

**Ç1018 ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE  
UYGUN KESİCİ TAKIMIN BELİRLENMESİ**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Selim Emre YENAL**

**Ç1018 ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE UYGUN KESİCİ  
TAKIMIN BELİRLENMESİ**

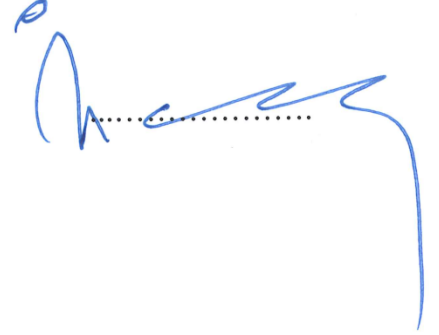
**Selim Emre YENAL**

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

**KARABÜK  
Nisan 2013**

Selim Emre YENAL tarafından hazırlanan “Ç1018 ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE UYGUN KESİCİ TAKIMIN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İsmail KARACAN  
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

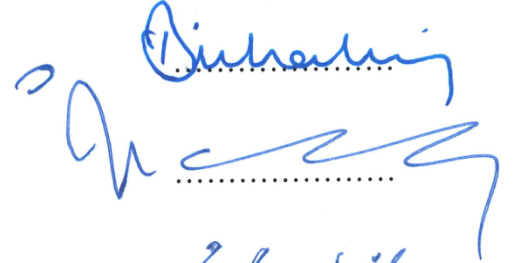


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17 / 04 / 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Birhan IŞIK (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. İsmail KARACAN (KBÜ)

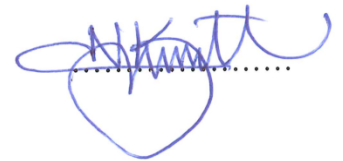
Üye : Doç. Dr. Süleyman SEMİZ (KBÜ)



.... / .... / 2013

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Selim Emre YENAL

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **Ç1018 ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE UYGUN KESİCİ TAKIMIN BELİRLENMESİ**

**Selim Emre YENAL**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. İsmail KARACAN**

**Nisan 2013, 66 Sayfa**

Bu çalışmada, Ç1018 çelik malzeme tornalama yöntemiyle işlenerek, kesici uç geometrisinin, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkileri incelenmiş ve bunlara bağlı olarak en uygun kesici takım belirlenmiştir. Deneyler, dört farklı kesme hızında (200, 240, 280 ve 320 m/dk), dört farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev) ve 2 mm sabit kesme derinliğinde soğutma sıvısı kullanılarak yapılmıştır. Kesici takım olarak, farklı uç geometrilerine sahip 0,8 mm uç yarıçapında, kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneysel sonuçlardan kesici takım uç geometrisinin, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli derecede etkili olduğu görülmüştür. İşleme deneylerinde kullanılan silici (wiper) ve silindirik (geleneksel) kesici uç geometrisine sahip kesici takımlar farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarına tabi tutulup, bu kesme parametrelerinde yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş, en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin silici uç geometrisine

sahip kesici takımla işlenen yüzeylerde olduğu görülmüştür. Uygulanan işleme parametrelerinin kesici takım üzerinde oluşturduğu yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Yığıntı talaş (YT) ve yığıntı katmanı (YK) oluşumunun en fazla görüldüğü kesici takımın, silindirik kesici uç geometrisine sahip kesici takım olduğu görülmüştür. İşleme deneylerinde kesici takımların işleme parametrelerine göre talaş formları incelenmiş ve en uygun talaş formlarının silici uç geometrisine kesici takımla elde edildiği görülmüştür. İşleme deneylerinin sonucunda Ç1018 çelik malzemenin işlenmesinde en uygun kesici takımın silici uç geometrisine sahip kesici takım olduğu anlaşılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen veriler bir yapay sinir ağının (YSA) eğitiminde kullanılmıştır. YSA modellemesinde giriş parametreleri; ilerleme miktarı (f), kesme hızı (Vc) ve çıkış parametresi; yüzey pürüzlülüğü (Ra) olarak belirlenmiştir. Bu modelleme ile yüzey pürüzlülük değerleri tahmin edilmiştir. YSA, Pythia programı kullanılarak tasarlanmıştır. Deneysel sonuçlarla YSA sonuçları karşılaştırıldığında, tasarlanan modelin başarılı bir şekilde uygulandığı ve deney sonuçlarına yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler** : Tornalama, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım geometrisi.

**Bilim Kodu** : 708.3.028

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DETERMINATION OF THE APPROPRIATE CUTTING TOOL ON THE MACHINING OF AISI 1018 STEEL**

**Selim Emre YENAL**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. İsmail KARACAN**

**April 2013, 66 pages**

In this study, AISI 1018 material was machined by turning. The influence of cutting tool geometry and cutting parameters on surface roughness and chip formation was investigated and the most suitable cutting tool was determined. The experiments are completed at four different cutting speeds (200, 240, 280 and 320 m/min), four different feed rates (0,1, 0,2, 0,3 and 0,4 mm/rev) and a constant depth of cut (2 mm) by using coolant. Coated carbide cutting tools of different geometries with 0,8 mm tip radius were used. From experimental results, it was seen that cutting tool geometry, feed rate and cutting speeds had significant effect on surface roughness. The lowest surface roughness values were obtained with wiper cutting edge geometry, on the other hand, the highest surface roughness values were obtained with cylindrical (traditional) cutting edge geometry. Tool with wiper and cylindrical (traditional) cutting edge geometries were subjected to different feed rates and cutting speeds, surface roughness values are measured and the lowest surface

roughness values are measured with wiper edge geometry cutting tool. The layer formed on cutting tool and chip formation was investigated with scanning electron microscope (SEM). Most of the chip and built-up layer formation were observed with cylindrical cutting edge geometry cutting tool. The experiments show that the most appropriate chip formations were obtained with wiper edge geometry cutting tool. As a result, it is understood that wiper edge geometry cutting tool is the most appropriate cutting tool for turning AISI 1018 material. After the experimental study, to predict the surface roughness, an artificial neural network (ANN) was developed using the experimental results. In modelling of ANN; feed rate (f) and cutting speed (Vc) were used as input parameters where the output parameter were surface roughness (Ra). The ANN was designed by using Pythia software.

**Keywords** : Machining, surface roughness, cutting tool geometry.

**Science Code** : 708.3.028



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalıőmalarım boyunca her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli hocam ve danıőmanım Doç. Dr. İsmail KARACAN ve burada ismini sayamadığım değerli hocalarıma sonsuz saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni yetiőtiren ve bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	5
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	5
BÖLÜM 3. ....	20
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	20
3.1. MALZEME VE EKİPMANLAR.....	20
3.1.1. Deney Malzemesi .....	20
3.1.2. Kesici Takım. ....	21
3.1.3. CNC Tezgahı .....	23
3.1.4. Yüzey Pürüzlülük Cihazı.....	24
3.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) .....	26
3.2. DENEYİN UYGULANIŞI.....	27
3.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ.....	27
3.4. KESİCİ TAKIMLARIN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İLE İNCELENMESİ .....	29

	<u>Sayfa</u>
3.5. TALAŞ FORMLARININ İNCELENMESİ .....	30
BÖLÜM 4. ....	32
DENEYSEL SONUÇLAR .....	32
4.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DENEY SONUÇLARI .....	32
4.1.1. İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi .....	33
4.1.2. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	35
4.1.3. Kesici Takım Uç Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	37
4.1.4. Talaş Formunun Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	40
4.2. YIĞINTI KATMANI (YK) VE YIĞINTI TALAŞ (YT) OLUŞUMU SEM (TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU) İNCELEMELERİ.....	41
BÖLÜM 5. ....	44
MODELLEME ÇALIŞMASI .....	44
5.1. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	44
5.1.1. Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar.....	45
5.1.1.1. Girdiler .....	46
5.1.1.2. Ağırlıklar .....	46
5.1.1.3. Toplama Fonksiyonu.....	46
5.1.1.4 Aktivasyon Fonksiyonları .....	46
5.1.2. Yapay Sinir Ağları Topolojisi.....	47
5.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi.....	49
5.1.4. Deney Sonuçlarının YSA ile Analizi ve Değerlendirilmesi .....	49
BÖLÜM 6. ....	56
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	56
KAYNAKLAR .....	59
ÖZGEÇMİŞ .....	66

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Deneş numunesi.....	21
Şekil 3.2. CNMG 120408-WF Silici uç geometrisine sahip kesici takım .....	22
Şekil 3.3. CNMG 120408-PR Silindirik uç geometrisine sahip kesici takım.....	22
Şekil 3.4. Silindirik ve silici (wiper) kesici uç geometrilerinin şematik olarak gösterilmesi .....	23
Şekil 3.5. Deneş düzeneği.....	24
Şekil 3.6. Mitutoyo Surfrest–211 ölçme ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm düzeneği .....	25
Şekil 3.7. Mitutoyo Surfrest–211 cihazı ölçüm cihazının izlediği yol.....	26
Şekil 3.8. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu .....	28
Şekil 3.9. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi .....	28
Şekil 3.10. Yüzey pürüzlülük ölçüm noktaları.....	29
Şekil 3.11. Silici (wiper) uç geometrisine sahip kesici takımda 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 320 m/dk kesme hızıyla işlenmesi sonucu yığıntı katmanı (YK) ve yığıntı talaş (YT) oluşumu .....	30
Şekil 3.12. Silindirik uç geometrisine sahip kesici takımda 0,4 mm/dev ilerleme miktarı ve 200 m/dk kesme hızıyla işlenmesi sonucu yığıntı katmanı (YT) ve yığıntı talaş (YT) oluşumu .....	30
Şekil 3.13. Silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla belirli kesme parametreleriyle yapılan işleme deneyleri sonrası talaş formları.....	31
Şekil 3.14. Silindirik uç geometrisine sahip kesici takımla belirli kesme parametreleriyle yapılan işleme deneyleri sonrası talaş formları.....	31
Şekil 4.1. Silici (wiper) uç geometrisine sahip kesici takım kullanılarak yapılan işleme deneylerinde ilerleme miktarlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi.....	33
Şekil 4.2. Silindirik uç geometrisine sahip kesici takımı kullanılarak yapılan işleme deneylerinde ilerleme miktarlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi.....	34
Şekil 4.3. Silici (wiper) uç geometrisine sahip kesici takımı kullanılarak yapılan işleme deneylerinde kesme hızlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi.....	35
Şekil 4.4. Silindirik uç geometrisine sahip kesici kullanılarak yapılan işleme deneylerinde kesme hızlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi ..	36

Şekil 4.5.	200 m/dk kesme hızında ve 2 mm sabit kesme derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).....	38
Şekil 4.6.	240 m/dk kesme hızında ve 2 mm sabit kesme derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).....	38
Şekil 4.7.	280 m/dk kesme hızında ve 2 mm sabit kesme derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).....	39
Şekil 4.8.	320 m/dk kesme hızında ve 2 mm sabit kesme derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) .....	39
Şekil 4.9.	Silindirik uç kesici uç geometrisine sahip kesici takımla belirli kesme parametreleriyle yapılan işleme deneyleri sonrası talaş formları.....	40
Şekil 4.10.	Silici (wiper) kesici uç geometrisine sahip kesici takımla belirli kesme parametreleriyle yapılan işleme deneyleri sonrası talaş formları.....	41
Şekil 4.11.	Silindirik uç geometrili kesici takımında oluşan YK ve YT görüntüleri....	42
Şekil 4.12.	Silici uç geometrili kesici takımında oluşan takım aşınması, YK ve YT görüntüleri.....	43
Şekil 5.1.	Temel yapay sinir ağı hücresi .....	45
Şekil 5.2.	Tam bağıntılı çok katmanlı ağ yapısı.....	48
Şekil 5.3.	Tasarlanan YSA ağ yapısı.....	51
Şekil 5.4.	Silici (wiper) uç geometrisili kesici takımların Deney-YSA sonuçlarının kare diyagramı.....	53
Şekil 5.5.	Silindirik uç geometrili kesici takımların Deney-YSA sonuçlarının kare diyagramı.....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Ç1018 çelik malzemenin kimyasal bileşimi .....	20
Çizelge 3.2. Ç1018 çelik malzemenin fiziksel özellikleri .....	20
Çizelge 3.3. OKUMA CC15-2S CNC torna tezgahı teknik özellikleri .....	23
Çizelge 3.4. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.....	25
Çizelge 3.5. Taramalı elektron mikroskopunun teknik özellikleri.....	26
Çizelge 4.1. Deney malzemesinin kaplamalı karbür kesici takımlarla tornalanması sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ...	32
Çizelge 5.1. Silici (wiper) uç geometrili kesici takım yüzey pürüzlülüğü Deney-YSA sonuçları .....	52
Çizelge 5.2. Silindirik uç geometrili kesici takım yüzey pürüzlülüğü Deney-YSA sonuçları .....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$a$	:	Kesme derinliği
$f$	:	İlerleme miktarı
$l$	:	Örnekleme uzunluğu
$\gamma$	:	Talaş açısı
$R^2$	:	Belirlilik katsayısı
$R_a$	:	Ortalama yüzey pürüzlülüğu
$R_{max}$	:	Maksimum yüzey pürüzlülüğu
$R_{sk}$	:	Genlik dağılım eğrisi
$t$	:	Deforme edilmemiş kesme derinliği
$V_c$	:	Kesme hızı
$\sigma_t$	:	Çekme mukavemeti
$\sigma_a$	:	Akma mukavemeti
$V$	:	Kesme mukavemeti
$E$	:	Elastiklik modülü
$\epsilon$	:	Yüzde uzama

## KISALTMALAR

AISI	:	Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü
HB	:	Brinel sertlik değeri
BUE	:	Yığıntı talaş (Built-up edge)
CBN	:	Kübik bor nitür
CVD	:	Kimyasal buhar çökertme
CNC	:	Bilgisayar destekli kontrol (Computer Numeric Control)
Ds	:	Süneklik
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
YSA	:	Yapay sinir ağı
MSE	:	Ortalama hataların karesi
HSS	:	Yüksek hız çeliği
RSM	:	Tepki yüzeyi metodu (Respond Surface Methodology)
SVR	:	Destek kuvvet regresyonu (Support Vector Regresion)
AI	:	Yapay zeka
PSE	:	Öngörülen hatanın karesi
BM	:	Bulanık mantık
TFT	:	Tam faktöriyel tasarım
VB	:	Yüzey aşınması
ANFIS	:	Bulanık sinirsel sınıflayıcı
ANOVA	:	Varyans analizi



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Karbonlu çelikler, yapılarında az miktarda mangan, silisyum, kükürt ve fosfor gibi çelik üretim yöntemlerinden gelen elementler bulunduran demir karbon alaşımlarıdır. Kullanım alanları yapı ve imalat sektörü olduğundan ötürü imalat çelikleri olarak da bilinirler.

Karbonlu çeliklerin tüm özellikleri, içerdikleri karbon miktarına bağlı olarak, sahip oldukları yapılarla doğrudan ilişkilidir. Artan karbon miktarı ile çeliklerde sertlik, akma ve çekme dayanımı artarken, süneklik (% uzama ve % kesit daralması) ve darbe dayanım özellikleri azalmaktadır. Karbon miktarının artışı (bu özelliklere bağlı olarak) çeliklerin plastik şekil alma kabiliyetlerinde düşürücü rol oynamaktadır. Buna karşın martenzitik dönüşümde çok önemli ve etkili bir element olarak, çeliklerin su verme adını verdiğimiz mekanizma ile sertleştirilebilmelerini mümkün kılmaktadır. Karbon miktarındaki artış çeliğin su alma kabiliyeti ile kaynak kabiliyeti üzerine ters etkide bulunmaktadır.

Düşük karbonlu çelikler, karbon içeriğine göre üç grup içerisinde ayrıma tabi tutulabilmektedirler. Karbon çelikleri karbon (C) yüzdesine bağlı olarak ;

- Düşük karbonlu çelikler (C miktarı 0,20 den az),
- Orta karbonlu çelikler (C miktarı 0,20 – 0,60 arasında),
- Yüksek karbonlu çelikler (C miktarı 0,60 üzerinde).

Karbon çelik hammaddeler genellikle ya levhalar halinde veya rulo olarak bulunur. Rulo malzeme düzleştirilerek istenen şekle getirilebileceği gibi çelik ise sıcak iken veya soğutulduktan sonra işlem den geçirilerek istenen kalınlığa getirilir.

Karbon çeliği aşınmaya karşı en eğilimli olan çelik çeşididir. Bu yüzden de en az maliyeti olan ve en çok kullanılan perfore edilmiş metal ürünlerin hammaddesidir. Hammaddenin işlenmesindeki farklılıkları ürünlerin değişik maliyet, kalite ve mekanik özelliklerinde olmasına sebep olur.

Düşük alaşımlı çelikler, alaşım elemanlarının ağırlık olarak toplam miktarı % 5 veya % 5'ten az çeliklerdir.

Ç1018 düşük karbonlu çelik malzeme piyasada en çok kullanılan çelik malzemelerden biridir. Ç1018 çeliğinin bu kadar yaygın olmasının sebeplerinden bazıları şunlardır ;

- Kolay işlenebilirliğe sahip olması,
- Maliyetinin düşük olması,
- Tavlanmış haldeyken kolaylıkla şekil verilebilmesi,
- Bütün kaynak yöntemleriyle kaynak yapılabilmesi,
- Preslenebilme kabiliyetinin kolay olması,
- 42 HRC sertliğe kadar sertleştirilmesi mümkündür.

Talaşlı imalat işlemlerinde en önemli husus, işlemin mümkün olan en düşük maliyetle, arzu edilen kalitede gerçekleşmesidir. Endüstride tormalama işlemi en önemli üretim süreçlerinin başında gelir. Tormalama sonucu elde edilmiş parçaların kalitesi, toplam ürün kalitesini etkileyen bir faktördür. Dolayısıyla bu tür parçalarda kalite seviyesini yükseltmek zorunlu hale gelmiştir. İyi işlenebilir bir malzemenin kısa sürede, yüksek talaş hacmiyle işlenmesi ve yeni oluşan yüzeyin kaliteli olması hedeflenir [1]. Tormalama işlemiyle üretilen ürünlerde aranan özellikler içinde yüzey pürüzlülüğü, malzemenin maliyetini, kalitesini, aşınma direncini, yorulma mukavemetini, sürtünme katsayısını, yağlamayı ve korozyon direncini etkileyen başlıca etkidir. Bu yüzden birbirleriyle çalışan yüzeylerin, hatta birbirleriyle hiç ilişkisi olmayan yüzeylerin yüzey kalitelerinin değerlendirilmesine ve yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Sadece operatörün tecrübesi gözetiminde yapılacak işlemlerde, yetersiz bilgi ve beceri eksikliği düşünülünce ulaşılmak istenen yüzey pürüzlülüğü değeri hayal olacaktır. Bu yüzden istenen yüksek performanslı kesme ve yüzey pürüzlülüğüne ulaşabilmek, tecrübenin yanında uygun kesme koşullarının sağlanmasıyla mümkündür. Bu amaçla günümüzde imalat sanayi yüzey pürüzlülüğü karakteristiği ve değerini tahmin etmek için yoğun çaba sarf etmektedirler.

Yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi için kullanılan en yaygın yöntemler şunlardır;

- Çoklu regresyon analizi,
- Matematiksel modelleme,
- Bulanık küme tabanlı teknikler,
- YSA modellemesi.

Günümüzde bilgisayar teknolojisi her alanda olduğu gibi talaşlı üretimin tasarımdan, üretimine ve satışına kadar geçen süreçte etkin olarak kullanılmaktadır. Üretim şartlarının bilgisayar ortamında tasarımı, analizi ve bilgisayar kontrollü tezgahlarda ürünün en hassas biçimde imal edilmesi gibi aşamaların tümünde en iyi üretim şartlarını elde etmek amacı ile bilgisayarların hesaplamadaki hızlarından faydalanılmaktadır. Gelişen yapay sinir ağları (YSA) talaşlı üretimde son on yılda önemli bir yer almış olup, tasarım ve analiz programlarının geliştirilmesinde, işleme şartlarının optimizasyonunda ve simülasyonunda, işleme anında gelişen problemlerin izlenmesinde ve önlenmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Talaşlı imalatta işleme şartlarının çok karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkiler içinde olması, matematiksel teorilerin gelişim sürecini güçleştirmektedir. Ancak YSA metodu daha kısa sürede bu karmaşık ilişkilere en iyi çözümler üretebilme özelliği, talaşlı imalatta yapılan çalışmalarda yoğun olarak tercih edilmesine sebep olmuştur.

Bu çalışmada, Ç1018 çelik malzemenin tornalama yöntemiyle işlenmesiyle, kesici kesme parametrelerinin, kesici takım uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkileri incelenerek ve bunlara bağlı olarak en uygun kesici takım seçimi amaçlanmıştır. Bunun için CNC torna tezgahında, dört farklı kesme hızı

(200, 240, 280 ve 320 m/dk), dört farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev) ve kesme sıvısı yardımı ile Ç1018 çeliği üzerinden 2 mm derinliğinde talaş kaldırılarak 32 numune işlenmiş bu işlemden sonra yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo Surf-test-211 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Kesici takım olarak, silici ve silindirik kesici uç geometrisine sahip, 0,8 mm uç yarıçapında, kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlar farklı kesme ve ilerleme hızlarına tabi tutulup, yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş, en düşük yüzey pürüzlülük değerlerini veren kesici takım tespit edilmiştir. Uygulanan işleme parametrelerinin kesici takım üzerinde oluşturduğu yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. İşleme deneylerinde kesici takımların işleme parametrelerine göre talaş formları incelenmiştir. Yapılan deneylerde elde edilen veriler bir yapay sinir ağının (YSA) eğitiminde kullanılmıştır. YSA, *Pythia* programı kullanılarak tasarlanmıştır. Deneysel sonuçlarla YSA sonuçları karşılaştırıldığında, tasarlanan modelin deney sonuçlarıyla olan tutarlılığına bakılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

#### 2.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çakır ve Işık, talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmin edilebilmesi için ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı olan bir model geliştirmişlerdir. Takım çeliklerinin (sıcak iş, soğuk iş, kalıp) yüzey pürüzlülüğünü önceden tahmin etmek amacıyla kurulan bu model ile belirli kesme parametreleri (V, f, a) için yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerini önceden tahmin etmenin mümkün olduğunu tespit etmişlerdir. Teorik olarak bulunan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Teorik sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasında uygunluk olduğu görülmüştür. Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü üzerine, ilerleme ve kesme derinliğinin olumsuz, köşe radyüsünün artmasının ise olumlu etki yaptığı gözlenmiştir. Çalışma yüzey pürüzlülüğünün ancak ince tornalama işlemlerinde bir önem arz etmesi nedeniyle ince tornalama için geçerli kesme parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada hız çeliği için geçerli kesme hızlarında çalışılması nedeniyle kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde herhangi bir etkisi tespit edilememiştir [1].

Davim ve ekibi, yaptıkları çalışmada sementit karbür uç kullanılarak makine çeliğinin işlenmesi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için deneyler yapmışlardır. Deneyler Taguchi L27 ortogonal dizisine göre yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre YSA ile modeller geliştirilmiştir. İlerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliği girdi, yüzey pürüzlülüğü çıktı olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü azaltmak için geliştirilen YSA modelleri sonucunda en fazla etkiye kesme hızı ve ilerleme oranı en düşük etkiye ise kesme derinliği sahiptir. Yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının artması ve ilerleme oranının

azalmasıyla doğru orantılı olarak azalma eğilimindedir. En az yüzey pürüzlülüğü düşük ilerleme miktarı ve yüksek kesme hızının birleşimi ile elde edilmiştir. Oluşturulan tahmini modeller sonucu elde edilen değerler ile gerçek deney sonuçları arasında uyum saptanmıştır [2].

Choudhury ve ekibi, tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün tahmininde kurdukları yapay sinir ağları modelini Taguchi deney tasarım yöntemi ile elde edilmiş verilerin regresyon analizi sonucu elde edilen pürüzlülük, takım aşınması ve kesme sıcaklığı sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğini giriş katmanını oluşturduğu modelde de ölçülen pürüzlülük, takım aşınması ve kesme sıcaklığı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deneysel veriler ve kurulan model karşılaştırıldığında yan yüzey takım aşınması % 5,66 ortalama hataların karesi (MSE) hassasiyetinde tahmin edilmiş olup, bu hassasiyet kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğünde % 2 seviyesindedir. Bu çalışmada EN-24 çeliği ve HSS kesici uç kullanılmıştır. Her çıkış fonksiyonu için ayrı ayrı kurulan yapay sinir ağları modelinde 3 giriş neronu, 7 gizli nöron ve 1 çıkış neronu bulunmakta olup takım aşınması için oluşturulan model yaklaşık 120 dakika süren iterasyon sonrasında çıkış nöronlarının toplam kareler hatası 0,01 olduğunda durdurulmuştur [3].

Raj ve ekibi, yaptıkları çalışmada takım aşınmasının tahmininde YSA'yı kullanmışlardır. Geri yayımlı YSA modelinde kullanarak, giriş değişkeni olarak kesme sırasında oluşan kuvvetleri kullanmışlardır [4].

Onwubolu, çalışmasında talaşlı işlemede önceden belirlenen model ve yüzey pürüzlülük değerlerinin sinir ağı yöntemi ve farklı metotların kullanılmasıyla elde edilebilmesi amaçlamıştır. Kesme takımı olarak yüksek hız çeliği (HSS) kullanılmıştır. Kullanılan kesme hızı, ilerleme ve kesme derinlik değerlerinin yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediğini saptamıştır [5].

Al-Ahmari, talaş kaldırma operasyonlarında sert metallerin işlenebilirliği incelenmiştir. Deney numunesi olarak AISI 302 kullanılmıştır. Sonuçların alınmasında sinir ağı yöntemi kullanılmıştır. Takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve

kesme hızları incelenmiştir. Düşük kesme hızlarında takım ömrünün arttığını, yüzey pürüzlülüğünün ise azaldığını belirlemiştir [6].

Lee ve Tarng, talaş kaldırma operasyonlarında kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, kesme gücü ve takım ömrüne etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmayla maksimum üretim veya minimum maliyet amaçlanmıştır. Deneyde sinir ağı yöntemi kullanılmıştır. Kesme hızının artırılmasıyla; yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü azalmıştır. İlerlemenin artmasıyla; yüzey pürüzlülüğü artmış üretim süresi kısalmıştır. Kesme derinliğinin artmasıyla; takım ömrünün azaldığını ve üretim sürelerinin düştüğünü saptamışlardır [7].

Gupta, yapmış olduğu çalışmasında tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme ve kesme zamanına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve ihtiyaç duyulan gücün hesaplanmasını amaçlamıştır. Toplam 27 adet deney sonrasında elde ettiği verileri RSM (Respond Surface Methodology), YSA ve SVR (Support Vector Regresion) yöntemi kullanarak modellemiştir. Hataları mutlak hata olarak bulmuşlar ve modellerin hatalarının kıyaslamasını yapmışlardır. Sonuçta geliştirilen modellerden YSA ve SVR'nin sonuçlarının RSM sonuçlarından daha iyi olduğu kanısına varmıştır [8].

Chavoshi ve Tajdar, yapmış oldukları çalışmalarında sertlik (H) ve kesme hızı değişkenleriyle AISI 4140 çeliğini CBN kesici uçla sert tornalama işlemiyle işleyerek Ra değerinin değişimini gözlemlemiştir. Toplamda on sekiz deney yapmışlar. İlerleme ve kesme derinliğini sabit almışlardır. Regresyon ve YSA ile oluşturulan optimum model yüzey pürüzlülüğü tahmininde kullanmışlardır. Sonuç olarak sertlik tahmininin doğruluğu kabul edilebilir fakat kesme hızı tahmini istenilen doğrulukta bulmuşlardır. Sertliğin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır [9].

Derakhshan ve Akbari, yapmış oldukları çalışmalarında sert tornalama işleminde iş parçası sertliği ve kesme hızının CBN takım ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. AISI 4140 malzeme kullanmışlardır. Malzemeyi beş farklı sertliği 45, 50, 55, 60, 65 HRC sertlik değerinde iki farklı takımla işlemişlerdir.

Toplam 30 adet deney yapmışlardır. Girdi olarak takım tipi, sertlik değeri, motor devri ve kesme hızı; çıktı olarak Ra ve Rz değerlerini incelemişlerdir [10].

Sharma ve ekibi, çalışmalarında işleme değişkenleri kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün tornalama işleminde farklı kesme parametreleri yaklaşma açısı, hız, ilerleme ve kesme derinliği ölçülmüştür. Deneylerle gözlenen veriler YSA model yapısında kullanıldı ve analiz edildi. Elde edilen modelle deneysel veriler ve sonuçlar test edilerek ortaya konulmuştur [11].

Jayant ve Kumar, deney malzemesi olarak sertleştirilmiş çelik AISI 4140 karbür kullanmışlardır. Elde edilen veriler varyans analizi (ANOVA) ve Taguchi Metodu yardımıyla değerlendirerek en uygun kesme parametreleri bulmuşlardır [12].

Singh ve Rao, finiş sert tornalama işleminde takım geometrisi ve kesme şartlarının dayanıklı çelik AISI 52100 (58 HRC) malzemede yüzey pürüzlülük davranışını gözlemlemişlerdir. Sisteme girdi olarak kesme hızı, ilerleme, yan yüzey açısı ve uç radyüsü almışlardır. Çıktı olarak ise tek değer Ra almışlardır. 34 full faktöriyel dizayna göre 81 deney yapmışlardır. Orta kısım seramik karışımı, alüminyum oksit ve titanyum karbitten yapılmış (SNGA), farklı uç radyüsleri ve farklı yan açılarının etkilerine sahip kesici takımlar kullanmışlardır. Son yüzeyde ilerleme baskın faktör olarak tanımlanır, uç radyüsü ve kesme hızı bu faktörü izler. Yan açı son yüzeyde daha az etkiye sahiptir, uç yarıçapı ve yan açının etkileşimi ise oldukça önemlidir. Matematiksel yazılım olarak MATLAB programını kullanmışlardır. Analizlerde varyans (ANOVA) analizini kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için matematiksel model olarak RSM (Response Surface Methodology) geliştirmişlerdir [13].

Kirby ve Chen, yapmış oldukları çalışmalarında tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü bulanık mantık temelli tahminini geliştirdiler. Amaçları bulanık mantık temelli yüzey pürüzlülüğü tahmin sisteminde (FN-SRP) iş parçası titreşim bileşiminde kullanılmaktadır. Sistem girdileri olarak ilerleme, kesme hızı ve yüzeysel titreşim; çıktı olarak ise Ra değeri ölçüldü. Bir dizi onaylama çalışmasından sonra sistemin % 95 civarlarında doğruluk gösterdiğini belirtmişlerdir [14].



Zhong ve ekibi, yapmış oldukları çalışmalarında tornalama işleminde takım sınıfı, iş parçası, takım uç yarıçapı, boşluk açısı, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarını giriş olarak almışlar; çıkış olarak da Ra ve Rt değerlerini yapay sinir ağı ile modellemişlerdir. Elde edilen değerlerin doğruluğunu varyans (ANOVA) analizi ile tespit etmişlerdir. Test verileri ile tahmin verileri teorik verilerle kıyaslamışlardır. Yapay sinir ağının Ra ve Rt değişkenlerinin tahmininde tornalama işleminde iyi bir sonuç sağladığını görmüşlerdir [15].

Abhuri ve Dixit, yapmış oldukları çalışmalarında tornalama işleminde ıslak ve kuru ortamda yüzey pürüzlülüğü için bilgi sistemli bir model geliştirdiler. Giriş verisi olarak kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve radyal titreşim; çıkış olarak da Ra değerini gözlemlerler. HSS ile yumuşak çelik ve karbit takımla deneyler yapıldı. Elde edilen veriler kullanılarak NN ve fuzzy ile sistem modellediler [16].

Kohli ve Dixit, yapmış oldukları çalışmalarında bir ivmeölçer vasıtasıyla radyal yöndeki titreşimi ölçerek yapay sinir ağı yöntemiyle yüzey pürüzlülük tahminini amaçlamışlardır. Ağı geri yayılım algoritması kullanarak eğitmişlerdir. Bu metod mevcut küçük eğitim ve test veri kümelerinin ölçekli kullanılarak yüzey pürüzlülüğünün doğru tahmin edilebileceğini ortaya koymuşlardır [17].

Risbood ve ekibi, tarafından yapılan çalışmada sıcak haddelenmiş % 0,35 C içeren 130 BSD sertlikteki çeliğin yapay sinir ağı yardımıyla yüzey pürüzlülüğü tahmini etmişlerdir. Sisteme girdi değişkeni olarak kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, takım tutucu üzerindeki artan radyal titreşimlerin ve kesme sıvısı değerlerini almışlardır. Çıktı olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir [18].

Benardos ve Vosniakos, çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün genel imalatta ürün kalitesi, zaman kısıtlamaları, maliyet ve başarı açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Her bir yaklaşımının avantajı ve dezavantajı, geçmişteki, günümüzdeki ve gelecekteki eğilimlerini tartışmışlardır. Bu yaklaşımlara dayalı olarak işleme kuramı, deneysel araştırma, deney ve yapay zeka (AI) olarak

sınıflandırılmıştır. Sonuçta üretilen yararlı proseslerin daha verimli rekabetçi ve aynı zaman içinde herhangi bir iş parçasının yeniden işlenmesini azaltmışlardır [19].

Arbizu ve Perez, çalışmalarında giriş değeri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği almışlar; çıkış olarak Ra değeri almışlardır. Ra değerinin analizinde varyans (ANOVA) analizini kullanmışlardır. Deneylei tekrar ederek sistemin performansını arttırmışlardır. RSM yöntemi kullanılarak tornalama işleminde parçaların istenilen yüzey pürüzlülüklerinin elde edilmesine yardımcı olmuşlardır [20].

Suresh ve ekibi, cevap yüzey tekniğini (RSM) kullanarak, orta karbonlu çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü tahmin modelini geliştirmişlerdir. Parçalarının işlenmesinde TiN kaplı 0,4-0,8-1,2mm uç radyüsüne sahip CNMG uçlar ve 4025 kaliteye sahip tungsten karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve uç yarıçapı sırasıyla alınmıştır. Deneylein sonuçları regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Kullanılan algoritma yüzey pürüzlülüğü tahmininde başarılı bulunmuştur [21].

Kopac ve ekibi, çalışmalarında torna tezgahında C15 E4 çeliğinin işlenmesinde değişken olarak kesme hızı, kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi, ilerleme ve kesme derinliği değerlerini almışlardır. Bu değişkenlere bağlı yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde etmişlerdir. Deneysel tasarımda iki seviyeye ve 13 serbestlik derecesine sahip L16 (25) Taguchi ortogonal dizisi kullanılmıştır. Sinyal gürültü oranlarının hesaplanmasında “daha küçük, daha iyi” kalite belirleyicisi kullanılmıştır. Kesme hızı en büyük etkiye sahip kontrol parametresi olmuş ve daha yüksek kesme hızlarında daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir [22].

Feng ve Wang, çalışmalarında 8620 çeliğini karpit takımla tornalanması işleminde logaritmik veri dönüşümü ile non-linear regresyon analizi kullanarak deneysel model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada iş parçası sertliği, ilerleme, takım uç açısı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesme zamanının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü tahmininde modellenen değişkenleri deneyleler ile doğrulamışlar ve üretilen modelde küçük hatalar gözlemlemişlerdir [23].

Chou ve ekibi, sert eliklerin CBN uç ile tormalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve yan yüzey aşınmasını çeşitli parametrelerin etkileriyle benzer yaklaşımlar kullanarak elde etmiştirler. Faktör sayısını 3'e indirmişlerdir; kesme hızı, CBN yüzde ieriğ ve kesici uzunluğudur. CBN takımla finiş sert tormalama işlemi için sadece bu faktörlerin etkilerini araştırmışlardır [24].

Huang ve Chen, yapmış oldukları çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü değerinin çoklu regresyon modelini oluşturmuşlardır. Ra bağımlı değişkenine, bağımsız değişkenler ilerleme (f), kesme hızı (Vc), kesme derinliği (a) ve titreşim (c) değerlerinin etkilerini araştırmışlardır. Bu denklemde en önemli parametre olarak ilerleme, titreşim, kesme hızı ve kesme derinliği olarak belirlemişlerdir [25].

Lin ve ekibi, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için tahmin model yapısı abductive network ile adapte etmişlerdir. PSE (Predicted Square Error) kullanarak optimum ağ hiyerarşisi oluşturmuşlardır. Sisteme giriş olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerlerini almışlardır. ıktı değerleri olarak da yüzey pürüzlülüğü ve kuvvet değerlerini almıştır. Toplam 27 adet deney yapmışlardır. Abductive network doğruluğunu regresyon analizi tarafından geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar bu yaklaşımın etkilerinin teyidini sağlamıştır [25].

Abouelatta ve Madl, yapmış oldukları çalışmalarında tormalamada kesici takım titreşimi ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi, modellenen yüzey przllğünün hem kesme parametreleri hem de kesici takım titreşimlerinin matematiksel yönünü incelemişlerdir. Kesici takım titreşimini radyal ve ilerleme yönünde ölçmüşlerdir. Sonuçları MATLAB, BC++ ve SPSS paket programları aracılığıyla değerlendirmişlerdir [26].

Liu ve ekibi, kesme işlemlerinde zamanla artan takım aşınmasını belirleyebilmek için bulanık sinirsel ağ, regresyon bulanık ağ ve örnekleri sınıflandırıcı bulanık sinirsel ağ yöntemlerini kullanmışlardır. Sırayla kesme kuvvetleri, motor gücü ve akustik emisyon sinyalleri aşınmayı dolaysız yollardan belirleyebilmek için gözlemlenmiştir. Aşınmayı belirleyebilmek için tek bir yöntemin yeterli olmadığı grlmştir. Bu nedenle aşınma tahmini için bulanık yöntemlerle sensör verilerini birleştirme tekniği

denenmiştir. Çalışma sonucunda kesme kuvvetlerinin wavelet bulanık sinir ağıları metodu ile, motor akımının regresyon sinir ağıları metoduyla ve akustik emisyon sinyallerinin örnek sınıflandırma bulanık sinir ağıları metoduyla bulanık sınıflandırılmasının takım aşınması tespitinde başarılı olduğu görülmüştür [27].

Gao ve ekibi, Ortogonal kesme işlemlerinde takım aşınması ile değişik sensörlerden toplanan veriler arasındaki ilişkinin varlığını gösterebilmek için YSA'ya dayalı TDİ deneyleri yapmıştır. Hız, ilerleme ve sensörlerden toplanan veriler yapay sinir ağı girişleri olarak belirlenmiştir. Çıktılar olarak ise altı tane takım aşınma seviyesi binary olarak sonuç verecek şekilde tasarlanmıştır. Bundan önce değişik aşınma seviyeleri Sınıf A, B, C, D, E ve F şeklinde isimlendirilmiştir. Deneyler sonucunda sistemin ortogonal kesme işlemlerinde bir TDİ sistemi oluşturmak için uygun olmadığı görülmüştür [28].

Moavenian ve ekibi, demle işlemlerinde takım aşınmasını on-line olarak tahmin edebilmek için bulanık sinirsel ağıları ve bulanık sınıflandırma yöntemlerini kullanmıştır. Oluşturulan takım aşınmasını belirleme sisteminde veri toplama aşamasında motor akımı, hız ve ilerleme değerleri giriş verileri olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Takım aşınması değerleri öncelikle “düşük aşınma”, “yüksek aşınma” ve “çok yüksek aşınma” olmak üzere bulanık ifadelerle dönüştürülmüştür. MATLAB programındaki bulanık sinirsel sınıflayıcı (ANFIS) kullanılarak 9 girişli ve takım aşınmasını gösteren tek çıkışlı ağ modeli oluşturulmuştur. Sonuçta takım aşınması seviyesinin % 5'lik hata ile başarıyla tespit edilebildiği görülmüştür [29].

Chuangwen ve ekibi, çalışmalarında TDI için değişik kesme işlemlerinden elde edilen titreşim sinyallerini kullanmıştır ve takım aşınması ile titreşim sinyalleri arasında yakın bir ilişki tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda kesme operasyonlarında takım aşınmasının tahmin edilmesi için bir wavelet paket analizleri yönteminin kullanılabilceği, bu yöntemin sabit olmayan (değişken) sinyallerin islenmesinde etkili olduğu ve YSA ile birlikte kullanıldığında hesaplama ve sınıflandırma işlemlerinde çok hızlı çalıştığı ve on-line takım tahribatı önleme sistemlerinde kullanılabilceği gösterilmiştir [30].

Ucun ve Aslantaş, yapmış oldukları çalışmada sertleştirilmiş malzemelerin imalat sanayisinde yoğun olarak kullanıldıkları için bunların tornalamada işleminde yüzey pürüzlülüğüne karşı etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin kaplamalı karbür kesici takımla işlenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından performansı incelenmiştir. Deneysel çalışmalar boyunca dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme değeri ve iki farklı kesme derinliği kullanmışlardır. Sonuç olarak karbürlü kesici takımlar özellikle büyük değerlerdeki kesme parametreleri için sert tornalama işlemine uygun olmadığını görmüşlerdir [31].

Karayel, yapmış olduğu çalışmada YSA yaklaşımıyla CNC torna tezgahında yüzey pürüzlülüğünün kontrolünü ve tahminini yapmıştır. Deneysel malzemesi olarak St 50,2 çeliğini kullanmıştır. Deneysel kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarı olmak üzere üç değişken parametre kullanmıştır. Diğer parametreler örneğin takım uç radyüsü, takım çıkıntısı, yaklaşım açısı, iş parçası uzunluğu, iş parçası ölçüsü ve iş parçası malzemesi sabit almıştır. Deneysel çıkış olarak üç farklı yüzey pürüzlülük değeri Ra, Rz ve Rmax ölçmüştür. Deneysel elde edilen veriler kullanılarak YSA'yı eğitmiş ve test etmiştir. Bir ileri beslemeli çok katmanlı YSA geliştirdi ve SCGA (Scaled Conjugate Gradient Algorithm) kullanılarak ağ eğitti. Adaptif öğrenme oranı eğitimden önce seçmedi ve o eğitim süresince minimize edildi. 8000 iterasyon sayısı, düzeltme faktörü kullanmadı. Bir gizli katman kullanmış olmasına rağmen Ra modelinde beş nöron ve Rz ile Rmax için on nöron kullanmıştır. Sonuçta YSA yaklaşımının sonuçlarını gerçek verilerle kıyaslamıştır ve YSA modeli ile gerçek deney sonuçlarının birbiriyle örtüştüğünü görmüştür [32].

Kaçal ve Gülesin, küresel grafitli dökme demirlerin yüksek kesme hızlarında finiş tornalama işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri istatistiksel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak seramik kesici ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. % 5 istatistiksel önem düzeyinde FP ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişkinin olduğunu görmüşlerdir [33].

Tekaslan ve ekibi, AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında işlenmesi sırasında en ideal yüzey pürüzlülüğünün elde edilebilmesi için optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi hedeflemiştir. Yapılan çalışmaya göre kesme hızı artırıldığında yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği, ilerlemenin artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini görmüşlerdir [34].

Demirayak ve Çakır, çalışmalarında kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) ve kesici takım kaplama tabakasının iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Soğuk iş takım çeliklerinden AISI P20 çeliğini aynı talaş kırıcı geometrisine, farklı kaplama tabakasına sahip kesici uçlarla işlemişler ve bu işlemler sonunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü kesme parametreleri arasında çoklu regresyon modellerini oluşturmuşlardır. Kesme parametrelerinin yanı sıra kaplama tabakalarının yüzey pürüzlülüğünde etkilerini değerlendirmişlerdir [35].

Aslan ve ekibi, sertleştirilmiş AISI 4140 (63 HRC) çeliği Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiCN kaplamalı seramik uçla torna tezgahında optimizasyonunu sağlamışlardır. Aşınma direnci ve yüksek sertlik sırasında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> esaslı seramikler sert çelik işlenmesinde kesici takım için çok uygun olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalarında Taguchi yöntemiyle deneysel çalışmalarının optimizasyonunu sağlamışlardır. Kesme hızı (100-175-250 m/min), ilerleme miktarı (0,05-0,10-0,20 mm/dev.) ve kesme derinliği (0,25-0,50-1 mm); performans ölçütleri olarak yan yüzey aşınması (VB) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri optimum 27 deney sonunda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar varyans analizi (ANOVA) ile analiz etmişlerdir. Sonuç olarak; VB değerinin kesme hızı arttıkça azaldığını, ilerleme arttıkça önce azalıp sonra arttığı, kesme derinliği arttıkça arttığını; ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin kesme hızı arttıkça azaldığı, ilerleme arttıkça arttığı, kesme derinliği arttıkça düşük ilerleme miktarında azaldığı yüksek ilerleme miktarında giderek arttığını gözlemlemişlerdir. En uygun değerleri VB için kesme hızını 250 m/min, kesme derinliğini de 0,25 ya da 0,50 mm; Ra için kesme hızı 250 m/min, ilerleme miktarı 0,10 mm/dev., kesme derinliği 0,25 mm olarak belirlemişlerdir [36].

Neşeli, yapmış olduğu çalışmasında dinamik kesme şartları altında takım geometrisine bağlı olarak meydana gelen tırlama titreşiminin yüzey pürüzlülüğü

üzerine etkisi deneysel olarak araştırmıştır. Tam Faktöriyel Tasarım (TFT) yöntemiyle üç seviyeli dört faktörlü deney yapısı kullanılarak 81 ( $=3^4$ ) farklı deney yapmıştır. Yapılan deneylerde farklı negatif talaş açılı takım tutucuları kullanmış, kullanılan tutucuya uygun farklı uç radyüslü takımlarla belirlenen yaklaşma açılarında kuru kesme işlemini gerçekleştirmiştir. Takımı her kesme operasyonu için değiştirmiştir [37].

Özkan, tornalamada farklı talaş açısı, yaklaşma açısı ve kesme hızı değerlerinde oluşan teğetsel kesme kuvveti, radyal kuvvet, ilerleme kuvveti ve takım ucu sıcaklığının Bulanık mantık, yapay sinir ağı ve bulanık sinir ağı teknikleriyle modellemesini yapmıştır [38].

Hadi ve Ahmed, yüzey niteliğinin mühendislikte performans açısından önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Finiş tornalamada deneylerle yüzey pürüzlülük tahmin modelinin geliştirilmesini araştırmalarında odak olarak almışlardır. Bu modelde çalışma parametreleri izlenmesinde parametre olarak: ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızı kullanılmıştır. Non-lineer regresyon analizi, deneysel modelin geliştirilmesinde veri dönüşüm logaritmasıyla uygulamışlardır. Metal kesme deneyleri ve istatistiksel model gelişmesinde üretimde küçük hatalar ve memnuniyet verici sonuçlar elde ettiler. Sonuç olarak küçük ilerleme hızında yüzey pürüzlülük değeri küçük değişimler göstermiştir. Tüm durumlar için düşük hızlarda yapılan deneyler yerine, daha yüksek hızlarda yapılan deneylerin daha iyi yüzeyler verdiğini gözlemlemişlerdir [39].

Gündüz, kesici uca etki eden kuvvetleri; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerine bağlı olarak, CNC torna tezgahında ölçmüştür. Ara değerlerin tahmininde gerek maliyet, gerekse zaman açısından çok sayıda deney yapmanın mümkün olmadığı durumlarda, kesme parametrelerinin ara değerlerine göre, kesme kuvvetlerinin tahmininde yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları ve bulanık mantık modellerini kullanmıştır. Sonuç bölümünde deney değerleri, YSA ve BM değerlerini kıyaslamıştır [40].

Çaydaş ve Hasçalık, normalleştirme ve su verme-menevişleme ısı işlemleri görmüş AISI 4340 çeliğini, değişik işleme koşullarında tornalama ve taşlama deneylerine tabi tutularak numunelerin yüzey pürüzlülüğünün gösterdiği değişimleri incelemişler. Fener mili/iş mili dönme hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği, ilerleme miktarı ve paso derinliğinin arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini görmüşlerdir [41].

Özel ve Karpat, tornalamada yüzey pürüzlülüğünü yapay sinir ağı yöntemiyle tahmin etmiş ve regresyon yöntemiyle modellemişlerdir. Sonuçların doğruluğunu ortaya koymuşlardır [42].

Şahin ve Motorcu, tornalama işleminde AISI 4140 çeliğini CVD (Chemical Vapor Deposition) kaplı karbit uç ile işleyerek yüzey pürüzlülüğü modelini geliştirmişler. Sisteme girdi olarak kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve takım uç yarıçapı; çıktı olarak ise Ra değerini almışlardır. 3D yüzey çizici ile Ra değerinin analizini yapmışlardır. Değerlerin güvenilirlik analizinde varyans analizi kullanmışlardır. Tahmin değişkenleri ile test değişkenleri arasında % 5'ten az hata değişimi gözlemişlerdir [43].

Özçatalbaş, yapmış olduğu çalışmada kesici takım aşınması ve iş malzemesinin mekanik özelliklerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak kesici takımın serbest yüzey aşınma miktarındaki artışla birlikte işlenen yüzeyin pürüzlülüğünde de artış olduğunu, kesici takım serbest yüzey aşınma (VB) miktarındaki artış talaş kaldırma kuvvetlerinden kesme ve ilerleme kuvvetlerinde de artışa sebep olduğunu ortaya koymuştur [44].

Neşeli ve Taşdemir, tornada takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Bunun için universal torna tezgâhında değişik yaklaşma açıları ve talaş açıları ile kuru kesme şartlarında, AISI 1040 çeliği üzerinden 0,5 mm derinliğinde talaş kaldırılarak 27 numune işlenmiş bu işlemden sonra yüzey pürüzlülük değerleri MAHR M1 Perthometer ile ölçülmüştür. Yapılan deneylerde elde edilen veriler bir Yapay Sinir Ağının (YSA) eğitiminde kullanılmıştır. YSA modellemesinde giriş parametreleri; uç radyüsü (r) yaklaşma açısı (K), talaş açısı ( $\gamma$ ) ve çıkış parametresi;



yüzey pürüzlülüğü (Ra) olarak belirlenmiştir. Bu modelleme ile yüzey pürüzlülük değerleri tahmin edilmiştir. YSA, MATLAB 7 programı kullanılarak tasarlanmıştır. Deneysel sonuçlarla YSA sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırıldığında, tasarlanan modelin başarılı bir şekilde uygulandığı ve deney sonuçlarına yakın sonuçlar verdiği görülmüştür [45].

Usta, çalışmasında AISI 1050 ve GG40 malzemelerin CNC ve üniversal torna tezgahlarında delinmesi esnasında oluşan sıcaklığı ve kesme kuvvetlerini ölçmüştür. Sıcaklık ölçümü için K tipi esnek ısı çifti kullanmıştır. Isıl çiftleri matkap soğutma kanallarına yerleştirmiştir. Kuvvet ölçümü için ise KISTLER 9272 dinamometre kullanmıştır. Sonuç olarak kesme parametrelerinin hem sıcaklık hem de kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemiştir [46].

Qian ve ekibi, yüzey işlemede artan ve azalan ilerleme değerlerinin parçaya göre kombine edilmesi incelenmiştir. Kesme parametreleri sabit tutularak minimum ve maksimum ilerleme değerleri kullanılmış ve yüzeye etkilerini incelemişlerdir [47].

Malakoati ve Raman, sinir ağı yöntemi kullanılarak makine ayar problemlerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. İşleme parametrelerini geliştirebilmek için farklı makine ayarları kullanılarak problemlere çözüm aranmıştır. Minimum fiyat ve maksimum üretim için en az insan gücü, makine takımı ve en kısa süre için sinir ağı sisteminin yararlarını saptamışlardır [48].

Lee ve Tarng, talaş kaldırma operasyonlarında kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, kesme gücü ve takım ömrüne etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmayla maksimum üretim veya minimum maliyet amaçlanmıştır. Deneyde sinir ağı yöntemi kullanılmıştır. Kesme hızının artırılmasıyla; yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü azalmıştır. İlerlemenin artmasıyla; yüzey pürüzlülüğü artmış üretim süresi kısalmıştır. Kesme derinliğinin artmasıyla; takım ömrünün azaldığını ve üretim sürelerinin düştüğünü saptamışlardır [49].

Çoğun ve Özses, CNC torna, işleme merkezi ve borverk tezgâhlarında değişik işleme parametreleri ile talaş kaldırmak suretiyle oluşan yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve

birbiri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. İlerlemenin sabit tutularak devir sayısının arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, devir sayısının sabit tutulup ilerlemenin arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı, kesme derinliğinin arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve büyük radyüslü uçlar kullanıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişlerdir [50].

Öktem ve Erzincanlı, AISI 1040 çelik malzemenin sıvı kesme şartlarında düz uçlu karbür esaslı takımlarla frezelenmesi sırasında meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleriyle tahmini matematiksel model oluşturulması hedeflenmiştir. Deneysel tasarıma göre dizilmiş bir yapay sinir ağı (YSA), yüzey pürüzlülük değerleriyle tahmini matematiksel modelin oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada, geri beslemeli-ileri sürümlü öğrenme algoritmasına dayanan bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur ve MATLAB programıyla analiz edilmiştir. YSA yöntemiyle oluşturulan tahmini pürüzlülük modelinin güvenilirliği ve uygulanabilirliği tespit edilmiştir [51].

Choudhury ve Baradie, yüksek dayanımlı çeliğin kaplamasız karbür takımlarla tormalanmasında yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için model oluşturmuşlardır. Çalışmalarında kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin kesme hızı ve kesme derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır [52].

Korkut ve Dönertaş, Ç1020 ve Ç1040 çeliklerinin işlenebilirliğini artırmak için kesme parametreleri incelenmiştir. Kesme parametrelerinin değiştirilmesiyle BUE oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünün nasıl etkilendiğine bakılmıştır. Kesme hızı, ilerleme değeri ve kesme derinliğinin işlenebilirlik üzerine etki ettiği, yüzey pürüzlülüğü ve BUE oluşumlarının bu değerlere bağlı olduğu ve Ç1020 çeliğinin Ç1040'a göre daha kolay işlenebildiğini belirlemişlerdir [53].

Choudhury ve Bartarya, takım aşınmasının tahmin edilmesinde deneysel tasarım ve sinir ağları olarak adlandırılan iki teknik üzerinde odaklanmışlardır. Yapılan çalışmada, EN24 çelik malzemedeki kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği

giriş parametresi alınarak, tornalama sırasında kesme bölgesinde oluşan ısı, yüzey pürüzlülüğü ve yan kenar aşınma oranları belirlenmiştir. Kesici takım olarak % 10 kobalt içerikli yüksek hız çeliği (HSS) takım kullanılmıştır. Kesme parametreleri ise;  $V = 20$  ile  $35$  m/dak,  $f = 0,075$  ile  $0,125$  mm/dev ve  $d = 0,4$  ile  $0,8$  mm aralığında seçilmiştir. Choudhury ve Bartarya, giriş değişkenlerinin deneysel tasarımda ve sınır ağları yönteminde kullanılmasıyla belirlenen bu üç yanıt üzerinde ilişkiler kurularak tahminsel modeller elde etmişlerdir [54].

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. MALZEME VE EKİPMANLAR

##### 3.1.1. Deney Malzemesi

Bu çalışmada, düşük karbonlu çelik olarak adlandırılan Ç1018 çelik malzeme deney malzemesi olarak seçilmiştir. Deney malzemesi olarak kullanılan Ç1018 çelik malzeme Kırıkkale MKE'de Akreolik kalite kontrol laboratuvarında kimyasal ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda deney malzemesi için Çizelge 3.1'de kimyasal bileşim değerlerine ve Çizelge 3.2'de mekanik özellik değerlerine ulaşılmıştır.

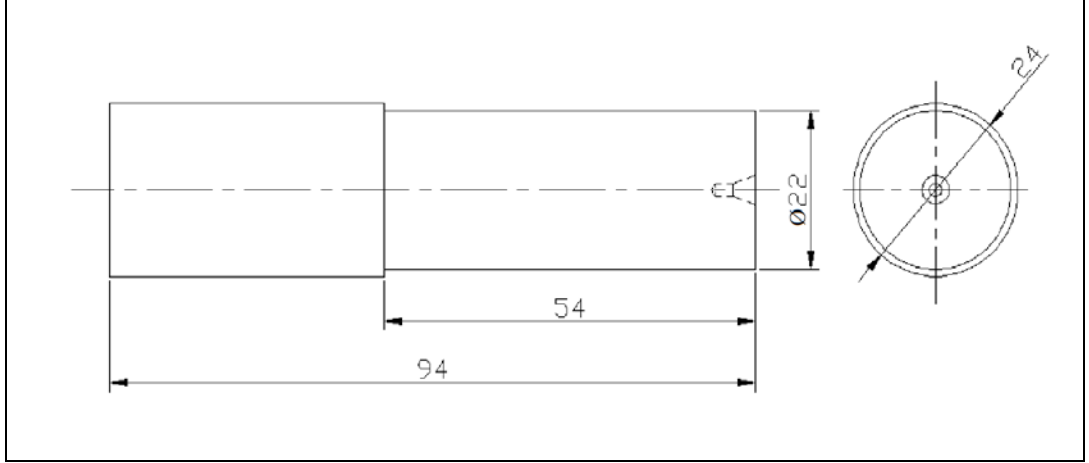
Çizelge 3.1. Ç1018 çelik malzemenin kimyasal bileşimi.

Element	Ağırlık [%]
Demir (Fe)	98,81-99,26
Karbon (C)	0,15-0,20
Manganez (Mn)	0,6-0,9
Silisyum (Si)	0,10-0,30
Fosfor (P)	0,04 (azami)
Sülfür (S)	0,05 (azami)

Çizelge 3.2. Ç1018 çelik malzemenin mekanik özellikleri.

Ç1018 çelik malzemenin mekanik özellikleri	
Çekme Mukavemeti, $\sigma_c$ [MPa]	440
Akma Mukavemeti, $\sigma_a$ [MPa]	370
Kesme Mukavemeti, V [MPa]	300
Elastiklik Modülü, E [MPa]	140-160
Yüzde Uzama, $\epsilon$	% 15
Sertlik, [HB]	130

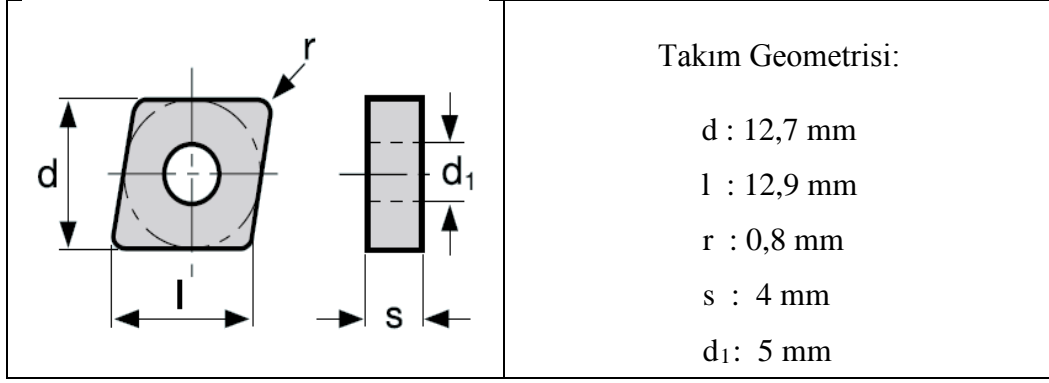
İşleme deneyleri için 24 mm çapında ve 94 mm boyutlarında 32 adet çubuk malzeme kullanılmıştır. Yüzey hasarlarından kaynaklanabilecek deneysel hataları asgariye indirmek için tezgaha bağlanan deney numunelerinden işleme deneyi öncesi, boyuna tornalanarak 0,5 mm derinliğinde ince paso alınmıştır. Deney malzemeleri; Şekil 3.1’de görüldüğü gibi ayna-punta arasında işlemeye uygun olarak tasarlanmıştır.



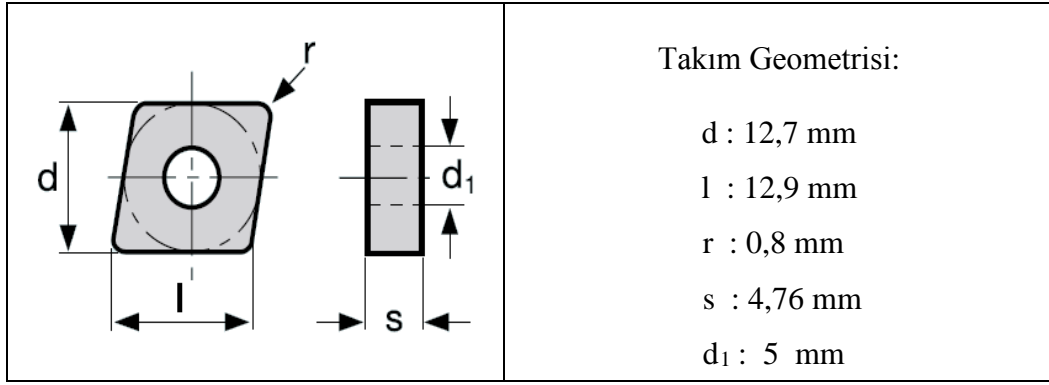
Şekil 3.1. Deney numunesi.

### 3.1.2. Kesici Takım

Deneylerde SANDVIK firması tarafından üretilen kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Mekanik sıkımal tip olan kaplamalı karbür uçlar düşük karbonlu çelik malzemeler için uygun olup ISO P25 kalitesine karşılık gelen 1525 ve ISO P25 kalitesine karşılık gelen 4225 SANDVIK koduna sahiptir. Deneylerde CNMG 120408-WF (Şekil 3.2) ve CNMG 120408-PR (Şekil 3.3) geometrisine sahip kesici takımlar kullanılmıştır.

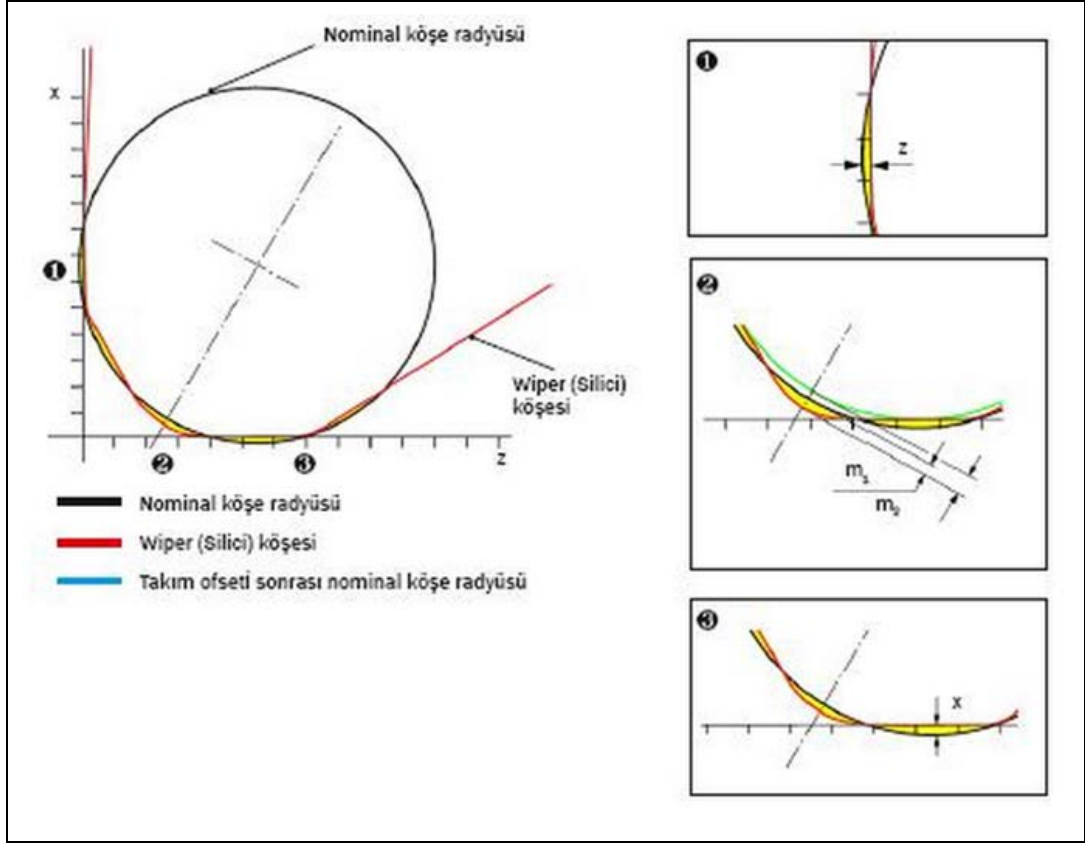


Şekil 3.2. CNMG 120408-WF Silici (wiper) uç geometrisine sahip kesici takım geometrisi.



Şekil 3.3. CNMG 120408-PR Silindirik uç geometrisine sahip kesici takım geometrisi.

Deneylerde kullanılan kesici takımlardan biri geleneksel olarak tornalama işlemlerinde kullanılan silindirik uç geometrisi biçimindedir. Diğeri ise tornalama işlemlerinde son zamanlarda yüksek ilerleme hızlarında daha düşük yüzey pürüzlülük değeri elde etmek amacıyla kullanılan silici (wiper) kesici uç geometrisi biçimindedir. Silici kesici uç geometrisi, geleneksel uç geometrisinden farklı olarak düz kısımlara sahiptir. Silici (wiper) uç geometrisi Şekil 3.4’de şematik olarak gösterilmektedir.



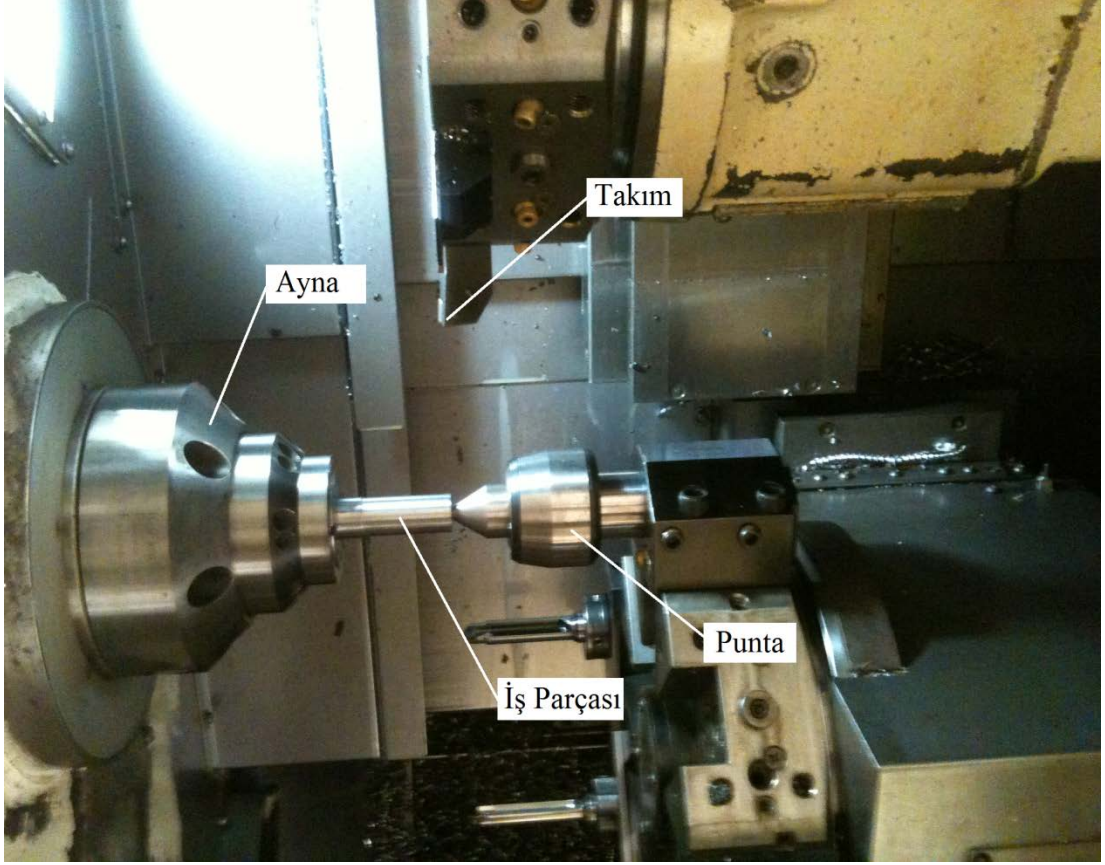
Şekil 3.4. Silindirik ve silici kesici uç geometrilerinin şematik olarak gösterilmesi.

### 3.1.3. CNC Tezgahı

İşleme deneyleri, OKUMA CC15-2S CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.4’de CNC torna tezgahının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. OKUMA CC15-2S CNC torna tezgahı teknik özellikleri.

CNC torna tezgahının teknik özellikleri	
Ayna ölçüsü, [inch]	8
Maksimum çevirme çapı, [mm]	560
Maksimum tornalama çapı, [mm]	280
Maksimum tornalama boyu, [mm]	600
Çubuktan çalışma çapı, [mm]	52
İş mili devir sayısı, [dev/dk]	6000
İş mili motor gücü, [kW]	10
Kayıt kızak tipi	Lineer rulmanlı
Eksen seri hareket hızları, [m/dk]	30 m/dk



Şekil 3.5. Deney düzeneği.

Deney numuneleri, CNC torna tezgahına uygun şekilde bağlanmıştır (Şekil 3.5). İşleme deneylerinde, kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (200, 240, 280 ve 320 m/dk), dört farklı ilerleme miktarı (0,10, 0,20, 0,30 ve 0,40 mm/dev) ve 2 mm sabit kesme derinliği uygulanmıştır.

#### 3.1.4. Yüzey Pürüzlülük Cihazı

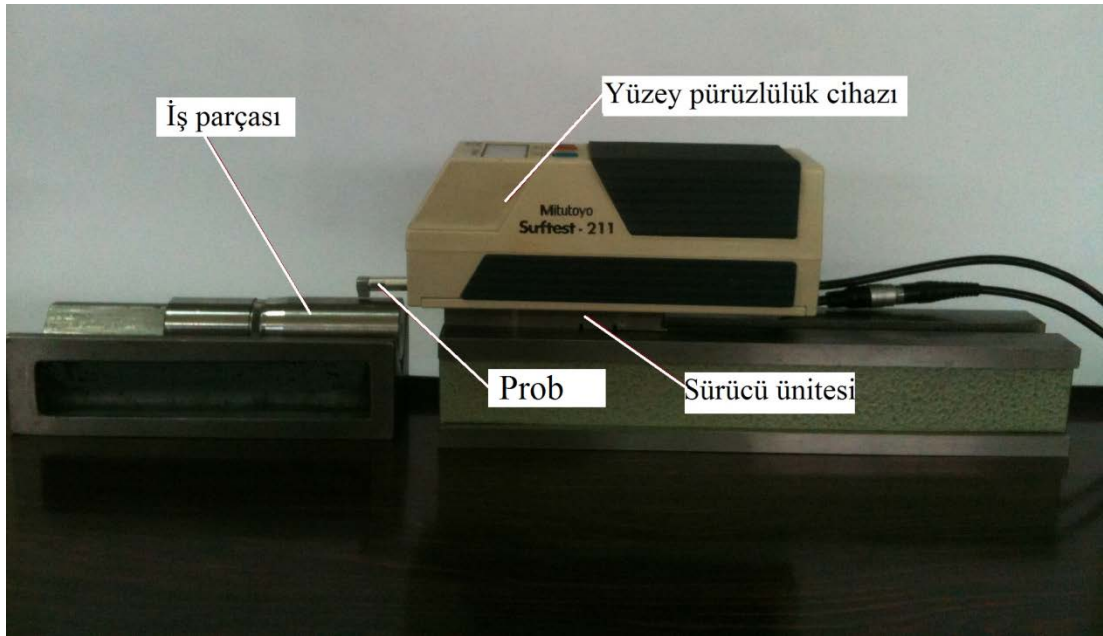
Mitutoyo SurfTest-211 ölçme cihazı ile düz ve silindirik gibi farklı yüzey şekline sahip parçaların yüzey pürüzlülük değerlerini ölçerken, elmas uçlu iğnenin bulunduğu prob kısmı, sürücü ünitesine vidalar ile monte edilebilen burun parçaları ile ölçülen yüzeye teğet konuma getirilir. Destek ayakları kullanılarak sürücü ünitesinin ölçülen yüzeye paralel olması sağlanır. Cihazın kalibrasyonunun yapılabilmesi için yüzey pürüzlülüğü belirli olan hassas kalibrasyon numunesi bulunmaktadır. Prob, sürücü ünitesine bağlıdır, bir motor vasıtasıyla yatay olarak iş



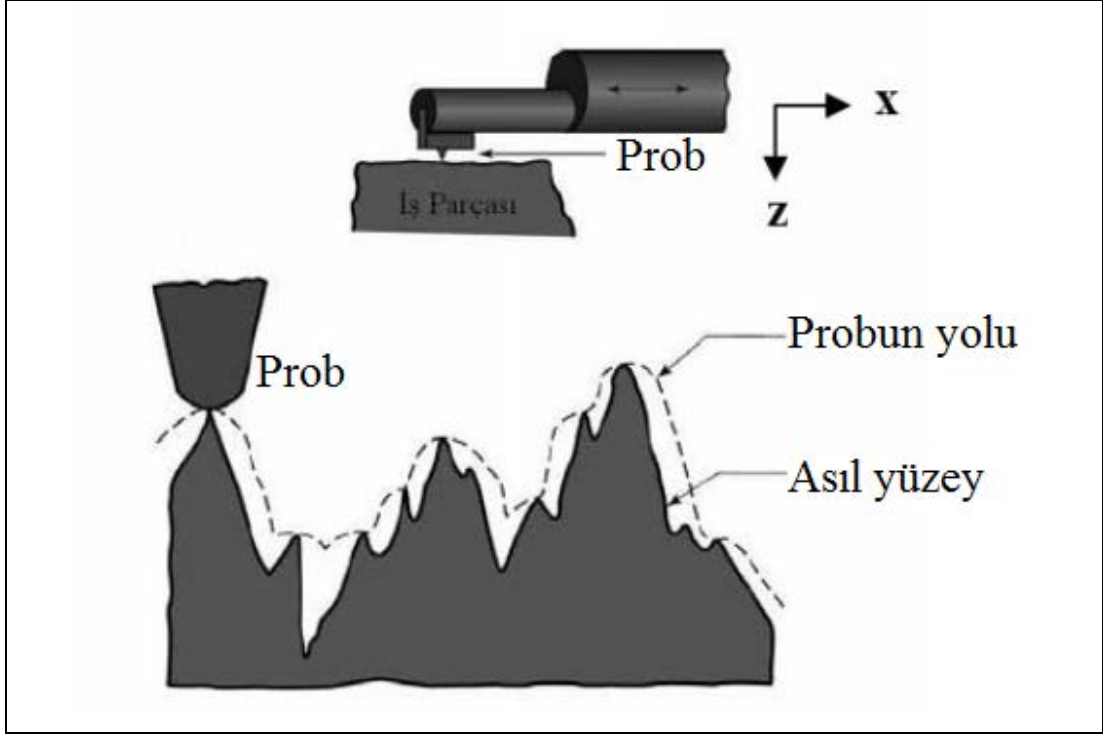
parçası üzerinde ileri-geri hareketini yapar. Prob'un parça üzerindeki yatay hareketi esnasında yüzey üzerindeki pürüzlüklere değen prob'a bağlı elmas uçlu iğnenin dikey hareketinin oluşturduğu mekanik sapmaların sürücü ünitesi tarafından elektrik sinyallerine çevrilip yükseltilmesi ve verilere göre filtrelenmesine, yüzey pürüzlülük parametrelerinin hesaplanmasına, ekranda gösterilmesini sağlar. Destek ayakları kullanılarak sürücü ünitesinin ölçülen yüzeye paralel olması sağlanır. Şekil 3.6'da Mitutoyo Surftest-211 ölçme cihazı ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm düzeneği fotoğrafı ve Şekil 3.7'de ölçüm cihazının izlediği yol verilmiştir.

Çizelge 3.4. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.

MODEL	Mitutoyo Surftest-211
Ölçme hızı, [ $\mu\text{m}/\text{sn}$ ]	160
Ölçme kuvveti, [mN]	0,7
Uç malzemesi	Elmas
Kesme uzunluğu, [mm]	0,25-0,8-2,5
Değerlendirme uzunluğu, [mm]	1,75-5,6-12,5



Şekil 3.6. Mitutoyo Surftest-211 ölçme ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm düzeneği.



Şekil 3.7. Mitutoyo SurfTest-211 cihazı ölçüm cihazının izlediği yol.

### 3.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İşleme deneyleri sonucunda kesici takımlarda oluşan aşınma, yığıntı katmanı (YK) ve yığıntı talaş (YT) oluşumu JOEL JSM-6060 LV taramalı elektron mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.5'te Taramalı elektron mikroskobunun teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Taramalı elektron mikroskobunun teknik özellikleri.

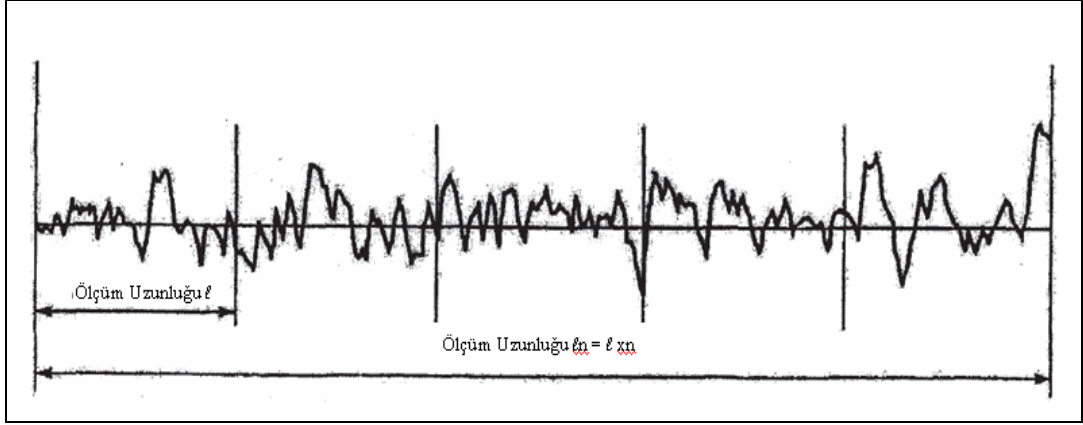
MODEL	JOEL JSM-6060 LV
Çalışma eksen sayısı	5 eksen
Elektron kaynağı	K- tipi tungsten filaman
Maksimum çözünürlük, [nm]	3,5
Hızlandırıcı voltaj aralığı, [kV]	0,5 kV-30
Maksimum büyütme kapasitesi	8x-300 000x
Numune tutucu sayısı	3 adet

### 3.2. DENEYİN UYGULANIŞI

Deneyleler, dört farklı kesme hızında (200, 240, 280 ve 320 m/dk), dört farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev) ve 2 mm sabit kesme derinliğinde kesme sıvısı (bor yağı) kullanılarak imal edilmiştir. İşleme deneylelerinde kesici takım olarak, farklı uç geometrilerine sahip 0,8 mm uç yarıçapında, kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneysel sonuçlardan kesici takım uç geometrisinin, kesme hızının ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. İşleme deneylelerinde silici ve silindirik kesici uç geometrisine sahip kesici takımlar, farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarına tabi tutulup, bu kesme parametrelerinde yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Uygulanan işleme parametrelerinin kesici takım üzerinde oluşturduğu yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. İşleme deneylelerinde, kesici takımların işleme parametrelerine göre talaş formları incelenmiştir. İşleme deneylelerinin sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüklerine göre Ç1018 çelik malzemenin işlenmesinde en uygun kesici takım seçimi yapılmıştır. Yapılan deneylelerde elde edilen veriler bir Yapay Sinir Ağının (YSA) eğitiminde kullanılmıştır. YSA modellemesinde giriş parametreleri; ilerleme miktarı (f), kesme hızı (Vc) ve çıkış parametresi; yüzey pürüzlülüğü (Ra) olarak belirlenmiştir. Bu modelleme ile yüzey pürüzlülük değerleri tahmin edilmiştir. YSA, *Pythia* programı kullanılarak tasarlanmıştır. Deneysel sonuçlarla YSA sonuçları karşılaştırılarak, tasarlanan modelin deney sonuçlarıyla olan tutarlılığına bakılmıştır.

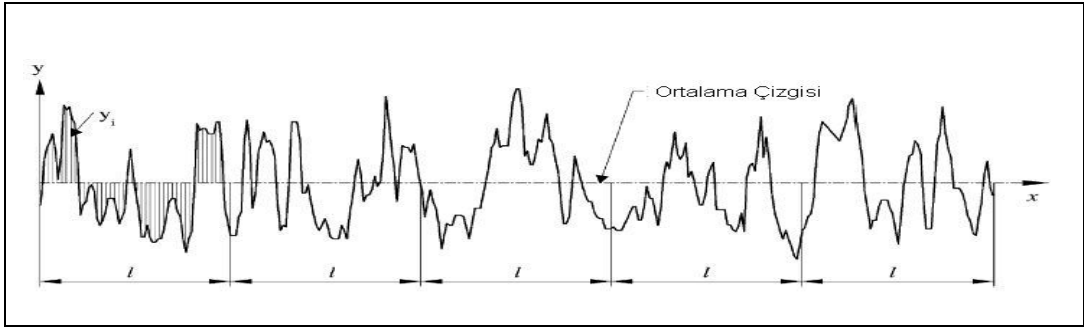
### 3.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ

Şekil 3.8' de  $l$  İle ifade edilen örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile  $ln$  ile ifade edilen ölçüm uzunluğu oluşur.  $ln$  uzunluğu  $n \geq 5$  olmak üzere, örnekleme uzunluğu ( $l$ ) ile  $n$  çarpılarak elde edilir ( $ln = l \times n$ ) [55].



Şekil 3.8. Örneklem uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [55].

Ortalama çizgisi, ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur [56]. Şekil 3.9' da tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.

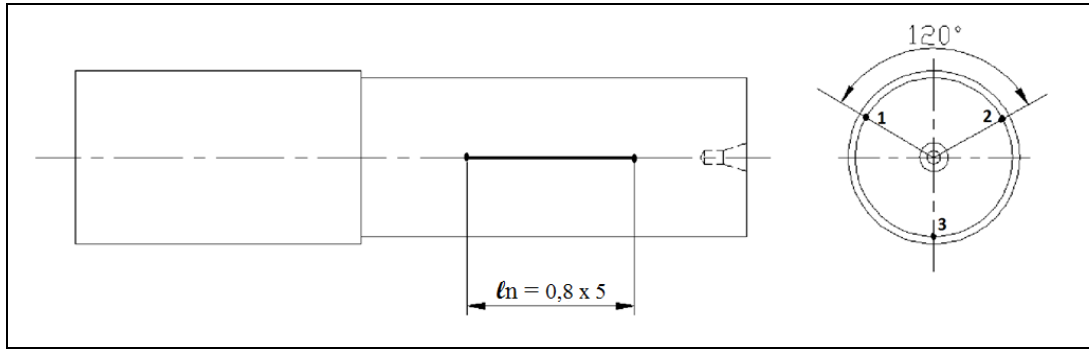


Şekil 3.9 Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi [55].

Şekil 3.9' da gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez.

İşleme deneyleri sonucunda, deney numuneleri üzerinde yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde yüzey pürüzlülük parametresi olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) kullanılmıştır. Ra değerinin tespiti için ISO 4287/1 baz alınarak ölçümler yapılmıştır.

Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında her ölçüm için, 0,8 mm ölçüm adımı (cut off) ile beş ölçüm yaptırılarak, toplam 4 mm ölçüm boyunda ortalama pürüzlülük değeri (Ra) ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılırken, yüzey pürüzlülük cihazı üzerindeki elmas uçlu iğnenin bulunduğu prob'un, silindirik deney numunesi eksenine paralel olacak şekilde ve iş parçası kendi eksenine etrafında yaklaşık 120° döndürülerek, yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.10).



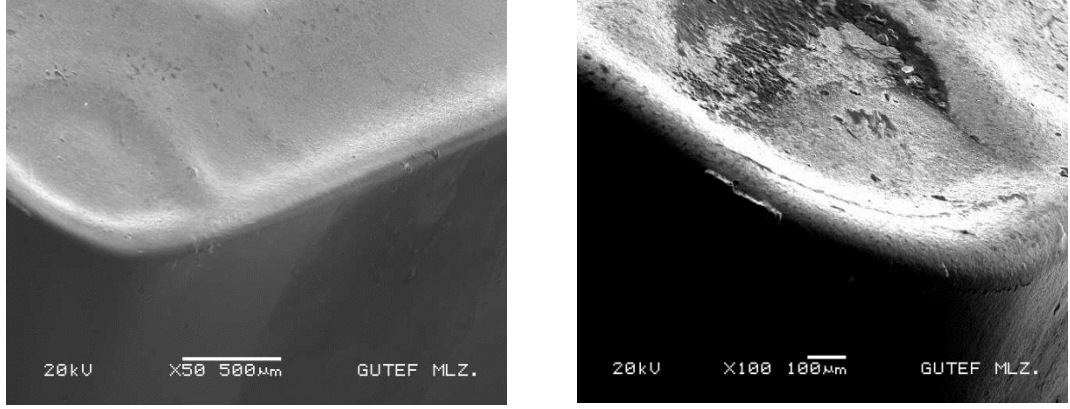
Şekil 3.10. Yüzey pürüzlülük ölçüm noktaları.

### 3.7. KESİCİ TAKIMLARIN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İLE İNCELENMESİ

Kesici takımda oluşacak aşınma veya talaş kaldırma esnasında iş parçası malzemesinden kopan, yığıntı katmanı ve yığıntı talaş (BUE-built up edge) dediğimiz parçaların kesici takımın talaş yüzeyine basınç kaynağı yapması (adhesyon) gibi durumları tespit etmek için JOEL JSM-6060 LV model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

SEM yardımı ile işleme deneylerinde kullanılan kesici takımlardan alınan görüntülerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar yapılırken, 2 mm sabit kesme derinliği, dört ayrı kesme hızı (200, 240, 280 ve 320 m/dk), 0,10 ve 0,40 mm/dev ilerleme miktarının kullanıldığı işleme deneylerinde kullanılan kesici takımlar incelenmiştir. Bunun nedeni ise kesici takımlar SEM ile incelendiğinde yığıntı katmanı (YK) ve yığıntı oluşumunun (YT) belirgin bir şekilde görülüyor olmasıdır. Kesici takımların 50x, 100x ve 140x büyütme uygulanarak görüntüleri alınmıştır. Bu görüntüler yardımıyla kesici takımların ne gibi aşınma ve adhesyonlara

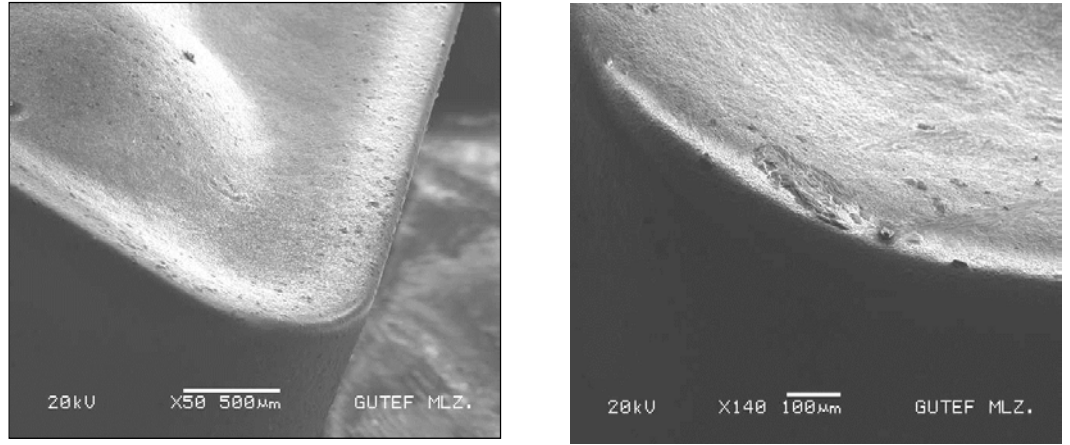
maruz kaldığı tespit edilmiştir. SEM aracılığı ile kesici takımlardan aldığımız görüntülerden iki örnek Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 3.11. Silici (wiper) uç geometrisine sahip kesici takımında 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 320 m/dk kesme hızıyla işlenmesi sonucu yığıntı katmanı (YK) ve yığıntı talaş (YT) oluşumu, a) Talaş kaldırma işlemi öncesi, b) Talaş kaldırma işlemi sonrası.



(a)

(b)

Şekil 3.12. Silindirik uç geometrisine sahip kesici takımında 0,4 mm/dev ilerleme miktarı ve 200 m/dk kesme hızıyla işlenmesi sonucu yığıntı katmanı (YK) ve yığıntı talaş (YT) oluşumu, a) Talaş kaldırma işlemi öncesi, b) Talaş kaldırma işlemi sonrası.

### 3.8. TALAŞ FORMLARININ İNCELENMESİ

Deney numunelerinin işlenmesinde kullanılan kesici takımlar ve bu kesici takımlar için uygulanan kesme parametreleri sonucunda elde edilen talaş formları incelenmiş

ve bu talaş formlarının yüzey pürüzlülüğü açısından etkisi değerlendirilmiştir. İşleme deneylerinde kullandığımız kesme parametreleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. İşleme deneylerinde kullanılan SANDVIK firmasının silici ve silindirik uç geometrili kesici takımlarıyla belirli kesme parametreleriyle elde ettiğimiz talaş formu örnekleri Şekil 3.13’de ve Şekil 3.14’de gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.13. Silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla belirli kesme parametreleriyle yapılan işleme deneyleri sonrası talaş formları, a) Kesme parametreleri; ( $V_c = 320$  m/dk,  $f = 0,2$  mm/dev,  $a = 2$  mm), b) Kesme parametreleri; ( $V_c = 200$  m/dk,  $f = 0,4$  mm/dev,  $a = 2$  mm).



(a)



(b)

Şekil 3.14. Silindirik uç geometrisine sahip kesici takımla belirli kesme parametreleriyle yapılan işleme deneyleri sonrası talaş formları, a) Kesme parametreleri; ( $V_c = 320$  m/dk,  $f = 0,2$  mm/dev,  $a = 2$  mm), b) Kesme parametreleri; ( $V_c = 200$  m/dk,  $f = 0,2$  mm/dev,  $a = 2$  mm).

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 4.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada, 0,8 mm uç yarıçapında silici ve silindirik kesici uç geometrisine sahip karbür kesici takımlar kullanılarak, deney malzemesi tornalama yöntemiyle işlenmiştir. Çizelge 4.1'de deney numunesinin işlenmesi sonucu, kesici takım uç geometrisi, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.1. Deney malzemesinin kaplamalı karbür kesici takımlarla tornalanması sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).

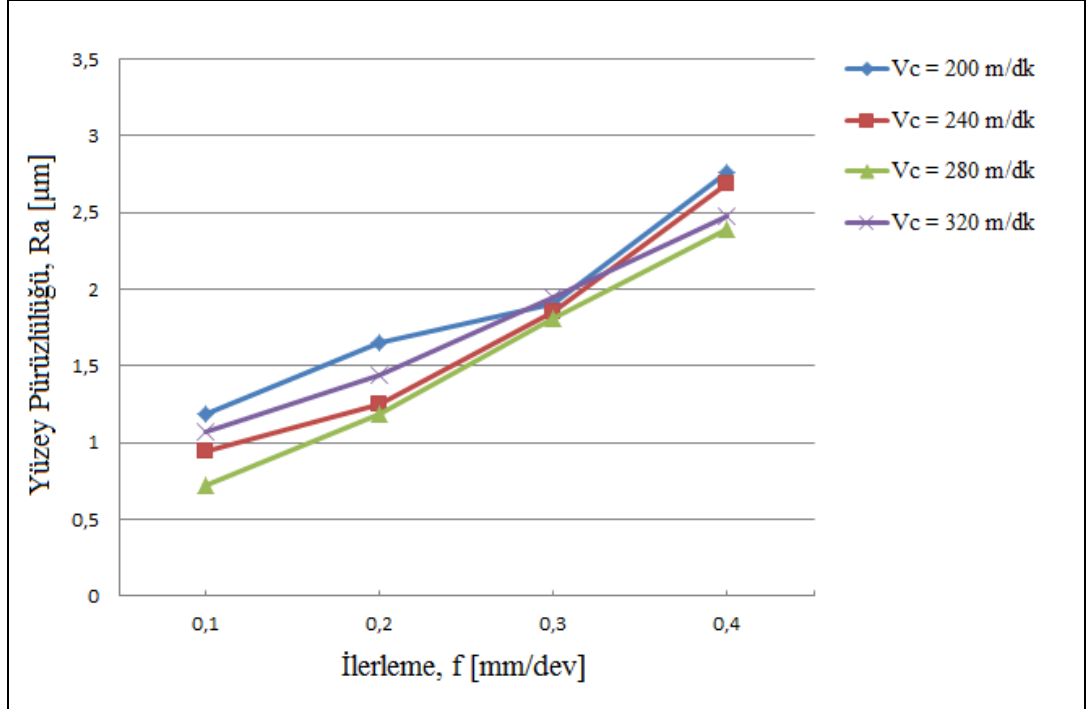
Deney No	Uç Yarıçapı, r [mm]	Talaş Açısı, $\gamma$	Kesme Hızı, Vc [m/dk]	İlerleme, f [mm/dev]	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra [ $\mu$ m]	
					Silici	Silindirik
1	0,8	5°	200	0,10	1,182	1,924
2				0,20	1,648	2,302
3				0,30	1,904	2,723
4				0,40	2,756	3,416
5			240	0,10	0,947	1,704
6				0,20	1,246	1,962
7				0,30	1,852	2,412
8				0,40	2,685	3,264
9			280	0,10	0,727	1,507
10				0,20	1,190	1,935
11				0,30	1,809	2,514
12				0,40	2,394	3,014
13			320	0,10	1,073	1,823
14				0,20	1,445	2,121
15				0,30	1,945	2,612
16				0,40	2,480	3,153



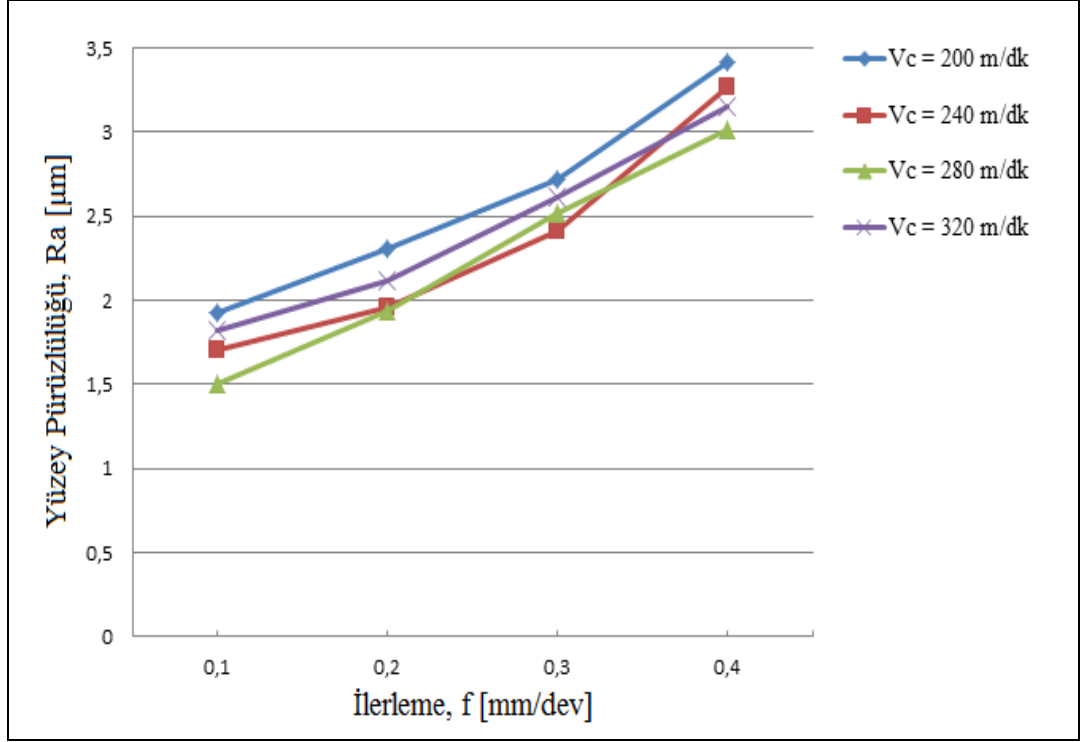
Çizelge 4.1’de görülen işleme deneylerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. En düşük yüzey pürüzlülük (Ra) 0,727  $\mu\text{m}$  iken, en yüksek yüzey pürüzlülük (Ra) değeri de 3,416  $\mu\text{m}$ ’dir. 0,8 mm uç yarıçapında silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin oldukça düzenli dağılım sergilediği görülmektedir. Elde edilen değerler yaklaşık olarak 0,727–2,726  $\mu\text{m}$  aralığında değişmektedir. 0,8 mm uç yarıçapında silindirik uç geometrisine sahip kesici takıma bakıldığında ise yüzey pürüzlülük değerleri oldukça yüksektir.

#### 4.1.1. İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

İlerleme miktarlarına bağlı, yüzey pürüzlülük değerlerinin yorumlamasını yapabilmek amacı ile sabit kesme hızlarında 4 farklı ilerleme miktarı kullanılmıştır. İşleme deneylerinde ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Silici uç geometrisine sahip kesici takımı kullanılarak yapılan işleme deneylerinde ilerleme miktarlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi.

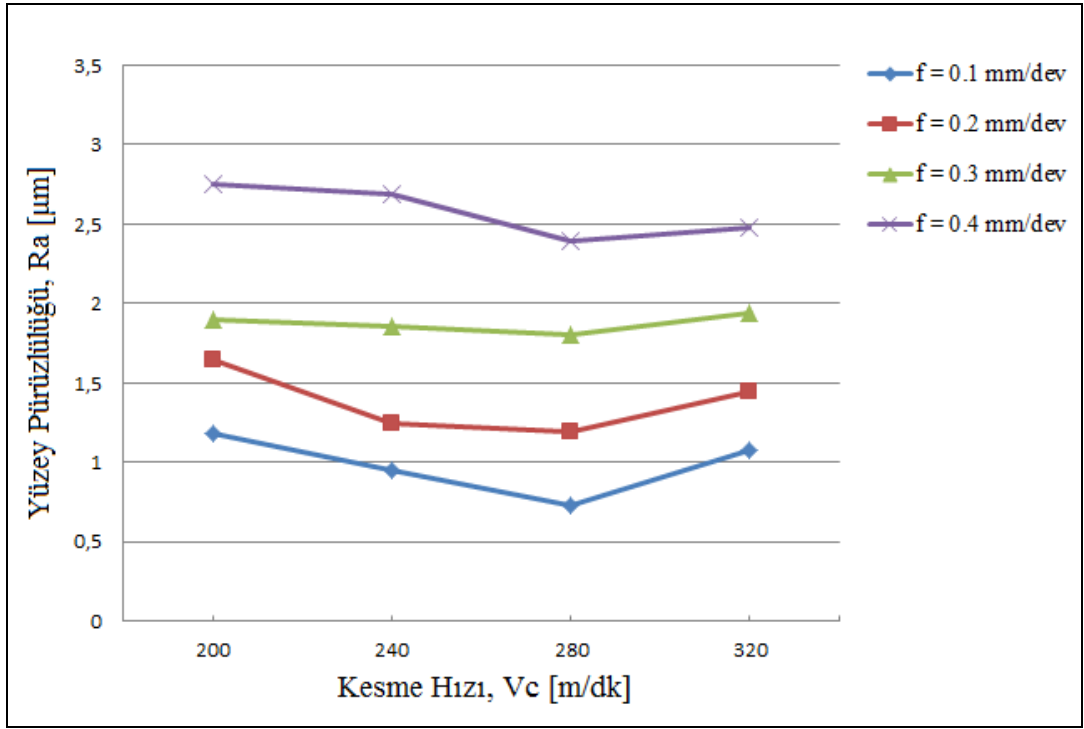


Şekil 4.2. Silindirik uç geometrisine sahip kesici takımını kullanılarak yapılan işleme deneylerinde ilerleme miktarlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde; sabit kesme hızlarında 200, 240, 280, 320 m/dk ve her bir kesme hızı için 0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev farklı ilerleme miktarları kullanılarak üretilmiş olan deney numunelerinin, ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülük değerleri değişimi görülmektedir. Her iki kesici takım ile yaptığımız deneylerde ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de artmaktadır. Başka bir ifade ile ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü doğru orantılı olarak değişmektedir. Bunun nedeni, ilerleme miktarı arttıkça kesicinin bir devirde alması gereken talaş miktarının artması nedeniyle pürüzlülük değeri de artmaktadır [68]. Bu durum literatür [68] ile paralellik taşımaktadır. Tüm deneylerde ilerleme değerinin artışı ile işlenmiş yüzeyde çukur ve tepe değerleri arasındaki mesafe artacağından, elde edilen ortalama pürüzlülük değeri de (Ra) artmıştır [69]. Uç geometrileri farklı kesici takımlar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise silici uç geometrisine sahip kesici takımlarla işlenen deney numunelerinin aynı şartlar altında silindirik uç geometrisine sahip kesici takımlarla işlenen deney numunelerine göre yüzey pürüzlülük değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise silici uç geometrisine sahip kesici takımın silici uç geometrisine sahip oluşudur.

#### 4.1.2. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

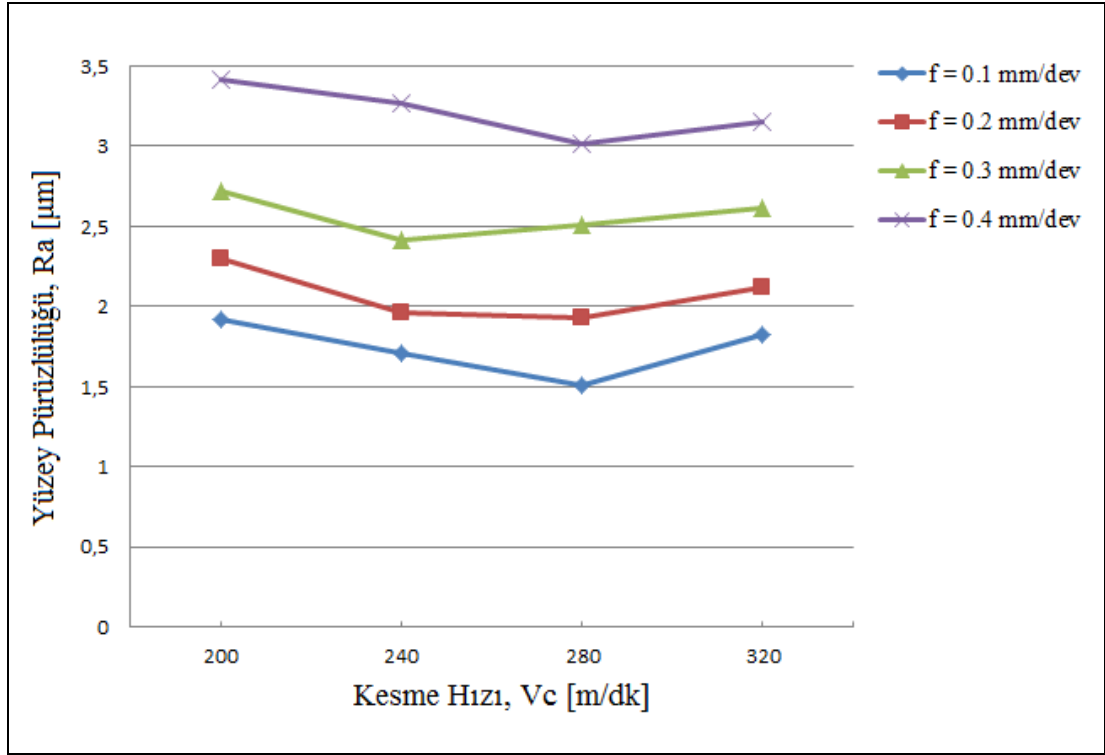
İşleme deneylerinde, sabit ilerleme miktarlarında (0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev.) ve her bir ilerleme değeri için 200, 240, 280 ve 320 m/dk kesme hızları kullanılarak, kesme hızlarına bağlı yüzey pürüzlülük değerleri değişimi incelenmiş ve bu değişim Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Silici uç geometrisine sahip kesici takımını kullanılarak yapılan işleme deneylerinde kesme hızlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi.

Şekil 4.3 incelendiğinde, 0.1 mm/dev ilerleme miktarında, kesme hızı 200 m/dk’ dan 240 m/dk’ ya çıktığında yüzey pürüzlülük değeri düşmüştür. Yüzey pürüzlülük değerindeki bu düşüş kesme hızının artmasıyla devam eder. Bunun nedeni, kesme hızı arttıkça kesici takımın etki kuvvetinin artması sebebiyle malzemenin plastik deformasyon hızı artar dolayısıyla da talaş hızlı bir şekilde parçadan kopar. Böylece iyi bir yüzey kalitesi sağlanmış olur. Ancak, aynı ilerleme miktarında kesme hızı 320 m/dk’ ya çıktığında yüzey pürüzlülük değerinde artış gözlenmektedir. Bu durum diğer sabit tutulan ilerleme hızlarında da yüzey pürüzlülük değerlerinin, kesme hızının 320 m/dk’ya çıktığı anda aynı şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni, yüksek kesme hızlarında tezgahın rijitliğinin bozulmasından ve kesici uçta

oluşan sıcaklıktan kaynaklandığı söylenebilir. Bir başka ifadeyle yüksek kesme hızlarında parçada meydana gelen titreşim ve sıcaklıktan oluşması muhtemel yığılma ağız faktöründen dolayı yüzey pürüzlülüğü etkilenmektedir. 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında seçilen kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri en küçükten en büyüğe doğru sırasıyla 280m/dk' da (0,727  $\mu\text{m}$ ), 240 m/dk' da (0,947 $\mu\text{m}$ ), 320 m/dk' da (1,073  $\mu\text{m}$ ) ve 200 m/dk' da (1,182  $\mu\text{m}$ ) olarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için kesme hızının artırılması, literatürdeki en yaygın yöntemdir [70]. Yalnız kesme hızında belirli bir sınır aşıldığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir [71].



Şekil 4.4. Silindirik uç geometrisine sahip kesici takım kullanılarak yapılan işleme deneylerinde kesme hızlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi.

Şekil 4.4 incelendiğinde, yine kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de düşmektedir. Fakat silindirik uç geometrisine sahip kesici takımla elde ettiğimiz yüzey pürüzlülük değerleri diğer kesici takıma oranla daha yüksektir. Bunun nedeni, diğer kesici takımın silici uç geometrisine sahip oluşudur. Silindirik uç geometrisine sahip kesici takım için seçilen aynı ilerleme miktarı ve kesme hızları ile yapılan işleme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri

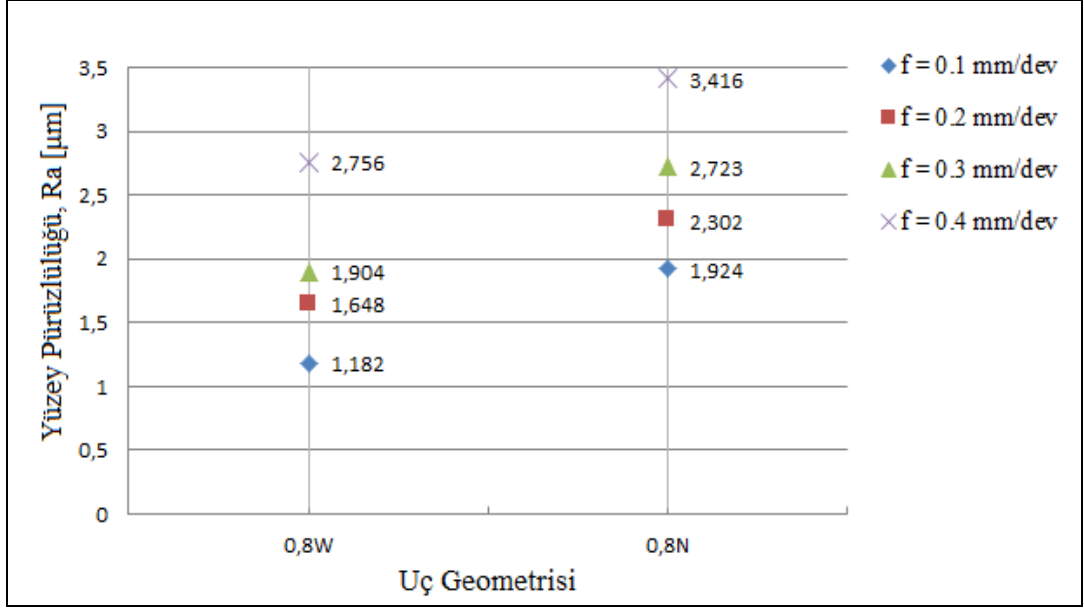
en küçükten en büyüğe doğru sırasıyla 280m/dk'da (1,506 µm), 240 m/dk'da (1,704 µm), 320 m/dk'da (1,823 µm) ve 200 m/dk'da (1,924 µm) olarak bulunmuştur.

Her iki kesici takım için Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 incelendiğinde, deney malzemesi için en ideal kesme hızı 280 m/dk'dır. Bunun nedeni daha yüksek kesme hızlarında malzeme yüzeyindeki bozunumlar başlamaktadır.

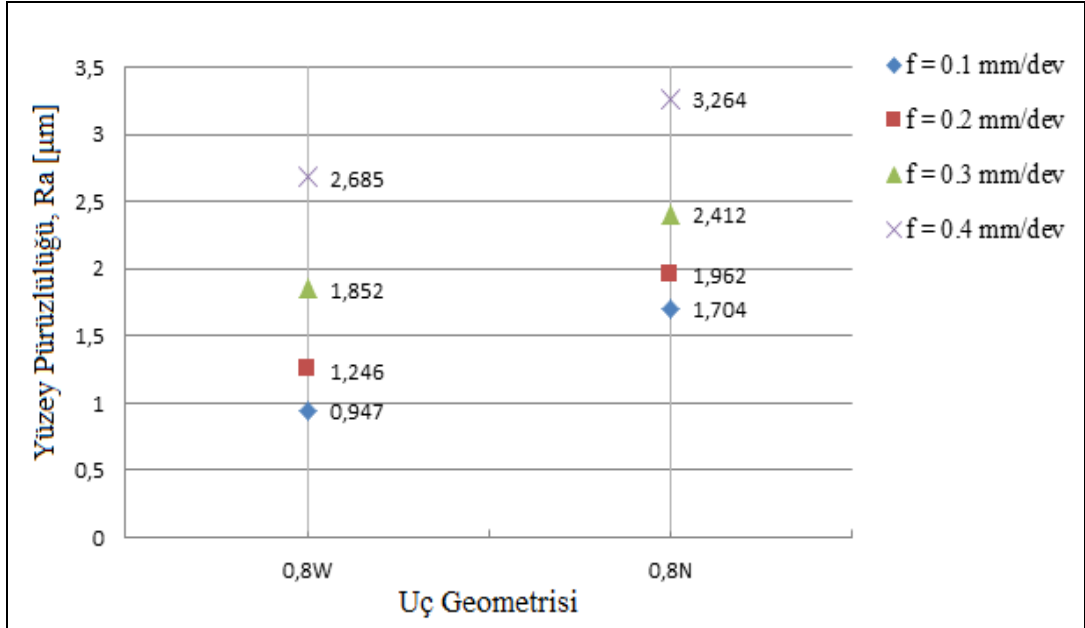
#### **4.1.3. Kesici Takım Uç Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi**

Tornalama yöntemiyle yapılan işleme deneylerinde, kullanılan kesici takımların uç geometrilerinin yüzey pürüzlülük değerlerini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Deneylerde kullanılan SANDVIK firmasına ait kesici takımlar için aynı uç yarıçapları ve aynı kesme parametreleri kullanılmasına rağmen yüzey pürüzlülük değerlerinin büyük ölçüde farklılık gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni ise silici kesici uç geometrisi dediğimiz kesici takım geometrisinden kaynaklanmaktadır. Silici uç geometrisine sahip kesici takımın kullanıldığı işleme deneylerinde yüksek ilerleme hızları kullanılmasına karşın düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan bir diğer kesici takım olan silindirik uç geometrisine sahip kesici takım ile yapılan işleme deneylerinde ise diğer kesici takım ile aynı ilerleme ve kesme hızlarının kullanılmasına rağmen yüksek pürüzlülük değerleriyle karşılaşıldığı görülmüştür. Kesici uç geometrisine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri değişimi Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

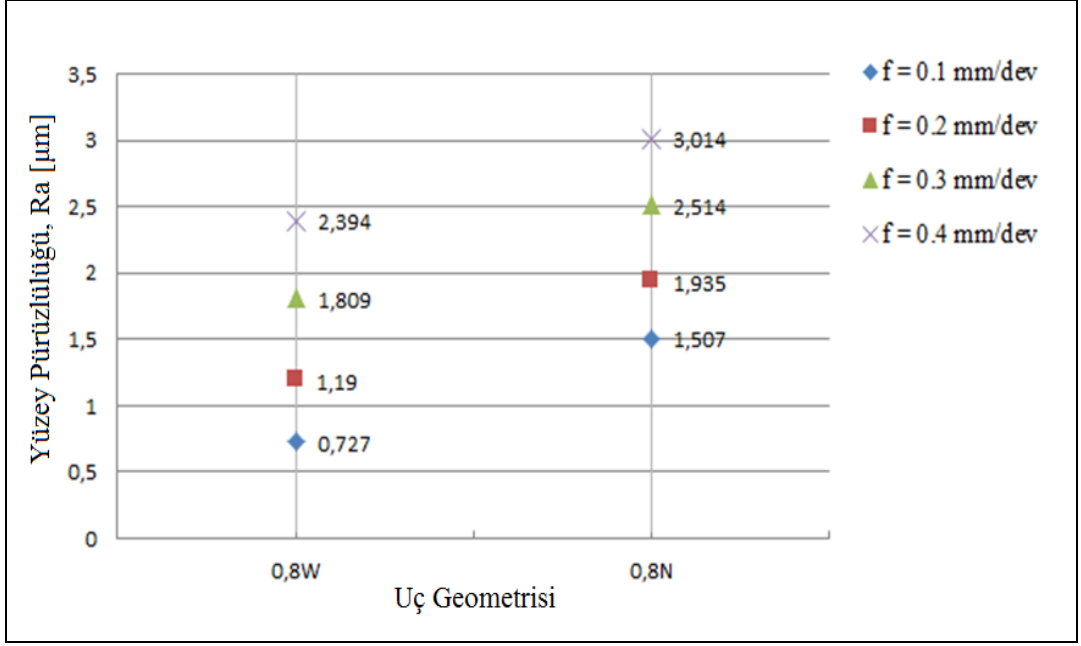
Silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımlar geleneksel olarak frezeleme işlemlerinde kullanılır. Son zamanlarda tornalama işlemleriyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini düşürmek için tornalama işlemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Kesici takım üreticisi firmalar tarafından da düşük yüzey pürüzlülük değerleri için tavsiye edilmektedir.



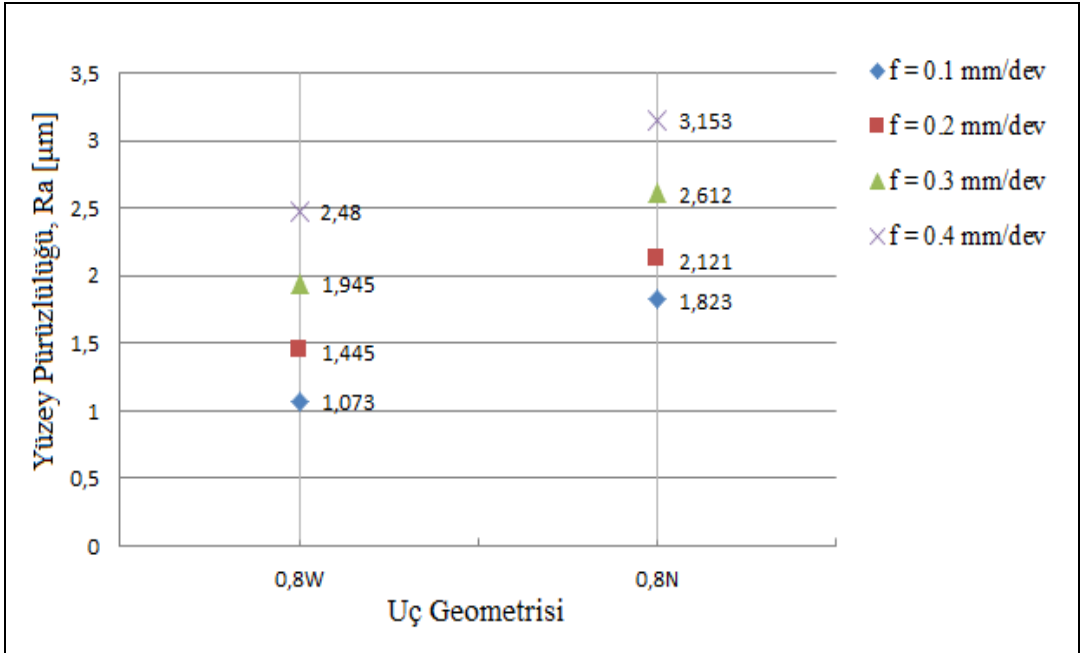
Şekil 4.5. 200 m/dk kesme hızında ve 2 mm sabit kesme derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).



Şekil 4.6. 240 m/dk kesme hızında ve 2 mm sabit kesme derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).



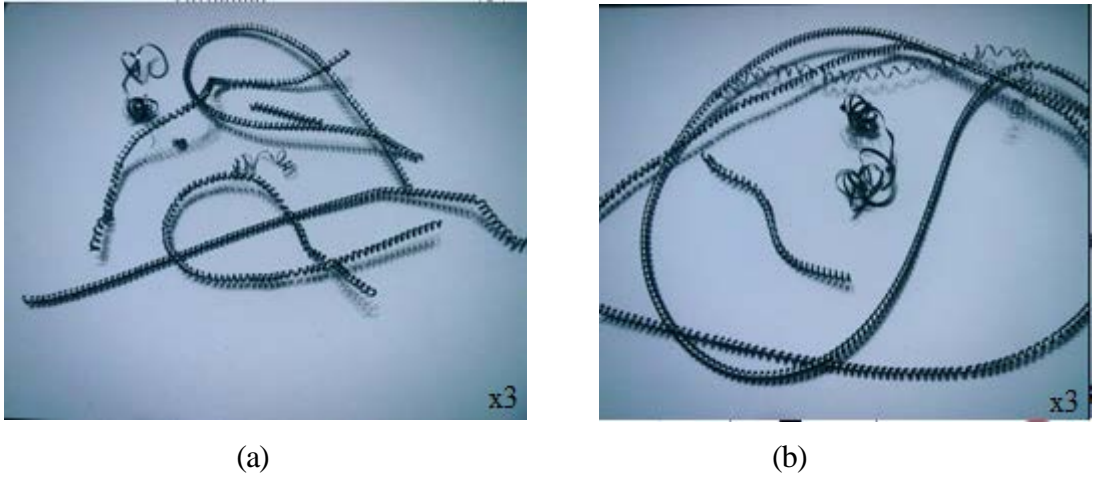
Şekil 4.7. 280 m/dk kesme hızında ve 2 mm sabit kesme derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).



Şekil 4.8. 320 m/dk kesme hızında ve 2 mm sabit kesme derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).

#### 4.1.4. Talaş Formunun Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Deney numunesinin silindirik uç geometrili kesici takım ile yaptığımız işleme deneylerinde seyrek dolanımlı bant biçiminde sürekli talaş formlarıyla karşı karşıya kalınmıştır. Sürekli talaş oluşumunun nedenlerinin ise deneylerde kademeli olarak arttırılmış yüksek kesme hızlarının kullanılması, iş parçası malzemesinin sünek bir malzeme oluşu ve silindirik uç geometrisine sahip bir kesici takım oluşundan kaynaklandığı anlaşılmıştır. İşleme deneylerinde görülen sürekli talaş oluşumunun iş parçası yüzeyine sarılması da yüzey kalitesinin bozulmasına ve yüksek pürüzlülük değerlerinin oluşmasına neden olmuştur. Silindirik uç geometrili kesici takım kullanılarak yapılan işleme deneylerinde elde edilen sürekli talaş formlarının bazıları Şekil 4.9'da görülmektedir.

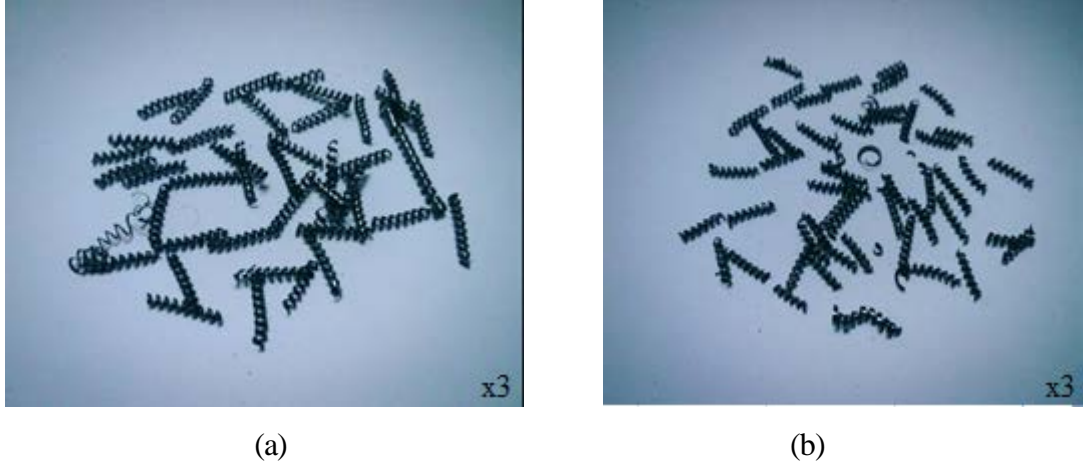


Şekil 4.9. Silindirik uç kesici uç geometrisine sahip kesici takımla yapılan işleme deneyleri sonrası talaş formları; a) Kesme parametreleri; ( $V_c = 200$  m/dk,  $f = 0,2$  mm/dev,  $a = 2$  mm), b) Kesme parametreleri; ( $V_c = 320$  m/dk,  $f = 0,2$  mm/dev,  $a = 2$  mm).

Silici uç geometrili kesici takım ile yaptığımız işleme deneylerinde helis biçiminde ve uzunluğu kısa (1 cm) olan bir talaş formu elde edilmiştir. Bu talaş formu talaşlı imalat işlemlerinde istenilen bir talaş formudur. Silici ve silindirik uç geometrili kesici takımlarının aynı şartlar ve aynı kesme parametreleriyle işlenmesine rağmen farklı talaş formlarının oluşmasının nedeni, silici uç geometrisine sahip kesici takım oluşudur. Bu süreksiz talaş formu da yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu bir etki yapmış ve düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Deneylerde, silici uç



geometrisine sahip kesici takım kullanılarak yapılan talaş kaldırma işlemlerinde elde edilen süreksiz talaş formlarının bazıları Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla belirli kesme parametreleriyle yapılan işleme deneyleri sonrası talaş formları; a) Kesme parametreleri; ( $V_c = 200$  m/dk,  $f = 0,2$  mm/dev,  $a = 2$  mm), b) Kesme parametreleri; ( $V_c = 320$  m/dk,  $f = 0,2$  mm/dev,  $a = 2$  mm).

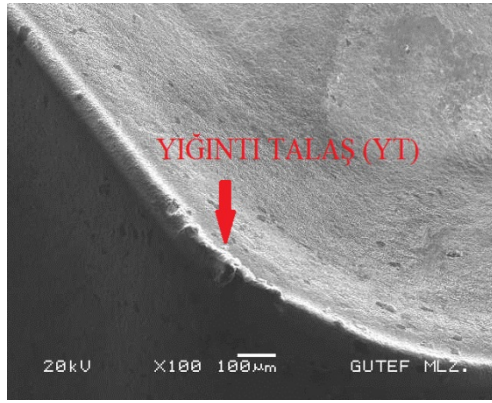
#### 4.2. YIĞINTI KATMANI (YK) VE YIĞINTI TALAŞ (YT) OLUŞUMU SEM İNCELEMELERİ

Deneyleerde, dört farklı kesme hızında (200, 240, 280 ve 320 m/dk), dört farklı ilerleme miktarında (0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev) ve 2 mm sabit kesme derinliği ile işleme deneylerinde kullanılan silici ve silindirik uç geometrisine sahip kesici takımlarda oluşacak yığıntı katmanı (YK) ve yığıntı talaş (YT) tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Ancak birden çok kesme parametreleri kullanılsa da yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu belirli kesme parametrelerinde olduğu görülmüştür.

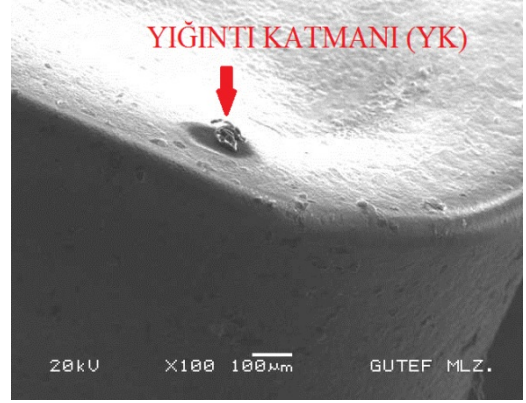
SEM ile elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi sonucunda, silindirik uç geometrisine sahip kesici takım için YT ve YK oluşumunun en fazla görüldüğü kesme parametreleri 0,1 mm/dev, 0,4 mm/dev ilerleme miktarları ve 240 m/dk, 280 m/dk kesme hızları olmuştur.

Şekil 4.11’de deney numunesinin 240 m/dk, 280 m/dk kesme hızı ve 0,10 mm/dev, 0,40 mm/dev ilerleme miktarları ile işlenmesi sonucunda silindirik uç geometrili kesici takım üzerinde oluşan YK ve YT’ın SEM fotoğrafları görülmektedir.

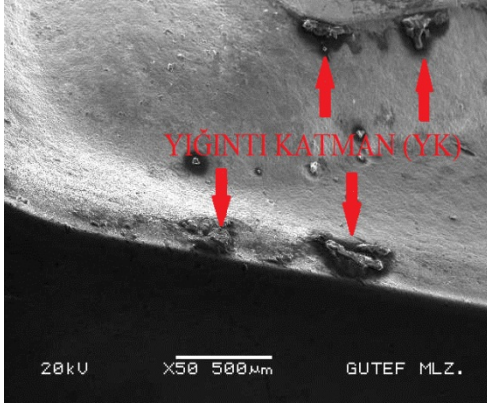
Şekil 4.11’de görüldüğü gibi YK kesici takım talaş yüzeyinde oluşurken, YT ise kesici takım esas kesme kenarı boyunca oluşmuştur ve burun radyüsü yakınlarında takım talaş yüzeyine doğru devam etmektedir.



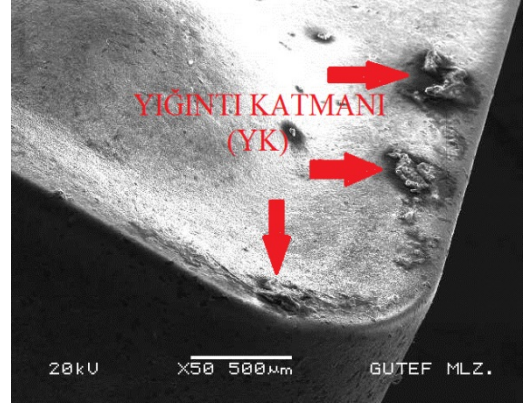
(a)



(b)



(c)



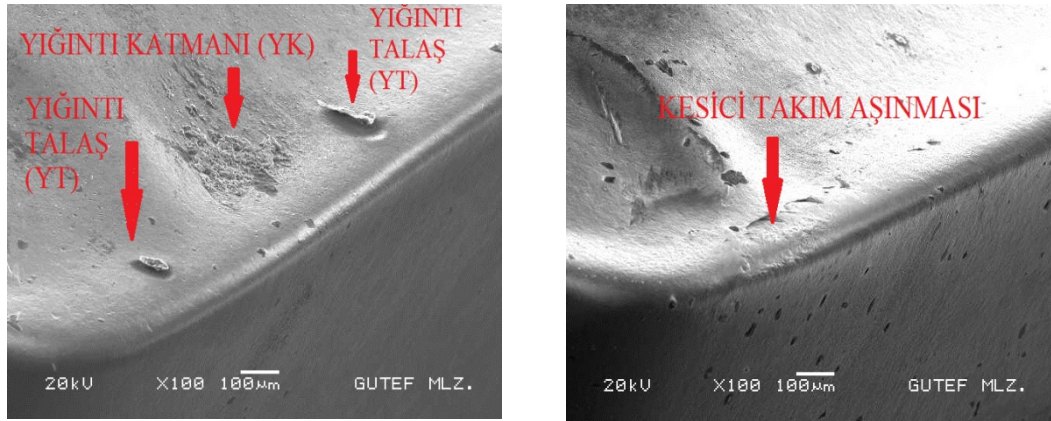
(d)

Şekil 4.11. Silindirik uç geometrili kesici takımda oluşan YK ve YT görüntüleri; a) Kesici takım talaş yüzeyi SEM görüntüsü, b) Kesici takım talaş yüzeyi SEM görüntüsü, c) YK VE YT’ın kesici takım üzerine sıvanmasına ilişkin SEM görüntüsü, d) YK VE YT’ın kesici takım üzerine sıvanmasına ilişkin SEM görüntüsü.

Deneyleerde, diğer bir kesici takım olan silici uç geometrili kesici takımdan alınan görüntüler değerlendirildiğinde YT ve YK oluşunun en fazla görüldüğü kesme parametreleri 0,1 mm/dev; 0,4 mm/dev ilerleme miktarları ve 200 m/dk, 280 m/dk kesme hızları olmuştur.

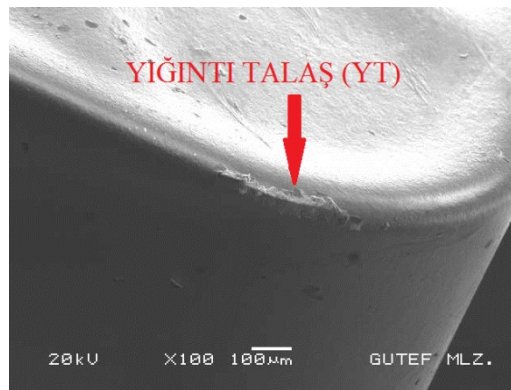
şekil 4.12'de deney numunesinin 200 m/dk, 280 m/dk kesme hızı ve 0,1 mm/dev; 0,4 mm/dev ilerleme miktarlarında işlenmesi sonucunda silici uç geometrili kesici takım üzerinde oluşan YK ve YT'n SEM görüntüleri görülmektedir.

şekil 4.12'de görüldüğü gibi YK ve YT kesici takım talaş yüzeyinde oluşurken, efektif kesici kenarında da azda olsa bir takım aşınması görülmektedir.



(a)

(b)



(c)

şekil 4.12. Silici uç geometrili kesici takımda oluşan takım aşınması, YK ve YT görüntüleri; a) Kesici takım talaş yüzeyi SEM görüntüsü, b) Kesici takım talaş yüzeyi SEM görüntüsü, c) YT'n kesici yan yüzeyine sıvanmasına ilişkin SEM görüntüsü.

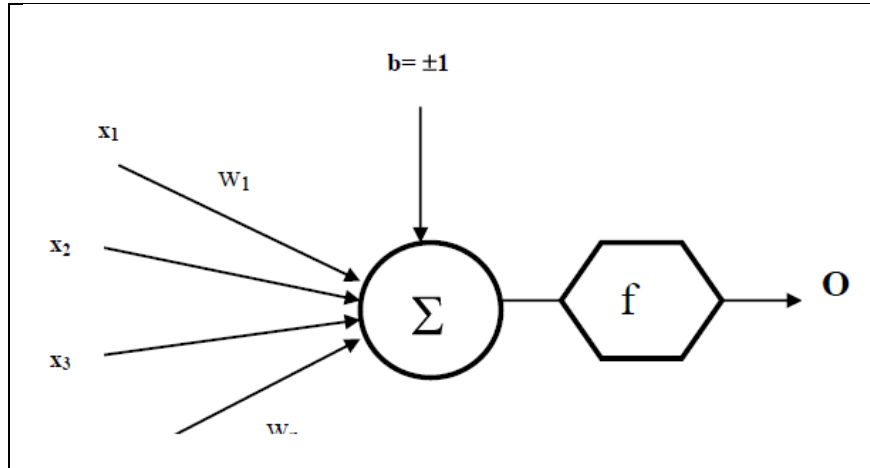
## BÖLÜM 5

### MODELLEME ÇALIŞMASI

#### 5.1. YAPAY SİNİR AĞLARI

Bir deneysel çalışmanın yapılabilmesi için öncelikle bir deney ortamını oluşturmak gereklidir. Ayrıca bu konuda bir uzmana, özel araç ve gereçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte oldukça fazla zamana ve maliyete de gereksinim vardır. Yapay zeka yöntemleri, özellikle YSA klasik yöntemlerle zor çözülebilen, matematiksel olarak modellenemeyen veya çözülmesi mümkün olmayan karmaşık, lineer olmayan problemleri çok kolay çözülebilmekte, yukarıda sayılan bu tür kısıtlamaları ve yetersizlikleri gidererek çok başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [45]. YSA insan beyninin sinir ağlarını taklit eden, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan, örneklerden genellemeler yaparak öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, keşfedebilme ve oluşturabilme yeteneğine sahip bilgisayar yazılımlarıdır. YSA'lar tahmin, sınıflandırma, örüntü tanıma, teşhis, yorumlama, veri filtreleme ve ilişkilendirme gibi birçok fonksiyonu gerçekleştirerek endüstri, finansal, askeri, sağlık, iletişim, mühendislik gibi birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar [59-60]. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı alanlarda zamandan tasarruf sağlanmış ve masraflarda azalma görülmüştür. Deneysel olarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında hata oranının çok az olduğu tespit edilmiştir [63]. Literatürde, YSA kullanarak arzu edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşabilmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları, tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü tahmini için bilgi tabanlı sistem kullanımı [16], YSA ile kalıp parçalarının yüzey pürüzlülüğünü belirleme [61], tornalamada kesme koşullarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin YSA ile modellenmesi [2], işleme sürecinde yüzey pürüzlülüğünün tahmini [62] v.b. alanlardır.

Temel bir Yapay Sinir Ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. Yapay Sinir Ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır (Şekil 5.1). Dış ortamdan alınan veri, ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar[72]. Net giriş, girişlerle bu girişlere karşılık gelen ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan (nonlinear) bir fonksiyondur. Şekilde görülen b bir sabittir ve aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli Şekil 5.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Temel yapay sinir ağı hücresi [64].

$$\text{Çıkış, } o = f(W.X + b) \quad (5.1)$$

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir.

### 5.1.1. Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar

Yapay bir nöron (proses elemanı) beş temel öğeden oluşur. Bunlar girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon formülü ve çıktılarıdır.

#### **5.1.1.1. Girdiler**

Proses elemanın dış ortamdan bilgileri (verileri) alan elemanlardır. Veriler bu safhada bir işleme tabi tutulmadan aynen iletilirler.

#### **5.1.1.2. Ağırlıklar**

Bir nörona eş zamanlı birçok veri girişi olabilir. Bu veriler nörona gelirken kendine ait olan ağırlık değeriyle çarpılır. Ağırlık değerleri pozitif, negatif ya da sıfır olabilir. Ağırlık değerleri kullanılan birçok öğrenme kurallarına ve ağırlık mimarisine göre değişebilmektedir. Girdilerin toplama fonksiyonu üzerindeki etkileri ağırlıkları miktarınca olur.

#### **5.1.1.3 Toplama Fonksiyonu**

Proses elemanında girdiler ağırlıklarla çarpıldıktan sonra toplama fonksiyonuna gönderilirler. Girdiler ve ağırlıklar, aktivasyon fonksiyonuna gitmeden önce birçok şekilde bütünleştirilebilirler. Genel olarak girdiler ve ağırlıkların çarpılmasıyla bulunan değerler toplanmak suretiyle aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Kimi zaman kullanıcının tercihine göre bu değerlerin en büyüğü, en küçüğü ya da kümülatif toplamı vb. kullanılabilir. Hangi problemde hangi toplama fonksiyonunun kullanılacağına dair henüz bulunmuş bir formül yoktur. Her nöron aynı toplama fonksiyonunu kullanabileceği gibi ayrı ayrı fonksiyonlarda kullanılabilir.

#### **5.1.1.4. Aktivasyon Fonksiyonları**

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 şunlardır [72];

- Doğrusal Fonksiyonu
- Adım Fonksiyonu

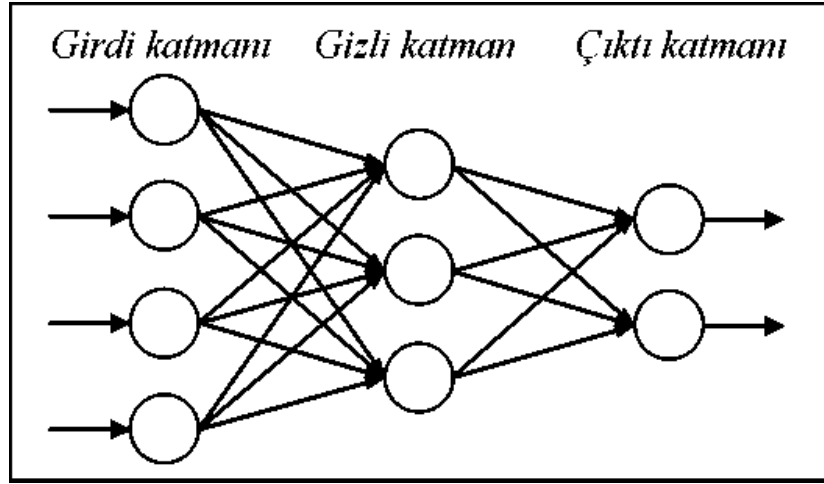
- Rampa Fonksiyonu
- Sigmoid Fonksiyonu
- Fermi Fonksiyonu

### 5.1.2. 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 ağın olay hakkında sahip oldukları bilgiyi temsil eder. YSA'nın fonksiyonlarını gerçekleştirmede, sahip oldukları fiziki yapının da rolü vardır. Birbirinden farklı yaklaşık 30 civarında farklı yapılanma veya topolojiden (modelden) bahsedilmekte ve bu sayı her geçen gün artmaktadır[64]. 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 [65]. *Tek Katmanlı Ağlar*: Verilerin ağa sunulduğu girdi katmanı ile çıkışların elde edildiği çıktı katmanından ibarettir ve sadece lineer problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. *Çok Katmanlı Ağlar*: Genel itibariyle birbirine bağlanan; ağın giriş değerlerinin verildiği girdi katmanı, girdi katmanından gelen bilgileri transfer (aktivasyon) fonksiyonuyla işleyerek çıktı katmanına ileten gizli katman ve ağın çıkış değerlerinin elde edildiği çıktı katmanı olmak üzere üç tür katmandan oluşur (Şekil 5.2). Girdi katmanındaki giriş sayısı kadar nöron (işlem elemanı) bulunur ve bu katmandaki işlem elemanları veriyi değer

olarak gizli katmandaki işlem elemanlarına aktarırlar. Yani girdi katmanında çoğu zaman bilgi işleme söz konusu olmaz. Çıktı katmanındaki işlem elemanı sayısı problemin çıkış sayısı kadardır. Taşıdıkları sinyali toplayan ağırlık kümesi ve takip eden işlem elemanlarından oluşan katmanlardaki işlem elemanları; tam bağlantılı (Şekil 5.2), kısmi bağlantılı veya ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Genellikle, bir katmandaki her iki işlem elemanı, aynı birleşme ve transfer fonksiyonu ile aynı öğrenme kuralına sahiptir [65].



Şekil 5.2. Tam bağlantılı çok katmanlı ağ yapısı [72].

İşlem elemanlarının birbirleriyle ilişkileri ve katmanlar arası ilişkiler değişik yapısal modellerin oluşmasına neden olmaktadır. YSA'da ki 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 [66]. 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) [72].



### 5.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

İnsan beyni doğumdan sonraki gelişme sürecinde çevresinden duyu organlarıyla algıladığı davranışları yorumlar ve bu bilgileri diğer davranışlarında kullanır. Yaşadıkça beyin gelişir ve tecrübelenir. Artık olaylar karşısında nasıl tepki göstereceğini çoğu zaman bilmektedir. Fakat hiç karşılaşmadığı bir olay karşısında yine tecrübesiz kalabilir. Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde de, tıpkı dış ortamdan gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdan girişler alınır, bu girişlerin beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki verilmesi gibi yapay sinir ağında da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yenilenen yapay sinir ağının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşılmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağı verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılan kadar geçen zamana öğrenme adı verilir. Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilip, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkışı yaklaşımlı incelenir. Eğer yeni verilen örneklere de doğru yaklaşıyorsa sinir ağı işi öğrenmiş demektir. Sinir ağına verilen örnek sayısı optimum değerden fazla ise sinir ağı işi öğrenmemiş ezberlemiştir. Genelde eldeki örneklerin yüzde sekseni ağa verilip ağ eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısım verilip ağın davranışı incelenir diğer bir deyişle ağ böylece test edilir [67].

### 5.1.4. Deney Sonuçlarının YSA ile Analizi ve Değerlendirilmesi

Yüzey pürüzlülüğü mekanizmasının modellenmesi, esasen talaş kaldırma işlemine bağlı karmaşık bir süreçtir. Bu yüzden analitik olarak pürüzlülük değerinin bulunması oldukça zordur [19, 57]. Ama yine de ortalama yüzey pürüzlülüğünü ( $R_a$ ) bulabilmek için aşağıda verilen denklem (5.1) kullanılmaktadır [58];

$$Ra = \frac{1000f^2}{32r} \quad (\mu m) \quad (5.2)$$

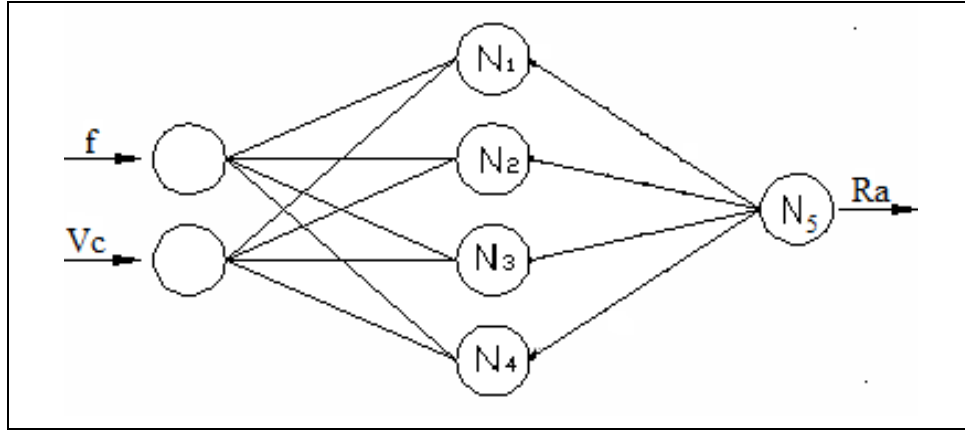
Burada f ilerleme (mm/dev) ve r (mm) takım uç radyüsüdür. Her ne kadar bu formülün pürüzlülüğü teorik olarak hatasız bir şekilde hesaplayacağı düşünülse de gerçekte sürece etki eden titreşim ve takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeden meydana gelen yapışmalar gibi etkenlerin ihmal edilmiş olduğu, gözden kaçırılmamalıdır [45].

Bu çalışmada, silindirik tornalama işleminde silici ve silindirik uç geometrisine sahip kesici takımlar için ilerleme miktarı (f), kesme hızı ( $V_c$ ) değişkenlerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra) tahmini için bir YSA yaklaşımı sunulmuştur. Yüzey pürüzlülük değeri için YSA modellemesi *Pythia* programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *Pythia*' da YSA ile modelleme genellikle eğitim süreci ve test süreci olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Eğitim sürecinde ağa verilen giriş ve çıkış değerleri kontrol edilerek hata (sapma) değeri en aza indirilmeye çalışılırken, test aşamasında ise ağırlık değerleri değiştirilmeksizin giriş değerleri verilerek YSA'nın istenilen pürüzlülük değerlerinin tahmininde bir öngörü aracı olabilirliği araştırılmıştır.

Silici ve silindirik uç geometrisine sahip kesici takımların her biri için 16 adet olmak üzere aynı kesme parametreleriyle gerçekleştirilen toplam 32 adet kesme deneyi sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülük (Ra) değeri için kesici takım formu esas alınarak ayrı ayrı YSA analizleri yapılmıştır. Programda kesme hızı ( $V_c$ ) ve ilerleme (f) giriş değerleri, yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) de çıkış değerleri olarak girilmiştir.

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

Yüzey pürüzlülüklerinin YSA da modellenmesinde silici (wiper) ve silindirik uç geometrisine sahip kesici takımlar için uygun ağ yapısı 2-4-1 olarak belirlenmiştir. Her iki kesici uç içinde, iki seviyeli gizli katmanın uygulanması gerektiğini belirlemiştir. Buna göre birinci ve ikinci seviyedeki gizli katmanlarda kullanılacak nöron sayısı program tarafından sırasıyla 4 olarak seçilmiştir. Buna göre N1, N2, N3, N4 nöronları silici ve silindirik uç geometrilili kesici takımlar için gizli katman seviyeleri olarak belirlenmiştir. Silici ve silindirik uç geometrisine sahip kesici takımlar için N5 nöron ise ağın çıkış nöronudur. Şekil 5.3'de silici (wiper) ve silindirik uç geometrisine sahip kesici takımlar için Ra'nın tahmininde kullanılacak en uygun ağ topolojisi verilmiştir.



Şekil 5.3. Tasarlanan YSA ağ yapısı.

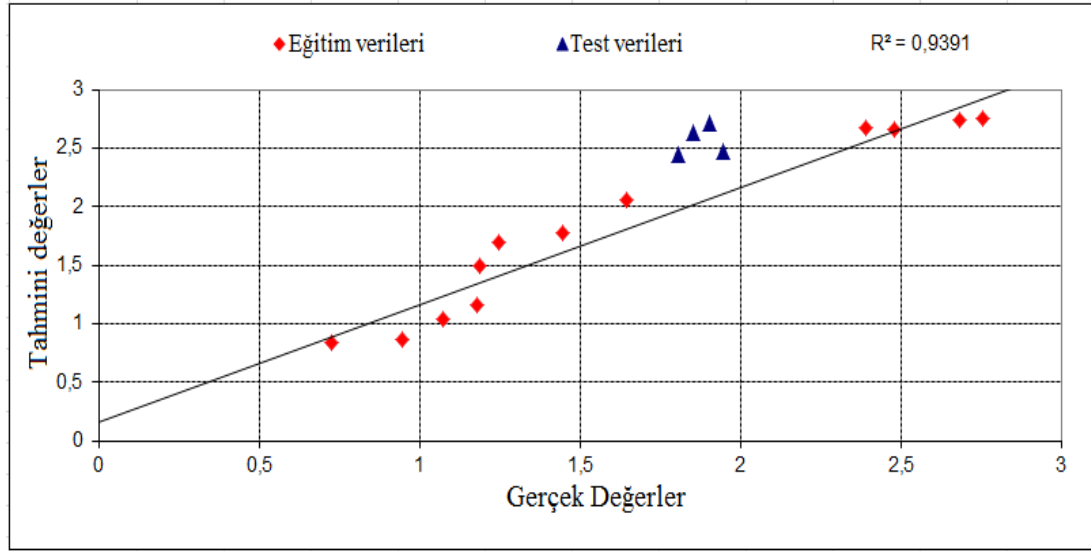
Ağın eğitilmesi için gerekli parametreler girilir ve ağın eğitilmesi sağlanır. Eğitim sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunur ve YSA çıktı değerleri ile gerçek deney sonuçlarından ortalama sapma değeri bulunur.

Çizelge 5.1. Silici uç geometrili kesici takım yüzey pürüzlülüğü Deney - YSA sonuçları.

Deney No	Uç Yarıçapı, r [mm]	Talaş Açısı, $\gamma$	Kesme Hızı, Vc [m/dk]	İlerleme, f [mm/dev]	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra [ $\mu$ m]	
					Silici	YSA
1	0,8	5°	200	0,10	1,182	1,1646
2				0,20	1,648	2,0576
3				0,30	1,904	2,7060
4				0,40	2,756	2,7533
5			240	0,10	0,947	0,8586
6				0,20	1,246	1,6977
7				0,30	1,852	2,6339
8				0,40	2,685	2,7381
9			280	0,10	0,727	0,8307
10				0,20	1,190	1,4934
11				0,30	1,809	2,4387
12				0,40	2,394	2,6717
13			320	0,10	1,073	1,0439
14				0,20	1,445	1,7762
15				0,30	1,945	2,4695
16				0,40	2,480	2,6595

Yapay sinir ağlarında işlemci elemanlar arasındaki bağlantıların ağırlık değerlerinin değiştirilmesi işlemine “ağın eğitilmesi” denilmektedir. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi silici (wiper) ve silindirik uç geometrisine sahip takımlar için dört farklı kesme hızında (200, 240, 280 ve 320 m/dk), dört farklı ilerleme miktarına (0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev) bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük değerleri rastgele olarak YSA yapısına atanmış ve bu ağırlık değerleri, ağa gösterilen örneklerle değiştirilmiş ve *Pythia* programında eğitilmiştir. Bu işlemi yaparak, ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerleri belirlenmiş olmuştur. Daha sonra silici (wiper) ve silindirik uç geometrisine sahip kesici takımlarla, dört farklı kesme hızı (200, 240, 280 ve 320 m/dk) ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarı kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri seçilip ve *Pythia* programında eğitilmiştir. Her iki kesici takım içinde oluşturduğumuz yapay sinir ağlarında ağırlıkların doğru değerlere ulaşması, örneklerin temsil ettiği problem konusunda ağın genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması sağlanmıştır.

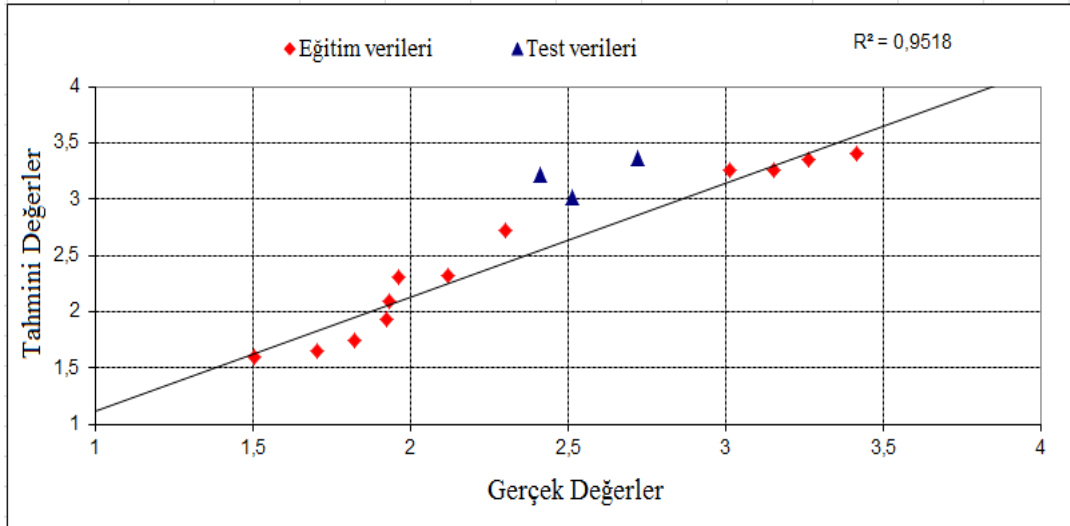
Yapay sinir ağının eğitiminin tamamlanmasının ardından, ağın öğrenip öğrenmediğini (performansını) ölçmek için denemeler yapılmış ve YSA test edilmiştir. YSA yapımızı test ederken, ağın eğitimi sırasında görmediği, yani veri setinden test amaçlı olarak ayrılan örnekler kullanılmıştır. Test işleminde ağın ağırlık değerleri değiştirilmemektedir. Örnekler ağa gösterilmiş ve ağ eğitimi sırasında belirlenen ağırlık değerlerini kullanarak daha önce görmediği bu örnekler için çıktılar üretilmiştir. Elde edilen çıktılarının belirlilik katsayıları (güven değerleri) ( $R^2$ ) % 0,93 ve % 0,95 bulunmuştur. Sonuç olarak eğitimin performansı iyi bir seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. Silici uç geometrili kesici takımların Deney-YSA sonuçlarının kare diyagramı.

Çizelge 5.2. Silindirik uç geometrili kesici takım yüzey pürüzlülüğü Deney-YSA sonuçları.

Deney No	Uç Yarıçapı, r [mm]	Talaş Açısı, $\gamma$	Kesme Hızı, Vc [m/dk]	İlerleme, f [mm/dev]	Yüzey Pürüzlülüğü, Ra [ $\mu$ m]	
					Silindirik	YSA
1	0,8	5°	200	0,10	1,924	1,9283
2				0,20	2,302	2,7239
3				0,30	2,723	3,3665
4				0,40	3,416	3,4104
5			240	0,10	1,704	1,6546
6				0,20	1,962	2,3030
7				0,30	2,412	3,2174
8				0,40	3,264	3,3554
9			280	0,10	1,507	1,5973
10				0,20	1,935	2,0935
11				0,30	2,514	3,0168
12				0,40	3,014	3,2615
13			320	0,10	1,823	1,7465
14				0,20	2,121	2,3188
15				0,30	2,612	2,4695
16				0,40	3,153	1,9283



Şekil 5.5. Silindirik uç geometrili kesici takımların Deney-YSA sonuçlarının kare diyagramı.

*Pythia* testine göre deneyde elde edilen veriler ile YSA kullanılarak elde edilen veriler arasında belirgin bir farkın olmadığı sonucu elde edilip, iki grup verinin

uyumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2). Ayrıca YSA'dan tahmin edilen sonuçlar ile yapılan deney çalışması verilerinin karşılaştırmalı kare grafiği Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde deneylerde elde edilen verilerin YSA'daki sonuçlara benzer olduğu görülmektedir. Bu diyagramlar geliştirilen modelin çok iyi olduğu ve güvenle kullanılabileceğini göstermektedir. Elde edilen çıktıların belirlilik katsayıları (güven değeri) ( $R^2$ ) % 0,93 ve % 0,95 bulunmuştur. Deney verileri ile YSA'dan elde edilen sonuçlar arasında anlamca fark olmadığı ispatlanmaktadır. Buna göre iki grup veri (Deney-YSA) arasında kuvvetli bir ilişki vardır sonucuna varılmıştır.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Kesici takım uç geometrisinin iş parçası yüzey pürüzlülük değerini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Deney numuneleri üzerinde aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan işleme deneylerinde silici (wiper) uç geometrisine sahip kesici takımların kullanılmasıyla oldukça düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.
- Yapılan işleme deneylerinde her iki kesici takım içinde ilerleme miktarı ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki değişim paralellik göstermektedir. Her iki takımda da ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de artmaktadır. Deneylerle tespit edilen ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki bu doğru orantı da literatür ile paralellik taşımaktadır. Bunun nedeni, ilerleme miktarı arttıkça kesicinin bir devirde alması gereken talaş miktarının artması nedeniyle pürüzlülük değeri de artmaktadır.
- İşleme deneylerinde her iki kesici takım içinde kesme hızı arttıkça, yüzey pürüzlülük değerinin genelde azaldığı görülmüştür. Ancak bazı durumlarda kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün artması ise tezgah rijitliğinin bozulmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bir başka ifadeyle yüksek kesme hızlarında parçada meydana gelen titreşim sonucu yüzey pürüzlülüğü etkilenmektedir.
- İşleme deneylerinde talaş biçiminin yüzey pürüzlülüğü açısından çok önemli olduğu görülmüştür. Helis biçiminde ve uzunluğu kısa (1 cm) olan talaş formlarının elde edildiği durumlarda düşük yüzey pürüzlülük değerlerine



ulaşmıştır. Bu durumun en çok görüldüğü kesici takım silici uç geometrisine sahip kesici takımlar olmuştur.

- İşleme deneylerinde kullanılan kesici takımların SEM ile incelenmesi sonucunda yığıntı talaş (YT) ve yığıntı katmanı (YK) oluşumu görülmüştür. Bunun oluşumların nedeninin ise işleme deneylerinde kullanılan kesme parametrelerinden ve deney malzemesinin yapısında bulunan karbon miktarının % 0,25'in altında oluşundan kaynaklanmaktadır. Karbon miktarı % 0,25'in altında olan malzemelerin talaşları kırma zorluğu ve yapışma yatkınlığı (talaş yığılma, sıvanma) gibi durumları mevcuttur. Fakat kesme parametreleri göz önüne alındığında bu oluşumlarının yüzey pürüzlülük değerlerine belirgin bir etkisi olmamıştır.
- Model sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırıldığında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin uyduğu görülmüştür. Genel olarak yüzey pürüzlülüğünün tahmini için YSA'nın kullanılabileceği görülmüştür.
- YSA programını kullanarak çok parametrelili işleme koşullarının bulunduğu işlemlerde, işleme performansının iyileştirilmesinde kullanılabileceği ortaya konmuştur. YSA'nın iyi çözümleri kısa sürede bulan etkin bir yaklaşım olduğu belirlenmiştir.
- YSA programının yapmış olduğu optimizasyon sonucunda imalat sırasında, imalatı yapılacak malzemeleri YSA'dan faydalanarak optimum işleme şartları belirlenebilir. Bu yöntem imalatçıya optimum şartları bulmada tecrübe ve deneme yanılma ile kaybedilen zaman ve malzeme israfını önlemiş olacaktır.
- Çalışma esnasında optimum değer bulunması için deneysel bulguların YSA programına öğretilmesiyle optimum değer YSA yardımıyla bulunması sağlanmıştır.

Daha sonra yapılacak olan çalışmalar için öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Takım ömrünü belirlemek için deneyler yapılabilir.
- Talaş kaldırma esnasında meydana gelen titreşimler ölçülebilir ve titreşimlerin etkisi araştırılabilir.
- Yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen model çalışması genişletilerek, değişik iş parçası ve kesici takım çiftleri için farklı kesme şartlarında rahatlıkla kullanılacak bir bilgi bankası oluşturulabilir.
- Yüzey pürüzlülüğü modelleri diğer talaşlı imalat yöntemleri içinde ayrıca geliştirilebilir.
- Farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılan talaş kaldırma işlemleri sonucunda ortaya çıkan talaş formlarının kalınlıkları ve talaş kıvrılma yarıçapları, koordinat düzlem kâğıdı kullanılarak koordinat ölçülebilir ve alınan koordinatlar Veri Cad programına aktararak talaş kıvrım yarıçapı tespit edilebilir. Bunun sonucunda talaş kaldırma işlemi için en ideal kesme parametrelerine ulaşılabilir.
- Hızlı durdurma (quick-stop) aparatı kullanılarak kesici uçta oluşan yığıntı talaş (BUE) oluşumuna bakılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Işık, Y. ve Çakır, M. C., “Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, 1-2: 111-118 (2001).
2. Davim, J. P., Gaitonde, V. N. and Karnik, S. R., “Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models”, *Journal of Materials Processing Technology*, 205: 16-23 (2008).
3. Choudhury, S. K. and Bartarya, G., “Role of temperature and surface finish in predicting tool wear using neural network and design of experiments”, *International journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 747-753 (2003).
4. Raj, K. H, Sharma, R. H. and Srivastava, S., “Modeling of manufacturing processes with ANN for Intelligent Manufacturing”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40: 851-868 (2000).
5. Onwubolu, G. C., “Modelling and predicting surface roughness in turning operations using hybrid differential evolution and the group method of data handling networks”, *Engineering Manufacture*, 222 (7): 785-795 (2008).
6. Al-Ahmari, A. M. A., “Predictive machinability models for a selected hard material in turning operations”, *Materials Processing Technology*, 190 (1-3): 305-311 (2007).
7. Lee, B.Y. and Tarng, Y. S., “Cutting parameter selection for maximizing production rate or minimizing production cost in multistage turning operations”, *Materials Processing Technology*, 105 (1-7): 61-66 (2000).
8. Gupta, A. K., “Predictive modelling of turning operations using response surface methodology, artificial neural networks and support vector regression”, *International Journal of Manufacturing Technology*, 48: 763-778 (2010).
9. Chavoshi, S. Z. and Tajdari, M., “Surface roughness modelling in hard turning operation of AISI 4140 using CBN cutting tool”, *International Journal of Material Forming*, 10: 679-685 (2010).

10. Derakhshan, E. D. and Akbari, A. A., "Experimental investigation on the workpiece hardness and cutting speed on surface roughness in hard turning with CBN tools", *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2: 234-254 (2009).
11. Sharma, V. S., Dhiman, S. and Sehgal, R., Sharma K., "Estimation of cutting forces and surface roughness for hard turning using neural networks", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 19: 473-483 (2008).
12. Jayant, A. and Kumar, V., "Prediction of surface roughness in CNC turning operation using taguchi design of experiments", *Journal of the Institution of Engineers, Production Engineering Division*, 88: 19-25 (2008).
13. Singh, D. and Rao, P. V., "A surface roughness prediction model for hard turning process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 32: 1115-1124 (2007).
14. Kirby, E. D. and Chen, J. C., "Development of a fuzzy net-based surface roughness prediction system in turning operations", *Computers&Industrial Engineering*, 53: 30-42 (2007).
15. Zhong, Z. W., Khoo, L. P. and Han, S. T., "Prediction of surface roughness of turned surfaces using neural networks", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 28: 688- 693 (2006).
16. Abburi, N. R. and Dixit, U. S., "A knowledge-based system for the prediction of surface roughness in turning process", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22: 363-372 (2006).
17. Kohli, A. and Dixit, U. S., "A neural-network-based methodology for the prediction of surface roughness turning process", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25: 118-129 (2004).
18. Risbood, K. A. and Dixit, U. S., "Sahasrabudhe A. D., Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process", *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 203-214 (2003).
19. Benardos, P. G. and Vosniakos, G. C., "Predicting surface roughness in machining: a review", *International Journal of machine Tools&Manufacture*, 43: 833-844 (2003).
20. Arbizu I. P. and Perez C. J. L., "Surface roughness prediction by factorial design of experiments in turning processes", *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144: 390-396 (2003).

21. Suresh, P. V. S., Rao, P. V. and Deshmukh, S. G., “A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42: 675-680 (2002).
22. Kopac, J., Bahor, M. and Sokovi, M., “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 (2002).
23. Feng, C. X. and Wang, X., “Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning”, *International Journal of Manufacturing Technology*, 20: 348-356 (2002).
24. Chou, Y. K., Evans, C. J. and Barash, M. M., “Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 124: 274–283 (2002).
25. Huang, L. and Chen, J. C., “A multiple regression model to predict in-process surface roughness in turning operation via accelerometer”, *Journal of Industrial Technology*, 17: 223-234 (2001).
26. Abouelatta, O. B. and Madl, J., “Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations”, *Journal Materials Processing Technology*, 118: 269-277 (2001).
27. Jianping, L. and Bangyan, Y., “Fuzzy fusion of multi-sensor data for tool wear identifying”, *Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, China, 3: 570-573 (2008).
28. Hongli, G., Mingheng, X., YanChen, S., Pan, F. and Qingjie, L., “Experimental study of tool wear monitoring based on neural networks”, *Intelligent Control and Automation*, China, 7: 6906-6910 (2008).
29. Moavenian, M. and Moghaddam, E. T., “CNC tool wear detection using neuro-fuzzy classification system”, *World Automation Congress*, Iran, 17: 471-476 (2004).
30. Chuangwen, Xu., Zhe, Liu. and Wencui, Luo., “A frequency band energy analysis of vibration signals for tool condition monitoring”, *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, China, 1: 385-388 (2009).
31. Uçun, İ. ve Aslantaş, K., “Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karburlu kesici takımın performansının araştırılması”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük (2009).

32. Karayel, D., "Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network", *Journal Materials Processing Technology*, 209: 3125-3137 (2009).
33. Kaçal, A. ve Gülesin, M., "Küresel grafitli dökme demirlerin son bitirme operasyonlarının analizi üzerine bir çalışma", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük (2009).
34. Tekaslan, Ö., Gerger, N. ve Şeker, U., "CNC torna tezgahında AISI 304 çeliklerin işlenmesinde optimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak kesme parametrelerinin tespiti", *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Ankara, 16: 67-89 (2008).
35. Demirayak, İ. ve Çakır, M. C., "Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi", *IV. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Makine Mühendisleri Odası, Konya, 38-65 (2007).
36. Aslan, E., Camuşcu, N. ve Bingören, B., "Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 (63 HRC) with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiCN mixed ceramic tool", *Materials and Design*, 28: 1618-1622 (2007).
37. Neşeli, S., "Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 38-52 (2006).
38. Özkan, İ. A., "Tornalamada kesme kuvvetlerinin ve takım ucu sıcaklığının bulanık mantık ve yapay sinir ağı teknikleriyle tahmin edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 33-52 Konya (2006).
39. Hadi, Y. ve Ahmed, S. G., "Assessment of surface roughness model for turning process", *International Federation for Information Processing (IFIP)*, 207: 152-158 (2006).
40. Gündüz, A., "Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağlarıyla tahmini", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 47-55 (2006).
41. Çaydaş, U. ve Haşçalık A., "CNC tornalamada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Teknoloji*, 2: 167-172 (2005).
42. Özel, T. ve Karpat, Y., "Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 467-479 (2005).
43. Şahin, Y. and Motorcu, A. R., "A model surface roughness in turning of AISI 4140 steel using coated carbide cutting tool", *11. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Antalya (2004).

44. Özçatalbaş, Y., “Kesici takım aşınması ve iş malzemesi mekanik özelliklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 47-52: 125-138 (2002).
45. Neşeli, S., Taşdemir, Ş. ve Yıldız, S., “Yapay sinir ağı yaklaşımı ile tornalamada yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3: 48-67 (2009).
46. Usta, M., “Tornalama takım tezgahlarında delik delme operasyonları sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri ve ısı etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 100-145 (2010).
47. Qian, L., Yang, B. and Lei, S., “Comparating and combining off-line federate rescheduling strategies in free-form surface machining with federate acceleration and deceleration”, *Robotics and computer integrated manufacturing*, 24 (6): 796-803 (2008).
48. Malakooti, B. and Raman, V., “An interactive multi-objective artificial neural network approach for machine setup optimization”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Cleveland, 11: 41-50 (2000).
49. Lee, B. Y. and Tarng, Y. S., “Cutting parameter selection for maximizing production rate or minimizing production cost in multistage turning operations”, *Materials Processing Technology*, 105 (1-7): 61-66 (2000).
50. Çoğun, C. ve Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17: 59-75 (2002).
51. Öktem, H. ve Erzincanlı, F., “AISI 1040 Çelik malzemenin CNC frezeleme ile işlenmesi sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğünün yapay sinir ağıyla modellenmesi”, *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir (2010).
52. Choudhury, I. A. and El-Baradie, M. A., “Surface roughness prediction in turning of high-strength steel by factorial design of experiments”, *Journal of Materials Processing Technology*, 67: 55-61 (1997).
53. Korkut, İ. ve Dönertaş, M. A., “The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool – chip contact length during face milling”, *Materials ve Design*, 28 (1): 308-312 (2007).
54. Choudhury, S. K. and Bartarya, G., “Role of temperature and surface finish in predicting tool wear using neural network and design of experiments”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 747-753 (2003).
55. Gadelmavla, E. S. and Koura, M. M., “Roughness Parameter”, *Journal Of Material Processing Technology*, 123: 133-145 (2002).

56. Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-25 (2006).
57. Petropoulos, G.P., Vaxevanidis, N. M., Pandazaras, C. N. and Antoniadis, A.A., “Multi-parameter identification and control of turned surface textures”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 29: 118–128 (2006).
58. Boothroyd, G. and Knight, W. A., “Fundamentals of Machining and Machine Tools”, *Marcel Dekker*, New York, 66-77 (1989).
59. Diniz, A. E. and Micaroni, R., “Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 432: 899–904, (2002).
60. Taşdemir, Ş., Saritaş, I., Ciniviz, M., Çınar, C., ve Allahverdi, N., “Benzinli bir motor performansının belirlenmesinde yapay sinir ağı uygulaması”, *4th International Advanced Technologies Symposium*, Konya, Turkey (2005).
61. Erzurumlu, T. and Öktem, H., “Comparison of response surface model with neural network in determining the surface quality of moulded parts”, *Materials and Design*, 28: 459-465 (2007).
62. Lu, C., “Study on prediction of surface quality in machining process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 205: 439–450 (2008).
63. Koç, S., “Kritik ünitelerin performansını etkileyen faktörlerin deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 38-53 (2003).
64. Öztemel, E., “Yapay Sinir Ağları”, *Papatya Yayıncılık*, 68-83 (2003).
65. Toktaş, İ., “Mekanik sistemler için bir kavramsal tasarım modelinin geliştirilmesinde yapay sinir ağlarının kullanılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-26 (2003).
66. Hamzaçebi, C. ve Kutay, F., “Taguchi metodu bir uygulama”, *Gazi Üniversitesi, Teknoloji Dergisi*, Ankara, 5: 7-17 (2003).
67. Soycan, T.Y., “Yapay sinir ağları yaklaşımı ile kompaksiyon parametrelerinin tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 74-81 (2008).
68. Güllü, A. ve Özdemir, A., “Prizmatik parçaların frezelenmesinde kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkilerin deneysel olarak bulunması”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16 (1): 127-134 (2003).



69. Kaçal, A., Gülesin, M. ve Melek, F., “GGG 40 Küresel grafitli dökme demirlerin ince tornalama operasyonlarında kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 11: 229-234 (2008).
70. Altın, A., Gökkaya, H. ve Nalbant, M., “İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süper alaşımın işlenebilirliğe etkisi”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Derneği*, 21: 581-586 (2006).
71. Jacobson, M., Dahlman, P. and Gunnberg, F., “Cutting speed influence on surface integrity of hard turned bainite steel”, *Materials Processing Technology Gothenburg*, 128 (1-6): 318-323 (2002).
72. Çakıroğlu, R., “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2011).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Selim Emre YENAL 1984'te Kırıkkale'de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini, Mehmet Varlıoğlu İlköğretim Okulunda ve lise öğrenimini de Kırıkkale Anadolu Teknik Lisesi, CNC bölümünde tamamlamıştır. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Öğretmenliği programından mezun olmuştur.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Ovacık Mahallesi  
Ahmet Serttaş Caddesi No : 16/8  
Merkez / KIRIKKALE

Tel : 05427715537  
E-mail : emreyenal@hotmail.com