornalama sırasında YP ve boyutsal sapmanın değerlendirilmesi için uygulanmıştır. Ölçme sisteminin performansı üzerindeki her bir etkiyi belirlemek için aday sensörlerin seçiminde sistematik bir yöntem izlenmiştir. Sensör füzyon tekniği ile oluşturulan modellerin regresyon analizi modellerine göre daha doğru sonuçlar ortaya koyduğu gösterilmiştir.

Sensör füzyon tekniğiyle YSA'nın birleştirildiği Varghese ve Radhakrishnan'ın (1994) çalışmasında; kapasitif, indüktif ve fiber optik sensör olmak üzere üç sensörün RMS değeri ile imalat işlem tipini (yüzey tornalama, frezeleme, elektro erozyon, taşlama) ikili kod sisteminde kodlamış ve çok olumlu sonuçların alındığı gösterilmiştir.

Chien ve Chou'nun (2001) çalışması ise birinci kısımda YP, kesme kuvveti ve kesici takım ömrünün tahmini için üç ayrı modelin oluşturulması ve ikinci kısımda da bir genetik algoritmayla YSA'nın birleştirilerek YP ve kesici takım ömrü için optimum kesme şartlarının belirlenmesine yöneliktir. YP ve kesici takım ömrü kısıtlamaları altında talaş kaldırma oranını en yüksek seviyeye çıkaran kesme şartları belirlenmiştir.

Suresh et al. (2002), YP için optimizasyonu içeren iki aşamalı bir yaklaşım benimsemişlerdir. İlk olarak deneysel sonuçlara dayalı olarak RSM verilerine göre bir regresyon modeli yardımıyla YP için iki matematiksel model geliştirmişler ve daha sonra da ikinci mertebeden matematiksel modeli bir objektif fonksiyon olarak alıp istenilen bitirme yüzeyi için kesme şartlarını belirlemek üzere genetik algoritmayla optimize etmişlerdir.

Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) ve kesme performansı (kesici takım ömrü, YP, kesme kuvveti) arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için Lee et al. (2000); polinom biçimli ağ kullanmış ve tornalama operasyonları için bir işleme veri tabanı oluşturmuşlardır. Polinom biçimli ağ ile geri yayımlı ağ arasında bir karşılaştırma yapılarak; polinom biçimli ağın daha az iç bağlantılarla daha doğru tahminlerin yapılmasında kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca polinom biçimli ağların sentezi için bir algoritma kullanılarak en iyi ağ yapısı belirlenmiştir.

Li et al. (1999), bütün işleme karakteristik faktörlerinin tamamının tahmini için analitik modeller ile YSA'nın birleştirildiği bütünleşik hibrid bir işleme modeli geliştirmişlerdir. Analitik bileşenler Oxley (1989) tarafından önerilen işleme teorisine dayandırılmış ve kesme kuvvetleri, kesme bölgesindeki sıcaklık ve talaş

geometrisi için bir tahmin edici olarak kullanılmıştır. Ayrıca YSA'nın bir ön işlemci gibi tamamen analitik bir dağılım sergileyemeyen kesici takım aşınması, YP ve talaş kırılabilirliğinin tahmininde kullanılabilmesi gösterilmiştir.

Lin et al. (2001) tarafından yapılan çalışmada ise YSA yapısının otomatik olarak belirlenmesi için kullanılan bir kriterin uygulandığı başka bir yaklaşımda bulunulmuştur. Amaç; istenilen yüzey pürüzlülük ve kesme kuvveti değeri elde edilmesi için belirli kesme şartlarını (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) belirleyerek, gerçek işleme sürecine uygulanması öncesinde tahmini bir model geliştirmek ve ayrıca elde edilen kesme kuvveti verilerini kullanarak kesme gücü ve talaş kaldırma oranının hesaplanabilmesidir.

Matsumura et al. (1996), uyarlamalı tahmin kullanılarak kesme işlemi üzerindeki kesici takım özelliklerinin etkilerini değerlendiren bir yaklaşımda bulunmuşlardır. YP'nin tahmini için ağda; kesme hızı, kesici takım ve iş parçası arasındaki uyumluluk, talaş gerinmesiyle değerlendirilen talaş süreksizliği, kesme kenarı çevresindeki ortalama sıcaklıkla değerlendirilen kesici uçtaki talaş sıvanması, yanak aşınmasının genişliği ve takım aşınmasında dikkate alınan teorik pürüzlülük değeri girdi olarak kullanılmıştır.

Bayrak (2002), 9MnPb28 malzemesinin 3 farklı takım tezgâhı kullanılarak işlenmesinde, kullanılan tezgâh tipine bağlı olarak değişen rijitlik durumunun YP'ye etkisini incelenmiş; revolver torna tezgâhının üniversal ve sayısal denetimli tezgâhlara nazaran daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir. Elde edilen parametreler ile uzman sistem yardımıyla elde edilen parametreler karşılaştırılmıştır. Uzman sistem ve deney sonuçlarının karşılaştırılmasında parça-tezgâh bilgilerinin bilgisayara tanıtılmasıyla, deney sonuçlarına yakın sonuçlar bulunmuştur. Kesme parametrelerinin yanında soğutma sıvısının YP'ye etkisi incelenmiş, soğutma sıvısı kullanımının YP'yi iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Bunun dışında YP'nin özellikle frezeleme operasyonları için diş başına ilerleme, kesme derinliği, kesici takımın bağlanması, kesme sıvısı kullanımı, ilerleme

yönündeki kesme kuvveti bileşeni ve takım tezgahı-iş parçası sistemindeki titreşimler yardımıyla YSA kullanılarak incelendiği görülmüştür [Benardos ve Vosniakos, 2002; Tsai et al., 1999; Lou ve Chen, 1997]. Bunun dışında frezeleme operasyonları için bir kısım çalışmada [Chen ve Savage, 2001; Ho et al., 2002] ise bulanık mantıkla YSA birleştirilerek uygulanmıştır.

2.2. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Talaş kaldırma teorisine dayalı yaklaşımlarda çoğunlukla kinematik terimleri ve kesici takım özellikleri bakımından kesme işleminin simülasyonu yapılmıştır. Titreşimler gibi diğer parametreler ilave edilerek YP'nin daha doğru tanımlandığı ve elde edilen sonuçların oldukça iyi bir biçimde YP'yi karakterize ettiği görülmüştür. Yaklaşımın dezavantajı ise pürüzlülük oluşum mekanizması yer alan diğer bazı faktörlerin (örneğin kesici takım aşınması ve sehimli veya belirli sıcaklık olayları) dikkate alınmaması olarak ifade edilebilir. Mevcut modellere bu faktörlerin de ilave edilmesiyle özellikle bitirme işlemlerinde daha gerçekçi sonuçların alınabileceği söylenebilir.

Deneyssel inceleme yaklaşımları ise literatürde en geleneksel yaklaşım olarak benimsenmiştir. Deneme-gözlem-sonuç stratejisi her bir bilimsel araştırma etkinliğinin temel noktası olmuştur. YP'nin oluşumunda katkı sağlayan olayların anlaşılma seviyelerine bağlı olarak yaklaşımı uygulamanın zor olmaması, yaklaşımın avantajı olarak görülebilir. Ancak diğer taraftan elde edilen sonuçların uygulanabilirliği azdır veya tam anlamıyla genelleme yapılamayacağı unutulmamalıdır. Sadece YP konusu değil aynı zamanda kullanılan donanımlar hususunda da dikkate alınması gereken birçok faktörün bulunması nedeniyle beklenen sonuçları elde etmeye yönelik deneylerin kolay bir biçimde yapılamayacağı anlaşılmaktadır.

Deney deseni tasarımlarının kullanıldığı yaklaşımlar deneyssel çalışma prosedürünü ve gerekli veri işleme tekniklerini organize etmeyi amaçlamaktadır. RSM esas olarak dikkate alınan ve istatistiksel olarak önemi olan parametreleri içeren birinci ve ikinci

mertebeden polinom biçimli modellerin geliştirilmesine imkân sağlayan ve bir deney tepkisini (sonucunu) etkileyen önemli faktörlerin nasıl inceleneceği hakkında bir model oluşturma işlemidir. Kontur çizimleri oluşturmakta kullanılan bu modeller, bir polinom fonksiyonu kullanılarak çizilen sonuçlara göre daha pratik olabilmektedir [Benardos ve Vosniakos, 2003]. Taguchi deney deseni tasarımı, herhangi bir modelin formülasyonu olmaksızın istenilen çıktının oluşturulmasını sağlayan çok önemli parametrelerin tanımlanmasında; başka bir deyişle her bir faktörün önem derecesini belirlemede bir nevi eleme prosedürü olarak kullanılmıştır. Ancak geniş bir aralığı olan mühendislik problemlerini azaltabilen Taguchi tekniğinin genellenmesi halinde güçlü istatistiksel bir arka planı olan belirli görevleri/işlevleri izole edebileceği de unutulmamalıdır.

YZ yaklaşımları önceki yıllarda geliştirilmesine rağmen bu metodolojilerdeki son gelişmeler ve mevcut bilgi işlem gücündeki hızlı artışlar nedeniyle YSA öğrenme algoritması araştırmacılar arasında büyük ilgi uyandırmıştır. YP'nin eş zamanlı olarak çevrimiçi izlenmesi ve/veya kontrolü için çok iyi sonuçlar sunması, bu yaklaşımı oldukça cazip kılmıştır.

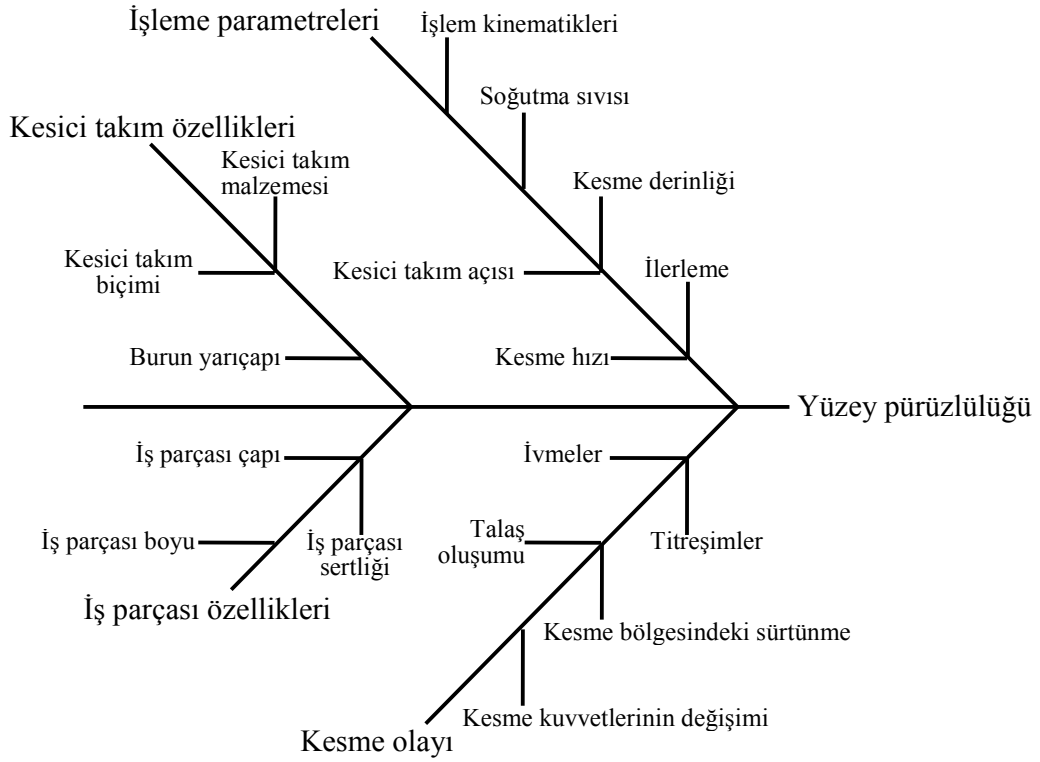
Belirtilen yaklaşımların kıyaslaması yapıldığında; YZ modellerinin, modellerde kullanılan eleman özelliklerini ve model geliştirmek için kullanılan deneysel verileri bilgi olarak depoladığından gerçek işleme olaylarını dikkate aldığı söylenebilir. Literatürde YZ ve doğrulama, yeniden düzenleme veya düzeltmeye yönelik teorik modeller bulunmadığından analitik modellemeyi birleştirmeye yönelik çalışmalara ağırlık verildiği gözlenmiştir. Belirli bir YP değeri için kesme şartlarının optimizasyonu ise ilgi uyandıran başka bir konu olmuştur. YP'nin tahmini için geliştirilen modellerde genetik algoritmalar ile diğer optimizasyon algoritmalarının birlikte kullanılabildiği de görülmüştür.

Tornalama operasyonlarında YP üzerinde kesici takımın geometrik hareketlerini dikkate alan pek çok analitik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Literatür incelemesi, sadece bir kesme değişkeninin değiştirilmesine karşılık diğer değişkenlerin sabit tutulmasıyla YP'nin değiştiğini açığa çıkarmıştır. Bir kısım çalışmada ise kesme hızı,

ilerleme, kesme derinliği gibi değişik kesme parametrelerini ve geometrik bir ifade olan kesici takım formu gibi değişkenlerin yzey kalitesi üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır. Bir kısım araştırmacı yeni tahmin modelleri geliştirerek; modellerinde, dikkate alınan kesme parametrelerinin (ilerleme, kesme hızı, kesme derinliği ve kesici takımın geometrik formu) her biri ile bağıntılı, kinetik pürüzlülüğün toplamı ile değerlendirilebilen toplam YP kullanmışlardır. Hazırlanan tahmin modelleriyle YP üzerinde etkili faktörlerin, büyük bir orandaki deneysel verilerle açıklanabildiği görölmüştür.

YP'nin çok büyük bir öneminin olduğu yüksek işleme doğruluğu, literatürde en dikkati çeken yan olarak belirlenmiştir. Ancak literatür incelemesi neticesinde; şekil 2.2'de belirtilen pek çok kesme parametresi göz önüne alınarak, yzey pürüzlölük kriteri için daha gerçekçi modellerin oluşturulması çalışmalarının hala devam ettiği görölmüştür.

Bu çalışmada tornalamada kesme parametrelerindeki (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesici takım formu vb.) değişimine bağlı olarak YP'nin deneysel ölçümü gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları doğrultusunda, YP'nin tahmini için regresyon analiz tekniğine dayalı matematiksel bir model üzerinde durulmuştur. Matematiksel modellemeye ilave olarak ayrıca YSA metoduyla da YP'nin tahmini yapılmıştır. Geliştirilen modellerin tornalama operasyonlarında pratik ve ekonomik olarak kullanılması amaçlanmıştır.



Şekil 2.2. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin kılçık diyagramı [Benardos ve Vosniakos, 2003]

3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ (YP)

Talaşlı imalat sırasında iş parçasında yüzeyinde istenmeyen izler oluşur. İşleme metodu, kesicinin cinsi, işlenen malzeme ve kesme parametreleri, fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleri ile kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlere bağlı olarak, nominal (anma) yüzey çizgisinin altında veya üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü (YP) denir [Güllü, 1995]. İşleme metodu ne olursa olsun (lepleme, taşlama, tornalama vb.) talaş kaldırılan yüzeylerde belli bir YP'nin oluşması kaçınılmazdır. Farklı metotlarla işlenen aynı malzemelerin YP'leri sayısal değer olarak aynı olmasına rağmen bazen bunların aşınma, korozyon, sürtünme ve yorulma dirençlerinin farklı oldukları bilinmektedir. Çünkü yüzeydeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları da performansı etkiler. Bu nedenle işlenecek parçaların bazılarında YP değerinin yanında işleme metodunun da belirtilmesi istenir. Kaliteli işlenmiş bir yüzey; korozyon direncini, yorulma mukavemetini ve sürtünme ömrünü önemli derecede artırır. Ayrıca 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. Bundan dolayı ihtiyaç duyulan kaliteye ulaşmak için istenilen yüzey tamlığı belirlenerek uygun işlemler seçilir.

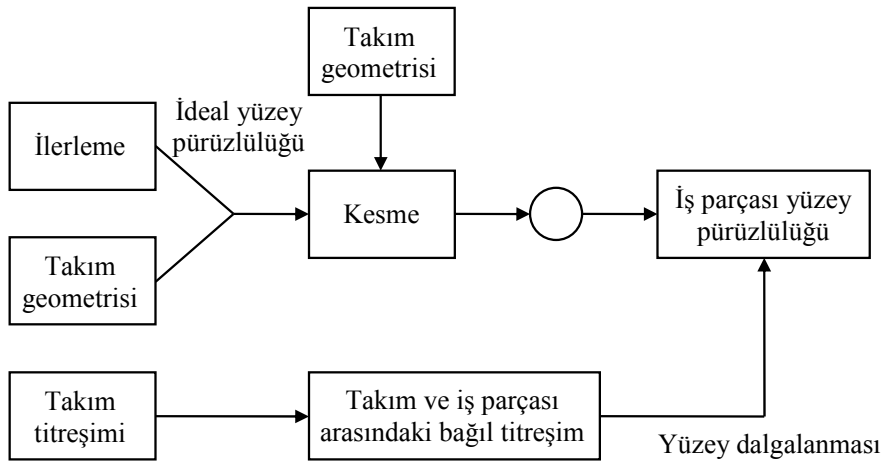
Tırlama veya takım tezgâhı titreşimleri, iş malzemesinin yapısındaki hasarlar, takım aşınması veya talaş oluşumunun düzensizlikleri, işleme sırasında yüzeyin bozulmasına katkıda bulunurlar [Boothroyd ve Knight, 1989]. YP'yi tahmin etmek ve ilerleme veya kesme hızı gibi işleme parametrelerinin uyumunu değerlendirmek ürün kalitesini yükseltir ve istenilen YP'nin elde edilmesine ışık tutar.

3.1. Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve YP olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça karmaşık

olmasından dolayı YP'nin matematiksel modellenebilmesi için çoklu değişkenlere ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen YP'nin kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte YP miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte YP değerleri azalmaktadır [Kwon, 2000].

Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler; takım tezgâhlarının yeterli rijitlikte olmaması, tezgâhın kinematik mekanizması, yataklama sisteminden kaynaklanan tezgâh hataları, takım ucu ve takım tutucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları, takım konumlama ve bağlama hataları, takım aşınmasından kaynaklanan hatalar ve çevrenin etkisi ile oluşan hatalar biçiminde özetlenebilir. Şekil 3.1'de YP'ye etki eden faktörler ele alınmıştır. İş parçasının bitmiş YP'sini etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.

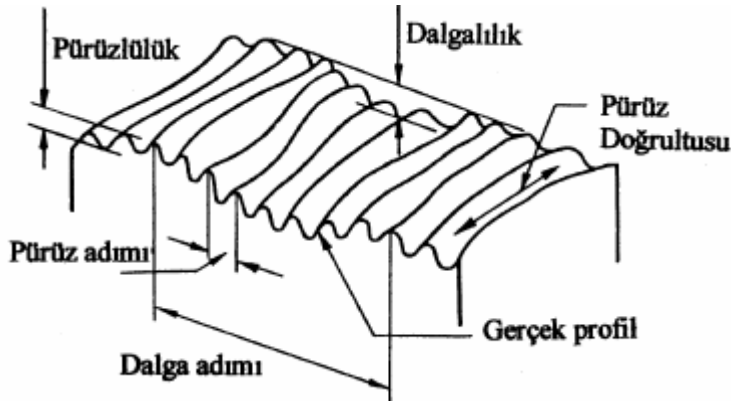


Şekil 3.1. YP'yi etkileyen faktörler [Cheung ve Lee, 2000]

3.2. Yüzey Yapısının Özellikleri

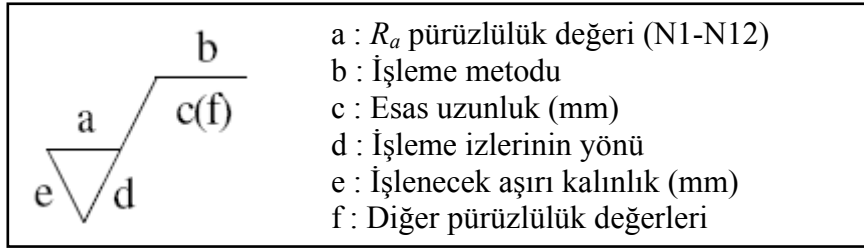
İmalat teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sadece boyutsal tamlığın ölçülmesi yeterli olmayıp, birbiri ile ilişkili hatta ilişkili olmayan yüzeylerin pürüzlülüklerinin ve durumlarının da ölçülmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bir yüzey

yapısının kontrolünde üç önemli faktör sırasıyla; yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınmadır. İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. YP, standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız; pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Şekil 3.2’de gösterilen yüzey karakteristikleri işleme metoduna bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.2. Yüzey karakteristikleri [Galyer ve Shotbolt, 1993]

Daha hassas işlenmiş yüzeyler sayesinde birçok makinenin performansı artar. Bu amaçla, istenen yüzey kalitesinin elde edilmesinde esas alınacak standart YP değeri belirlenir ve bu değer resim üzerinde bir sembol ile gösterilir (Şekil 3.3). 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 [Bağcı, 1996].

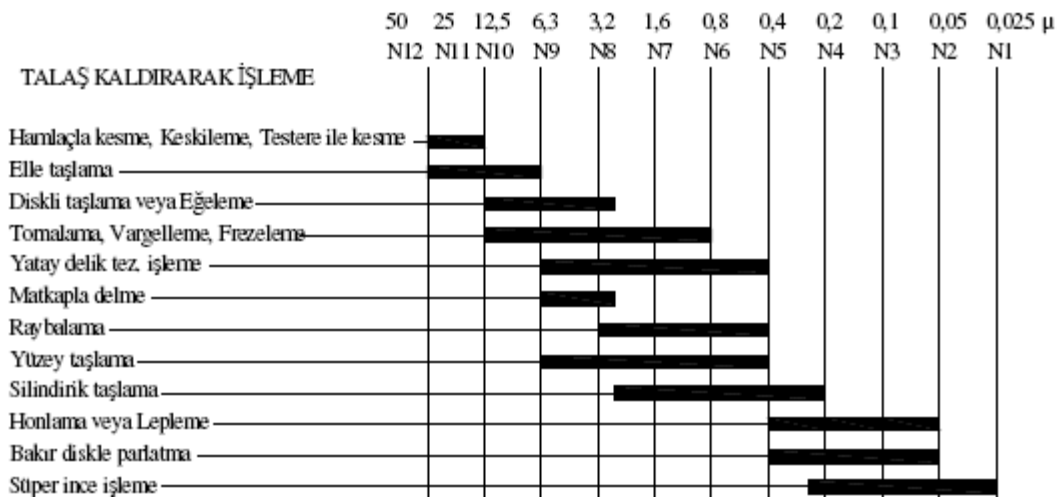


Şekil 3.3. YP özellikleri

Belirlenmiş YP değerleri (R_a) ve sınıf numaraları on iki kalite olarak Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çizelge 3.1’de belirtilen pürüzlülük değerlerinin hangi talaş kaldırma işlemiyle elde edilebileceği ise Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Pürüzlülük değerleri ve sınıf numaraları

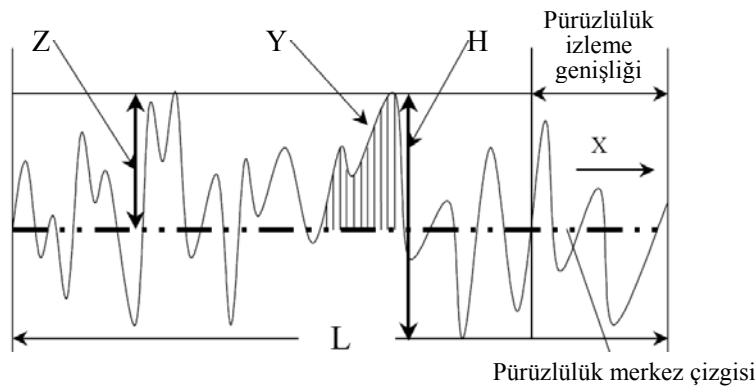
Pürüzlülük değeri, R_a		Pürüzlülük sınıf numarası N	Pürüzlülük değeri, R_a		Pürüzlülük sınıf numarası N
μm	$\mu\text{inç}$		μm	$\mu\text{inç}$	
0,025	1	N1	1,6	63	N7
0,05	2	N2	3,2	125	N8
0,1	4	N3	6,3	250	N9
0,2	8	N4	12,5	500	N10
0,4	16	N5	25	1000	N11
0,8	32	N6	50	2000	N12



Şekil 3.4. Talaş kaldırma işlemlerindeki pürüzlülük değerleri

3.3. Yüzey Hatalarının İncelenmesinde Genel Kurallar

İşlenmiş bir yüzey 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. YP profilinde genel olarak oluşabilecek dalgalılık ve pürüzlülüğün iki boyuta indirgendiği Şekil 3.5'te verilen grafikte; Y, profil eğrisini, X, profil yönünü; Z, ortalama pürüzlülük yüksekliğini; L, örnekleme uzunluğunu ve H, profil yüksekliğini göstermektedir.



Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülük profili [Yang ve Chen, 2001]

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 arasında fark daha az olur. Tek yönlü izlerin olduğu yüzeylerde, herhangi bir yön belirtilmemişse, ölçümler 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 metotlarla üretilen, fakat eşit pürüzlülük değerine sahip yüzeyler arasındaki yapı farklılıklarını göstermez. Bunun için yüzeylerin grafiklerinin çizilmesi gereklidir.

3.4. Yüzey Kalitesinin Sayısal Olarak 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 metot değildir. Grafik metodunu, ne üretim mühendisi ne de 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 metot otoritelerce kabul edilmiştir. Bunlar; genellikle ortalama çizgi ve zarf sistemi olarak bilinir [Güllü, 1995].

3.4.1. Ortalama çizgi (*M*) sistemi

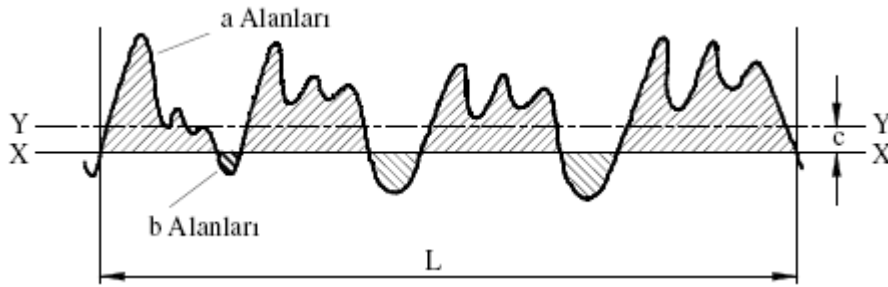
Ortalama çizgi, elde edilen geometrik profili tasdik eden bir yöntem olarak tanımlanabilir. Bu ortalama çizgi öyle bir yere yerleştirilmiştir ki, bu çizgi ile profil arasındaki ordinatların karelerinin toplamı minimum olmalıdır. Dolayısıyla ortalama veya merkez çizgisi pratikte profilin genel yönüne paralel bir çizgi olarak belirlenebilir ve bu çizginin altında ve üstündeki profili oluşturan alanlar (*a* ve *b*) birbirlerine eşittir (Şekil 3.6). Şekil 3.6’da 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 metodu kullanılarak *a* ve *b* alanları ölçülür. Sonra *XX* ve istenen ortalama çizgi *YY* arasındaki *c* mesafesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

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

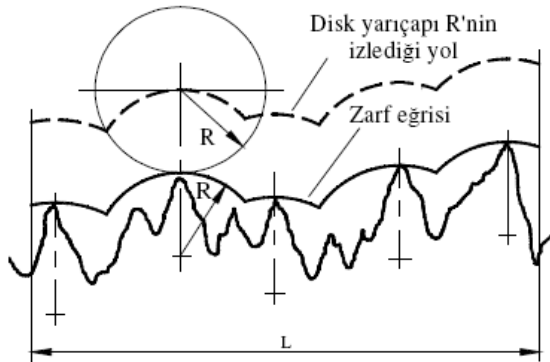
3.4.2. Zarf sistemi (*E*)

Zarf sistemi, izlere 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

3.7’de 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 3.6. Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi [Scarr, 1991]



Şekil 3.7. Zarf eğrisinin elde edilişi [Scarr, 1991]

Düşey büyümelerin yataydaki büyümelerden dikkati çekecek kadar 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 3.8). Bu, zarf eğrisi sistemindeki ortalama çizgiyi karşılama anlamına gelmektedir [Scarr, 1991].

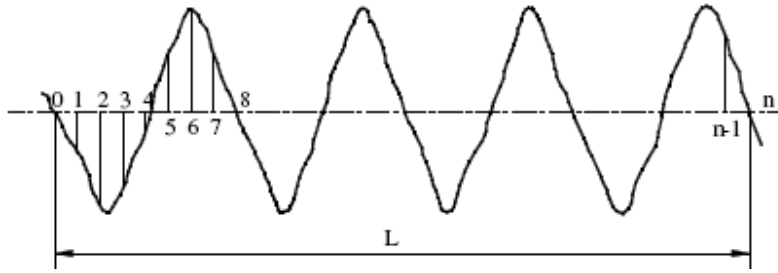
Bununda fonksiyonel görüntü noktasından kontrolü çok önemlidir. Aşağıda açıklanan değerler en çok kullanılan değerlerdir [Sarı, 2008] ve onların ortalama çizgi veya zarf sistemine eşit olarak uygulanabilirliği tekrar vurgulanmıştır.

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. 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 3.9’da işaret edilen durumun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibi olur:

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

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 3.10’da 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:

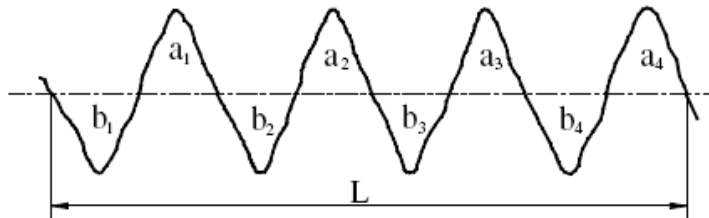
$$R_a = (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) / n = (\sum h) / n \quad (3.3)$$



Şekil 3.10. Ordinatlara R_a 'nın gösterimi [Galyer, 1993]

R_a 'nın değeri, Şekil 3.11'de 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 (Galyer, 1993):

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



Şekil 3.11. Alanlarla R_a 'nın gösterimi [Galyer 1993].

Düzgün geometrik profillerden başka, tepe-dip yükseklikleri ve ortalama eksen çizgisi arasında sabit bir ilişki bulunmamıştır. Pratikte 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 3.9). R_t değeri, örnekleme boyundaki yüzey düzensizliklerinin frekansı göz önüne alınmazsa YP'nin tam bir tanımıdır. Tepe-dip yüksekliği ortalama değerini

daha da iyileştirmek için en yüksek tepe ve en düşük dip hesaba katılmaz. Böylece örnekleme uzunluğunda çok yüksek tepe ve dibin bulunması etkili olmaz.

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 3.10'daki 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.

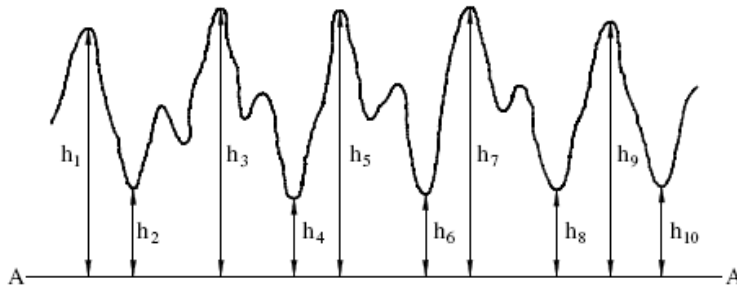
R_q 'ya karşılık elde edilen sayısal değer yaygın olarak kullanılmaz. Ortalama değer eksen çizgisi, alan ölçme metotları yoluyla bir grafiğin kolayca ölçülmesi ve izleyici ucun hareketinin hesaplandığı bir elektriksel cihazdaki okuma kolaylığı ve ortalama sonucun bir sayaç üzerinde okunuyor olması avantajlar sağlamaktadır. R_q/R_a oranı; tormalanmış 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 [Yim ve Kim, 1991].

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 3.12).

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



Şekil 3.12. On nokta yükseklik hesabı için ortalama ölçümler [Yim ve Kim, 1991]

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 [Lou et. al., 1998].

Yüzey yapısı ve gerçek yüzey: Yüzey tamlığı ve YP, endüstride yaygın olarak kullanılan terimler olup genellikle yüzey tamlığının düzlemselliğini nitelemek için kullanılır. Yüzey yapısı nominal bir yüzeyden sapan yüzeyin modelidir. Bu sapmalar tekrarlı veya rasgele olabilir ve pürüzlülük, dalgalılık, konum ve yüzey kusurlarından

kaynaklanabilir. Bir cismin gerçek yüzeyi, onu dış ortamdan ayıran dış kabuktur. Bu yüzey form hataları, dalgalılık ve YP olarak sınıflandırılan yapısal sapmaları aynı şekilde yansıtır [Lou et. al., 1998].

Pürüzlülük ve pürüzlülük genişliği: YP, yüzey yapısının çok küçük düzensizliklerini ihtiva eder ve bu düzensizlikler talaş kaldırma işleminin tabii hareketinden kaynaklanır. Pürüzlülük ve dalgalık profilleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Pürüzlülük genişliği; takip eden tepe veya pürüzlülüğün hakim modelini oluşturan sert noktalar arasındaki nominal yüzeye paralel mesafedir [Lou et. al., 1998].

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 [Lou et. al., 1998].

Dalgalılık, dalgalılık yüksekliği ve genişliği: Dalgalılık, bütün düzensizlikleri ihtiva eder. Onun aralığı pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük ve dalgalılık örnekleme uzunluğundan daha azdır. Dalgalılık yüksekliği; dip ve tepe değerleri arasındaki mesafedir. Dalgalılık genişliği ise ardışık dalga tepe veya dip noktaları arasındaki mesafedir [Lou et. al., 1998].

Konum/pozisyon ve kusur/hata: Normal olarak işleme metodu tarafından tayin edilen hakim yüzey modelinin doğrultusudur. Kusurlar, parça yüzey topografyasındaki planlanmamış, beklenmedik ve istenmeyen kesintilerdir [Lou et. al., 1998].

3.6. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen işleme yöntemine, kesici 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. Değişik parçaların bir araya gelmesiyle oluşan ürün kalitesini ve endüstriyel makinaların performansını arttırmak, yeterli seviyede hassas

işlenmiş yüzeyleri gerektirmektedir. Aynı malzemenin farklı cins metotlarla aynı YP değerinde işlendiği, bazen bunların korozyon, sürtünme, aşınma ve yorulma dayanımı olarak farklı davranışlar gösterdikleri bilinmektedir. Yüzeylerin pürüzlülüğünden başka, yüzeydeki işleme izlerinin yönü ve dağılımları da malzemenin performansını önemli derecede etkilemektedir [Thomas, 1981, Sherington et. al., 1987, Güllü ve ark., 2003].

İşleme sırasında kesici takımlardaki hatalar, titreşimler, kesici kenarındaki malzeme sıvanması gibi faktörlerin olumsuz etkisi en aza indirilerek; kullanılan kesici türüne, geometrisine ve ilerlemeye bağlı olarak en iyi bitirme değeri elde edilmesi amaçlanmaktadır. YP'ye birden fazla faktörün etkisi bulunmakla birlikte; talaş kaldırmada etkili olabilecek en önemli parametrelerler, aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir [Güllü ve ark., 2003]:

- 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.

Kesici uç istenilen kalitede (pürüzlülük değerinde) talaş kaldıramadığı noktada değiştirilmelidir. Bu, özellikle ince talaşta (son pasoda) büyük önem taşır. Metal kesmede yüzey yapısını, işleme operasyonu esnasında malzemenin plastik akışından doğan düzensizlikler tayin eder. Yüzey yapısı, esas itibarıyla işleme metoduna, titreşimlere, tezgâh kızaklarındaki hatalara, takımın tip ve durumuna, kesme parametrelerine, iş parçası malzemesine ve toplam kararlılığa bağlı olarak değişir. 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, YP'yi meydana getirir [Akkurt, 2000].

Talaşın sürekli veya kesikli oluşumuna göre farklı yüzeyler oluşacaktır. Talaş kaldırmanın tornalama, frezeleme, matkapla delme, broşlama, raybalama, taşlama veya honlama ile yapılması halinde ise farklı yüzey şekilleri elde edilir. Yüzey kalitesi farklı işleme metotları için takım geometrisine, takım özelliklerine ve YP'yi etkileyen kesme parametrelerine bağlı olarak ifade edilebilir. Örneğin tornalama ve frezeleme için YP genel olarak 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 [Sandvik, 1996]. 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 tezgâh işleme parametreleri teorik olarak ilişkilendirildiğinde;

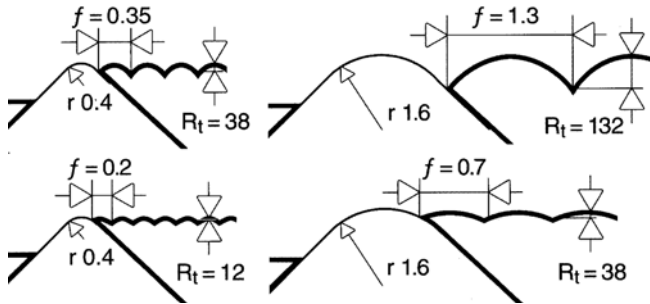
$$R_a = \frac{f}{4 \cdot (\tan C_s + \cos C_e)} \quad (3.9)$$

elde edilir. Burada f ilerleme değeri (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 anlaşılacağı üzere pürüzlülük değeri ilerleme ve takımın burun yarıçapıyla bağıntılıdır. Burun yarıçapı 0,4 mm olan bir takım $r = 0$ mm burun yarıçaplı (teorik) bir takıma göre sekiz kat daha küçük YP verir [Begeman et. al., 1987].

İlerleme ve kesici takım burun yuvarlatma yarıçapının teorik maksimum YP değerine (R_t) etkisi Şekil 3.13'te gösterilmiş olup; daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisi kullanılarak R_t değeri artırılabilir. Kesme hızının artırılmasının talaşın yapışmasına, titreşime ve aşınmaya olan etkisinden dolayı YP üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahiptir.



Şekil 3.13. Takım uç yarıçapı ve ilerlemenin pürüzlülüğe etkisi [Çakır, 1999]

3.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Metotları

Literatürde YP ölçme yöntemleri, ölçme hızı dikkate alınarak; uygulama şekli (tahribatlı veya tahribatsız, temaslı veya temassız) ve ölçme hassasiyeti bakımından (kaba, orta veya hassas) gruplandırılmıştır (Çizelge 3.2) [Güllü ve ark., 2003]. Uygulamalara bakıldığında derlenmiş olan bu 30 metottan bazıları genel kullanım

açısından tatmin edici netice vermemekle birlikte kabul edilebilir durumlarda olumlu sonuçlar vermektedir. Bu metotlar genellikle “kaba” olarak gruplanan bölümde yer almaktadır. Üretimde kullanıldığı şartlardan doğan problemler için tatmin edici sonuçlar vermişler ve parçanın kabul işlemleri için kullanılmışlardır. Bu metotlar, ortalama bir YP değeri ölçmemekte ve son kararı kullanıcının vermesi bu gruba giren pürüzlülük ölçme alet ve cihazlarının güvenilirliğini azaltmaktadır.

Çizelge 3.2. YP ölçme yöntemleri ve özellikleri [Güllü ve ark., 2003]

Ölçme Yöntemi		Uygulama Şekli ¹				Ölçme Hassasiyeti ²		
		1	2	3	4	1	2	3
1	Dokunma yöntemi		X	X		X		
2	Mekanik çalışma yöntemi	X		X		X		
3	Hidrolik metot		X	X		X		
4	Pnömatik metot		X		X			X
5	Yüzey dinamometresi	X		X		X		
6	Kapasitans yöntemi		X		X	X		
7	X ışını yöntemi		X		X			X
8	Elektron mikroskobu yöntemi		X		X			X
9	Optik mikroskop yöntemi		X		X	X		
10	Kesit alma yöntemi	X		X		X		
11	Karşılaştırma mikroskobu yöntemi		X		X	X		
12	Optik yansıtma yöntemi		X		X			X
13	Optik parazit aletleri yöntemi		X	X		X		
14	Işık yansıması (interferometri) yöntemi		X		X			X
15	Replika (mask) yöntemi		X	X		X		
16	Standart örnek yüzeyler yöntemi		X		X	X		
17	Işık bantlı mikroskop yöntemi		X		X			X
18	Elektro-fiber optik sistem yöntemi		X		X			X
19	İnterferans mikroskop yöntemi		X		X			X
20	Kisilev profilometresi yöntemi		X	X				X
21	Yaylı tip profilometreler yöntemi		X	X				X
22	Elektrikle çalışan profilometreler yöntemi		X	X				X
23	Levin profilografi yöntemi		X		X	X		
24	Linnik ikili mikroskobu yöntemi		X		X	X		
25	Hava mastarı yöntemi		X		X	X		
26	Fotoğraf yöntemi		X		X	X		
27	Görsel komperatörler yöntemi		X		X	X		
28	Çok sayıda yüksekliğin mastarla okunması yöntemi		X	X		X		
29	Kaydedici indikatör yöntemi		X	X		X		
30	İzleyici uçlu (stylus) cihazlar yöntemi		X	X				X

¹ Uygulama şekli : 1-Tahribatlı, 2-Tahribatsız, 3-Temaslı, 4-Temassız
² Ölçme hassasiyeti : 1-Kaba, 2-Orta, 3-Hassas

Pürüzlülüğü 0,05 μm ve daha küçük olan değerlerin elde edildiği yöntemler “hassas” olarak değerlendirilmiştir. Diğer yöntemlerin ise “orta” grubu teşkil ettiği kabul edilmiştir. Temaslı grubu oluşturan yöntemlerin çoğunun ölçme hassasiyeti bakımından kaba veya orta grupta olduğuna dikkat edilmelidir. Temastan kaynaklanan ölçme hatalarının yöntemin tabii yapısından kaynaklandığı ve ölçme sonuçlarında oluşan toplam sistematik hatanın büyük olduğu unutulmamalıdır. Temassız gurubu oluşturan yöntemlerin çoğunun ise hassas olarak değerlendirilen kısımda yer aldığı görülmektedir. Yöntemlerin sadece üç tanesi (mekanik çalışma yöntemi, yüzey dinamometresi ve kesit alma yöntemi) tahribatlı olarak değerlendirilebilir. Diğer yöntemlerin tahribatsız olmaları tercih için geniş bir yelpaze oluşturmaktadır.

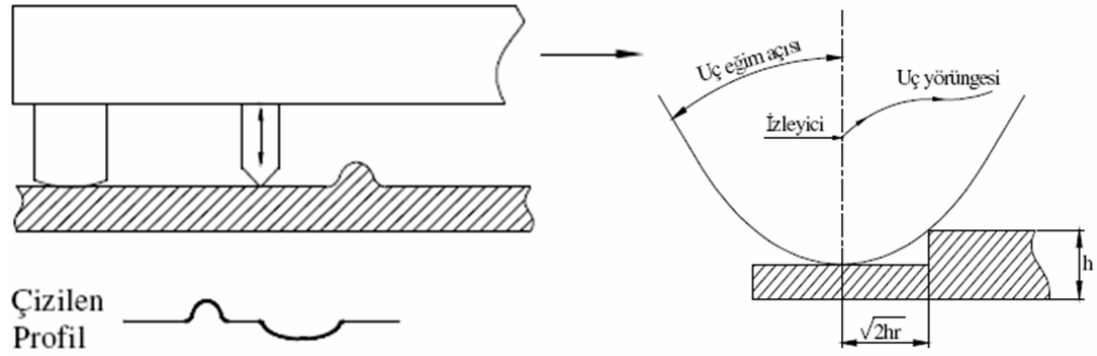
YP’nin değerlendirilmesinde; pürüzlülük aralığı, pürüz tepelerinin ve yanaklarının yaptığı açılar, pürüzlülük dağılım eğrisi gibi önemli kriterler etkili olmaktadır. Bu kriterlerin gözle tespitine ve değerlendirilmesine imkân veren pürüzlülük grafiklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Grafik alma özelliği olan cihazlar pürüzlerin kaydedilmesi yönüyle daha somut ve kapsamlı bilgi edinme ve karar vermeye yardımcı olması bakımından uygulamalarda tercih edilmektedir.

3.7.1. İzleyici uçlu cihazlar (stylus) metodu

İzleyici uçlu cihazların çalışma prensibi, kullanılan çok sivri bir izleyici ucun ölçüm yapılan yüzey üzerinde, yüzey düzensizliklerine çapraz yönde ve değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket boyunca meydana gelen titreşimlerin büyütülerek, yine hareketli bir şerit üzerine kayıt edilmesi veya göstergeden okunması esasına dayanır [Garratt, 1982]. İzleyici ucun yüzey üzerindeki baskısı çok azdır ve pürüzlülük büyütme oranı 100 000 kata kadar çıkabilir.

Pikap iğnesi gibi yüzeyde doğrusal bir hat boyunca kayıt yapan araçlar işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde basit bir yöntem olarak yaygınlık göstermiştir. İğnenin uç yarıçapı, yüzeyin pürüzlülüğünü değerlendirmeye imkân

verecek ölçüde küçük olarak seçilmelidir. Numune yüzeyini ölçmek için kullanılan iğnenin idealde keskin bir uca sahip olması gerekir. Bu ise pratikte mümkün değildir. İğnenin ucundaki sonlu yarıçap, ölçme yapılan yüzeyin sekline bağlı olan hareketin hassasiyetinde bazı kayıplara sebep olur. İzleyici ucun sonlu yarıçapından dolayı meydana gelen hatanın pratikte çok ciddi olmadığı görülmüştür. Ölçüm yapılan yüzeyleri birbirinden ayıran bir tepe üzerinden, izleyici uca kızaklık eden elemanın geçmesi ile profilde ortaya çıkan yanlış dibin ve küçük keskin bir basamak üzerinden geçen küresel uçlu izleyicinin takip ettiği yolun şematik gösterimi Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. İzleyici uç prensibi [Song ve Springer 1999; Güllü ve ark., 2003]

Bu cihazlar mekanik, pnömatik, optik veya elektronik olarak yapılmışlardır. En yaygın olanı elektrik sinyallerinin kolaylıkla işlenebilmesinden dolayı elektronik olanlardır (izleyici ucun mekanik yer değiştirmeleri elektrik sinyallerine dönüştürülür).

4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

4.1. Yapay Zekâ (YZ) Yöntemleri

Mühendislik tasarım işleminde, klasik programlama teknikleri ile geliştirilen programlar yerini artık yapay zeka (YZ, *artificial intelligence*) teknikleri kullanarak geliştirilen çalışmalara bırakmaktadır [Toktaş, 2003]. Böylece, işletmelerin gelecekte rekabet edebilmeleri için müşterinin istediği; ürün kalite ve çeşitliliği artmakta, ürünün pazara intikal süresi kısalmakta ve ürün maliyetini düşürerek kârı artırmaktadır. Ayrıca, sezgisel parametrelerin kullanılabilmesi, doğru analiz yapabilme ve anında karar verme gibi insana özgü olan yetileri kullanarak karar veren veya tavsiyelerde bulunan yeni araçların ve metotların geliştirilmesi ile daha hızlı ve gerçekçi çözümler elde edilmektedir.

YZ, 20. yüzyılda elektronik, mekanik ve bilgisayar teknolojilerinde yaşanan evrimin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. YZ; bilgisayar biliminin akıllı yani öğrenme, akıl yürütme, problem çözebilme, dili kullanabilme gibi niteliklere sahip bilgisayar sistemleri tasarımıyla uğraşan koludur. YZ tekniklerinin çeşitli mühendislik tasarımı faaliyetlerinde uygulanması son zamanlarda artmıştır. En çok kullanılan YZ teknikleri sırasıyla; uzman sistemler, bulanık mantık, genetik algoritmalar ve yapay sinir ağlarıdır [Toktaş, 2003].

4.1.1. Uzman sistemler

Uzman sistemlerin temel özellikleri, bilgisayara bir problem sunulduğunda o problemi o konunun uzmanı ne şekilde çözüyor ise o şekilde çözebilen YZ programları oluşturmaktır. Bu programlarda, belirtilen problem sahası ile ilgili uzmanlık bilgilerinin toplandığı bir bilgi tabanı, bu bilgilerin uzmanvari bir şekilde kullanılarak sonuçlar üreten bir çıkarım mekanizması bulunmaktadır. Ayrıca tıpkı bir uzman gibi sonuçları ve verilen kararları nasıl ve neden oluşturduklarını açıklayan bir açıklama mekanizması ile bilgisayarla kullanıcının doğal dilde haberleşmesini

sağlayan bir kullanıcı ara birimi vardır. Bilgi tabanında bilgiler genel olarak kurallar; (eğer-ise), bilinen gerçekler, bilgi sınıfları, prosedürler ve algoritmalar şeklindedir.

Uzmanların bilgi ve tecrübesinden yararlanarak oluşturulan uzman sistemlerin bazı avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir [Toktaş, 2003]:

- ☞ Uzmanlardaki yorgunluk ve stres sebebiyle sürekli yüksek verimde çalışamamalarının aksine, her an hazırdırlar ve muntazam bir şekilde çalışırlar. Yüksek performans, uygun yanıt süresi, yüksek güvenilirlik, anlaşılabilirlik ve esneklik gibi kaliteyi arttıran genel karakteristiklere sahiptirler.
- ☞ Kullanıcıya, sistemin sonuç çıkarma yöntemini açıklaması ve o konudaki uzmanlığı rahat ve kolay bir şekilde sunarak yardımcı olması itibarıyla zeki bir öğreticidir.
- ☞ Bugün uzman sistem geliştirmedeki en önemli darboğazlardan birisi bilginin toplanması ve uzmandan alınması problemidir. Uzman, sahip olduğu bilgileri, tecrübesini, yeteneklerini kurallar halinde ortaya koyamayabilir. Bunların bir kısmının kurallar halinde programlanması söz konusu da olamayabilir.
- ☞ Bir uzman sistem genelde, bilgiyi sembolik olarak ifade eder, kıyaslama işlemini inceler ve açıklar, ayrıca probleme ait alanları belirler. Bu işlemi yapacak bir uzmanın uzun bir süre ileri düzeyde bir eğitim alması ve yıllarca bu konuda tecrübe edinmesi gerekecektir ki bu da oldukça maliyetli ve zaman alıcı bir iştir.

Uzman sistemlerin kullanıldığı uygulama alanları fonksiyonlarına göre; teşhis, sınıflandırma, seçim, veri analiz ve yorumu, analiz, tasarım, tahmin, simülasyon, izleme, danışmanlık, zeki yardım-destek, planlama ve programlama, kontrol ve eğitim olarak sınıflandırılmıştır.

4.1.2. Bulanık mantık

Bulanık mantık; teorik ve matematik aksiyonlu yaklaşımlardan bağımsız bir çözüm algoritması içerdiğinden, herhangi bir sistemin modellenmesinde yaklaşık ve kolay çözüm verir. Elde edilebilen tüm sayısal ve sözel bilgiler çözüm algoritmasına

katılarak anlamlı çözümlere varılabilir. Bu bakımdan bulanık yöntem uzman kişilerin de vereceği sözel bilgileri işleyerek toptan çözüme gitmeye yarar [Toktaş, 2003].

Genel olarak bir bulanık denetleyici; veri tabanı, bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım motoru ve durulaştırmadan meydana gelmektedir. Bulanık mantık ile modelleme yaparken girdi ve çıktı değişkenleri genelde kullanımı basit olan üçgen üyelik fonksiyonları ile alt kümelerle ayrılarak bulanıklaştırılır. Daha sonra girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi belirleyen kuralların bulunduğu kural tabanı oluşturulur. Kural tabanı oluşturulurken ya mevcut verilerden hareket edilir veya tecrübelerden yararlanılır. Kural tabanı sözel cümleciklerden oluşur. Bulanık mantık ile modellemede, kural tabanı bir çeşit mantıksal ifade olan “eğer-ise” yapısıyla oluşturulur ve “ve/veya” bağlaçları ile birbirine bağlanır. Kurallar oluşturulduktan sonra, girdi değişkenlerinin bulanık alt kümelerinin her farklı kombinasyonu için çıktı değerleri hesaplanır. Bulanık çıkarım motorunda, bulanık deneysel veriler, kurallar çerçevesinde bulanık mantık yürütülerek mantıksal hale dönüştürülmektedir. Bu bulanık bilgilerden yararlanabilmek ve kesin sayılar haline dönüştürebilmek için bu bilgilerin durulaştırılması (bir bulanık küme işleminin sonucundaki bulanık kümenin tek sayı haline dönüştürülmesi işlemi) gerekmektedir. Bulanık mantıkta değişkenlere kesin değerler atamak yerine sözel ifadeler verilir. Bu tanımlar bulanık setler ile belirtilir ve çıkarım motoru bu tanımlar üzerinden yapılır.

Bulanık mantık yaklaşımının en büyük avantajı, gerekli kural tabanı oluşturularak deneysel verilerin doğrudan kullanılabilmesidir. Faktörlerin birbiriyle etkileşimi ve çelişkisini tutarlı bir şekilde ancak tecrübeli bir mühendis tartabilir ve en makul kararı verme aşamasında var olan bütün bilgileri ancak o kullanabilir. Bu sebeple matematik bağıntılarla güçlük ile ifade edilen deneysel veriler çok daha kolay bir şekilde dikkate alınabilmektedir [Toktaş, 2003].

4.1.3. Genetik algoritmalar

Temelde güçlü olanın yaşamını sürdürmesi, güçsüz olanın ise ölmesi prensibini esas alarak, farklı birçok çevrede güçlü olanın yaşamını sürdürmesi için verimlilik ve

etkinlik arasındaki dengeyi sağlamaya çalışmaktadır. Diğer bir deyişle, genetik algoritmalar bir amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek üzere optimizasyon problemlerinin çözümünde doğadaki genetik yasalara benzer kurallar aracılığıyla en iyiye yaklaşma olanağı sağlamaktadır [Toktaş, 2003].

Genetik algoritmalar ile problemleri çözebilmek için problemlerin genellikle rakamlarla (çoğunlukla 0 ve 1 olup bunlara biyolojide olduğu gibi gen adı verilir) gösterilmeleri gerekmektedir. Genler kromozomları oluşturur. Her bir kromozom, problem için alternatif bir çözüm demektir. Önemli olan en iyi çözümü bulabilmektir. O nedenle sadece gösterimi sağlamak problemi çözmek için yeterli değildir. Her kromozomun problem çözümüne uygunluğunu gösteren bir uygunluk fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Bir genetik algoritma belirli sayılardaki kromozomlar üzerinde işlevini görür. Belirli bir seçme kriterine göre seçilen iki kromozomu birleştirerek (çaprazlama) yeni kromozomlar oluşturur. Bazı durumlarda çözüme daha önce varabilmek için kromozom üzerinde bilgi değişikliği (mutasyon) yapmak gerekir. Eski kromozomlar ile üretilen yeni kromozomlar, uygunluk fonksiyonunu kullanarak bir değerlendirme operasyonundan geçirilip daha sonraki adımlarda yeni kromozomları oluşturacak (yeniden üretim) kromozomlar seti belirlenir. Bu çaprazlama, mutasyon, değerlendirme ve yeniden oluşturma işlemleri daha iyi sonuçlar üretilinceye kadar devam eder. Sonuçta uygunluk fonksiyonu en yüksek olan kromozom çözüm kromozomu olarak belirlenir. Bu kromozomun gösterdiği çözüm, problemin de çözümü olarak kabul edilir [Toktaş, 2003].

4.1.4. Yapay sinir ağları (YSA)

YZ 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 (eş) zamanlı problem çözmede oldukça faydalı sonuçlar ortaya koymaktadır [Toktaş, 2003].

Biyolojik sinir ağırları ile insan beynindeki nöronların çalışma prensiplerine dayanılarak modellenen sistemlerdir. Değişkenlerin önemlilik derecesine müdahale edilebilmesi mantığına dayanır. Basit ve sınırsız imkânları nedeniyle YZ 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 ağırları; yapısı, bilgi işleme yöntemindeki farklılık ve uygulama alanları nedeniyle çeşitli bilim dallarının da kapsam alanına girmektedir.

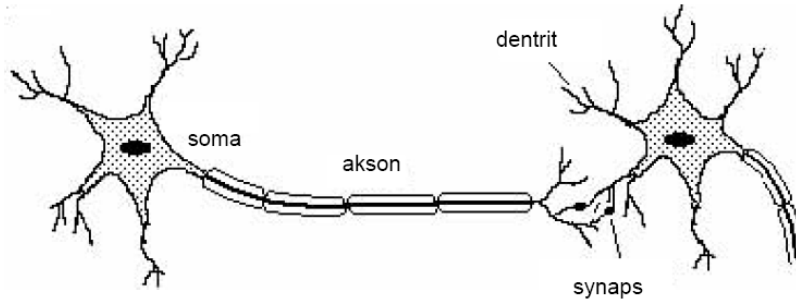
Genel anlamda YSA, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle yada bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını ihtiva eder.

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.

4.2. Biyolojik Sinir Sistemi ve Yapay Sinir Ağları

Biyolojik sinir hücresinin şematik yapısı Şekil 4.1’de 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 [Toktaş, 2003]. 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.

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 ta tanımlanabilir [Toktaş, 2003]. Bu kara kutunun işlevi basitçe, matematiksel bir fonksiyonu temsil etmek şeklinde açıklanabilir. YSA bu fonksiyonun tam olarak bir matematiksel karşılığına ihtiyaç duymaz.



Şekil 4.1. Biyolojik sinir hücresinin şematik yapısı [Toktaş, 2003]

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. 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. Biyolojik sinir sistemine karşılık YSA'da kullanılan tanımlamalar ise Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Biyolojik sinir sistemi ve YSA'nın karakteristiği

<i>Sinir Sistemi</i>	<i>YSA</i>
Nöron	İşlem elemanı
Dendrit (mesaj algılayıcı)	Birleşim fonksiyonu
Hücre bedeni	Transfer fonksiyonu
Akson (mesaj nakledici)	Eleman çıkışı
Sinaps	Ağırlıklar

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.

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 ağı 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.

4.3. 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 *heuristique* (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.

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 ulaşılabacak bir sonuçtur. YZ yöntemleri ile elde edilmek istenen de canlılarınkine benzer esneklikte, hızlı ve mutlak çözüm içeren karar mekanizmalarıdır.

YSA'da kullanılan işlem elemanları girdiler, ağırlıklar, birleşme (toplama) fonksiyonu, transfer (aktivasyon) fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş elemandan oluşmaktadır [Toktaş, 2003]:

- *Girdiler*, diğer hücrelerden bağlantılar vasıtasıyla işlem elemanına bilgi gelmesini sağlar. Bazı durumlarda, geri besleme ile işlem elemanı kendi kendine girdi oluşturabilir.
- *Ağırlıklar*, girdilerin işlem elemanı üzerindeki etkisini kontrol eder. Yani bir YSA bilgisini bağlantı hatları üzerinde depolar. Öğrenme esnasında sürekli değişerek girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi yakalamaya (optimize etmeye) çalışır. Her bağlantının bir ağırlığı vardır. Ağırlık büyüdükçe etki de büyür. Ağırlığın sıfır olması, hiçbir etkinin olmaması; negatif olması ise etkinin ters yönde olması demektir. Bu ağırlıklar sabit olabildikleri gibi değişken de olabilir.
- *Birleşme fonksiyonu*, bir işlem elemanına gelen net girdiyi hesaplar. En çok kullanılan birleşme fonksiyonları; toplam, çarpım, maksimum, minimum, çoğunluk ve kümülatif toplam fonksiyonlarıdır. En yaygın birleşme fonksiyonu ağırlıklı girdileri toplayan toplam fonksiyonudur [Birleşme fonksiyonlarında, gelen bilgiler (girdi) ilgili bağlantı ağırlıkları ile çarpılıp toplanır].
- *Transfer (aktivasyon) fonksiyonu* da, birleşme fonksiyonu tarafından belirlenen girdiyi alarak işlem elemanının çıktısını belirler. Genel olarak türevi alınabilen bir fonksiyon olması tercih edilir. Birleşme ve transfer fonksiyonları ilgili probleme bağlı olarak farklı şekiller alabilir. İşlem elemanının çıktı ünitesi ise transfer fonksiyonunun ürettiği dürtüyü diğer işlem elemanlarına veya dış dünyaya aktarma işlevini yapar. İşlem elemanları, ağırlık topolojik yapısına bağlı olarak tamamen birbirinden bağımsız ve paralel olarak çalışabilir. Birleşme fonksiyonlarında olduğu gibi birçok transfer fonksiyonu bulunmakta olup; birleşme ve transfer fonksiyonları problemin yapısına göre tercih edilir. Transfer

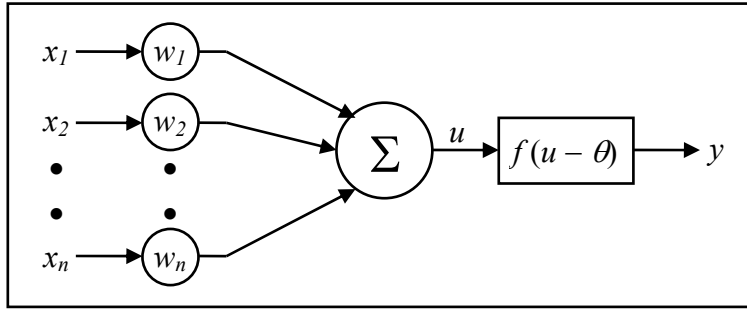
fonksiyonu herhangi bir veri grubunun doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyonu olabilir.

- *Çıktı*, transfer fonksiyonunun sonuçlarını alarak bu sonuçları bağlantılı olduğu işlem elemanına veya ağ dışı kaynaklara gönderir. Bir işlem elemanının çıkışındaki değerlerin genelde 0, 1 veya -1, 1 arasında olması istenir. Bu değerler o çıkışın seçilme derecesini gösterir. Burada transfer fonksiyonun görevi hem çıkışları belirli değerler arasında tutmak hem de sürekli bir fonksiyon oluşturmaktır. Fonksiyonun sürekli olması türevinin alınması için, türevinin alınması ise eğitme aşamasındaki algoritmalar için gereklidir. Fonksiyonun türev karakteristikleri eğitme aşamasının hızını ve başarısını da etkiler. Bir işlem elemanında girdiler birden fazla olabilirken çıktı her zaman bir tanedir.

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 4.2'de verilmiş olup, nöronun matematiksel ifadesi şöyle gösterilir:

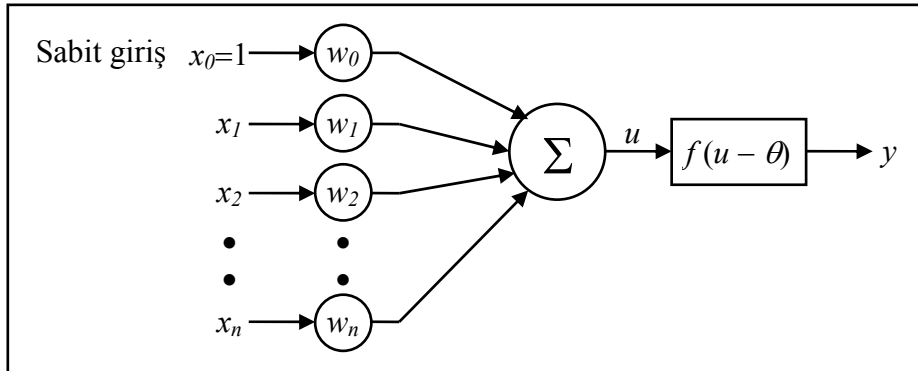
$$u = \sum_{j=1}^p x_j \cdot w_j \quad (4.1)$$

$$y = f(u - \theta) \quad (4.2)$$



Şekil 4.2.Yapay nöronun grafik gösterimi

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 4.3).



Şekil 4.3. Sabit girişlerin YSA modellemesinde gösterimi

4.3.1. 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

$$F(o) = k \cdot o \quad (4.3)$$

b) Adım fonksiyonu

$$F(o) = \begin{cases} u \geq 0 \Rightarrow 1 \\ u < 0 \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

c) Rampa fonksiyonu

$$F(o) = \begin{cases} u < 0 \Rightarrow 0 \\ u = 0 \Rightarrow u/k \\ u > 0 \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (4.5)$$

d) Sigmoid fonksiyonu

$$F(o) = \frac{1}{1 + e^{-\sum x_j \cdot w_j}} \quad (4.6)$$

$$F(o) = \begin{cases} u > 0 \Rightarrow 1 \\ u = 0 \Rightarrow 0 \\ u < 0 \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (4.7)$$

e) Fermi fonksiyonu

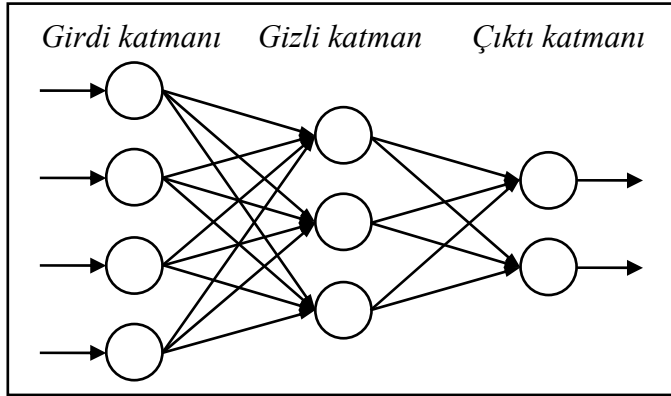
$$F(o) = \frac{1}{1 + e^{-4 \left(\sum_{i=1}^n I_i \cdot w_i - 0,5 \right)}} \quad (4.8)$$

4.4. Yapay Sinir Ağları Topolojisi

YSA, birbirlerine bağ ağırlıkları ile bağlı, 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 ağıın 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 [Toktaş, 2003]. 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 bağlı olarak tanımlanır.

YSA'lar işlem elemanlarının katman yapısına bağlı olarak *tek* ve *çok katmanlı ağlar* olmak üzere iki grupta tanımlanırlar [Toktaş, 2003]. *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 *çıkı katmanı* olmak üzere üç tür katmandan oluşur (Şekil 4.4). 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. Çıkı 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 4.4), kısmi bağlantılı veya ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Genellikle, bir katmandaki her iki işlem elemanı, aynı birleşme ve transfer fonksiyonu ile aynı öğrenme kuralına sahiptir [Toktaş, 2003].



Şekil 4.4. 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 [Toktaş, 2003]. 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 (*backpropagation*) 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).

4.5. Yapay Sinir Ağları Modeli Oluşturma Adımları

Genel olarak, bir YSA modeli oluşturma işlemi; YSA veritabanı tasarımı, YSA'da eğitime/öğrenme, test ve kullanma olmak üzere dört safhada incelenebilir [Toktaş, 2003].

YSA veritabanı tasarımı: Geliştirilmekte olan uygulama çok iyi anlaşılmalıdır. Problem çözümü için YSA öğrenme yöntemlerinden en uygun öğrenme yöntemi

seçilir. Problemin giriş ve çıkış katmanlarında yer alacak nitelik ve/veya miktar bildiren parametreler kesin olarak tanımlanmalıdır. Giriş ve çıkış parametrelerinin sayısına ve örnek sayısına bağlı olarak, bir tek YSA veya birçok alt YSA kullanılabilir veya YSA'da gizli katman sayısı artırılabilir. Başarılı bir YSA geliştirmek yeterli miktarda iyi veriye sahip olmakla mümkündür. Çünkü YSA da bir insan gibi tecrübe ederek öğrenir. Yani geçmişteki sonuçlardan faydalanıp geleceği tahmin ederler. YSA için tecrübenin esası da işte bu geçmişteki verilerdir. Bu veriler ne kadar çok, çeşitli ve sağlam olursa öğrenme ve sonuçta karar verme o kadar etkin olur. Parametreler kullanılacak ağ mimarisinin gereklerine uygun olarak, giriş ve çıkış verilerindeki reel sayılar, ölçeklendirme, normalizasyon ve/veya fonksiyona tabi tutulma gibi uygun desenlere/değerlere dönüştürülür. Test verileri ile eğitime verileri ayrılır. Aksi takdirde YSA sadece eğitim verilerini tanır, YSA'yı daha önce hiç karşılaşmadığı verilerle test etme imkanı olmaz. Bir başka deyişle, aşırı eğitime (ezberleme) ile karşılaşılır. Bu adımlar sonucunda, YSA veritabanı tasarlanmıştır ve eğitime hazırdır.

YSA'da eğitime/öğrenme: Bir sinir ağında öğrenmenin anlamı, ağın belirli bir probleme ait giriş ve çıkış verileri arasında doğru çıktıları üretmesini sağlayacak YSA içindeki tüm bağlantı ağırlıklarının optimum değerlerinin bulunmasıdır. Bu işlem, öngörülen çıkış ile istenilen çıkış arasındaki hata belli bir değerin altına düşene ya da eğitime işlemi belli bir tekrar sayısına ulaşana kadar devam eder. Dolayısıyla öğrenilen bilgi, işlem elemanları arasındaki bağlantı hatları üzerinde saklanır ve ağırlıklar vasıtasıyla gösterilir. Bu ağırlıklar ilgili problemin belirli özelliklerini hafızada saklayan elemanlar gibi düşünülebilir. Bilgi işleme ise bir olay gösterildiğinde hafızadan ilgili özellikleri çağırmak ve bunlar ile ilgili girdileri birlikte analiz ederek karar vermek şeklinde yorumlanabilir. Genel olarak 3 tür öğrenme stratejisinden söz edilir [Toktaş, 2003]. Ağ eğitilirken bir öğretmen tarafından ne öğrenmesi gerektiği ağı söylenebilir (öğretmenli öğrenme). Yine bir öğretmen ağı ne öğrenmesi gerektiğini söylemez fakat sonuçların doğru veya yanlış olduğunu söyleyebilir (takviyeli öğrenme). Ağ, dışardan herhangi bir etki söz konusu olmaksızın olayı kendi kendine öğrenir (öğretmensiz öğrenme). Öğrenme kümesi, ağın öğretilmesinde kullanılan girdi ve çıktılardan oluşan bir kümedir. Girdi ve çıktı

katmanlarındaki işlem elemanları bilindiğine göre, YSA'nın en iyi performans gösterdiği, yani ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan optimum veya optimuma yakın gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki işlem elemanı sayıları deneme-yanılma ile belirlenir. Öğrenme işlemi için, genellikle, bir eğitime algoritması kullanılır ve bir öğrenme örneğine göre ağırlıkların nasıl düzeleceği bu algoritma tarafından belirlenir. Bu stratejileri uygulayan çeşitli öğrenme kuralları vardır [Toktaş, 2003]. Örneğin; hatayı geriye yayma ağı öğrenme algoritmasında ağın gerçekleşen çıktıları ve aktivasyon seviyelerini hesaplamak (ileri yayılma) ve ağın istenen ve gerçekleşen çıktıları arasındaki hatayı geriye doğru yayma biçiminde iki aşama vardır. Geriye yayılma (hatanın ağırlıklara dağıtılarak minimize edilmesi) algoritmasında hata yayılma yönü çıktı katmanından girdi katmanına doğru gerçekleşmektedir. Hata en küçük olacak şekilde (istenen seviyeye düşene kadar), ağ ağırlıklarını ayarlar ve işlem durdurulur. Hatayı geriye yaymada kullanılan birçok eğitime algoritmaları vardır. Örneğin Polak-Ribiere conjugate gradient (CGP) hatayı geriye yayma algoritması, scaled conjugate gradient (SCG) hatayı geriye yayma algoritması ve Levenberg-Marquardt (LM) hatayı geriye yayma algoritması.

Test: YSA'nın iyi eğitilip eğitilmediğini anlamak için, YSA'ya eğitim verileri dışında daha önce hiç görmediği veriler (test verileri) sunulur ve doğru sonuçlar verip vermediği kontrol edilir. Karşılaştırma amacıyla istatistiksel hata (RMS, *root-mean-squared*), mutlak değişim yüzdesi (R^2), ortalama % hata gibi istatistiksel değerler kullanılır. En az istatistiksel hataya sahip, yani veriler arasındaki bağlantıyı en iyi kurmuş olan YSA modeli kullanılmak üzere seçilir ve artık YSA'nın güvenilirliği onaylanmış olur. Eğer büyük bir hata oluşuyorsa, deneme-yanılma yoluyla değişik eğitime algoritmaları, ağ yapısı (gizli katman sayısı, gizli katman işlem elemanları) değiştirilir. Eğitime ve test işlemleri tekrarlanır. Çok az işlem eleman sayısı öğrenme oranını düşürdüğü gibi, çok fazla işlem eleman veya gizli katman sayısı da öğrenmeyi yavaşlatmakta veya bazı durumlarda zorlaştırmaktadır. Probleme göre uygun eğitim algoritması ve ağ yapısı seçimi genelde deneme-yanılma ile yapılabilmektedir [Toktaş, 2003].

Kullanma: YSA başarılı bir şekilde eğitilip test edildikten sonra artık kullanılmaya hazır hale gelmiştir. YSA aslında, eğitime sırasında edindiği bilgileri, eğitime sırasında kullanılmamış (daha önce karşılaşmadığı) durumlar için çözümler üreterek “genelleme” yapar. Eğitime aşamasında hesaplanan ağırlık değerleri daha sonra sadece girişlerin verilip çıkışların hesaplanmasının istenildiği kullanma aşamasında işe yararlar. Eğitime aşamasının bir basamağı hem ilerleme hem de geri yayılma safhalarını içerirken, kullanma aşamasında sadece ilerleme işlemi uygulanır.

4.6. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yukarıda verilen açıklamalardan; YSA’nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de YSA’nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA’nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında YSA, aşağıdaki özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur.

Doğrusal olmama: YSA’nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

Öğrenme: YSA’nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. YSA’nın karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez yada tasarlanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği probleminden aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.

Genelleme: YSA, ilgilendiği problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir YSA, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri

verebilir ya da bir sistemin eğitilmiş YSA modeli, eğitim sürecinde verilmeyen giriş sinyalleri için de sistemle aynı davranışı gösterebilir.

Uyarlanabilirlik: YSA, ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen YSA, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanılama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır.

Hata toleransı: YSA, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağına sahip olduğu bilgi, ağıdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA'nın bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağına doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

Donanım ve hız: YSA, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir.

Analiz ve tasarım kolaylığı: YSA'nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, Bölüm 4.3'te açıklandığı gibi bütün YSA yapılarında yaklaşık aynıdır. Dolayısıyla, YSA'nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu hücrelerden oluşacaktır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan YSA'ları benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin YSA ile çözümünde önemli bir kolaylık getirecektir.

5. MALZEME VE METOT

5.1. Deneysel Çalışmalar

Bu araştırmada, talaşlı imalat yöntemlerinden tornalamada, farklı kesme parametreleri seçilmesi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve tahmini amacıyla bir dizi deney yapılmıştır.

5.1.1. Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi

Yapılan deneysel çalışmalarda iş parçası malzemesi olarak, makine imalat sanayisinde cer kancası, dişli, freze mili yapımında yaygın olarak kullanılan AISI 1050 karbon çeliği kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan AISI 1050 (DIN 1.1210) çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
0,485	0,218	0,752	0,0256	0,056	0,109
%Mo	%Ni	%Al	%Co	%Cu	%Pb
0,0147	0,111	0,00213	0,00126	0,231	0,00211
%V	%Sn	%Nb	%W	%Fe	
0,0134	0,0166	0,00254	0,00528	Kalan	

5.1.2. Kesici takımlar ve takım tutucu

Deneylerde farklı geometrilere sahip kesici takımlar kullanılmıştır. ISO 3685’te belirtilen deney şartlarına uygun olarak SANDVIK firmasına ait uç burun yuvarlatma yarıçapı (r) 0,4 - 0,8 - 1,2 mm olan SNMG ve CNMG formundaki sementit karbür kaplamalı (432-PF 4225 GC4225 grade) PM, PR, QM talaş kırıcı geometrisine sahip kesici takımlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak kesici takım

biçimine göre PSBNR 2525M12 ve PCLNR 2525M 12 formundaki takım tutucular (takım yanaşma açıları (χ) sırasıyla 75° ve 95°) kullanılmıştır.

SANDVIK tarafından üretilen SNMG ve CNMG kesici takımların PM, PR ve QM talaş kırıcı geometrilerine ait talaş kırıcı açıları ise sırasıyla 7°, 8° ve 9°'dir. Kesme deneylerinde kullanılan ve talaş kırıcı geometrisi ile talaş açısına göre sınıflandırılan kesici takımlar Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kullanılan kesici takımların kodları ve özellikleri

ISO 3685'e göre gösterim	Burun yuvarlatma yarıçapı r (mm)	Talaş kırıcı geometrisi	Talaş kırıcı açısı (°)
Takım tutucu: <i>PSBNR 2525M12</i> (takım yanaşma açısı 75°)			
SNMG 120404-PM 4225	0,4	PM	7
SNMG 120408-PM 4225	0,8		
SNMG 120412-PM 4225	1,2		
SNMG 120404-QM 4225	0,4	QM	9
SNMG 120408-QM 4225	0,8		
SNMG 120412-QM 4225	1,2		
SNMG 120408-PR 4225	0,8	PR	8
SNMG 120412-PR 4225	1,2		
Takım tutucu: <i>PCLNR 2525M12</i> (takım yanaşma açısı 95°)			
CNMG 120404-PM 4225	0,4	PM	7
CNMG 120408-PM 4225	0,8		
CNMG 120412-PM 4225	1,2		
CNMG 120404-QM 4225	0,4	QM	9
CNMG 120408-QM 4225	0,8		
CNMG 120412-QM 4225	1,2		
CNMG 120408-PR 4225	0,8	PR	8
CNMG 120412-PR 4225	1,2		

Talaş kırıcı açısı 8° ve uç burun yuvarlatma yarıçapı 0,4 mm olan PR talaş kırıcılı SNMG 120404-PR ve CNMG 120404-PR kesici takımların SANDVIK firmasının ürün yelpazesinde yer almamasından dolayı bu kesici takımlar kesme deneylerinde kullanılamamıştır.

5.1.3. Takım tezgâhı

Deneylerde Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı CNC Atelyesinde bulunan JOHNFORD T35 sanayi tipi CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Bu tezgahın özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. JOHNFORD T35 CNC torna tezgahının özellikleri

X eksen	250 mm
Z eksen	600 mm
Tezgah gücü	10 kW
Devir sayısı	4000 rpm
Hidrolik ayna çapı	250 mm
Hassasiyet	0,001 mm
Taret, Takım Bağlama Kapasitesi	12

5.1.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

YP'nin ölçülmesi için *Mahr* Perthometer M1 tipi masaüstü YP ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın bazı teknik özellikleri Çizelge 5.4'te verilmiştir. Cihaz, Bölüm 3.7.1'de verilen izleyici uçlu YP ölçme cihazları arasında yer almakta olup; 2 μm iğne uç yarıçapına sahiptir ve ölçme aralığı da 100–150 μm 'dir.

Çizelge 5.4. YP ölçme cihazının teknik özellikleri

Model	Mahr Perthometer M1
İğne uç yarıçapı	2 μm
Ölçme aralığı	100–150 μm
Tarama hızı	0,5 m/s
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

5.1.5. Deney değişkenleri

Değişik kesme parametreleri ile AISI 1050 iş parçası malzemesinin işlenmesi sırasında, iş parçasında oluşan YP'nin incelenmesi amacıyla bir dizi kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Kesme parametreleri belirlenirken, yüzey pürüzlülüğü modellenmesinde yeterli karşılaştırmaların yapılabilmesi amacıyla, kesici takım üretici firmanın (SANDVIK) tavsiye ettiği veriler ve ISO 3685'teki öneriler dikkate alınarak; üç farklı kesme hızı, iki farklı ilerleme ve iki farklı kesme derinliği belirlenmiştir. Çizelge 5.2'de belirtilen kesici takımların her biri ile yapılan deneylerde kesme parametresi değişkenleri olarak 300, 350 ve 400 m/min kesme hızları, 0,2 ve 0,4 mm/rev ilerleme değerleri ile 1 ve 2 mm kesme derinliği seçilmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan kesme değişkenleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Deneylerde kullanılan kesme değişkenleri

İş parçası malzemesi	AISI 1050
Takım tutucu	PSBNR 2525M12 PCLNR 2525M12
Kesici takım	SNMG 1204... CNMG 1204...
Burun yuvarlatma yarıçapı (r , mm)	0,4-0,8-1,2
Talaş kırıcı geometrisi (talaş kırıcı açısı)	PM (7°), PR (8°), QM (9°)
Kesme parametreleri	
V (m/min)	300-350-400
f (mm/rev)	0,2-0,4
a (mm)	1-2

5.1.6. Deneylerin yapılışı ve değerlendirme esasları

Deneylerde 3 farklı kesme hızı (300, 350 ve 400 m/min), 2 farklı ilerleme (0,2 ve 0,4 mm/rev) ve 2 farklı kesme derinliği (1 ve 2 mm) kesme parametrelerini kullanmak üzere her bir talaş kırıcı formunun 3 farklı burun yuvarlatma yarıçapı (0,4-0,8-1,2 mm) değeri için 12 adet deney yapılmıştır. Sadece PR talaş kırıcı formu için $r = 0,4$ mm takım tipi üretilmediğinden; söz konusu talaş kırıcı formunun kesme deneyleri

yapılmamıştır. Sonuç olarak her bir kesici takım için 96 olmak üzere toplam 192 adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir.

Seçilen AISI 1050 çeliği iş parçası malzemesinden 16 adet numune kullanılmış olup, hepsinin standart ölçüleri başlangıçta $\varnothing 45 \times 250$ mm boyutlarındadır. Deney numuneleri önce CNC Torna tezgâhında rahatlıkla işlenebilmesi amacıyla $\varnothing 45 \times 30$ mm aralıklarda kanallar açılmış ve sonrasında her numunenin tek tarafına punta deliği açılmıştır. Akabinde, deneylere başlanmadan önce deney numunelerinin dış yüzey sertliği gibi haddeleme etkilerini minimize etmek amacıyla; CNC torna tezgâhında dış yüzeylerinden 1 mm kesme derinliğinde talaş kaldırılmıştır. Kesme deneyleri; kesme hızı sabit tutularak her bir deney sonrasında ilerleme, kesme derinliği ve burun yuvarlatma yarıçapına göre talaş kırıcı formunun değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. Deneylerde soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Her bir deney için yeni bir kesici uç kullanılmıştır. Kesme deneylerinde, iş parçası malzemesine üzerinden yaklaşık 25–30 mm boyuna tornalama uygulanmıştır.

Kesme deneyleri sonrasındaki YP değerleri ise ilgili her bir deneyin tamamlanmasından sonra özellikleri Bölüm 5.1.4'te verilen *Mahr* Perthometer M1 tipi YP ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. YP ölçümleriyle, genel yüzey yapısı hakkında önemli bir kriter olan ve profil düzensizliklerinin ortalaması olarak da ifade edilebilen; seçilen örnekleme uzunluğu boyunca profil orta eksen çizgisinin altında ve üstünde oluşan profil sapmalarının aritmetik ortalama değeri olan R_a pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Deney numunelerinin yüzeyi üzerindeki ölçme uzunluğu ileri ve geri hareket olmak üzere her birisi için 17,5 mm olacak biçimde üç farklı bölgeden YP ölçümleri yapılarak, bu üç değerın ortalaması kullanılmıştır. Talaş kırıcı formu farklı her bir kesici takım (SNMG ve CNMG) için 96 olmak üzere toplam 192 adet kesme deneyi için bu işlem tekrarlanmıştır. YP'nin modellenmesi sürecinde ise ortalama olarak belirlenen R_a pürüzlülük değerleri esas alınmıştır.

5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi

YP'nin modellenmesi üzerine literatür incelendiğinde, deneyler sırasındaki işleme faktörlerinin YP üzerindeki etkilerini dikkate alan ve çoğunlukla da deneysel verilere dayalı bir model oluşturma sürecinde regresyon analiz tekniğinin kullanıldığı çalışmalar yapıldığı; bununla birlikte, kayda değer bir biçimde YSA yöntemini içeren araştırmaların gerçekleştirildiği belirlenmiştir. YP için geliştirilen modellerin geçerliliği ve güvenilirliği bakımından kullanılan değişkenlerin YP'yi doğrudan etkileyen parametreler olmasının büyük bir önem taşıdığı gözlenmiştir.

Gerek pratik uygulamalarla gerekse literatürün incelenmesi sonucunda; YP'nin temel kesme parametreleri adı verilen kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği (sırasıyla V , f , a) ile kesici takım geometrisine (burun yuvarlatma yarıçapı, r) dayalı olarak modellendiği görülmüştür. Ancak Altinkaya ve Güllü [2008], Güllü ve Karabulut [2008] ile Güllü ve ark.'ın [2008] çalışmaları, özellikle talaş kırıcı geometrisinin de YP üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Bu sebeple geliştirilen YP modellerinde talaş kırıcı geometrisinin etkileri de dikkate alınmıştır. Dolayısıyla bu çalışma ile temel kesme parametreleri kullanılarak; deney maliyetleri açısından ekonomik, karmaşık analitik yapı içermeyen, anlaşılabilir, güvenilirliği yüksek, gerçek veriler elde edilebilen, kolay uygulanabilir, gerçek kesme şartlarına uygun YP modelleri geliştirilmesi amaçlanmıştır.

YP için modellerin geliştirilmesi sırasında kesme deneyleri sırasında girdi olarak kullanılan; kesme hızı (V), ilerleme (f), kesme derinliği (a), kesici takım burun yuvarlatma yarıçapı (r) ve talaş kırıcının talaş açısı (γ) değerlerine dayalı

1. Regresyon analiz tekniğinin kullanıldığı regresyon modeli ve
2. YSA yöntemini içeren YSA modeli

olmak üzere 2 farklı YP modeli üzerinde durulmuştur:

5.2.1. Regresyon modeli

YP için geliştirilen regresyon modeli; aralarında sebep–sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler veya kestirimler yapabilmek amacıyla istatistiksel bir analiz tekniği olan *regresyon analizi* kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Regresyon modeli, özellikle regresyon analizi tiplerinden *çok değişkenli doğrusal regresyon analizi* kapsamında yer aldığından; modelde kullanılan sabitlerin belirlenmesinde en küçük kareler metodu uygulanmıştır. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yardımıyla yapılacak tahminlerin geçerli olabilmesi; hata terimleri ile ilgili olan ve

- *Normallik* (hata terimlerinin dağılımı, normal dağılımdır),
- *Sıfır ortalama* (hata terimlerinin dağılımlarının ortalaması sıfırdır),
- *Sabit varyans* (hata terimlerinin her birinin dağılımının varyansı sabittir),
- *Otokorelasyon olmaması* (hata terimleri birbirini etkilememektedir),
- *X_i değişkeninin tesadüfî değişken olmaması,*
- *Çoklu doğrusal bağımlılık olmaması ve*
- *Gözlem sayısının tahmin edilecek parametre sayısından fazla olması ($n > K$)*

biçiminde özetlenebilen temel varsayımlar olarak adlandırılan varsayımların geçerliliğine bağlıdır [Turanlı ve Gürış, 2000].

Literatürde yer alan ve çoğunlukla da deneysel verilere dayalı olarak YP için bir model oluşturma sürecinde regresyon analiz tekniğinin kullanıldığı çalışmalara (Bkz. Bölüm 2.1.2) benzer bir biçimde; SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için YP'nin tahmininde Eş. 5.1'de gösterilen model oluşturmuştur:

$$R_a = c \cdot V^{q_1} \cdot f^{q_2} \cdot a^{q_3} \cdot \gamma^{q_4} \cdot r^{q_5} \quad (5.1)$$

Burada R_a , ilgili kesme deneyi için YP değerini (μm); c , eşitlik (veya model) sabitini; q_1, q_2, q_3, q_4 ve q_5 ise sırasıyla kesme hızı (V , m/min), ilerleme (f , mm/rev), kesme

derinliği (a , mm), talaş kırıcının talaş açısı (γ , derece) ve kesici uç burun yarıçapı (r , mm) için üs değerlerini göstermektedir. SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için ayrı ayrı olmak üzere; eşitlik (veya model) sabiti c ile q_1 , q_2 , q_3 , q_4 ve q_5 üs değerlerinin belirlenmesi, başka bir deyişle Eş. 5.1'in çözülebilmesi için aşağıda aşamalı bir biçimde anlatılan prosedür uygulanmıştır:

i. *Logaritmik forma dönüştürme ve doğrusal formda gösterme:*

Eş. 5.1 ifadesi sırasıyla;

$$\log R_a = \log c + q_1 \cdot \log V + q_2 \cdot \log f + q_3 \cdot \log a + q_4 \cdot \log \gamma + q_5 \cdot \log r \quad (5.2)$$

biçiminde logaritmik forma dönüştürülür ve daha sonra da

$$Y = C_0 \cdot X_0 + C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 + C_4 \cdot X_4 + C_5 \cdot X_5 + \varepsilon \quad (5.3)$$

eşitliği kullanılarak doğrusal formda ifade edilir. Eş. 5.3'teki; Y , $\log R_a$ değerlerini; C_i ($i = 0, 1, 2, 3, 4, 5$) bulunacak eşitlik katsayılarını (sırasıyla c , q_1 , q_2 , q_3 , q_4 ve q_5 üs değerleridir); X_0 , hayali bir değişkeni (1 alınmıştır); X_1 , X_2 , X_3 , X_4 ve X_5 sırasıyla $\log V$, $\log f$, $\log a$, $\log \gamma$ ve $\log r$ değerlerini ve ε ise gerçekleşecek modelleme hatasını göstermektedir. Eş. 5.3'ün matris formundaki gösterimi ise

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & X_{21} & \dots & X_{K1} \\ 1 & X_{22} & \dots & X_{K2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{2n} & \dots & X_{Kn} \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ \dots \\ C_K \end{bmatrix} \text{ ve } e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix} \text{ olmak üzere}$$

$$Y = X \cdot C + e \quad (5.4)$$

biçimindedir. Burada n ve K sırasıyla deney ve parametre sayısını ifade etmektedir. Y , $n \times 1$ boyutundaki *bağımlı değişkenler vektörünü*; X , $n \times K$ boyutunda *bağımsız değişkenler matrisini*; C , $K \times 1$ boyutunda *model sabitleri vektörünü* ve e , $n \times 1$

boyutunda *hata terimleri vektörünü* göstermektedir. Buna göre SNMG ve CNMG biçimli kesici uçların her bir için ayrı ayrı olmak üzere regresyon modeli için toplam deney sayısı $n = 96$ ve parametre sayısı K ise 6'dır.

ii. *En küçük kareler metodunun kullanılması:*

Eş. 5.3'ün çözümü, Bölüm 2.1.2'de de bahsedildiği üzere literatürde yer alan bu tip problemler için uygulanan en küçük kareler metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En küçük kareler metodunda gerçek değerler ile teorik değerler arasındaki farkların kareleri toplamı minimize edilmiştir. Y ve $\hat{Y}$ sırasıyla deney ve model sonucu olmak üzere; her bir deney verisi için Eş. 5.4'teki hata teriminin çoklu doğrusal regresyon analizindeki ifadesi,

$$\hat{Y} = X \cdot C \Rightarrow \hat{e} = Y - \hat{Y} \Rightarrow \hat{e} = Y - X \cdot C$$

biçiminde yazılır. Matris transpozu “ ’ ” sembolü ile gösterilirse, hata terimlerinin toplamı;

$$T = \sum_{i=1}^n \hat{e}^2 = \hat{e}' \cdot \hat{e} \quad (5.5)$$

olacaktır [Gallo, 2003]. Buna göre Eş. 5.5 için gerekli işlemler yapıldığında;

$$\hat{e}' \cdot \hat{e} = Y' \cdot Y - 2 \cdot C' \cdot X' \cdot Y + C' \cdot X' \cdot X \cdot C \quad (5.6)$$

elde edilir. Buradaki $-C' \cdot X' \cdot Y$ değeri bir skalerdir ve bu yüzden transpozu olan $-Y' \cdot X \cdot C$ 'ye eşittir [Gallo, 2003]. Buna göre model sabitleri için kısmi türev alınır ve sıfıra eşitlenirse,

$$\frac{\partial(\hat{e}' \cdot \hat{e})}{\partial C} = 0 = -X' \cdot Y + X' \cdot X \cdot C \quad (5.7)$$

olur. Eş. 5.7, bir doğrusal denklem sistemini göstermekte olup gerekli düzenlemeler yapılarak;

$$C = [X' \cdot X]^{-1} \cdot X' \cdot Y \quad (5.8)$$

elde edilebilir [Gallo, 2003; Wolfram, 2003; Weisberg, 2005; Hill ve Lewicki, 2006; Turanlı ve Gürış, 2000]. Eş. 5.8'deki; C , bulunacak katsayı (veya model sabitleri) vektörünü; X , bağımsız değişken matrisini; X' , X matrisinin transpozunu; $[XX]^{-1}$, $[XX]$ matris çarpımının tersini ve Y , incelenen değerler vektörünü göstermektedir.

Regresyon modeli için Eş. 5.8 çözülerek; Eş. 5.1'de belirtilen eşitlik (veya model) sabiti c ile kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş kırıcının talaş açısı ve kesici uç burun yuvarlatma yarıçapına bağlı sırasıyla q_1 , q_2 , q_3 , q_4 ve q_5 üs değerleri hesaplanmıştır.

5.2.2. Yapay sinir ağları modeli

YP için YSA modellemesi *Pythia* programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *Pythia* programı geriye yayılım ağına sahip olup; başlangıç ağırlıkları programda rasgele belirlenmektedir. Eğitim aşamasında bulunan değerler ile istenilen değerler arasındaki hata miktarı, geriye yayılım algoritması ile istenilen seviyeye getirilebilmektedir.

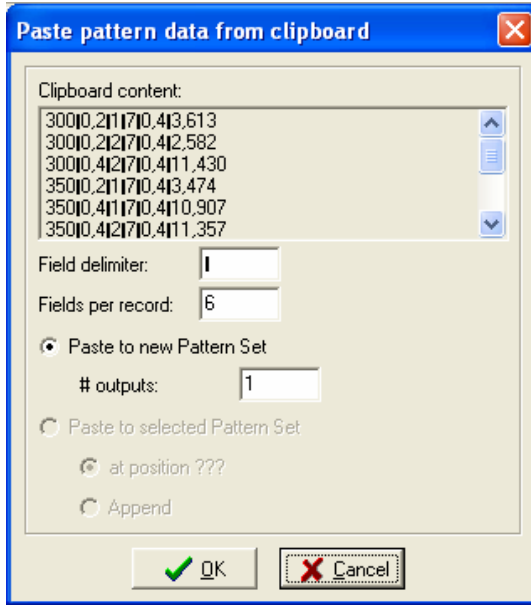
Pythia'da YSA ile modelleme genellikle eğitim süreci ve test süreci olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Eğitim sürecinde ağı verilen giriş ve çıkış değerleri kontrol edilerek sapma (hata) miktarı en aza indirilmeye çalışılırken, test aşamasında ise ağırlık değerleri değiştirilmeksizin giriş değerleri verilerek sonucun tahmin edilmesi istenir. Ortalama sapma miktarı, en küçük kareler metodunda olduğu gibi gerçek değerler ($OUTPUT_{DATA}$) ile teorik değerler ($OUTPUT_{NET}$) arasındaki farkların kareleri toplamı minimize edilerek belirlenir:

$$\text{Ortalama sapma: } (\text{OUTPUT}_{\text{DATA}} - \text{OUTPUT}_{\text{NET}})^2 \quad (5.9)$$

Uç geometrileri farklı olan SNMG ve CNMG kesici takımların her biri için 96 olmak üzere aynı kesme parametreleriyle gerçekleştirilen toplam 192 adet kesme deneyi sonucunda ölçülen R_a değeri için kesici takım formu esas alınarak ayrı ayrı YSA analizleri yapılmıştır. Program çıktı (R_a) için optimum ağ topolojisini otomatik olarak araştırdığından; her bir talaş kırıcı formu için ağ yapısı farklı olmuştur. Programda kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş kırıcının talaş açısı ve kesici uç burun yarıçapı *giriş* ve R_a YP değeri de *çıkış* olarak girilmiştir.

YSA ile modelleme sürecinde; her bir kesici takım formu için rasgele seçilen 16 adet R_a YP değeri geliştirilen modelin test edilmesi (doğrulanması) için seçilmiş, bunun dışında kalan diğer 80 adet R_a YP değeri ise *Pythia*'da öğrenme verisi olarak kullanılmıştır.

SNMG ve CNMG kesici takım formlarının her biri için kesme parametreleri (*giriş*) (Bkz. Çizelge 5.5) ve deneysel olarak belirlenen 80 adet R_a YP değeri (öğrenme verisi, *çıkış*), Microsoft Excel programı yardımıyla elektronik tablolar haline getirilerek programa aktarılmıştır. *Giriş* ve *çıkış* bilgilerinin programa aktarımı “*Edit / Past Cells*” komutundan sonra karşılaşılan “*Paste pattern data from clipboard*” diyalog kutusu yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1). Bu diyalog kutusunda, “*Fields per record*” kutucuğuna *giriş* ve *çıkış* için toplam parametre (sütun) sayısı (5 *giriş* ve 1 *çıkış* olmak üzere 6), “*#outputs*” kısmına ise *çıkış* değeri sayısı (R_a değeri olmak üzere 1) yazılır.



Şekil 5.1. Giriş ve çıkış değerlerinin tanımlaması

Giriş ve *çıkış* bilgileri programa aktarıldıktan sonra, ağın öğrenmesi (eğitimi) için en uygun ağ yapısının analizi; program menülerinden “*Net / Evolutionary Optimizer*” komutu ile yapılmıştır. Bu amaçla komutun algoritma ayarlarından bir nesildeki birey yada deneme sayısı (*Population Size=50*) ile gelişim veya jenerasyon-nesil sayısı (*Evolution Steps=1000*) için program tarafından otomatik olarak verilen varsayılan ayarlar kullanılmıştır. Mutasyon ve çaprazlama (*crossover*) oranları için gerekli değişimler yapıldıktan sonra, model için en uygun ağ yapısının analizine geçilmiştir. Program, veri setindeki beş *giriş* ve bunlara bağlı olarak bir *çıkış* değerini inceleyerek Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’te gösterildiği gibi uygun ağ yapısını bulmak için denemeler yapmaya başlamıştır.

Evolutionary Optimization (Generation 0)

Ancestor Net: [5,6,1], 'NONAME.NN' Pattern Set: '[no name]'

Goals: ($\emptyset$ deviation² < 0.001000, 33.33%) AND (* deviation² < 0.100000, 33.33%) AND (#Neurons < 100, 33.33%)

GA settings: 1000 gen max, pop size 20, mutation rate 0.04, crossover rate 0.20, keep best 10 (modif)

No	Topology	Neurons	$\emptyset$ dev ²	* dev ²	Fitness
☐ 0	5,6,1	7	0.000404	0.001320	100.00000
☐ 1	5,4,5,1	10	0.000928	0.007478	100.00000
☐ 2	5,4,5,6,1	16	0.000531	0.007975	100.00000
☐ 3	5,4,5,6,1	16	0.000573	0.004127	100.00000
☐ 4	5,4,5,6,1	16	0.000599	0.006305	100.00000
☐ 5	5,6,4,5,6,1	22	0.000508	0.002940	100.00000
☐ 6	5,6,4,5,6,1	22	0.001418	0.010737	90.17486
☐ 7	5,6,4,5,6,1	22	0.000503	0.003383	100.00000
☐ 8	5,4,5,6,1	16	0.000749	0.005495	100.00000
☐ 9	5,4,5,6,1	16	0.000824	0.007467	100.00000
☐ 10	5,5,4,5,6,1	21	0.000873	0.008156	100.00000
☐ 11	5,5,5,5,7,1	23	0.000596	0.003628	100.00000
☐ 12	5,5,5,5,7,1	23	0.000799	0.007515	100.00000
☐ 13	5,5,4,5,7,1	22	0.001307	0.008115	92.16271
☐ 14	5,5,4,5,7,1	22	0.000609	0.005762	100.00000
☐ 15	5,5,4,5,7,1	22	0.000673	0.005417	100.00000
☐ 16	5,5,4,5,7,1	22	0.000570	0.004824	100.00000
☐ 17	5,5,4,5,1	15	0.000419	0.002944	100.00000
☐ 18	5,5,5,5,1	16	0.000939	0.007911	100.00000
☐ 19	5,5,5,5,1	16	0.000524	0.004818	100.00000

Ok Stop Cancel

Şekil 5.2. SNMG biçimli kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizi

Evolutionary Optimization (Generation 0)

Ancestor Net: [5,6,4,1], 'NONAME.NN' Pattern Set: '[no name]'

Goals: ($\emptyset$ deviation² < 0.001000, 33.33%) AND (* deviation² < 0.100000, 33.33%) AND (#Neurons < 100, 33.33%)

GA settings: 1000 gen max, pop size 20, mutation rate 0.04, crossover rate 0.20, keep best 10 (modif)

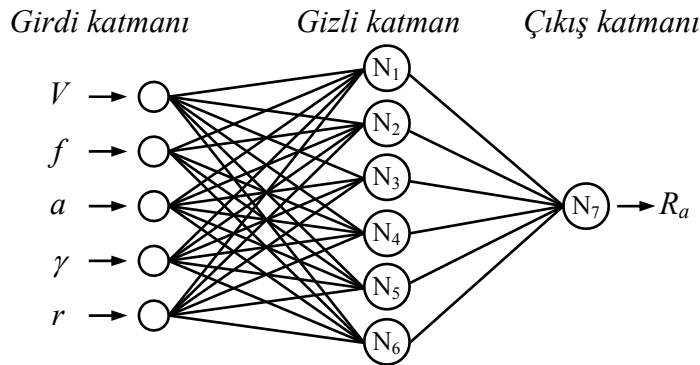
No	Topology	Neurons	$\emptyset$ dev ²	* dev ²	Fitness
☐ 0	5,6,4,1	11	0.000632	0.003457	100.00000
☐ 1	5,6,5,1	12	0.001210	0.007018	94.21637
☐ 2	5,6,7,5,1	19	0.003362	0.028402	76.58178
☐ 3	5,7,5,1	13	0.003950	0.046622	75.10606
☐ 4	5,7,5,1	13	0.001687	0.011986	86.42938
☐ 5	5,7,5,1	13	0.001613	0.013982	87.33382
☐ 6	5,5,1	6	0.002065	0.016781	82.80870
☐ 7	5,5,4,1	10	0.002080	0.022114	82.68931
☐ 8	5,5,1	6	0.002632	0.026310	79.33333
☐ 9	5,5,1	6	0.001946	0.011188	83.79936
☐ 10	5,1	1	0.009390	0.098257	70.21656
☐ 11	5,1	1	0.009390	0.098257	70.21656
☐ 12	5,1	1	0.009390	0.098257	70.21656
☐ 13	5,1	1	0.009390	0.098257	70.21656
☐ 14	5,1	1	0.009390	0.098257	70.21656
☐ 15	5,1	1	0.009390	0.098257	70.21656
☐ 16	5,1	1	0.009390	0.098257	70.21656
☐ 17	5,1	1	0.009390	0.098257	70.21656
☐ 18	5,4,1	5	0.002722	0.025281	78.91310
☐ 19	5,4,1	5	0.003120	0.028254	77.35163

Ok Stop Cancel

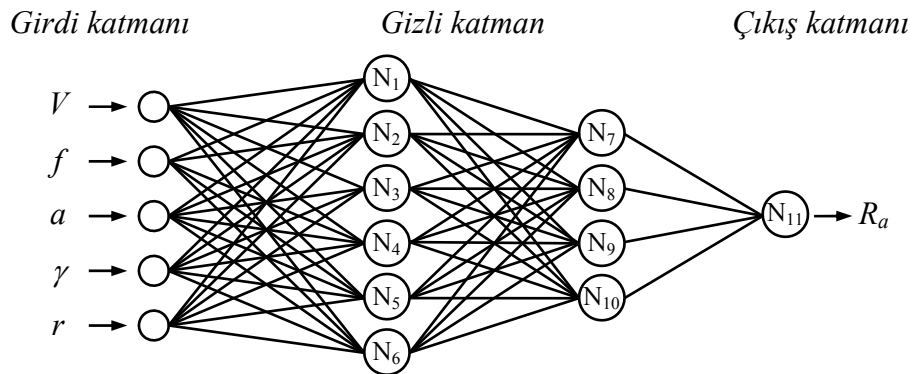
Şekil 5.3. CNMG biçimli kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizi

Programda kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş kırıcının talaş açısı ve kesici uç burun yarıçapı olmak üzere 5 tane *giriş* ve R_a YP değeri olmak üzere 1 tane *çıkış* olduğundan; Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te gösterilen uygun ağ yapısını bulma işlemi, esas olarak *gizli* katman seviyesini (sayısını) ve her bir *gizli* katmanda bulunacak nöron

sayısını belirlemek için yapılmaktadır. SNMG biçimli kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizleri neticesinde YSA modelinde kullanılacak *gizli* katmandaki nöron sayısı 6 olarak belirlenmiştir (bir seviyeli *gizli* katman, Şekil 5.2). CNMG biçimli kesici uçlar için uygun ağ yapısı analizlerinde (Şekil 5.3) ise SNMG biçimli kesici uçlar için uygun ağ yapısından farklı olarak; program, iki seviyeli *gizli* katmanın uygulanması gerektiğini belirlemiştir. Buna göre birinci ve ikinci seviyedeki *gizli* katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından sırasıyla 6 ve 4 olarak seçilmiştir. Buna göre $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ nöronları *gizli* katmandaki birinci seviye ve N_7, N_8, N_9, N_{10} nöronları da ikinci seviye nöronlarını göstermektedir. SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için sırasıyla N_7 ve N_{11} nöronları ise ağın çıkış nöronlarıdır. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te sırasıyla SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için YP'nin tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi verilmiştir.



Şekil 5.4. SNMG biçimli kesici uçlar için ağ topolojisi



Şekil 5.5. CNMG biçimli kesici uçlar için ağ topolojisi

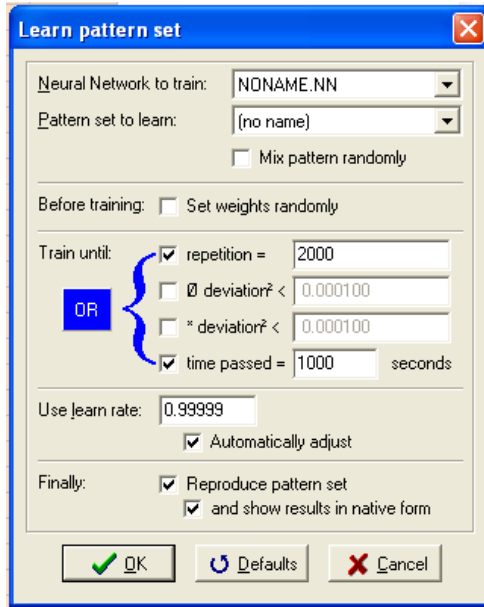
YP'nin tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojileri belirlendikten sonra; gerekli YSA modelini oluşturmak için programda “*Net / Create Net*” komutu seçilerek belirlenen *giriş*, *gizli* ve *çıkış* katmanında bulunması gereken nöron sayıları girilir. SNMG biçimli kesici uçlar için *giriş*, *gizli* ve *çıkış* katman bilgileri programda sırasıyla “*Number of inputs=5*”, “*Neurons in level 1=6*” ve “*Neurons in level 2=1*” olarak girilmiştir. Benzer biçimde CNMG biçimli kesici uçlar için de “*Number of inputs=5*”, “*Neurons in level 1=6*”, “*Neurons in level 2=4*” ve “*Neurons in level 3=1*” olarak girilmiştir.

Pythia'da öğrenmenin (eğitimin) gerçekleştirebilmesi için *giriş* ve *çıkış* değerleri normalize edilmiştir (veriler, 0–1 aralığına dönüştürülmüştür). Normalizasyon işlemleri,

$$N(i) = \frac{(i - n_{\min})}{(n_{\max} - n_{\min})} \quad (5.10)$$

eşitliğiyle gerçekleştirilmiş olup i , ilgili veri grubu (V, f, a, γ, r ve R_a) sütununa ait değeri; $n_{\min}$, sütuna ait en küçük değeri ve $n_{\max}$, sütuna ait en büyük değeri göstermektedir. Öğrenme (eğitim) sonunda çıkış değerinin normalisasyonu için de yine Eş. 5.10 kullanılmıştır.

Ağ yapısı oluşturulduktan sonra ağın veri setindeki değerlere göre girişlerin çıkışa olan ağırlıklarının bulunabilmesi için “*Learn Pattern Set*” komutu kullanılmıştır. SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için Şekil 5.6'da gösterilen tekrarlama (iterasyon) sayısı ve öğrenme oranı gibi öğrenme bilgileri girilmiştir. Tekrarlama sayısı, geriye yayılım algoritmasına göre bir önceki değer sonucuna göre hata miktarını istenilen seviyeye getirmede; öğrenme oranı ise seçilen ağ yapısına göre en üst düzeyde öğrenme için tanımlanmıştır.



Şekil 5.6. Ağ ağırlıkları için öğrenme parametreleri

Öğrenme için gerekli parametreler girildikten sonra ağı eğitilmesi sağlanır. Veri setinin eğitimi sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunur ve YSA model sonuçlarının (*çıktı* değerlerinin) gerçek deney sonuçlarından ortalama sapma değeri hesaplanır. *Pythia*, transfer (aktivasyon) fonksiyonlarından Fermi aktivasyon fonksiyonunu (Bkz. Bölüm 4.3.1, Eş. 4.8) kullanmaktadır.

SNMG ve CNMG biçimli kesici takımlar için sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilen ağ topolojisine göre kesme parametrelerine dayalı R_a değeri (başka bir deyişle ağı çıkış nöronu; sırasıyla N_7 ve N_{11}), Fermi aktivasyon fonksiyonu kullanılarak analitik biçimde aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$R_a = \frac{1}{1 + e^{-4 \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot N_i - 0,5 \right)}} \quad (5.11)$$

Eş. 5.11'de; n ve w_i sırasıyla ilgili kesici takım için *gizli* katmanda kullanılan nöron sayısını ve 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

$$E_i = 4 \cdot (C_{1i} \cdot V + C_{2i} \cdot f + C_{3i} \cdot a + C_{4i} \cdot \gamma + C_{5i} \cdot r - 0,5) \quad (5.12)$$

olmak üzere

$$N_i = \frac{1}{1 + e^{-E_i}} \quad (5.13)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Eş. 5.12’de gösterilen C_{ij} sabitleri, *Pythia* programında veri setinin eğitimi sonucunda *gizli* katmanda kullanılan her bir nöron için ağırlık değerlerini (w) göstermektedir. Buna göre SNMG biçimli kesici takımlar için *gizli* katmanda kullanılan nöron sayısı $n = 6$ olduğundan; her bir nöronun R_a değeri üzerindeki etkisi; N_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) olarak tanımlanmıştır.

Ancak CNMG biçimli kesici takımlar için iki seviyeli *gizli* katman olduğundan; $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ nöronları *gizli* katmandaki birinci seviye nöronları ($n_1 = 6$) ve N_7, N_8, N_9, N_{10} nöronları da ikinci seviye nöronları ($n_2 = 4$) temsil etmektedir. Bu yüzden birinci seviye nöronları ($N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$); SNMG biçimli kesici takımlarda olduğu gibi Eş. 5.12 doğrultusunda Eş. 5.13’e göre C_{ij} sabitleri yardımıyla ifade edilmiştir. Ancak ikinci seviye nöronların (N_7, N_8, N_9, N_{10}) birinci seviye nöronlarla bağlantısı sebebiyle (Şekil 5.5); $i = 7, 8, 9, 10$ için Eş. 5.12 yerine;

$$E_i = 4 \cdot (C_{1i} \cdot N_1 + C_{2i} \cdot N_2 + C_{3i} \cdot N_3 + C_{4i} \cdot N_4 + C_{5i} \cdot N_5 + C_{6i} \cdot N_6 - 0,5) \quad (5.14)$$

kullanılmıştır.

YSA’daki öğrenme ve test işlemleri belirli bir hata (deney sonucu elde edilen YP değeri ile YSA sonucu bulunan YP değeri arasındaki fark, e_i) değeriyle yapıldığından, bu hata değerleri toplamının ortalamasının minimize edilmesi gerekir. Bu minimize edilmek istenen değer (*mean squared error, MSE*) aynı zamanda ağ performansını da belirleyen bir kriterdir. Öğrenme sonundaki YSA model

sonuçlarının gerçek YP deney sonuçlarına uygunluğunda; karekök ortalama (*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 YP değerlerinin yüzde hata (*% Hata*) değerleri belirlenmiştir:

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_i e_i^2 = \frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2 \quad (5.15)$$

$$RMS = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2} \quad (5.16)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i (o_i)^2} \right) \quad (5.17)$$

$$\%Hata = \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (5.18)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (5.19)$$

Eş. 5.15 – Eş. 5.19’de p , t_i , o_i ve e_i ; sırasıyla örnek sayısını, deney sonucu elde edilen YP değerini, YSA sonucu bulunan YP değerini ve hata değerini göstermektedir. *% Hata* bütün örnekler için bulunarak; bunlar içinden en yüksek olanı maksimum yüzde hatayı vermektedir. Yüzde hataları toplamının örnek sayısına bölünmesiyle ortalama mutlak yüzde hata (*MAPE*) değerleri bulunmuştur. Eş. 5.16’daki *RMS*’nin 0’a yakınlığı geliştirilen modelin başarı oranını gösteren bir kriter olarak kullanılmıştır. Eş. 5.17’deki R^2 gerçek deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki uyumu belirtir. R^2 değeri 1’e yaklaştıkça geliştirilen modelin başarı oranı yükselir. Eş. 5.19’daki en küçük *MAPE* değeri modelin uygulanabilirlik başarısını gösterir.

6. DENEY/MODEL SONUÇLARI VE TARTIŞMA

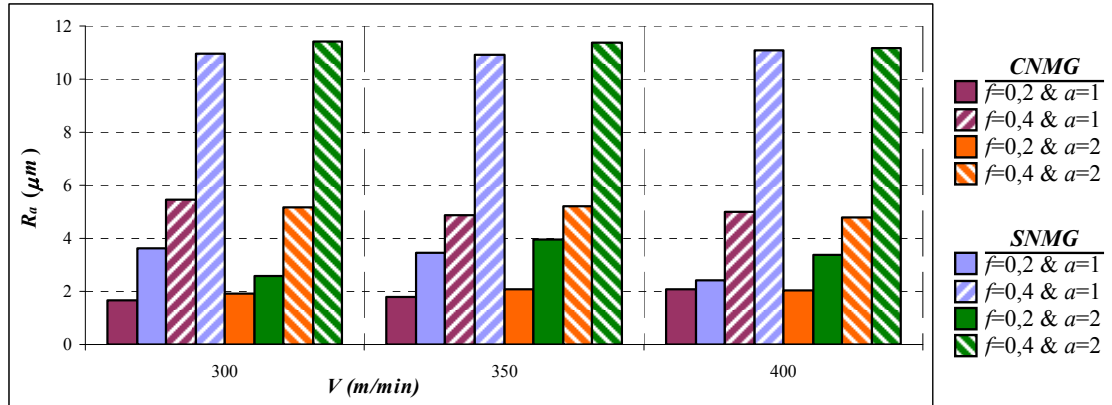
6.1. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri

AISI 1050 iş parçası malzemesi üzerinde Çizelge 5.5'te gösterilen kesici takımlar ve kesme parametreleri kullanılarak toplam 192 adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyin tamamlanmasından sonra özellikleri Bölüm 5.1.4'te verilen *Mahr* Perthometer M1 tipi YP ölçme cihazı yardımıyla YP ölçümleri yapılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş kırıcının talaş açısı ve kesici uç burun yarıçapı (sırasıyla V , f , a , γ , r) olmak üzere kesme parametrelerindeki değişimlerin R_a pürüzlülük değerleri üzerindeki etkileri, her bir talaş kırıcı formu için ayrı ayrı incelenmiştir.

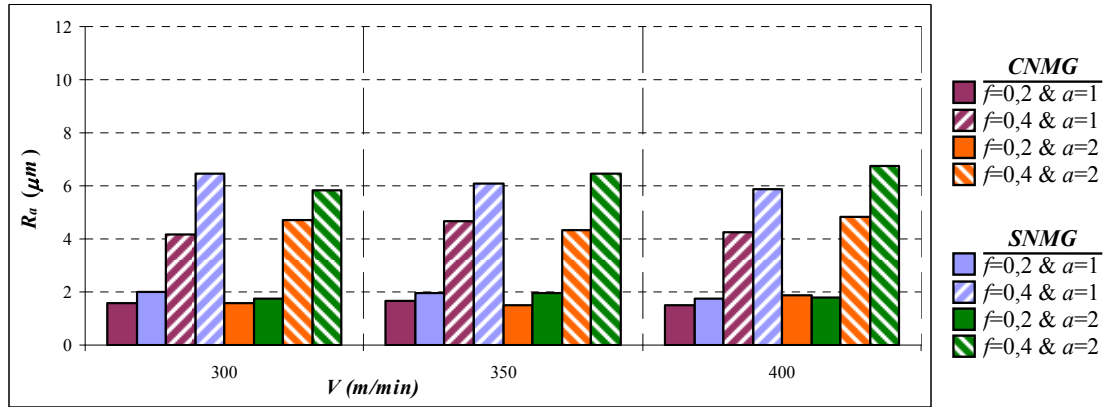
6.1.1. PM talaş kırıcı formu için yüzey pürüzlülüğü

PM talaş kırıcı formu ile 0,4, 0,8, 1,2 mm burun yuvarlatma yarıçapı kullanılarak gerçekleştirilen kesme deneyleri neticesinde; her bir kesici takım (SNMG ve CNMG) için ölçülen R_a pürüzlülük değerleri sırasıyla Şekil 6.1–Şekil 6.3'te verilmiştir.

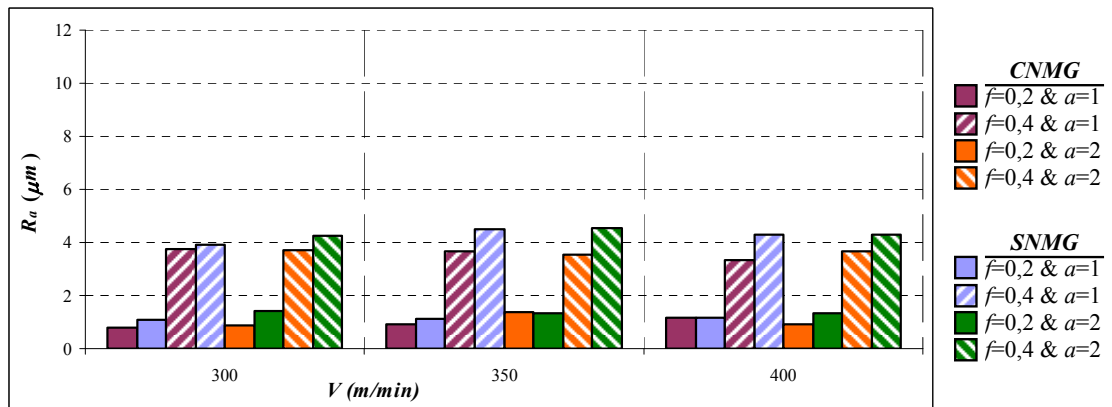
PM kesici takım kullanılarak yapılan deneylerde, genel anlamda kesme hızı arttırıldığında YP'de ciddi değişikliklerin olmadığı, bunun aksine; ilerleme, kesme derinliği ve uç burun yuvarlatma yarıçapı gibi parametrelerin değişimiyle YP'de gözle görülür artış veya azalmalar olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.1–Şekil 6.3). Özellikle 2 mm kesme derinliği ve 0,4 mm/rev ilerlemede ölçülen YP değerleri, 1 mm ve 0,2 mm/rev için ölçülen değerlere göre belirgin şekilde yüksektir.



Şekil 6.1. SNMG / CNMG 120404-PM için YP değerleri



Şekil 6.2. SNMG / CNMG 120408-PM için YP değerleri



Şekil 6.3. SNMG / CNMG 120412-PM için YP değerleri

Talaş kırıcı açısı 7° olan PM talaş kırıcı formuna ait kesici takımlarla yapılan tüm deney sonuçlarına bakıldığında; burun yuvarlatma yarıçapı (r) 0,4 mm olan kesici

takımlarda hem SNMG hem de CNMG uçlar için yüzey pürüzlüğünün en yüksek değerlerde olduğu görülmüştür (Şekil 6.1). Yine aynı burun yarıçaplı, PM kesici takımlarda yanaşma açıları dikkate alındığında; SNMG-120404 profilli uçlar için 350 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 11,35 μm ; CNMG-120404 profilli uçlarda ise 300 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 5,45 μm olduğu saptanmıştır.

Burun yuvarlatma yarıçapı 0,8 mm olan PM kesici takımlarda yine kesme derinliği ve ilerleme parametrelerine bağlı olarak değişimler gözlemlenmiştir (Şekil 6.2.). Özellikle 2 mm kesme derinliği ve 0,4 mm/rev ilerlemede ölçülen YP değerleri, 1 mm ve 0,2 mm/rev için ölçülen değerlere göre belirgin şekilde yüksektir. 0,4 mm'lik burun yuvarlatma yarıçapına göre YP için daha iyi sonuçların elde edildiği aşikârdır. PM kesici takımlarda yanaşma açıları dikkate alındığında; SNMG-120408 profilli uçlar için 400 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 6,77 μm ; CNMG-120408 profilli uçlarda ise yine aynı kesme şartlarında en yüksek YP değerinin 4,84 μm olduğu saptanmıştır.

PM profilli kesici takımlarda en uygun YP'nin elde edildiği uç yarıçapı 1,2 mm olan kesici takımlar olarak belirlenmiştir (Şekil 6.3). Yine kesme derinliği ve ilerleme miktarına bağlı olarak YP'de değişimlerin olduğu görülmüştür. PM kesici takımlarda yanaşma açıları dikkate alındığında SNMG-120412 profilli uçlar için 350 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 4,54 μm ; CNMG-120412 profilli uçlarda ise 300 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 3,77 μm olduğu saptanmıştır.

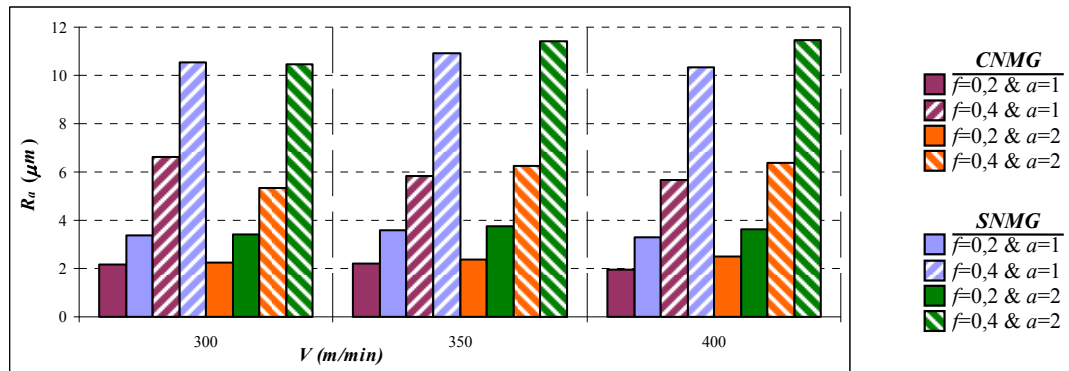
Kesme hızlarındaki değişime nazaran ilerleme, kesme derinliği ve burun yuvarlatma yarıçapı parametrelerindeki değişimin YP değişimi üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir.

İlerlemenin ve kesme derinliğinin etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde; ilerleme ve kesme derinliğindeki artışa paralel olarak YP'nin ilerleme hızından daha fazla etkilendiği söylenebilir (Şekil 6.1–Şekil 6.3).

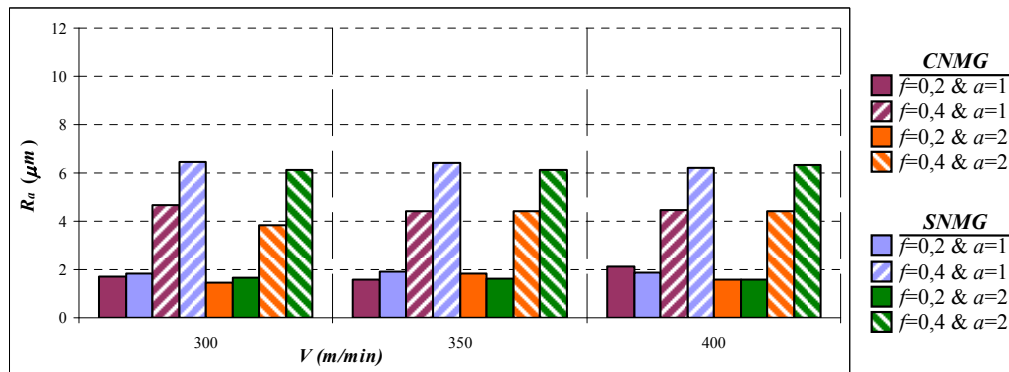
Kullanılan takımların burun yuvarlatma yarıçaplarına (r) bağlı YP'de oluşan değişim incelendiğinde; uç burun yuvarlatma yarıçapı arttıkça YP'nin azaldığı ve malzeme üzerinde arzu edilen yüzey kalitesinin olduğu gözlemlenmiştir.

6.1.2. QM talaş kırıcı formu için yüzey pürüzlülüğü

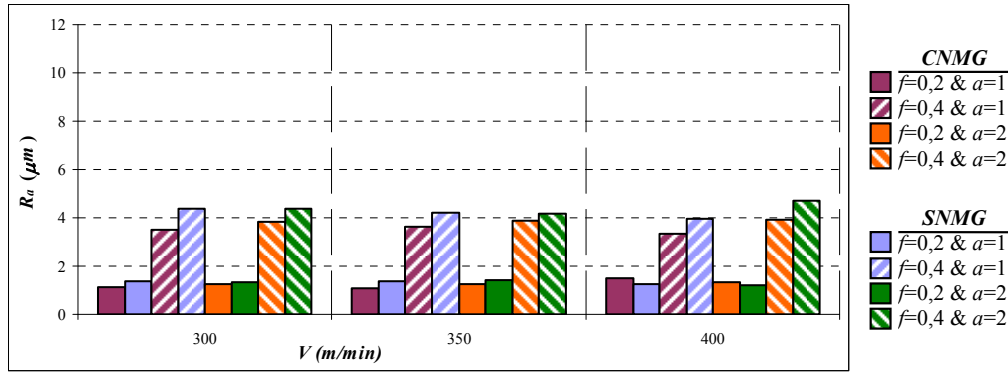
QM talaş kırıcı formu ile 0,4, 0,8, 1,2 mm burun yuvarlatma yarıçapı kullanılarak gerçekleştirilen kesme deneyleri neticesinde; her bir kesici takım (SNMG ve CNMG) için ölçülen R_a pürüzlülük değerleri sırasıyla Şekil 6.4–Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.4. SNMG / CNMG 120404-QM için YP değerleri



Şekil 6.5. SNMG / CNMG 120408-QM için YP değerleri



Şekil 6.6. SNMG / CNMG 120412-QM için YP değerleri

PM takımlarda olduğu gibi, talaş kırıcı açısı 9° olan QM kesici takım kullanılarak yapılan deneylerde, genel anlamda kesme hızına bağlı değişimlerin YP'ye etkileri ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak farklılık gösterdiği söylenebilir. Buna bağlı olarak SNMG-120404 için verilecek misalde 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği için sırasıyla $V = 300$ m/min'de $10,78 \mu\text{m}$, $V = 350$ m/min'de $10,83 \mu\text{m}$, $V = 300$ m/min'de $10,09 \mu\text{m}$ YP değerleri olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.4). Özellikle 2 mm kesme derinliği ve 0,4 mm/rev ilerlemede ölçülen YP değerleri, 1 mm ve 0,2 mm/rev için ölçülen değerlere göre belirgin şekilde yüksektir.

QM kesici takımlarda yanaşma açıları dikkate alındığında YP değerlerinin SNMG-120404 profilli uçlar için 400 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 11,46 μm ; CNMG-120404 profilli uçlarda ise 300 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 6,64 μm olduğu saptanmıştır.

PM kesici takımlarda olduğu gibi QM kesici takımlarda da burun yuvarlatma yarıçapına bağlı olarak YP'de ciddi değişimler söz konusudur. Şekil 6.5'e bakıldığında kesme hızındaki değişimlerin YP için ciddi bir değişim oluşturmadığı, buna karşılık ilerleme ve kesme derinliği parametreleri için YP'de gözle görülür farklılıklar gözlemlenmiştir.

QM profilili 0,8 mm burun yarıçapına sahip kesici takımlarla yapılan deneylerde gözlemlenen ölçüm değerlerinde kesme derinliğine nazaran ilerleme hızının ciddi derecede YP için farklılıklar gösterdiği söylenebilir. Kesici takımların yavaşma açıları da göz önüne alındığında 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde en yüksek YP değerinin ölçüldüğü anlaşılmıştır.

0,8 mm uç burun yuvarlatma yarıçapına sahip QM profilili kesici takımlarda, yavaşma açılarına bağlı olarak YP değerlerinin SNMG-120408 profilili uçlar için 300 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerinde olduğu ve bu değer 6,47 μm ; CNMG-120408 profilili uçlarda ise 300 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerinde olduğu ve bu değer 4,65 μm olduğu saptanmıştır.

QM profilili kesici takımlarda en uygun YP'nin elde edildiği uç yarıçapı 1,2 mm olan kesici takımlar olarak belirlenmiştir (Şekil 6.6.). Yine kesme derinliği ve ilerleme miktarına bağlı olarak YP'de değişimlerin olduğu görülmüştür. QM kesici takımlarda yavaşma açıları dikkate alındığında SNMG-120412 profilili uçlar için 400 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerinde olduğu ve bu değer 4,7 μm ; CNMG-120412 profilili uçlarda ise 400 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerinde olduğu ve bu değer 3,91 μm olduğu saptanmıştır.

Kesme hızlarındaki değişime nazaran ilerleme, kesme derinliği ve burun yuvarlatma yarıçapı parametrelerindeki değişimin YP değişimi üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir.

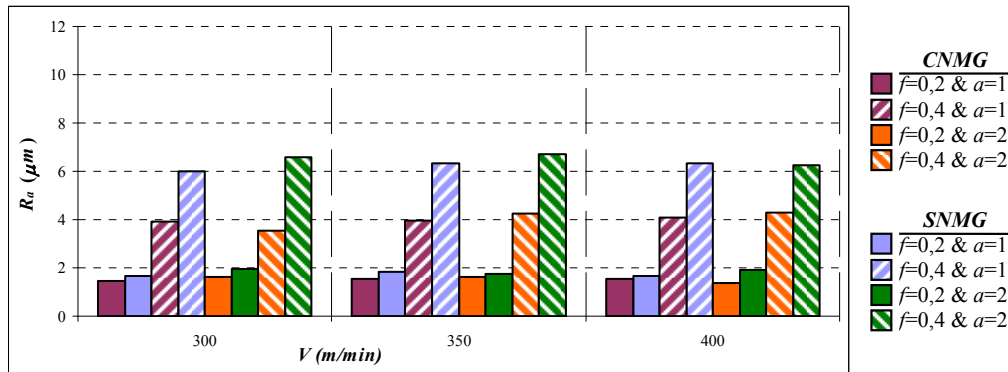
İlerlemenin ve kesme derinliğinin etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde; ilerleme ve kesme derinliğindeki artışa paralel olarak YP'nin ilerleme hızından daha fazla etkilendiği söylenebilir (Şekil 6.4–Şekil 6.6). Bu üç parametrenin içerisinde ise ilerleme hızının YP'ye etkisinin diğer parametrelerden daha fazla olduğu

belirlenmiştir. İlerleme arttıkça YP değerinin arttığı ve malzeme üzerinde istenmeyen bir yüzey kalitesinin ortaya çıktığı görülmüştür.

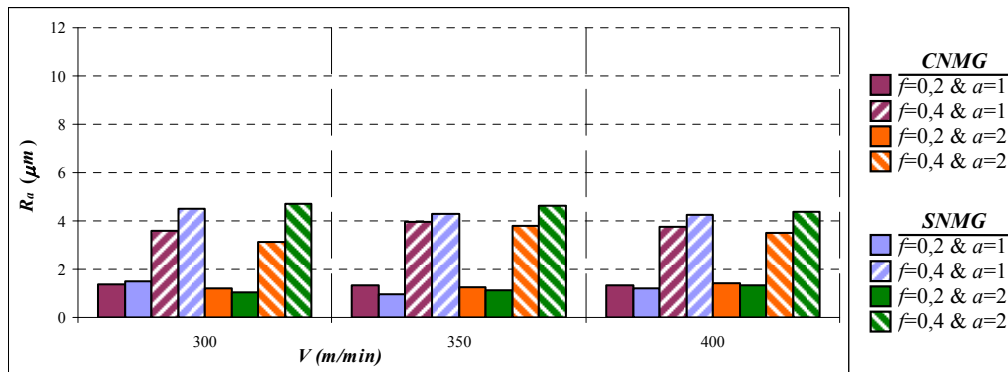
Kullanılan takımların uç burun yuvarlatma yarıçaplarına (r) bağlı YP’nde oluşan değişim incelendiğinde; uç burun yuvarlatma yarıçapı arttıkça YP’nün azaldığı ve malzeme üzerinde arzu edilen yüzey kalitesinin istenilen seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir.

6.1.3. PR talaş kırıcı formu için yüzey pürüzlülüğü

PR talaş kırıcı formu ile 0,8 ve 1,2 mm burun yuvarlatma yarıçapı kullanılarak gerçekleştirilen kesme deneyleri neticesinde; her bir kesici takım (SNMG ve CNMG) için ölçülen R_a pürüzlülük değerleri sırasıyla Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.7. SNMG / CNMG 120408-PR için YP değerleri



Şekil 6.8. SNMG / CNMG 120412-PR için YP değerleri

Talaş kırıcı açısı 8° olan PR kesici takımlarla yapılan deneyler sonucunda; diğer talaş kırıcı formuna ait takımlarla yapılan deneylerde olduğu gibi kesme hızına nazaran ilerleme, kesme derinliği ve burun yarıçapının YP üzerindeki etkileri ciddi şekilde görülmektedir. Buna bağlı olarak YP'nin en yüksek olduğu durumların ilerlemenin arttığı durumlarda olduğu gözlemlenmiştir. PR kesici profiline göre bir misal verilecek olursa; 0,8 mm burun yarıçapına sahip SNMG-120408 için $V = 300$ m/min'de 0,2 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde YP 1,65 μm iken 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde 5,97 μm ; CNMG-120408 için $V = 300$ m/min'de 0,2 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde YP 1,43 μm iken 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde 5,93 μm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.7 ve Şekil 6.8).

PR kesici takımlarda yavaşma açıları dikkate alındığında SNMG-120408 profilli uçlar için 350 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 6,7 μm ; CNMG-120408 profilli uçlarda ise 400 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 4,3 μm olduğu saptanmıştır.

PR profilli kesici takımlarda en uygun YP'nin elde edildiği burun yarıçapı 1,2 mm olan kesici takımlar olarak belirlenmiştir (Şekil 6.8). Yine kesme derinliği ve ilerleme miktarına bağlı olarak YP'de değişimlerin olduğu görülmüştür. PR kesici takımlarda yavaşma açıları dikkate alındığında SNMG-120412 profilli uçlar için 300 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 4,72 μm ; CNMG-120412 profilli uçlarda ise 350 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği şartlarında YP'nin en yüksek değerde olduğu ve bu değer 3,94 μm olduğu saptanmıştır.

Genel olarak SNMG ve CNMG kesici takımlar için yapılan tüm deneyler göz önüne alındığında; YP'de ilerleme hızına dayalı gözle görülür artışlar söz konusu olmuştur. İlerleme hızının yanı sıra kesici takım burun yarıçapındaki arasındaki değişikliklerde

de önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Yapılan deneylerde YP'nin en iyi elde edildiği durumlar burun yarıçapı $r = 1,2$ mm olan kesici takımlarla gerçekleştirilmiştir. Diğer parametreler de göz önüne alındığında YP'nin $0,77$ μm değerine kadar düştüğü tespit edilmiştir.

6.1.4. Kesici takımın talaş kırıcı açısına bağlı yüzey pürüzlülüğü

Kesici takım geometrisinin YP üzerindeki etkileri dikkate alındığında; genel olarak kesici takımın talaş kırıcı açısının 7° 'den 8° 'ye değişimiyle tüm kesme şartları altında YP bileşenlerinin kısmen azaldığı; buna karşılık talaş kırıcı açısının 8° 'den 9° 'ye değişimiyle ise YP bileşenlerinin yükselme eğiliminde olduğu söylenebilir (Şekil 6.1– Şekil 6.8). Bu durum özellikle tüm kesme hızları için hem SNMG formu hem de CNMG formu kesici takımlarda hafif kesme ($f = 0,2$ mm/rev ve $a = 1$ mm) ve ağır kesme şartları altında ($f = 0,4$ mm/rev ve $a = 2$ mm) çok belirgin bir biçimde görülebilir. 7° talaş kırıcı açısı için YP, SNMG formu takımlarda en hafif kesme şartında $1,763$ μm olarak ölçülürken talaş kırıcı açısının 8° ve 9° olmasıyla YP değerlerinin sırasıyla $1,668$ μm 'ye düştüğü ve tekrar $1,869$ μm seviyelerine kadar yükseldiği görülmüştür. Yine 7° talaş kırıcı açısı için YP, CNMG formu takımlarda en hafif kesme şartında $1,564$ μm olarak ölçülürken talaş kırıcı açısının 8° ve 9° olmasıyla YP değerlerinin sırasıyla $1,44$ μm 'ye düştüğü ve tekrar $1,692$ μm seviyelerine kadar yükseldiği görülmüştür. Verilen ölçüm değerlerinden de görüldüğü gibi; talaş kırıcı açısına bağlı değişimde aynı kesme şartlarında ölçülen değerler arasında fazla farklılık olmadığı görülmüştür. Bu durum tüm kesme şartları için söylenebilir.

CNMG formu kesici takımlarda $V = 400$ m/min, $f = 0,4$ mm/rev, $a = 2$ mm ve $r = 1,2$ mm kesme şartlarında 7° , 8° ve 9° talaş kırıcı açılara bağlı olarak yapılan deneylerde sırasıyla $3,684$ μm , $3,485$ μm ve $3,914$ μm olarak ölçülmüştür. Yine SNMG formu kesici takımlarda aynı kesme şartlarında $r = 0,8$ mm için 7° , 8° ve 9° talaş kırıcı açılara bağlı olarak yapılan deneylerde sırasıyla $6,77$ μm , $6,233$ μm ve $6,324$ μm olarak ölçülmüştür.

Bu ölçümlerden de anlaşılacağı gibi; talaş kırıcı formlar arasında aynı kesme şartlarında en uygun talaş kırıcı açısının 8° (başka bir deyişle PR talaş kırıcı formu) olduğu gözlenmiştir. Ayrıca talaş kırıcı açılarının genel olarak aynı kesme şartları altında yapılan deneylerde YP için tek başına etkili olmadığı anlaşılmıştır.

6.2. Model ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bölüm 5.2’de anlatılan modelleme prosedürü uygulanarak; kesme deneyleri sırasında girdi olarak kullanılan temel kesme parametrelerine (V, f, a, r, γ) dayalı olarak R_a pürüzlülük değerleri için regresyon modeli ve YSA modeli olmak üzere iki ayrı YP modeli hazırlanmıştır.

Model sonuçları ile deney sonuçlarının karşılaştırılması; her bir modelde kullanılan model parametrelerinin belirtilmesi ve deney sonuçlarıyla birlikte her iki modelin ortak karşılaştırılması biçiminde ele alınmıştır.

6.2.1. Yüzey pürüzlülüğü için regresyon modeli parametreleri

SNMG ve CNMG biçimli kesici uçların her biri için Eş. 5.1’de belirtilen eşitlik (veya model) sabiti (c) ile kesme hızı (V), ilerleme (f), kesme derinliği (a), talaş kırıcının talaş açısı (γ) ve kesici uç burun yarıçapına (r) bağlı sırasıyla q_1, q_2, q_3, q_4 ve q_5 üs değerleri; gerçekleştirilen toplam 96 kesme deneyi için Eş. 5.8’in çözülmesiyle bulunmuştur. Buna göre; SNMG ve CNMG biçimli kesici uçların her biri için ayrı ayrı c eşitlik (veya model) sabiti ile q_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) üs değerleri hesaplanmıştır. SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için geliştirilen regresyon modeline göre elde edilen model sabitleri Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için model sabitleri

	$(R_a = c \cdot V^{q_1} \cdot f^{q_2} \cdot a^{q_3} \cdot \gamma^{q_4} \cdot r^{q_5})^*$					
	c	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
R_{a-SNMG}	27,67777	-0,02926	1,78577	0,03529	0,04935	-0,87209
R_{a-CNMG}	1,99863	0,20615	1,49452	0,02338	0,39039	-0,44794
* R_a (μm); V (m/min); f (mm/rev); a (mm); γ ($^\circ$); r (mm)						

Çizelge 6.2’de SNMG ve CNMG biçimli kesici uçların her biri için geliştirilen modelle hesaplanan R_a sonuçlarının gerçek R_a sonuçlarına uygunluğunda kullanılan RMS , belirlilik katsayıları (R^2), ve ortalama hata değerleri ($\pm \% MAPE$) gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Regresyon modeline ait istatistiksel veriler

	RMS	R^2	$MAPE$
R_{a-SNMG}	0,28484	0,99720	6,24050
R_{a-CNMG}	0,30016	0,99199	8,60146

SNMG ve CNMG biçimli kesici uçların her biri için geliştirilen YP modelindeki parametrelere (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 üs değerleri ile c sabitleri) dayalı olarak yapılan hesaplamalar sonucunda; genel olarak tüm kesici uçlar için gerçekleşen hataların, $\pm \% 10$ ’luk hata sınırları (ölçülen kesme R_a pürüzlülük değerlerinin $\pm \% 10$ ’u) içerisinde kaldığı dikkati çekmektedir (Çizelge 6.2). Buna karşılık, R^2 değerleri ise SNMG ve CNMG biçimli kesici uçlar için sırasıyla yaklaşık 0,997 ve 0,992 civarında gerçekleşmiştir (Çizelge 6.2).

6.2.2. Yüzey pürüzlülüğü için yapay sinir ağları modeli parametreleri

SNMG ve CNMG kesici takımların her biri için 96 olmak üzere aynı kesme parametreleriyle gerçekleştirilen toplam 192 adet kesme deneyi sonucunda ölçülen

R_a değeri için her bir kesici takım formu esas alınarak ayrı ayrı YSA analizleri yapılmıştır. YSA ile modelleme sürecinde; her bir kesici takım formu için 80 adet R_a YP değeri öğrenme verisi ve rastgele seçilen diğer 16 adet R_a YP değeri de geliştirilen modelin test edilmesi (doğrulanması) için seçilmiştir. YSA modelinde kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş kırıcının talaş açısı ve kesici uç burun yarıçapı *giriş* ve R_a YP değeri de *çıkış* olarak girilmiştir. SNMG ve CNMG kesici takım formlarının her biri için eğitim (öğrenme) verisi girildikten sonra ağı eğitilmesi gerçekleştirilmiştir.

Pythia programındaki geri yayılım ağında tek gizli katmanında 6 adet nörona sahip SNMG ve iki seviyeli gizli katmanında toplam 10 adet (birinci seviyede 6 ve ikinci seviyede 4) nörona sahip CNMG kesici takımların her biri için YSA'nın 2000 çevrim süren eğitimi sonucunda hesaplanan *MSE* değerleri sırasıyla $4,63 \times 10^{-4}$ ve $9,59 \times 10^{-4}$ olmuştur. Hata oranının azalmasını sağlayan eğim, çevrim sayısı ilerledikçe sıfıra yaklaşmıştır.

Bölüm 5.2.2'de anlatılan modelleme prosedürü uygulanarak; SNMG kesici takım formu için kesme parametrelerine dayalı R_a değeri (ağın çıkış nöronu; N_7), Fermi aktivasyon fonksiyonu (Bkz. Bölüm 5.2.2, Eş. 5.11) biçimde aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$R_a = \frac{1}{1 + e^{-4(0,329212 \cdot N_1 - 0,544789 \cdot N_2 - 1,183864 \cdot N_3 + 1,914254 \cdot N_4 + 0,869248 \cdot N_5 + 0,561814 \cdot N_6 - 0,5)}} \quad (6.1)$$

Pythia programında *gizli* katmanda kullanılan her bir nöronun R_a değeri üzerindeki etkisini ifade eden Eş. 6.1'deki N_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) parametrelerinin tanımlamasında kullanılan C_{ij} sabitleri (başka bir deyişle ağırlık değerleri w) (Bkz. Bölüm 5.2.2, Eş. 5.12) Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. SNMG kesici takım formu için her bir nöronun ağırlık değerleri

i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}	C_{5i}
1	0,10212	-0,09284	-0,12163	0,75929	-0,48458
2	-0,08662	0,25074	-0,01030	0,26168	0,92895
3	-1,34575	2,00136	0,50356	-1,48501	-4,61978
4	-0,47610	1,19385	0,25670	-0,68508	-2,88755
5	-0,13440	1,37056	0,15611	-0,06454	-0,16617
6	-0,48902	-1,27700	-1,10512	-0,22893	0,02599

Benzer biçimde CNMG kesici takım formu için kesme parametrelerine dayalı R_a değeri (ağın çıkış nöronu; N_{11}) aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$R_a = \frac{1}{1 + e^{-4(-0,777085 \cdot N_7 + 1,562557 \cdot N_8 + 0,468897 \cdot N_9 + 2,294865 \cdot N_{10} - 0,5)}} \quad (6.2)$$

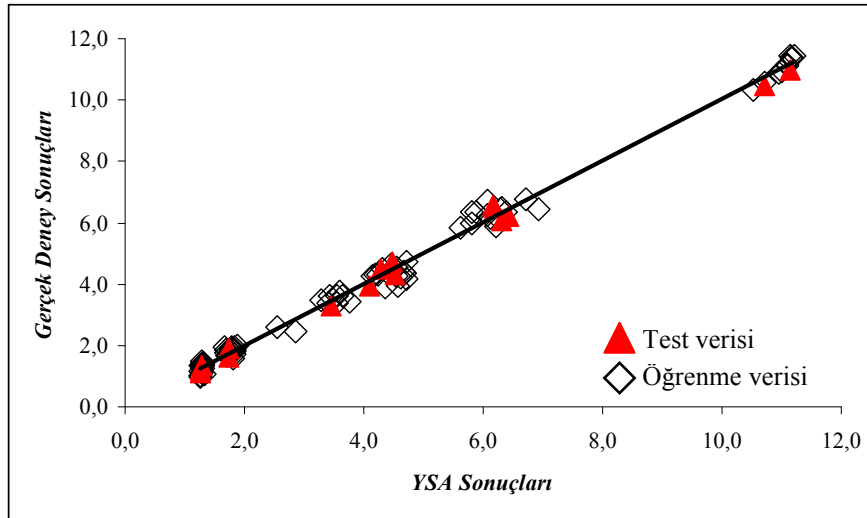
Ancak CNMG biçimli kesici takımlar için iki seviyeli *gizli* katman olduğundan; birinci seviye ($N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$) ve ikinci seviye (N_7, N_8, N_9, N_{10}) nöronlarının tanımlamasında kullanılan C_{ij} sabitleri (sırasıyla Bkz. Bölüm 5.2.2, Eş. 5.12 ve Eş. 5.14) Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. CNMG kesici takım formu için her bir nöronun ağırlık değerleri

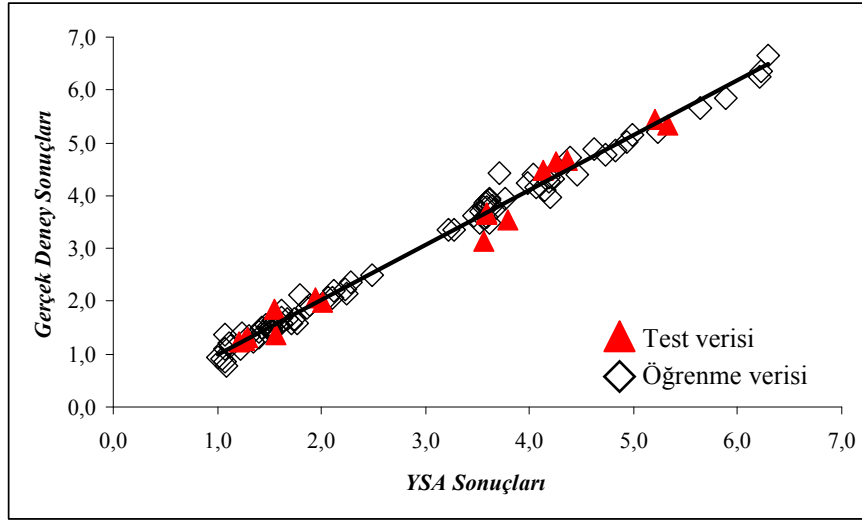
i	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}	C_{4i}	C_{5i}	C_{6i}
<i>Birinci seviye nöronlar</i>						
1	-0,27000	-0,90811	0,13657	-0,20328	0,98372	-
2	0,92141	-0,37307	-1,31233	2,05225	-1,39847	-
3	0,21820	-2,28264	-0,38382	1,10219	1,54763	-
4	0,29632	2,69261	0,27020	-1,66160	-3,43412	-
5	1,31719	-0,16424	-0,92116	-0,27402	-1,55208	-
6	-0,69971	-0,13375	0,27799	1,14777	1,33068	-
<i>İkinci seviye nöronlar</i>						
7	2,81967	0,49375	1,19407	0,07150	-0,64813	-3,35592
8	-1,37748	0,54504	0,12626	0,57865	-0,41803	-0,57167
9	-1,82248	-0,48047	-1,74662	-0,62758	-1,72601	2,07331
10	0,95761	-1,41593	0,84266	-0,73369	-0,22035	-2,04506

SNMG ve CNMG kesici takım formlarının her biri için öğrenme ve test sonundaki YSA model sonuçlarının gerçek YP deney sonuçlarına uygunluğu sırasıyla Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'daki performans ilişkisinden; gerçek deney sonuçları ile YSA sonuçları arasında çok yakın bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Geliştirilen YSA modeline göre test verilerinin de yine gerçek deney sonuçlarını tahmin etmede başarılı olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.5'te SNMG ve CNMG biçimli kesici uçların her biri için geliştirilen YSA modeliyle hesaplanan R_a sonuçlarının gerçek R_a sonuçlarına uygunluğunda kullanılan öğrenme ve test sonucundaki RMS , R^2 ve $\pm \% MAPE$ değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.9. SNMG kesici takım formu için YSA performansı



Şekil 6.10. CNMG kesici takım formu için YSA performansı

Çizelge 6.5. YSA modeline ait istatistiksel veriler

	Öğrenme verisi			Test verisi		
	<i>RMS</i>	R^2	<i>MAPE</i>	<i>RMS</i>	R^2	<i>MAPE</i>
R_{a-SNMG}	0,228	0,9946	5,83	0,212	0,995	5,17
R_{a-CNMG}	0,171	0,9908	5,22	0,227	0,9798	5,86

SNMG ve CNMG kesici takım formlarının her biri için öğrenme ve test sonucunda elde edilen YSA model sonuçları ile gerçek YP deney sonuçları arasında her bir sonuç için % hata ve *MAPE* değerleri hesaplanmıştır. Öğrenme sonucundaki *MAPE*; SNMG kesici takım formu için % 5,83 olurken, CNMG kesici takım formu için % 5,22 olarak hesaplanmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında ise ortalama hata; SNMG kesici takım formu için % 5,17 olurken, CNMG kesici takım formu için % 5,86 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.5).

SNMG ve CNMG kesici takım formlarının her biri için Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilen öğrenme ve test sonundaki YSA performans grafiklerinden ve Çizelge 6.5'te verilen istatistiksel verilerden; her iki kesici takım formu için YSA yöntemiyle geliştirilen modelin YP'nin tahmininde kullanılabileceği görülmüştür.

6.2.3. Model sonuçlarının deney sonuçlarına uygunluğu

Talaş kırıcı açıları sırasıyla 7° , 9° ve 8° olan PM , QM ve PR talaş kırıcı formları için burun yuvarlatma yarıçaplarına göre kesme deneyleriyle ölçülen ve geliştirilen modellerle hesaplanan YP dağılımları arasındaki karşılaştırmalar sırasıyla EK 1 (Bkz. EK 1, Şekil E1.1–Şekil E1.3), EK 2 (Bkz. EK 2, Şekil E2.1–Şekil E2.3) ve EK 3'te (Bkz. EK 3, Şekil E3.1–Şekil E3.3) verilmiştir. EK 1–EK 3'te verilen şekillerde D , RM ve YSA notasyonları sırasıyla deney verisini, regresyon model verisini ve yapay sinir ağlarıyla geliştirilen model verisini göstermektedir.

PM talaş kırıcı formundaki kesici takımlarda CNMG ve SNMG kesici takımları için 0,4 mm burun yarıçaplarında; CNMG kesicilerde 300 m/min kesme hızlarında 1 mm kesme derinliği için deney sonuçları ile modeller arasında uyumluluk gözlenmiş, ölçülen model sonuçları arasında hata oranının $\pm \% 5$ 'ten az olduğu görülmüştür. Aynı kesme hızında $a = 2$ mm için ölçülen model sonuçlarında 0,2 mm/rev ilerlemede modeller arasında ciddi bir uyumluluk olduğu, fakat $f=0,4$ mm/rev'de deney sonuçları ile YSA modelinde elde edilen sonuçlar arasındaki uyumluluk göze çarptığında, RM 'de elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları arasında $\pm \% 5$ 'ten fazla hataların olduğu görülmüştür. SNMG kesicilerde ise tam aksine; modeller arasında elde edilen sonuçlarda 0,4 mm/rev ilerlemede uyumluluk görülürken, $f=0,2$ mm/rev'de RM 'nin YSA'ya oranla hata oranının $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu gözlenmiştir. Bu durum her iki kesici takım formları için 350 m/min ve 400 m/min kesme hızlarında da görülmüştür.

PM talaş kırıcı formundaki 0,8 mm burun yarıçapına sahip takımlarda; CNMG takımları için 0,2 mm/rev ilerlemede deney sonuçları ile modeller arasında, 300 m/min kesme hızında her iki kesme derinliği için, $V = 350$ m/min'de $a = 2$ mm için, $V = 400$ m/min'de $a = 1$ mm için hata oranının $\pm \% 5$ 'ten az olduğu söylenebilir. Yine aynı ilerlemede SNMG için tüm kesme hızı ve kesme derinliği değerleri için deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki hataların $\pm \% 5$ 'ten az olduğu gözlenmiştir. 0,4 mm/rev ilerlemede ise CNMG için 300 m/min kesme hızında 1

mm kesme derinliği ve $V = 400$ m/min ile $a = 1$ mm'de hata oranı $\pm \% 5$ 'ten azken, diğer kesme şartlarında hata oranının arttığı görülmüştür. 0,4 mm/rev ilerlemede SNMG için 350 m/min kesme hızında ve 1 mm kesme derinliğinde hata oranı $\pm \% 5$ 'ten azken, diğer kesme şartlarında hata oranının $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu görülmüştür.

PM talaş kırıcı formundaki 1,2 mm burun yarıçapına sahip takımlarda; CNMG ve SNMG kesici takımları için 0,2 mm/rev ilerlemede deney sonuçları ile modeller arasında genel olarak hata oranlarının $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu söylenebilir. Aynı ilerleme için SNMG takımlarda 300 m/min, 350 m/min ve 400 m/min kesme hızlarında 2 mm kesme derinliğinde, modellerde deney sonuçları arasındaki farkın $\pm \% 5$ 'ten az olduğu söylenebilir. 0,4 mm/rev ilerlemede ise SNMG formuna sahip kesici takımlarda deney sonuçları ile modeller arasında sadece 400 m/min kesme hızında her iki kesme derinliği için hata oranının $\pm \% 5$ 'ten az, aynı ilerlemede SNMG takımlar için diğer kesme hızlarında ve CNMG takımlar için tüm kesme hızı ve kesme derinliği değerleri için deney sonuçlarında modellere göre hata oranının $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu görülmüştür.

QM talaş kırıcı formundaki kesici takımlarda CNMG ve SNMG kesici takımlar için 0,4 mm burun yarıçaplarında; 0,2 mm/rev ilerlemede CNMG için 300 m/min ve 350 m/min kesme hızlarında 1 mm ve 2 mm kesme derinliklerinde deney sonuçları ile model sonuçları yakınsak değerler içerdiği ve hata oranlarının $\pm \% 5$ 'ten az olduğu görülmüştür. Yine aynı form için $V = 400$ m/min'de her iki kesme derinliği için deney sonuçları ile modeller arasındaki hata oranının $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu söylenebilir. 0,2 mm/rev ilerlemede SNMG için 300 m/min kesme hızında 2 mm kesme derinliğinde ve 400 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde deney sonucu ile RM arasındaki hata oranının $\% 2$ 'den az olduğu, diğer kesme şartlarında ise hata oranlarının $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu tespit edilmiştir. $f=0,4$ mm/rev'de CNMG için 350 m/min kesme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde, 400 m/min kesme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde; SNMG için 400 m/min kesme hızı ve 2 mm kesme derinliğinde deney sonuçları ile model arasındaki hata oranlarının $\pm \% 5$ 'ten az, her

iki form (SNMG ve CNMG) için diğer kesme şartlarında ise hata oranlarının gözle görülür şekilde artış olduğu gözlenmiştir.

QM talaş kırıcı formundaki 0,8 mm burun yarıçapına sahip kesici takımlarda; $f=0,2$ mm/rev'de CNMG için 300 m/min kesme hızı 2 mm kesme derinliği, 350 m/min kesme hızı 1 mm kesme derinliği ve 400 m/min kesme hızı 2 mm kesme derinliği için deney sonuçları ve modeller arasındaki hata oranı $\pm \% 5$ 'ten az, diğer kesme şartlarında ise hata oranında gözle görülür artış olduğu söylenebilir. Aynı ilerlemede SNMG takımlar için $V = 300$ m/min'de, $a = 1$ mm'de deney sonucu ile model sonuçları arasında hata oranının $\% 2$ civarında, $V = 350$ m/min'de $a = 1$ mm'de ve $V = 400$ m/min'de $a = 1$ mm'de hata oranının $\pm \% 5$ 'ten az, diğer kesme şartlarında ise hata oranının $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu gözlenmiştir. 0,4 mm/rev ilerlemede ise CNMG için 350 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde deney sonucu ile modeller arasında hata oranı $\pm \% 5$ 'in altında iken, diğer kesme şartlarında bu oran $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı ilerlemede SNMG takımlarda ise 300 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde hata oranı $\pm \% 5$ civarlarında, diğer kesme şartlarında ise deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki hata oranının $\pm \% 5$ 'in altında olduğu tespit edilmiştir.

QM talaş kırıcı formundaki 1,2 mm burun yarıçapına sahip kesici takımlarda; 0,2 mm/rev ilerlemede CNMG için $V = 300$ m/min ve her iki kesme derinliğindeki deney sonuçları ve modeller arasındaki hata oranı $\pm \% 5$ 'in altında iken, $V = 350$ m/min ile $V = 400$ m/min ve 2 mm kesme derinliğinde hata oranı $\% 2$ civarındadır. Yine CNMG kesici takımlar için diğer kesme şartları arasındaki sonuçlarda hata oranı $\pm \% 5$ civarındadır. $f=0,2$ mm/rev'de SNMG için ise tüm kesme şartlarında deney sonuçları ile modeller arasındaki hata oranı $\pm \% 5$ 'in altında olduğu görülmüştür. 0,4 mm/rev ilerlemede ise CNMG için 400 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde deney sonucu ve model sonuçları arasında hata oranı $\pm \% 5$ 'in üstünde iken, diğer kesme şartlarına ait sonuçlarda ise $\pm \% 5$ 'in altında olduğu görülmüştür. Aynı ilerlemede SNMG için $V = 300$ m/min ve $a = 1$ mm'de deney sonucu ile *RM* arasında $\% 1$ hata oranının altında iken *YSA* model sonucunun $\% 5$ 'ten fazla olduğu

ve aynı formda diğer kesme şartlarına ait sonuçlarda ise $\pm \% 5$ 'in üstünde olduğu görülmüştür.

PR talaş kırıcı formundaki kesici takımlarda CNMG ve SNMG kesici takımları için 0,8 mm burun yarıçaplarında; $f=0,2$ mm/rev'de CNMG için 300 m/min, 350 m/min, 400 m/min kesme hızlarında 2 mm kesme derinliğindeki deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki hata oranının $\pm \% 5$ 'in üstünde olduğu, aynı formlarda (SNMG ve CNMG) diğer kesme şartlarına ait sonuçlarda ise hata oranının $\pm \% 5$ 'in altında olduğu görülmüştür. Aynı ilerlemede SNMG kesici takımlarda ise kesme hızı ve kesme derinliğinde deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki hata oranının $\pm \% 5$ 'in üstünde olduğu söylenebilir. 0,4 mm/rev ilerlemede ise sadece 400 m/min kesme hızında, 2 mm kesme derinliğindeki SNMG kesici takım için deney sonucu ile *RM* sonucu arasındaki hata oranının $\% 1$ civarlarında olduğu, CNMG ve SNMG takımlarda için diğer tüm parametrelere ait deney sonuçları ve model sonuçları arasında hata oranının ise $\pm \% 5$ 'in üstünde olduğu görülmüştür.

PR talaş kırıcı formundaki kesici takımlarda CNMG ve SNMG kesici takımları için 1,2 mm burun yarıçaplarında; $f=0,2$ mm/rev'de CNMG için 300 m/min kesme hızında 1 mm kesme derinliğindeki deney sonucu ile model sonuçları arasındaki hata oranı $\pm \% 5$ 'in üstünde iken, aynı kesici takımın (CNMG) diğer kesme şartlarına ait sonuçlar arasındaki hata oranı $\pm \% 5$ 'in altında olduğu söylenebilir. 0,4 mm/rev ilerlemede CNMG için $V = 300$ m/min, $a = 1$ mm'de deney sonucu ile *YSA* model sonucu arasında $\% 1$ civarlarında hata oranı görülürken, aynı formda diğer parametrelere sahip deney sonuçları ve modeller arasındaki hata oranının $\pm \% 5$ 'in üstünde olduğu söylenir. Yine 0,4 mm/rev ilerlemede ise SNMG takımlar için $V = 350$ m/min, $a = 1$ mm ve $V = 400$ m/min'deki her iki kesme derinliğinde deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki hata oranının $\pm \% 5$ 'in altında, diğer kesme şartlarına ait sonuçlarda ise bu hata oranının $\pm \% 5$ 'ten fazla olduğu görülmüştür.

SNMG kesici takımlar için deneysel veri ile *RM* verisi arasındaki en küçük hata oranı 350 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme, 1 mm kesme derinliği, 0,8 mm burun

yarıçapı ve 7° 'lik talaş kırıcı açısı şartlarında % 0,0569 olarak hesaplanmıştır. CNMG kesici takımlar için ise *RM* verisi ile deneysel veri arasındaki en küçük hata oranı 350 m/min, 0,2 mm/rev ilerleme, 1 mm kesme derinliği, 0,8 mm burun yarıçapı ve 9° 'lik talaş kırıcı açısı şartlarında % 0,2222 olarak gerçekleşmiştir.

YSA model verisi ile deneysel veri arasındaki en küçük hata oranı SNMG için 400 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme, 1 mm kesme derinliği, 0,4 mm burun yarıçapı ve 7° talaş kırıcı açısı şartlarında % 0,0108 ve CNMG için ise 400 m/min kesme hızı, 0,2 mm/rev ilerleme, 2 mm kesme derinliği, 0,4 mm burun yarıçapı ve 9° talaş kırıcı açısı şartlarında % 0,0523 olarak hesaplanmıştır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine dayalı olarak tahmini için literatürdeki modellerden yararlanılmış, ayrıca yapılan literatür araştırması ve pratik uygulamalar göz önüne alınarak iki farklı model geliştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan tornalama sonucunda, iş parçası yüzey pürüzlülüğünün tahminini amaçlayan bu çalışmada regresyon modeli ve yapay sinir ağları modeli olmak üzere iki ayrı yüzey pürüzlük modeli hazırlanmıştır. Kesme deneylerinde uç geometrisi ve yanaşma açıları farklı iki farklı kesici takım formu, üç farklı talaş kırıcı formu (dolayısıyla talaş kırıcı açısı) ile üç farklı burun yuvarlatma yarıçapına sahip kesici takımlar ile üç farklı kesme hızı, iki farklı ilerleme ve kesme derinliği kullanılmış; kesme parametrelerindeki değişimlere göre yüzey pürüzlülüğünün değişimi incelenmiştir. Regresyon analizine dayalı geliştirilen model (*RM*) ve yapay sinir ağları (*YSA*) metodu ile geliştirilen matematiksel model ile deney sonuçları kıyaslanmıştır. Buna bağlı olarak geliştirilen matematiksel modellerin tornalama operasyonlarındaki pratik kullanımı ve ekonomiklik doğruluğu incelenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Burun yuvarlatma yarıçapı 0,4 mm olan kesici takımlarda hem SNMG hem de CNMG uçlar için olan PM talaş kırıcı formuna (talaş kırıcı açısı 7°) sahip kesici takımlarla yapılan deneyler sonunda yüzey pürüzlülüğü en yüksek değerlerde çıkmıştır.
- Burun yuvarlatma yarıçapı 0,8 mm olan PM kesici takımlarda 0,4 mm’lik burun yuvarlatma yarıçapına göre YP için daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- PM profilli kesici takımlarda en uygun YP değeri, burun yarıçapı 1,2 mm olan kesici takımlarla elde edilmiştir.

- PM talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlarda kesme hızlarındaki değişime nazaran ilerleme, kesme derinliği ve burun yuvarlatma yarıçapındaki değişimin YP üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.
- PM profilili kesici takımlarda ilerleme ve kesme derinliğindeki artışa paralel olarak YP'nin ilerleme hızından daha fazla etkilendiği söylenebilir.
- PM talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlarda burun yuvarlatma yarıçapının artmasıyla YP'nin azaldığı ve istenilen yüzey kalitesinin elde edildiği görülmektedir.
- QM (talaş kırıcı açısı 9°) kesici takım kullanılarak yapılan deneylerde, 0,4 mm burun yuvarlatma yarıçapı için genel anlamda SNMG kesici takımlara göre CNMG takımlar ile daha iyi YP sonuçları elde edildiği görülmüştür.
- QM talaş kırıcı kesici takımlarda ilerlemenin YP'yi ciddi oranda etkilediği, kesme derinliğinde ise ilerlemeye oranla daha iyi YP sonuçları ölçüldüğü gözlenmiştir.
- 0,8 mm burun yuvarlatma yarıçaplı QM kesici takımlarda 0,4 mm'lik burun yuvarlatma yarıçapına göre YP için daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- QM profilili kesici takımlarda 0,8 mm burun yuvarlatma yarıçapında, yavaşma açılarına bağlı olarak YP değerlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu saptanmıştır.
- İlerleme ve kesme derinliği dikkate alındığında; QM kesici takım forum için 0,8 mm burun yarıçapında, kesme hızları arasında en yüksek YP değerinin 300 m/min'de elde edildiği görülmüştür.

- QM profilli kesici takımlarda burun yarıçapı 1,2 mm için yine kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak YP’de ciddi değişimlerin olduğu ve tüm deneylerde en uygun YP’nin bu kesici takım formunda elde edildiği görülmüştür.
- Tüm kesici takım formları için YP’de oluşan değişim incelendiğinde; burun yarıçapının artmasıyla YP’nin azaldığı ve istenilen yüzey kalitesine yaklaşıldığı gözlenmiştir.
- PR kesici takımlarla (talaş kırıcı açısı 8°) yapılan deneyler sonucunda diğer formlarda olduğu gibi hem SNMG hem de CNMG takımlar için ilerleme, kesme derinliği ve burun yuvarlatma yarıçapının, kesme hızına göre YP’de daha etkili olduğu görülmüştür.
- 0,8 mm burun yarıçaplı kesici takımlarda kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği dışında; SNMG kesici takımlara nazaran CNMG kesici takımlarda daha iyi YP sonuçları elde edilmiştir.
- Burun yarıçapı 0,8 mm olan PR formu kesici takımlar için her iki ilerleme değerlerinde yapılan ölçümler sonucunda YP değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür.
- PR profilli kesici takımlarda en uygun YP’nin elde edildiği burun yarıçapı 1,2 mm olan kesici takımlar olarak belirlenmiştir.
- Aynı kesme şartlarına sahip SNMG ve CNMG takımları için ölçülen değerler arasında çok küçük farklılıklar olduğu gözlenmiş, CNMG kesici takımların SNMG kesici takımlara göre daha iyi YP sonuçları verdiği görülmüştür.
- PM formuna sahip kesici takımlar için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan *RM*’de tüm 0,4 mm burun yarıçapı değerleri için hata oranlarının en düşük olduğu ve bu durumda *RM*’nin kullanılabilirliği görülmüştür.

- PM formu için en küçük hata oranının SNMG kesici takımlarda 0,8 mm burun yarıçapında 350 m/min, 0,4 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde olduğu tespit edilmiş ve RM 'nin kullanılabilirliği görülmüştür.
- Aynı formda (PM) 1,2 mm uç burun yarıçapı için yapılan analizlerde SNMG kesici takımlarda hata oranının $\pm \% 10$ 'un altında, CNMG için $\pm \% 10$ 'un üstünde olduğu görülmüş ve SNMG kesici uçlar için RM 'nin uygunluğu görülmüştür.
- QM formuna sahip kesici takımlarla yapılan analizlerde SNMG ve CNMG formu için deney sonuçları ile RM 'de hesaplanan sonuçların hata oranlarının ortalaması $\pm \% 10$ 'un altında olduğu ve RM 'nin uygunluğu görülmüştür.
- RM 'nin QM formu için en uygun kullanılabilirliği SNMG takımlarda 400 m/min, 0,4 mm/rev ilerleme, 2 mm kesme derinliği ve 0,4 mm uç burun yarıçapına sahip kesme şartlarında olduğu söylenebilir.
- Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş kırıcı açısı ve burun yarıçapına dayalı geliştirilen RM modeli ve YSA modellerinin YP tahmininde kullanılabileceği gösterilmiştir.
- PR formuna sahip kesici takımlarla yapılan analizlerde SNMG ve CNMG için deney sonuçları ile RM 'de hesaplanan sonuçların hata oranları yaklaşık $\pm \% 10$ 'un altında olduğu ve RM 'nin uygunluğu görülmüştür.
- Tüm deney verilerine dayanarak yapılan analizler deney sonucu ile RM arasındaki hata oranının en düşük olduğu kesme parametreleri SNMG için, 400 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme, 2 mm kesme derinliği, 1,2 mm burun yarıçapı ve 8° talaş kırıcı açısı şartlarında olduğu tespit edilmiştir.

- PM kesici takımlar için yapılan deneyler sonucu elde edilen *YSA* modelinde 0,4 mm ve 0,8 mm burun yarıçapı için SNMG ve CNMG takımlarında hata oranlarının yaklaşık $\pm \% 5$ 'in altında olduğu görülmüş ve *YSA* modellerin her iki form için de kullanılabilirliği tespit edilmiştir.
- PM kesici takımlarda 1,2 mm burun yarıçapına sahip kesici takımlarla yapılan analizlerde SNMG için geliştirilen *YSA* modelinde hata oranları yaklaşık $\pm \% 5\sim 10$ aralığında olduğu görülmüştür.
- PM kesici takımlarla yapılan deneylerin tamamında *YSA* modeli için en küçük hata oranının $\pm \% 0,0108$ olduğu ve bunun SNMG kesici takımlarda 400 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme, 1 mm kesme derinliği ve 0,4 mm burun yarıçaplı kesme şartlarında elde edildiği görülmüştür.
- QM kesici takımlarda yapılan deneyler sonucunda geliştirilen *YSA* modeli 0,4 mm burun yarıçapına sahip takımlar için her iki kesici takım formunda (SNMG ve CNMG) ve 0,8 mm burun yarıçapı için ise sadece SNMG takımlarda hata oranlarının yaklaşık $\pm \% 5$ 'in altında olduğu görülmüş ve modellerin kullanılabilirliği tespit edilmiştir.
- Yine QM kesici takımlarla yapılan deney ve *YSA* model sonuçları arasında yapılan analizlerde, 1,2 mm burun yarıçapına sahip takımlar için her iki kesici formunda (SNMG ve CNMG) ve 0,8 mm burun yarıçapı için ise sadece CNMG takımlarda hata oranları yaklaşık $\pm \% 5\sim 10$ aralığında olduğu görülmüştür.
- QM kesici takımlarla yapılan deneylerin tamamında *YSA* modeli için en küçük hata oranı $\pm \% 0,0523$ olmuş ve bu durum CNMG kesici takımlarda 300 m/min kesme hızı, 0,4 mm/rev ilerleme, 2 mm kesme derinliği ve 0,4 mm burun yarıçaplı kesme şartlarında gerçekleşmiştir.

- PR kesici takımlarda yapılan deneyler ve *YSA* model sonuçları arasında yapılan analizlerinde, CNMG kesici uçlarda ölçülen hata oranları yaklaşık $\pm$ % 5'in altında gerçekleşmiş ve geliştirilen *YSA* modelinin uygunluğu tespit edilmiştir.
- PR kesici takımlarda yapılan deneyler ve *YSA* model sonuçları arasında yapılan analizlerinde, SNMG kesici uçlarda hata oranları yaklaşık $\pm$ % 5~10 aralığında çıkmış ve geliştirilen *YSA* modelinin kısmen uygunluğu tespit edilmiştir.
- Model sonuçları ile deney sonuçları arasındaki analizlere bakıldığında genel olarak yüzey pürüzlülüğünün tahmini için her iki modelin de kullanılabileceği, ancak *YSA* modelinin RM^2 'ye göre YP için daha güvenilir sonuçlar verdiği söylenebilir.

Yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde bu çalışma konusuyla ilgili olarak bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması bakımından aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:

- Yüzey pürüzlülüğü modelleri diğer talaşlı imalat yöntemleri içinde ayrıca geliştirilebilir.
- Yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen modeller genişletilerek, değişik iş parçası ve kesici takım çiftleri için farklı kesme şartlarında rahatlıkla kullanılabilecek bir bilgi bankası oluşturulabilir.
- Modellerde kullanılan parametrelerle ilgili olarak karşılıklı etkileşimleri de dikkate alacak biçimde modeller geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abouelatta, O.B., Madl, J., (2001), “Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 269–277.
- Akkurt, M., (2000), “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 104-105.
- Akün, F., (1956), “Tezgah Titreşimlerinin İşlenen Parçanın Durumu Üzerine Etkisi”, *İ.T.Ü. Kütüphanesi*, İstanbul, 34-36.
- Altinkaya, E., Güllü, A., (2008), “AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde talaş kırıcı formunun takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 11 (1): 13-17.
- Azouzi, R., Guillot, M., (1997), “On-line prediction of surface finish and dimensional deviation in turning using neural network based sensor fusion”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37: 1201–1217.
- Bağcı, M., (1996), “Makine Teknik Resmi”, *Milli Eğitim Basımevi*, Yayın No: 410, İstanbul, 140-142.
- Bahar, E.M., (2007), “Titreşim sebepli yüzey kalitesi üzerinde takım tutucu modifikasyonlarının etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Ankara.
- Bayrak, M., (2002), “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi Ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 1-35.
- Begeman, M.L., Ostwald, P.F., Amstead, B.H., (1987), “Manufacturing Processes”, *John Willey & Sons Inc.*, Singapore, 114-116.
- Beggan, C., Woulfe, M., Young, P., Byrne, G., (1999), “Using acoustic emission to predict surface quality”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15: 737–742.
- Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., (2002), “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.
- Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., (2003), “Prediction surface roughness in machining: a review”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 833-844.

Benga, G.C., Abrao, A.M., (2003), “Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 143: 237-241.

Boothroyd, G., Knight, W.A., (1988), “Fundamentals of Machining and Machine Tools”, *Marcel Dekker*, New York, 33-37.

Boothroyd, G., Knight, W.A., (1989), “Fundamentals of Machining and Machine Tools”. *Second edition, Marcel Dekker Inc.*, New York, 78-88.

Can, A., (2003), “AISI 5140 çeliğinin Sermet, PVD ile TiAlN – CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü*, Ankara, 1-32.

Chen, J.C., Savage, M., (2001), “Fuzzy-net-based multilevel in-process surface roughness recognition system in milling operations”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17: 670–676.

Cheung, C.F., Lee, W.B., (2000), “A Theoretical and Experimental Investigation of Surface Roughness Formation in Ultra-Precision Diamond Turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, C: 40, 979-1002

Chien, W.T., Chou, C.Y., (2001), “The predictive model for machinability of 304 stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 442–447.

Choudhury, I.A., El-Baradie, M.A., (1997), “Surface roughness in the turning of high-strength steel by factorial design of experiments”, *Journal of Materials Processing Technology*, 67: 55–61.

Çakır, M.C., (1999), “Modern talaşlı imalatın esasları”, *Uludağ Üniversitesi Yayınları*, Yayın No:140, Bursa, 124-125.

Çiftçi, İ., (2005), “Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (2):205-209.

Çoğun, C., Özses, B., (2002), “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (1): 59-75,

Davim, J.P., (2001), “A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments”, *Journal of Materials Processing Technology*, 116: 305–308.

Ehmann, K.F., Hong, M.S., (1994), “A generalized model of the surface generation process in metal cutting”, *CIRP Annals*, 43: 483–486.

Eriksen, E., (1998), "Influence From Production Parameters On The Surface Roughness of A Machined Short Fibre Reinforced Thermoplastic", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, 1611-1618.

Feng, C.X.J., Wang, X., (2002), "Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 20: 348-356.

Fuh, K.H., Wu, C.F., (1995), "A proposed statistical model for surface quality prediction in end milling of Al alloy", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35: 1187-1200.

Gallo, A., (2003), "Econometrics", Lecture Notes, *University of North Florida*, 1-15.

Galyer, J.F.W., Shotbolt, C.R., (1993), "Metrology For Engineers", *Cassel Publishers Limited*, London, 9: 191-194.

Garcia-Diaz, A., Phillips, D.T., (1995), "Principles of Experimental Design and Analysis", *Chapman and Hall*, London.

Garratt, J. D., (1982), "A New Stylus Instrument With a Wide Dynamic Range For Use in Surface Metrology", *Precision Engng*, 4 (3): 145-151.

Ghani, A.K., Choudhury, I.A., (2002), "Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 127: 17-22.

Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H., (2004), "Pvd Ve Cvd Kaplamalı Sementit Karbür Kesici Takımların İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", *Teknoloji*, 7: 473-478

Grzesik, W., (1996), "A revised model for predicting surface roughness in turning", *Wear*, 194: 143-148.

Güllü, A., (1995), "Silindirik taslamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taslama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-30.

Güllü, A., Özdemir, A., Demir, H., (2003), "Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi", *Teknoloji*, 6 (1-2): 79-92

Güllü, A., Karabulut, Ş., Gültaş, A., (2008), "Chip breaking problems in machining of Inconel 718 super alloy and chip breaker design", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1): 157-164.

Güllü, A., Karabulut, Ş., (2008), "Dynamic chip breaker design for Inconel 718 using positive angle tool holder", *Materials and Manufacturing Processes*, 23 (8): 852-857.

Hill, T., Lewicki, P., (2006), “Statistics: Methods and Applications”, **StatSoft**, Tulsa, OK, 341–349.

Ho, S.-Y., Lee, K.-C., Chen, S.-S., Ho, S.-J., (2002), “Accurate modeling and prediction of surface roughness by computer vision in turning operations using an adaptive neuro-fuzzy inference system”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 42: 1441–1446.

Işık, Y. ve Çakır, M.C., (2001), “Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, **Teknoloji**, 1: 111-118.

Jang, D.Y., Choi, Y.G., Kim, H.G., Hsiao, A., (1996), “Study of the correlation between surface roughness and cutting vibrations to develop an on-line roughness measuring technique in hard turning”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 36: 453–464.

Karabay, M., ve Yavuz, M., (1992), “CNC’li tornalamada yüzey pürüzlülüğü bağıntıları için bir çalışma”, **5. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, Ankara, 163-169.

King, T.G., Spedding, T.A., (1982), “On The Relationships Between Surface Profile Height Parameters”. **Wear**, 83, 91-108.

Kopac, J., Bahor, M., (1999), “Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product”, **Journal of Materials Processing Technology**, 92–93: 381–387.

Kopac, J., Bahor, M., Sokovic, M., (2002), “Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 42: 707–716.

Kwon, Y., (2000), “Robust Control of Surface Roughness in a Turning Operation”, **Bell and Howell Information and Learning Company**, The University of Iowa.

Lasota, A., Rusek, P., (1983), “Influence of Random Vibrations On The Roughness of Turned Surfaces”, **J. Mech. Working Technol.**, 7: 277-284.

Lee, B.Y., Tarn, Y.S., Lii, H.R., (2000), “An investigation of modeling of the machining database in turning operations”, **Journal of Materials Processing Technology**, 105: 1–6.

Li, X.P., Iynkaran, K., Nee, A.Y.C., (1999), “A hybrid machining Simulator based on predictive theory and neural network modeling”, **Journal of Materials Processing Technology**, 89–90: 224–230.

- Lin, S.C., Chang, M.F., (1998), “A study on the effects of vibrations on the surface finish using a surface topography simulation model for turning”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38: 763–782.
- Lin, W.S., Lee, B.Y., Wu, C.L., (2001), “Modeling the surface roughness and cutting force for turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 108: 286–293.
- Lou, S.J., Chen, J.C., (1997), “In-process surface recognition of a CNC milling machine using the fuzzy nets method”, *Computers in Industrial Engineering*, 33: 401–404.
- Lou, M.S., Chen, J.C., Li, C.M., (1998), “Surface Roughness Prediction Technique For CNC End-Milling”, *Journal of Industrial Technology*, 15 (1): 2-6.
- Matsumura, T., Sekiguchi, H., Usui, E., (1996), “An evaluation approach of machine tool characteristics with adaptive prediction”, *Journal of Materials Processing Technology*, 62: 440–447.
- Munoz-Escalona, P., Cassier, Z., (1998), “Influence of the critical cutting speed on the surface finish of turned steel”, *Wear*, 218: 103–109.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C., (1995), “Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments”, *Wiley*, New York, 36 (2): 7-10.
- Nalbant, M., and Gökkaya, H., (2005), “The effects of cutting tool geometry end processing parameters on the surface roughness of AISI 1030 steel”, *Materials and Design*, 26:13-18.
- Oxley, P.L.B., (1989), “Mechanics of Machining: An Analytical Approach to Assessing Machinability”, *Ellis Horwood*, Chichester, UK, 235-236.
- Özçatalbas, Y., (2000), “Isıl İşlemlerin Cr-Mo Esaslı Bir Çeliğin İşlenebilirliğine Etkisi”, *10. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 759-765.
- Özel, T., Karpat, Y., (2005), “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.
- Özsas, B., (2002), “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 1-35.
- Sandvik, (1996), “Modern Metal Cutting-A Practical Handbook”, *Sandvik Coromant*, Sandviken, Sweden, V1: 18-24.

Sarı, H., (2008), “Frezelemede takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 12-13.

Scarr A.J.T., (1991), “Metrology and Precision Engineering”, *Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited*. New York.

Sherington, I., Smith, E.H., (1987), “Parameters for Characterizing The Surface Topography of Engineering Components”. *Proc. Instn Mech. Engrs*, Part C, 201 (c4), 297-306.

Song, B., Springer, J., (1999), “Study on surface and mechanical fiber characteristics and their effect on the adhesion properties to a polycarbonate matrix tuned by anodic carbon fiber oxidation”, *Composites*, Part A (30): 1351-1366.

Suresh, P.V.S., Venkateswara Rao, P., Deshmukh, S.G., (2002), “A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42: 675–680.

Tekaüt, İ., (2008), “Takım tezgahlarındaki kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı**, Ankara.

Thiele, J.D., Melkote, S.N., (1999), “Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 94: 216–226.

Thomas, M., Beauchamp, Y., Youssef, A.Y., Masounave, J., (1996), “Effect of tool vibrations on surface roughness during lathe dry turning process”, *Computers in Industrial Engineering*, 31: 637–644.

Thomas, T.R., (1981), “Characterizing of Surface Roughness”, *Precision Engng*, 1-3 (2): 97-104.

Thomas, T.R., (1982), “Rough Surface”, *Longman*, New York, 3(2), 8-10.

Thomas, T.R., Charton, G., (1981), “Variation of Roughness Parameters On Same Typical Manufactured Surfaces”. *Precision Engineering*, 3 (2): 91-96.

Toktaş, İ., (2003), “Mekanik sistemler için bir kavramsal tasarım modelinin geliştirilmesinde yapay sinir ağlarının kullanılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 24-26.

Tsai, Y.H., Chen, J.C., Lou, S.J., (1999), “An in-process surface recognition system based on neural networks in end milling cutting operations”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39: 583–605.

Turanlı, M., Güriş, S., (2000), “Temel İstatistik”, **DER Yayınları**, İstanbul, 273.

Varghese, S., Radhakrishnan, V., (1994), “A multi sensor approach to inprocess monitoring of surface roughness”, *Journal of Materials Processing Technology*, 44: 353–362.

Weisberg, S., (2005), “Applied Linear Regression 3rd ed.”, *John Wiley & Sons*, New Jersey, 47–68.

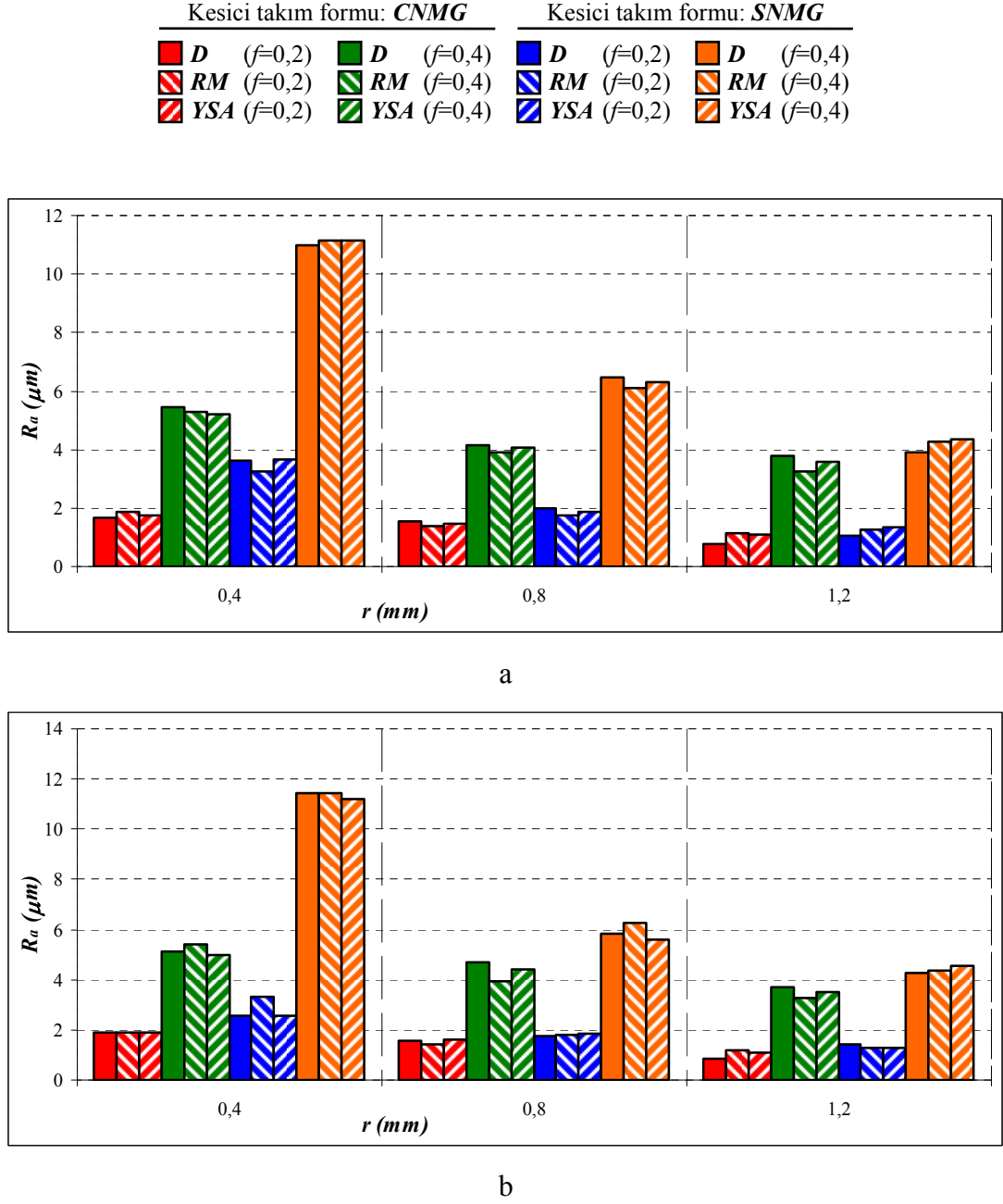
Wolfram, S., (2003), “Mathematica Book 5th ed.”, *Wolfram Media*, 84-88.

Yang, J.L., ,Chen, J.C., (2001), “A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations”, *Journal of Industrial Technology*, 17 (2): 2-8

Yim, D.Y., Kim, S.W., (1991) “Optimum Sampling for Ra Roughness Measurement”, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 205: 139-142,

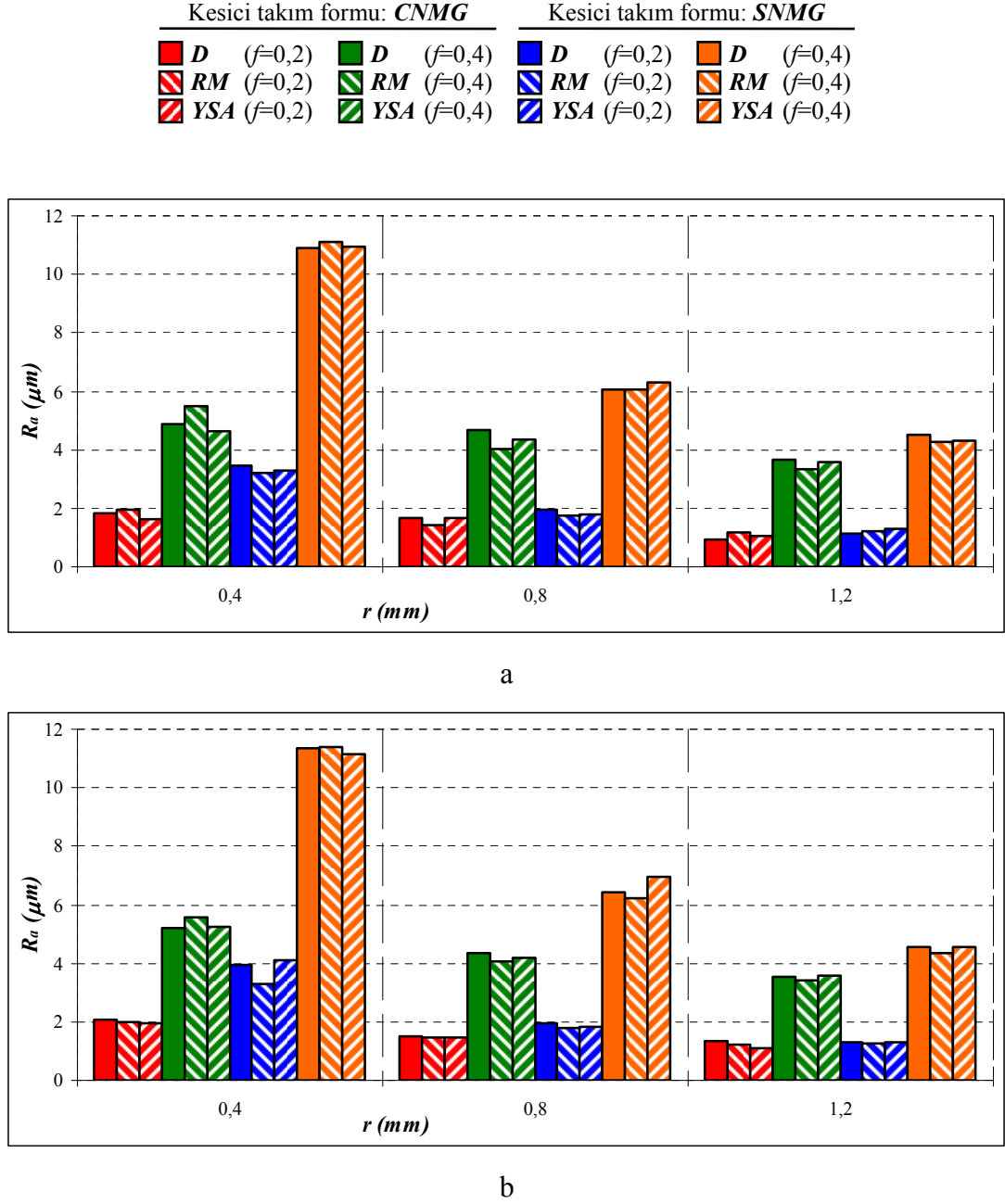
EKLER

EK – 1 PM talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



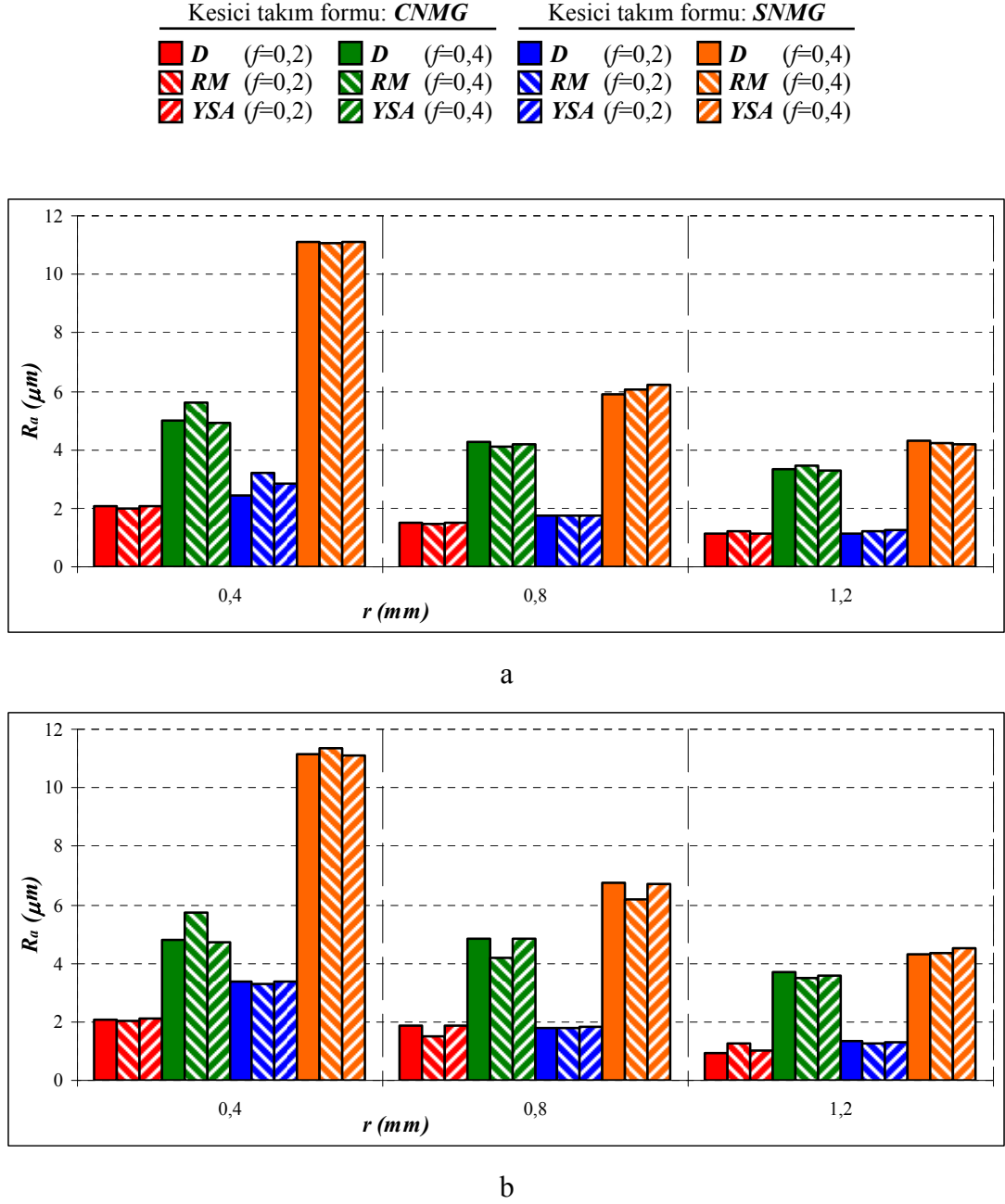
Şekil 1.1. PM talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 7^\circ$, $V = 300$ m/min)
 Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

EK – 1 (Devam) PM talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



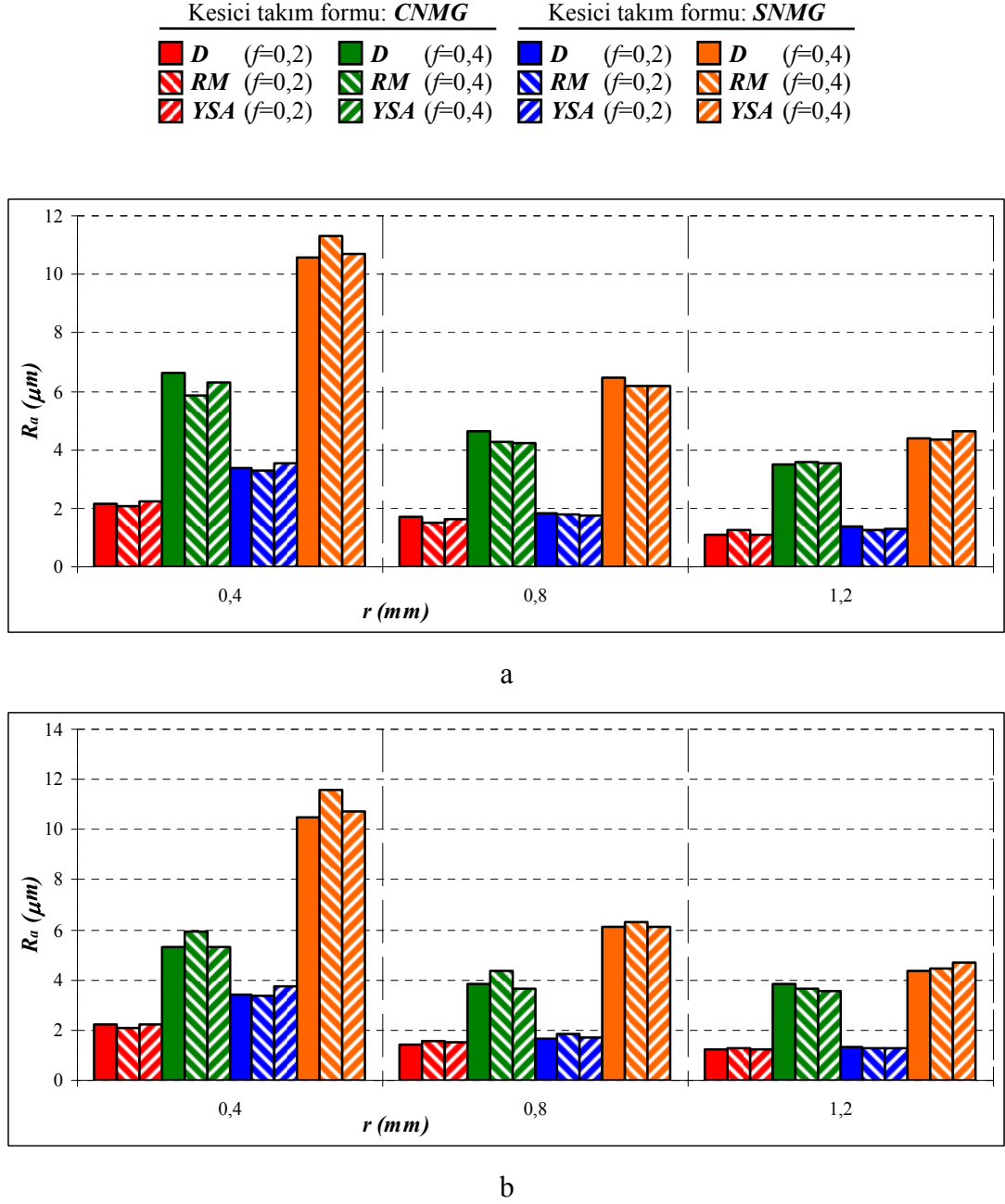
Şekil 1.2. PM talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 7^\circ$, $V = 350$ m/min)
 Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

EK – 1 (Devam) PM talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



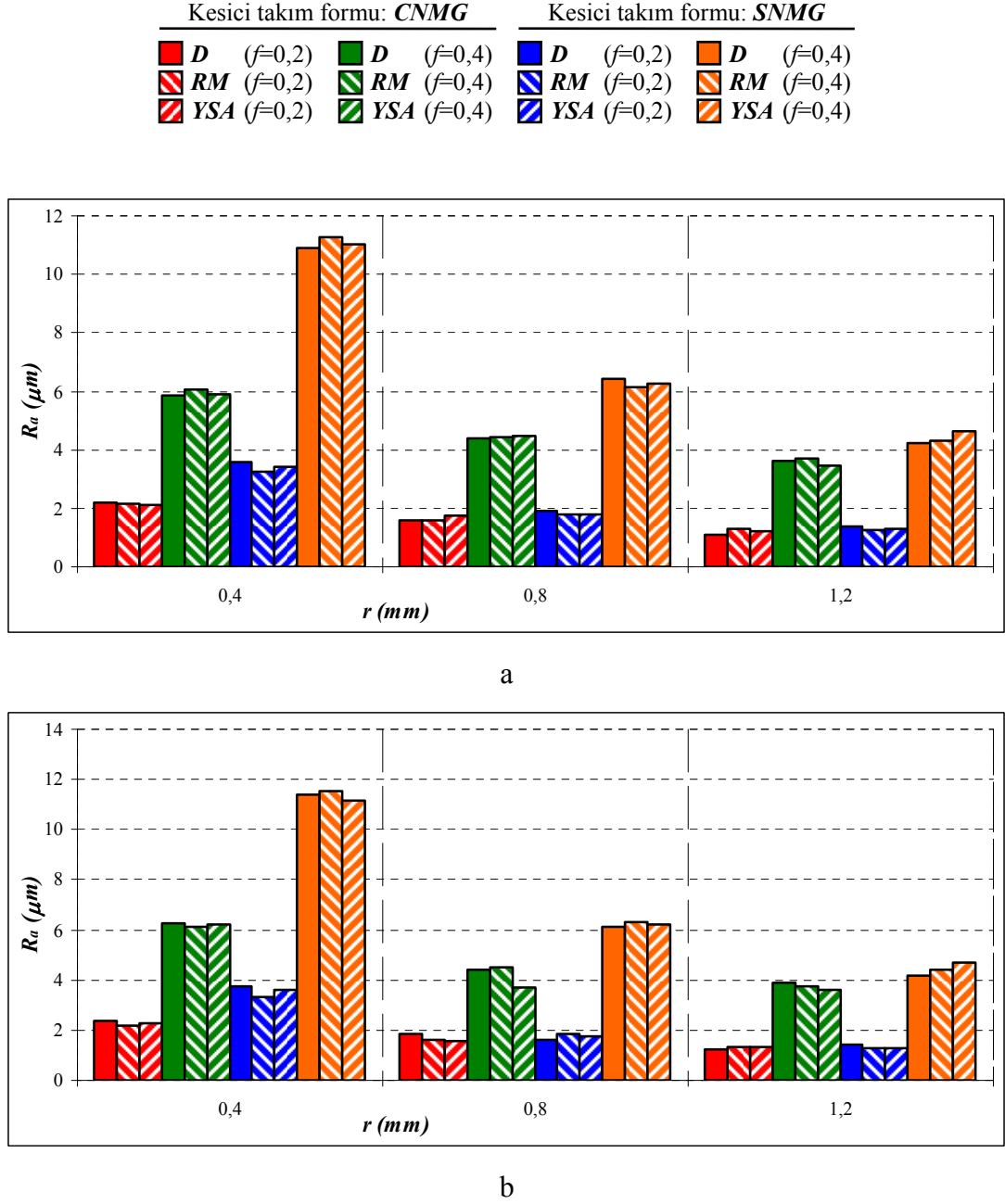
Şekil 1.3. PM talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 7^\circ$, $V = 400$ m/min)
 Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

EK – 2 QM talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



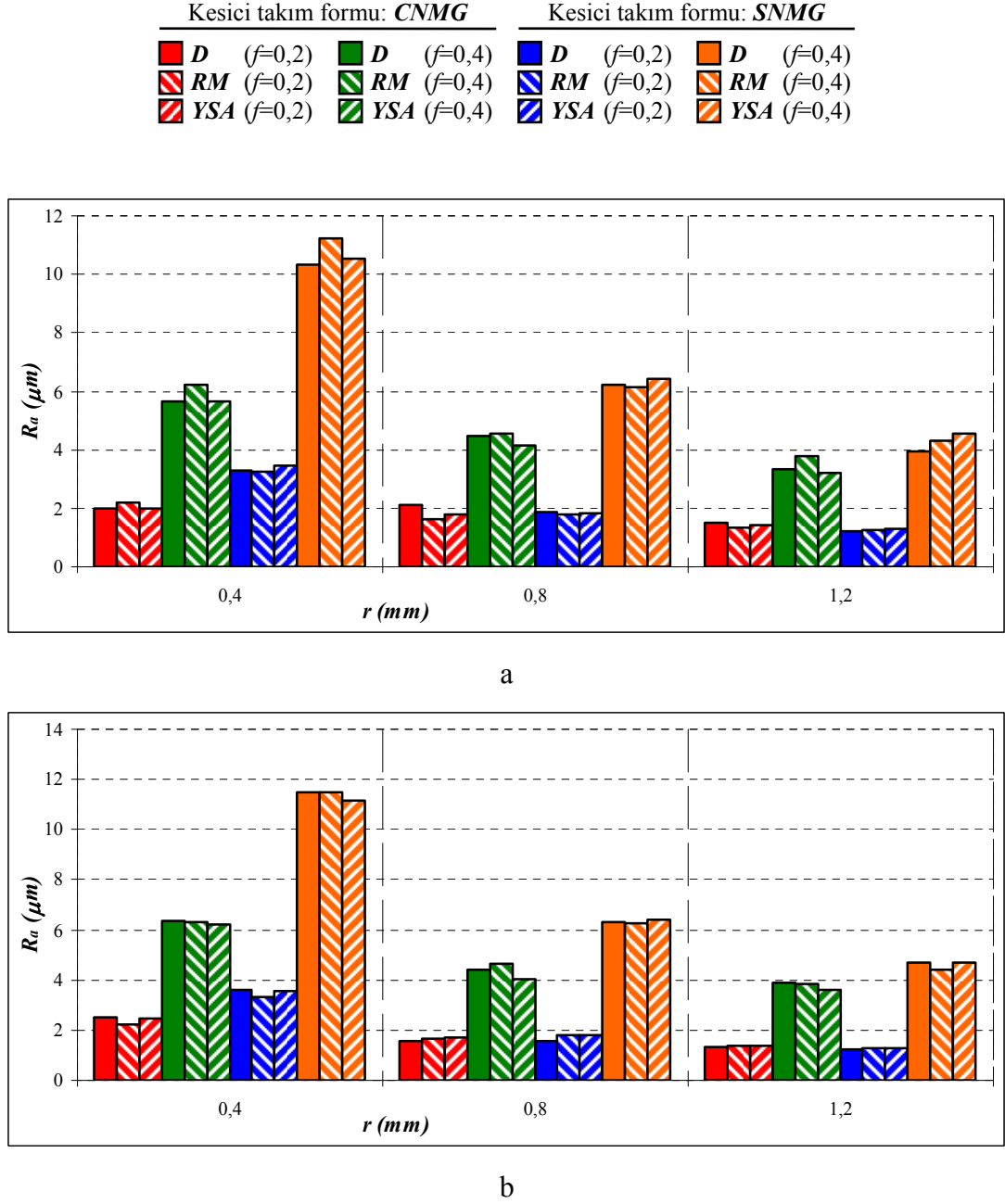
Şekil 2.1. QM talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 9^\circ$, $V = 300$ m/min)
Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

EK – 2 (Devam) QM talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



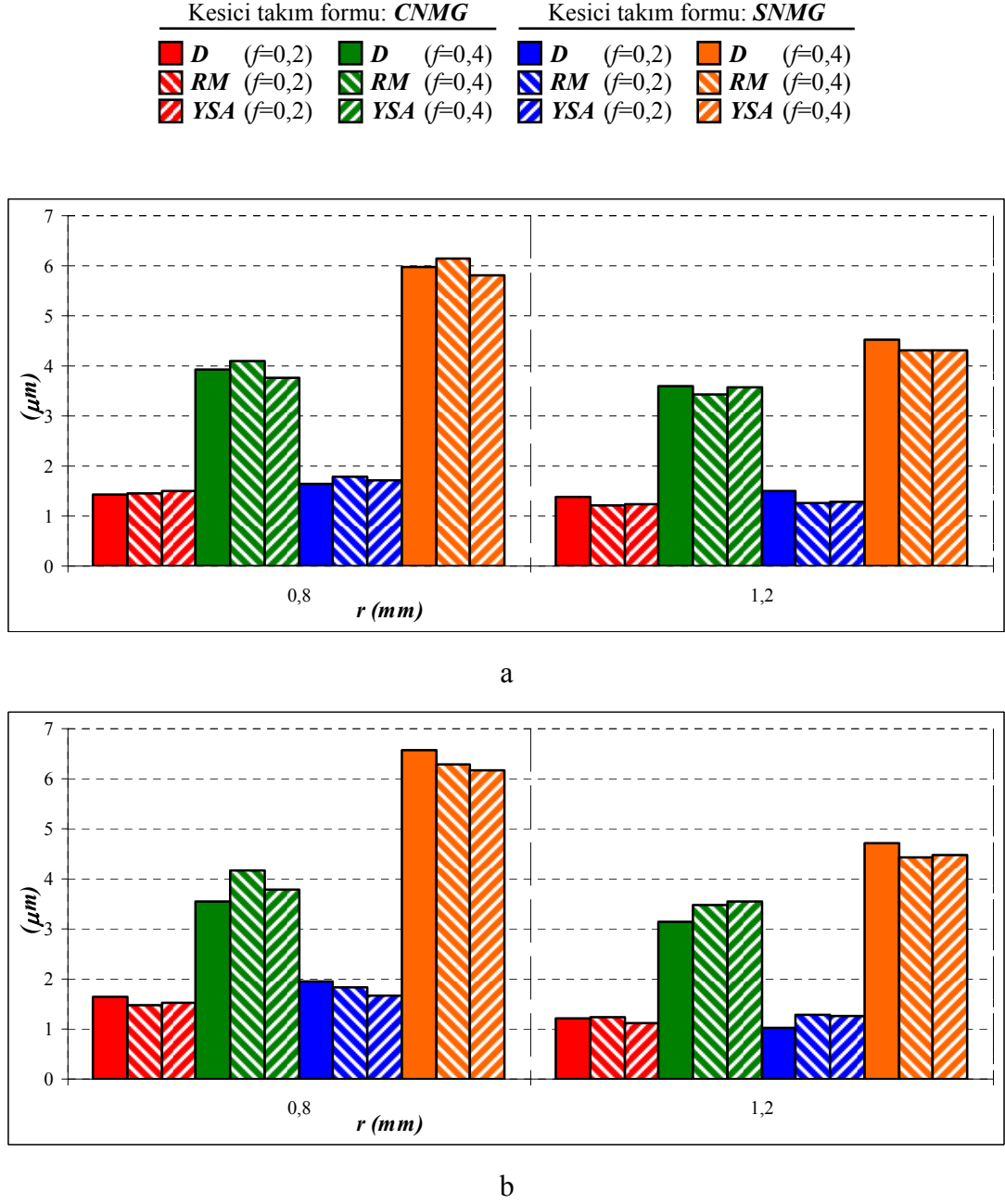
Şekil 2.2. QM talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 9^\circ$, $V = 350$ m/min)
 Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

EK – 2 (Devam) QM talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



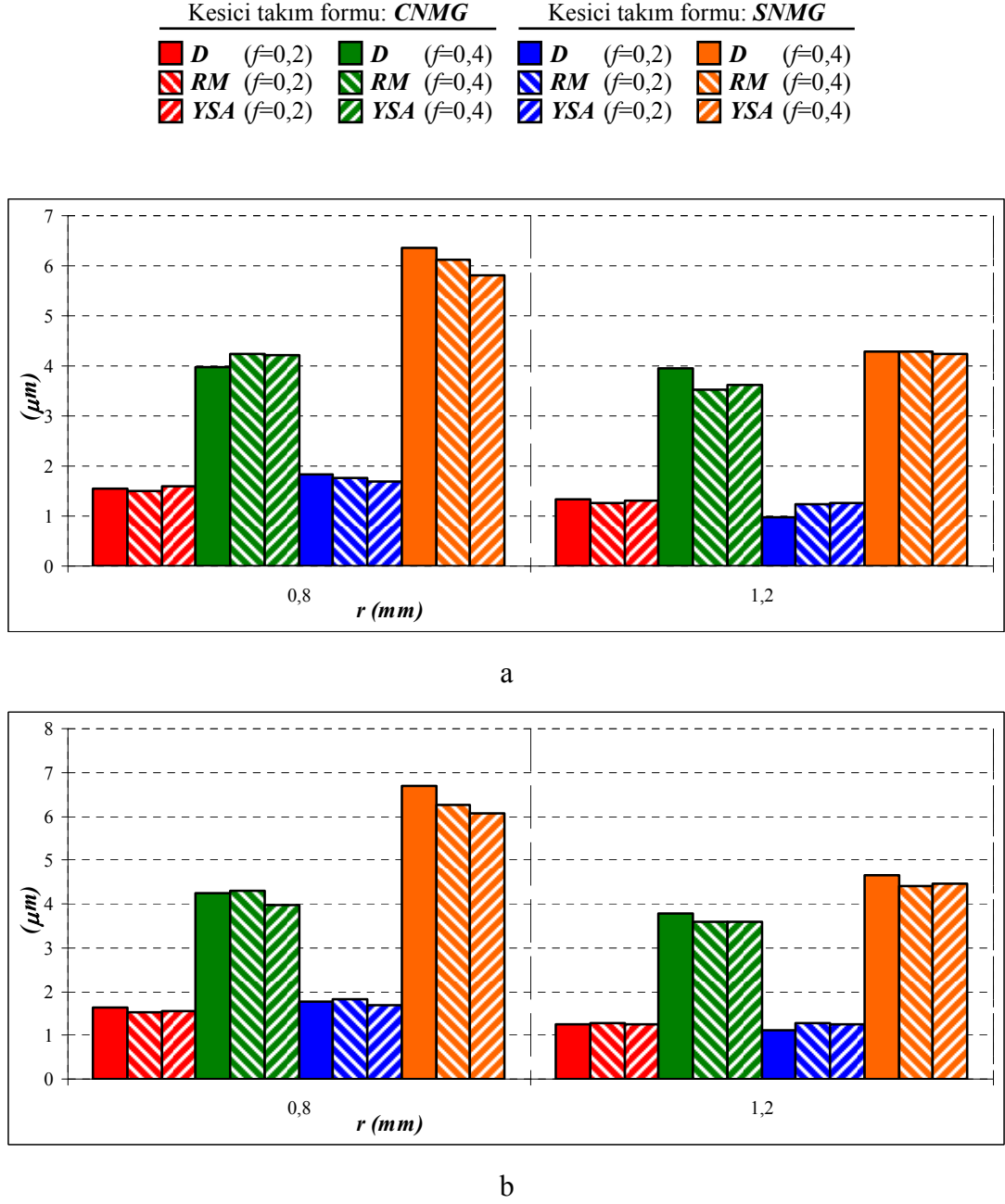
Şekil 2.3. QM talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 9^\circ$, $V = 400$ m/min)
 Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

EK – 3 PR talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



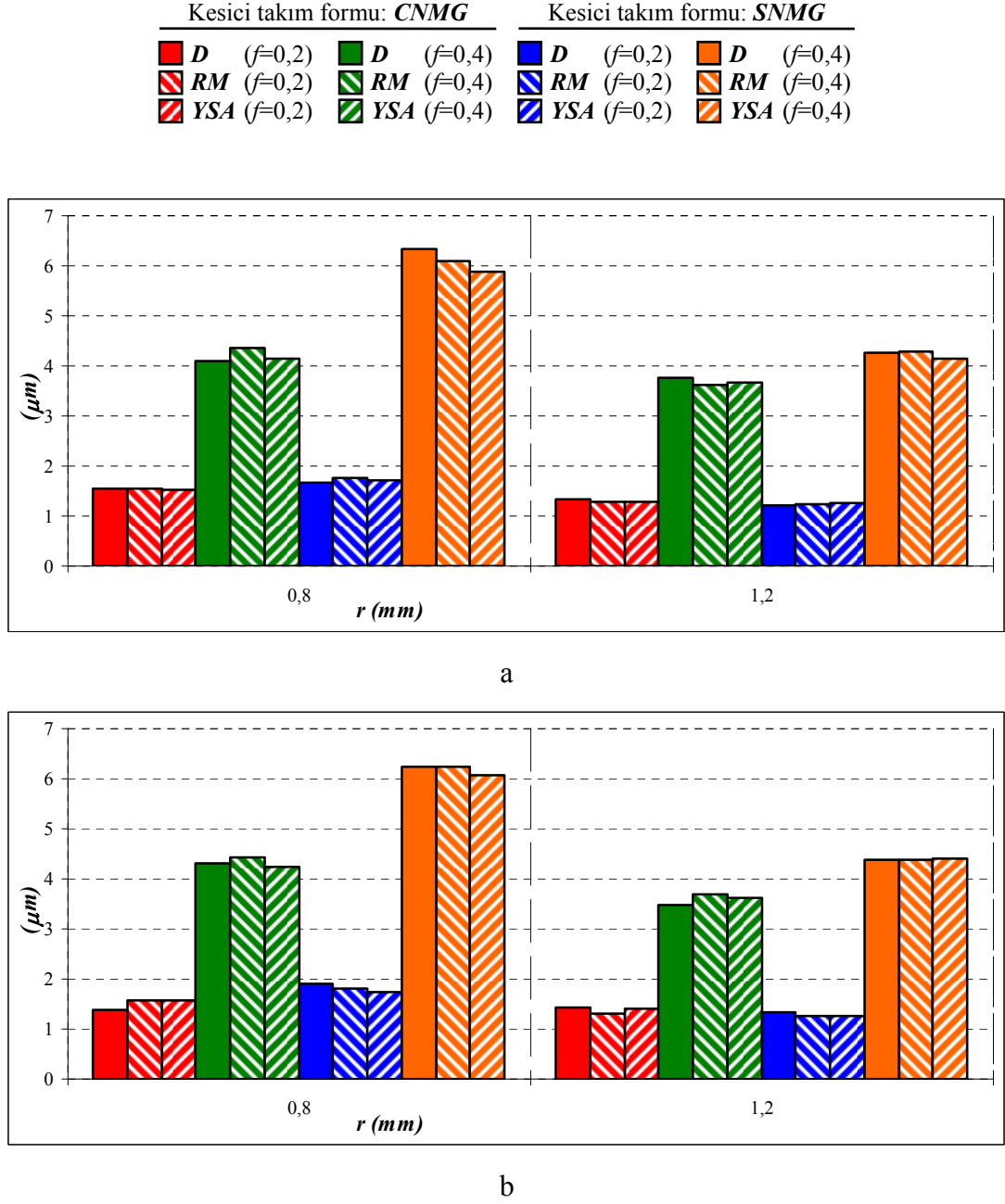
Şekil 3.1. PR talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 8^\circ$, $V = 300$ m/min)
Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

EK – 3 (Devam) PR talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



Şekil 3.2. PR talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 8^\circ$, $V = 350$ m/min)
Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

EK – 3 (Devam) PR talaş kırıcı formu için modelleme dağılımları



Şekil 3.3. PR talaş kırıcı formu için model sonuçları ($\gamma = 8^\circ$, $V = 400$ m/min)
Kesme derinliği: a) $a = 1$ mm b) $a = 2$ mm

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KİRİK, Ali
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 23.11.1982 - Mersin
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (388) 3114527
 e-mail : ali_kirik33@hotmail.com, akirik@nigde.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Bölümü	2005
Lise	Mersin Endüstri Meslek Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-??	Niğde Üniversitesi Bor M.Y.O.	Öğretim Görevlisi
2005-2007	Gazi Üniversitesi Atatürk M.Y.O.	Öğretim Görevlisi (Dışarıdan)

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yüzme, Satranç, CAD/CAM, Kitap, İmalat Teknolojisi.