

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

CNC TEZGAHLARINDA 3 ve 5 EKSENDE
İŞLENEN YÜZEYLERİN
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN YAPAY SİNİR
AĞLARIYLA TAHMİN EDİLMESİ

Hasan ÖKTEM
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2004

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

CNC TEZGAHLARINDA 3 ve 5 EKSENDE
İŞLENEN YÜZEYLERİN
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN YAPAY SİNİR
AĞLARIYLA TAHMİN EDİLMESİ

Hasan ÖKTEM
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANLARI
Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI
Yrd.Doç. Babür ÖZÇELİK

GEBZE

2004

Hasan ÖKTEM'in tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun.....tarih ve/.....sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç Dr. Hasan KURTARAN

ÜYE : Yrd. Doç Dr. A.Zafer ŞENALP

ÜYE : Yrd. Doç Dr. Mustafa ÇÖL

ONAY

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

İmza / Mühür

ÖZET

Metal kesme işlemi, belli amaçlar için bir malzemedan talaş çıkarma yöntemiyle yeni bir makine parçasının üretilmesinde kullanılan en yaygın ve en etkin prosestir. Otomotiv, uçak ve nükleer endüstrisindeki yeni ve hızlı gelişmeler, metal kesme işleminin öneminin daha da artmasını sağlamıştır. İmalat sektöründeki bu gelişmelere paralel olarak, kalite ve zaman en önemli iki kriter olmayı sürdürmüştür. Fakat, metal kesme işlemlerinde bahsedilen bu iki kriter her zaman birbiriyle ters orantılı olarak işlev görmüştür. Çünkü; kalitenin artması, üretim süresinin de doğal olarak uzamasına yol açar. Bir parçanın üretiminde kalitenin iyi olması; çoğunlukla kullanılan kesme şartları ve malzemenin yapısına bağlıdır. Yeni bir malzemenin üretilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi, belli bir zaman sürecinin harcanması demektir. Yeni bir malzeme, ancak çok sayıda deney yapılarak üretim ortamına sunulabilir. Bundan dolayı; az sayıda deney yapılarak, yüksek kalitede ve kısa üretim süreçlerinde yeni malzemelerin kullanılabilir hale getirilmesi maliyetin en aza indirilmesiyle mümkündür.

Bahsedilen bu durumlar dikkate alınarak, bir CNC freze tezgahında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların birinci kısmı; düz ve serbest formlu yüzeylerin 3 ve 5 eksenle işlenmesinden oluşmuştur. İkinci kısmında; kesme sonucu parçaların yüzeyinde meydana gelen pürüzlülüğünün incelenmesi yer almıştır. Üçüncü kısım ise, Inconel 718 malzeme çeşitli kesme parametreleri altında 3 eksen frezeleme yöntemiyle işlenmesinden oluşmuştur. Bu malzeme üzerinde, toplam 81 kesme deneyi yapılarak yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçlarıyla bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Sonuç olarak; serbest formlu yüzeylere sahip bir modelin üretilebilirliği ve yüzeylerinde oluşan pürüzlülük incelenirken, Inconel 718 gibi bir malzemede çok sayıda kesme deneyi yapılarak tahmini bir pürüzlülük modeli oluşturulmuştur. Pürüzlülük modelinin tahmin başarısı, elde edilen sonuçların endüstriyel uygulamalar için kullanılabileceğini göstermiştir.

SUMMARY

Metal cutting procedure is most common and effective process used in manufacturing of a new model by removing material. Recent and rapid developments in automotive, nuclear and aerospace industries contribute to increase more significance of metal cutting procedure. The quality and time have proceed to be two most criteria as parallel these developments in manufacturing environment. These factors mentioned have operated inversely each other. Upon the increasing quality, production time naturally increases. Obtaining of high quality surfaces in manufacturing of a part depends on commonly cutting conditions and the properties of material. The manufacturing and usage of a new material relevant production time. A new material can be only presented in manufacturing area by performing many experiments. It is only possible that the lower cost can be obtained by carrying out a little experiments in high quality and low machining times.

By considering these situations, experimental works were performed in a CNC milling machine. In the first section of these studies, milling of flat and sculptured surfaces was machined in three and five axis. The second section consisted of the examination of surface roughness obtained machined surfaces. In the third section, Inconel 718, nickel based superalloy and hard material, was machined by three and five axis milling method under variety cutting parameters. Surface roughness measurement was carried out by conducting eighty-one experiments on this material. An artificial neural network was created by utilizing measurement results obtained from experiments. Consequently, while producing of sculptured surfaces in model designed and examining of surface roughness obtained machined surfaces, a predictive roughness model by conducting a number of experiments in end milling Inconel 718 was produced. It was seen that accuracy of model constructed was proved to be utilized for industrial applications.

TEŞEKKÜR

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda; değerli bilgilerini bizlerle paylaşan Bölüm Öğretim Üyeleri'ne, tez konusu seçmemde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımcı olup, yol gösteren Doç. Dr. Fehmi Erzincanlı ve Yrd. Doç. Dr. Babür Özçelik'e, Yapay Sinir Ağları ile Optimizasyon konusunda ve kullanılan analiz programı hakkında bilgileriyle destek veren Yrd. Doç. Dr. Hasan KURTARAN'a, deneysel parçaların CNC tezgahında işlenmesi için operatörlük işlerini yapan Tasarım ve İmalat mühendisliği Bölümü Teknikeri Selahattin Uysal'a, pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan ölçüm cihazını esirgemeyen STFA Meslek Lisesi Makine Öğretmenlerine, bu süreç boyunca bana yardımcı olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	4
3. CNC TEZGAHLARINDA PARÇALARIN 3 ve 5 EKSENDE İŞLENMESİ	16
3.1. Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Takım Yolları	17
3.1.1. Düz Kesme Stratejisi	17
3.1.2. Hat Biçiminde Kesme Stratejisi	18
3.1.3. Yüzeyi Projeksiyonlararak Kesme Stratejisi	18
3.1.4. İnce Yüzeylerde Kesme Stratejisi	18
3.2. Deneylerin Hazırlanması ve Kesme Şartları	19
3.3. Büyük Hacimli Alanların İşlenmesi	20
3.3.1. Kaba İşlem 1	20
3.3.2. Kaba İşlem 2	21
3.3.3. Kaba İşlem 3	22
3.4. Küçük Hacimli Alanların İşlenmesi	23
3.4.1. İnce Yüzey İşlem 1	24
3.4.2. İnce Yüzey İşlem 2	25
3.4.3. İnce Yüzey İşlem 3	26
3.4.4. İnce Yüzey İşlem 4	26
3.4.5. İnce Yüzey İşlem 5	27
3.5. Kesme Operasyonlarının Sonucu	30

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ	31
4.1. Yüzeyin Tanımı	31
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü	31
4.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesinin Sebebi	32
4.2.2. Yüzeydeki Düzensizlik Tipleri	33
4.2.3. Yüzey Pürüzlülük Şekli ve Pürüzlülük İfadeleri	34
4.3. Yüzey Dokusu (Surface Texture)	35
4.4. Tepe ve Çukur (Peak and Valley)	36
4.5. Stylus Büyüklüğü ve Şekli	37
4.6. Ölçüm Uzunlukları	39
4.7. Frekans Cevabı	39
4.8. Referans Çizgisi	41
4.9. Ölçüm Aralığı (Cut-off Length)	41
4.10. Ortalama Pürüzlülük (Average Roughness)	42
4.10.1. R_a Parametresiyle ilgili Önemli Değerlendirmeler	43
4.10.2. RMS Değerleri (Ortalama Alanın Karesinin Karekökü)	44
4.10.3. Pürüzlülük Dereceleri	44
4.11. Tepe ve Çukur Yükseklik Parametreleri	45
4.12. Ortalama Dalgaboyu	46
4.13. Dalgalılık Parametreleri	48
4.14. Parametrelerin İlişkisi	49
4.14.1. R_a ile R_z Parametrelerinin Karşılaştırılması	49
4.15. Ölçümlerin Sayısı	50
4.16. Doğruluk	50
4.16.1. Aygıt Doğruluğu	51
4.17. Stylus Cihazları	51
4.17.1. Profilmetre	51
4.17.2. Talysurf	52
4.17.3. Stylus Cihazlarının Yapısı	52
4.17.4. Stylus Cihazlarının Avantaj ve Dezavantajları	59
4.18. Optiksel Ölçüm Metodları	59

5. YAPAY SİNİR AĞLARI VE TAHMİNİ PÜRÜZLÜLÜK MODELİ	
OLUŞTURMA	61
5.1. Yapay Sinir Ağlarına Giriş	61
5.1.1. Yapay Sinir Ağının Tanımı	61
5.1.2. Yapay Sinir Ağının Görevleri	62
5.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları	63
5.1.4. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları	63
5.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve Temel Elemanları	65
5.2.1. Biyolojik Sinir Hücreleri	65
5.2.2. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı (Proses Elemanı)	67
5.2.3. Tek Hücreli Bir Yapay Sinir Ağının Çalışma Prensipleri	68
5.3. Inconel 718'in Frezelenmesi Sonucunda Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün	
Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmin Edilmesi	70
5.3.1. Giriş	70
5.3.2. Deneylerin Hazırlanması ve Kesme Şartları	72
5.3.2.1. Kesme Şartları	72
5.3.2.2. Kesici Takımlar	73
5.3.2.3. İş Parçası	74
5.3.2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	75
5.3.3. Deneysel Sonuçlar ve Sonuçların Yorumlanması	76
5.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü için Yapay Sinir Ağı Modeli	78
5.3.5. Yüzey Pürüzlülüğü için Öğrenme Setinin Oluşturulması	80
5.3.5.1. Deneylerin tasarımı	80
5.3.5.2. Öğrenme Seti	81
5.3.5.2.1 Eğitim Seti	81
5.3.5.2.2. Test Seti	82
6. TARTIŞMALAR, SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
6.1. Tartışmalar	84
6.2. Sonuçlar	85
6.3. Öneriler	87
KAYNAKLAR DİZİNİ	89
ÖZGEÇMİŞ	98

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
CSO	Koordinat Sistemi
CMM	Koordinat Ölçüm Cihazı
HSM	High Speed Machining
CrN	Krom-Nikel
TiAl	Titanyum-Alüminyum
RSM	Response Surface Methodology
MSE	Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error)
RMS	Kareler Toplamının Karekökü (Root Mean Square)
V_c	Kesme Hızı
f_z	Diş Başına İlerleme
a_p	Eksenel Kesme Derinliği
a_e	Radyal Kesme Derinliği
Net _j	Toplam Giriş Değeri
W_{ij}	Bağlantı Ağırlıklarının Katsayısı
X_i	Giriş Değeri
Out _j	Net Çıkış Değeri
DW_{ij}	Ağırlıkların Değişim Miktarı
W_{ij}^{yeni}	Eski Ağırlık Değerleri ile Değişim Miktarının Toplamı
E	Ortalama Karesel Hata
d	İstenen veya Beklenen değer
η	Öğrenme Parametresi
N	Proses Elemanın Giriş Sayısı
AA	Aritmetik Ortalama
A_w	Ortalama Dalgalılık
CLA	Center Line Average
H	Yükseklik
P_c	Tepe Sayısı

V_v	Yatay büyültme
V_h	Dikey büyültme
B_{max}	Ölçüm aralığı (Cut-off Length)
R	Pürüzlülük
R_a	Ortalama Pürüzlülük
R_k	Pürüzlülük Derinliği
R_q	Ortalama Karesel Hata
R_p	Maksimum Tepe Yüksekliği
R_v	Maksimum Çukur Derinliği
R_{pm}	Ortalama Tepe Yüksekliği
R_{sk}	Skew
R_{max}	Numune Uzunluğundaki En yüksek Tepe-Çukur
R_t	Değerlendirme Uzunluğundaki En Yüksek Tepe-Çukur
R_y	Değerlendirme Uzunluğundaki Bir örneğin Yüksekliği
R_{tm}	Ortalama Tepe-Çukur Yüksekliği
R_z	On Noktalı Yüksek
S	Bitişik Yerel Profil Tepelerin Ortalama Aralığı
S_m	Merkezi Çizgideki Profilin Ortalama Aralığı
W	Dalgalılık
W_a	Ortalama Dalgalılık
W_q	Ortalama Karelerinin Karekökünün Dalgalılığı
W_v	Maksimum Çukur Derinliği
W_t	Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği (Dalgalılık için)
Δ_a	Ortalama Eğim
Δ_q	Ortalama Karelerin Karekökünün Eğimi
λ_a	Ortalama Dalgaboyu Uzunluğu
λ_q	Ortalama Karelerin Karekökünün Dalgaboyu
S_N	Yayılmanın Standart Sapması

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
3.1. Modelin düz uçlu kesiciyle 3 ekseninde işlenmesi	21
3.2. Serbest formlu yüzeyin 3 ekseninde işlenmesi	22
3.3. Harflerin üst yüzeyinin 3 ekseninde işlenmesi	23
3.4. Harflerin üst yüzeyinin 5 ekseninde işlenmesi	24
3.5. Harflerin ara bölgelerinin ve serbest formlu yüzeyin işlenmesi	25
3.6. Harflerin yan duvarlarının 5 ekseninde işlenmesi	27
3.7. Eğimli düzlemin işlenmesi	28
3.8. Eğimli düzlemdeki harflerin işlenmesi	29
3.9. Gerçek kesme operasyonlarından elde edilen resimler	30
4.1. Yüzey Düzensizlikleri	33
4.2. Yüzey pürüzlülük şekli ve ilişkili ifadeler	35
4.3. Frezeleme işleminden elde edilen yüzey dokusu	36
4.4. Ölçülen bir yüzey için tepe-çukur ilişkisi	37
4.5. Stylus şekli ve stylusun büyültülmüş yüzeyle teması	38
4.6. Numune, değerlendirme ve izleme (hareket) uzunluklarının ilişkisi	39
4.7. Ra'nın matematiksel olarak ifade edilmesi	42
4.8. Tepe-Çukur parametrelerinin numune uzunluğu içinde gösterilmesi	45
4.9. Dalgaboyları ile salınımın birleşmesinden elde edilen son dalgaboyu	47
4.10. Bir profilmetreinin şematik diyagramı	52
4.11. Bir stylus ölçüm cihazının şematik yapısı	53
4.12. Bir stylus ucunun gerçek iş parçası üzerinde izleme yapması	54
4.13. Stylus, skid ve pick-up'ın bir yüzey üzerindeki konumu	56
4.14. Stylusun destek mekanizmalarıyla eğrisel yüzey üzerinde izleme yapması	56
4.15. Gelişmiş bir stylus cihazının bileşenleri	58
5.1. Biyolojik sinir hücresi	66
5.2. Yapay sinir ağları	66

5.3. Sigmoid fonksiyonun gösterimi	68
5.4. Gerçek kesme operasyonu	73
5.5. Yüzey pürüzlülük ölçümünün yapılması	75
5.6. Radyal kesme derinliği için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri	76
5.7. Radyal kesme derinliği için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri	77
5.8. Radyal kesme derinliği için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri	77
5.9. Ağda yer alan her proses elemanın bağımsız yapısı	79
5.10. Tasarlanan yapay sinir ağı modeli	79
5.11. Test seti için tahmini ve gerçek değerlerin karşılaştırılması	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
3.1. Alüminyum malzemenin kimyasal bileşimi	19
3.2. Operasyonlarda kullanılan kesme şartları	19
4.1. ISO’da tavsiye edilen pürüzlülük dereceleri ve derece numaraları	45
4.2. Çeşitli üretim işlemlerinden elde edilen λ_a ve R_a değerleri	48
5.1. Kesme parametrelerinin seviyeleri	73
5.2. Kesici takımların özellikleri	74
5.3. Inconel 718’in kimyasal bileşimi	75
5.4. Inconel 718’in mekanik özellikleri	75
5.5. Eğitim seti için tahmini değerler ile gerçek değerler	81
5.6. Test seti için kullanılan değerler	82
5.7. Kullanılan ağ parametreleri	83
6.1. Yapay sinir ağının üretmiş istatistiki bilgiler	87

1. GİRİŞ

Varoluştan itibaren, insanlar yaşamlarını sürdürebilmek için sürekli üretmek zorunda kalmışlardır. Yaşadıkları ortam ve koşullara göre, ihtiyaçları olan herşeyi üretmişlerdir. Çağlar boyu bu olgu insanlıkla beraber günümüze kadar sürmüştür. Günümüzde; artan müşteri talepleri, ürün kalitesi, rekabet, küreselleşme ve teknolojinin gelişmesi üretim faaliyetlerinin önemli ölçüde hız kazanmasına yol açmıştır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri incelendiğinde, üretime dönük ülkelerin oldukça üst sıralarda yer aldığı görülecektir. Buna bağlı olarak, bu ülkelerdeki ekonomik koşullar ve yaşam kalitesinin oldukça iyi olduğu görülmüştür. Her türlü üretim dalında yapılan yenilikler, doğrudan günlük hayatta kullanılan araç-gereçlere yansımıştır. Yani, insan var oldukça üretmek arzusu daima varolarak insanlığa hizmet edecektir.

Üretim faaliyetleri arasında yer alan en önemli ve en eski yöntem metal kesme işlemidir. 18. Yüzyıl sonlarına doğru kullanılmaya başlanmış ve sürekli gelişerek bu güne gelmiştir. Metal kesme işlemi, özellikle sanayileşmenin etkisiyle İngiltere ve Almanya gibi ülkelerde hızlı bir yol katetmiştir. Artan rekabet ve pazarların genişlemesi, metal kesme işleminin birçok ülkede de kullanılmasını sağlamıştır. Teknolojinin yoğun bir şekilde kullanılması, endüstride metal kesme işlemlerinin daha karmaşık ve daha zor olmasını zorunlu kılmıştır. Özellikle; otomotiv sanayisi, uçak ve nükleer endüstrisinde metal kesme işleminin kullanılması, kalıp ve döküm parçalarının üretimine kolaylık getirmiştir. Döküm ve kalıp parçalarındaki karmaşık yüzeylerin işlenmesi, çoğunlukla önemli bir endüstriyel problem olmuştur. Buna ilave olarak; bu karmaşık yüzeylerin belli kalitede olması da diğer bir problemidir. Bahsedilen bu problemlerin çözülmesi metal kesme işlemlerinin gelişmesiyle paralellik göstermiştir. Çünkü, karmaşık yüzeyli parçaların metal kesme işlemlerinde kullanılan klasik tezgahlarla işlenmesi zor ve zaman alıcıdır. Son yıllarda üretilen 5 eksenli CNC tezgahları, karmaşık yüzeyli parçaların kısa sürede ve iyi kalitede üretilmesini sağlamıştır. Böylelikle; üretim süreci daha etkin ve kullanılabilir hale gelmiştir.

Bir parçanın kalitesi, uygulanan metal kesme işleminin performansının değerlendirilmesinde göz önüne alınabilecek en önemli kriterdir. Çünkü; parçanın kalitesi arttıkça, yapılan operasyonların da kalitesi artacaktır. Kullanılan metal kesme işleminin operasyon parametreleri, doğrudan parça kalitesiyle ilgilidir. Düz veya serbest formlu yüzeylere sahip parçalarda; yüksek yüzey kalitesi elde etmek, kesme operasyonunun verimli ve etkin olduğunun göstergesidir. Fakat, bir parçada kaliteli yüzeyler elde etmek için, genellikle üretim zamanından fedakarlık etmek gereklidir. Üretim zamanının uzaması, üretim kapasitesinin düşmesine neden olacaktır. Bu sonuç, bir çok endüstri ortamında istenmeyen bir durumdur.

Bir parçada yüzey kalitesinin iyi olması, o parçanın kullanıldığı ortamlar için çok sayıda avantaj sağlamaktadır. Birbiriyle eş zamanlı çalışan ve temas halinde olan parçaların yüzey kalitesinin iyi olması, sürtünmenin az olmasını sağlayacaktır. Böylelikle; hareket halindeki sistem oldukça verimli çalışacaktır. Uçak sanayisinde kullanılan parçalarda; yüzey kalitesinin belirleyici olduğu bir çok kritik yerler vardır [Boothroyd and Knight, 1989]. Uçak motorlarının gövdesindeki kanatçıkların yüksek kalitede üretilmesi; korozyon direncinin artmasını ve sürünme ömrünün uzamasını sağlar. Aynı zamanda, kanatçıklar arasında akış yapan havanın rahat geçişler yapmasını sağlayarak motorun çalışma verimini artırır. Yüksek kalitede üretilen yüzeyler, ısı iletimini ve yüzeydeki yansımayı da artırır. Yüzeyleri parlak olan parçalar, çoğunlukla lazer sistemlerinin kullanıldığı ortamlar için elverişlidir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar; metal kesme işleminin kapsamını daha da genişleterek, farklı çalışma alanlarıyla bütünleşmesini sağlamıştır. Metal kesme işleminde; zaman sürecinin azaltılmasına ve maliyetin aşağı çekilmesine yönelik olan bu çalışmalar, güncelliğini hala korumaktadır. Bir malzemenin üretilebilirliği veya bir metal kesme işleminin kullanılabilirliğinin daha önceden belirlenmesi, endüstri için çok önemlidir [Boothroyd and Knight, 1989]. Çünkü, çok sayıda deney yapılarak bir malzeme ve operasyon tipi hakkında gerekli bilgiler elde edilebilir. Bu durum da, kayıp zaman ve maliyetin ortaya çıkmasına neden olur. Bahsedilen bu olumsuzluklar düşünülerek yapay sinir ağları adı verilen bilgisayar sistemlerine dayalı tahmin yapma metodları geliştirilmiştir.

Yapay sinir ağıları, çeşitli veriler kullanılarak tahmin yürütürler. Yapay sinir ağıları kullanılan verilerin karakterine bağlı olarak tahmin yaparlar. Her ortamdan ve her prosesten alınan verilerle yapay sinir ağıları oluşturulabilir. Özellikle; metal kesme operasyonlarıyla işlenen parçaların yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde, yapay sinir ağlarının kullanımı iyi sonuçlar vermiştir. Yapay sinir ağıları, deneme-yanılma yöntemleriyle sonuç verdiği için çalışma süresi bakımından uzundur. Fakat, iyi tahminlerle oluşturulmuş yapay sinir ağıları çoğunlukla etkin üretim proseslerinin planlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışma iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısım; düz ve serbest formlu yüzeylere sahip bir modelin tasarımı yapılarak, alüminyum malzemede 3 ve 5 eksenle işlenmesinden oluşmuştur. Yüzeylerde meydana gelen pürüzlülükte incelenmiştir. İkinci kısım ise; Inconel 718 malzemenin düz frezeleme metoduyla, 3 eksenle işlenmesi sonucunda yüzeylerde meydana gelen pürüzlülüğün yapay sinir ağlarıyla tahmin edilerek bir pürüzlülük modeli üretilmesinden oluşmuştur.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde; literatür çalışması üç kısma ayrılmıştır. Birinci kısımda; düz ve serbest formlu yüzeylerin 3 ve 5 ekseninde işlenmesiyle meydana gelen yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, ikinci kısımda; Inconel 718 gibi sert bir malzemenin metal kesme işlemleriyle frezelenmesi, üçüncü kısımda ise; metal kesme işlemleriyle işlenen parça yüzeylerinden alınan pürüzlülük değerleri kullanılarak bir yapay sinir ağı modeli oluşturmak için yapılmış olan çalışmalar yer almıştır. Bütün bu konularla ilgili olarak 500'e yakın makale taranarak, bunların içinden en uygun 70 tanesi seçilmiştir.

Baptista and Simoes [2000], yapmış oldukları deneysel çalışmada; serbest formlu yüzeylerin 3 ve 5 ekseninde işlenmesiyle meydana gelen pürüzlülüğü incelemişlerdir. Serbest formlu yüzeylerin, alüminyum bir malzeme kullanılarak işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülük değerleriyle matematiksel bir model üretilmiştir. Oluşturulan matematiksel model, yüzey pürüzlülük değerleriyle işleme zamanının tahmin edilmesinde kullanılmıştır. 3 ve 5 eksen yüzey frezeleme metodlarının birbirine göre avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Seçilen malzemenin Alüminyum 7000 serisi bir malzeme olması, plastik enjeksiyon kalıpcılığında kullanılmasını sağlamıştır. Aynı zamanda, bu malzeme işleme kolaylığı sağlamaktadır. Yüzey pürüzlülüğüne; kesme parametreleri, işleme yönleri ve kesici çaplarının hangi ölçüde etki ettiği incelenmiştir.

Ramas et al [2003], deneysel çalışmalarında; bir su botunun motorundaki pervanenin üretilmesi için, uygulanan işleme stratejilerini ve pervane yüzeylerinde meydana gelen pürüzlülük ile ölçüsel sapmaları incelemişlerdir. Botun pervanesi, Alüminyum 1000 serisi bir malzemedir. Modelin üretilmesi için, 3 eksen frezeleme metodları kullanılmıştır. Model yüzeyleri, dış bükey (konkav) ve iç bükey (konveks) olmak üzere, iki şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzeylerin işlenmesi için, radyal, raster ve 3D ofset adında üç farklı frezeleme metodu kullanılarak, bu metodların birbirlerine göre farkları incelenmiştir.

Üç farklı işleme stratejisinin kullanıldığı pervane yüzeylerinde, yüzey pürüzlük ölçümleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlük ölçümleri, kesme yönüne dik ve kesme yönünde olacak biçimde yapılmıştır. Sonuç olarak; her strateji için kesme zamanları karşılaştırılmıştır. En az işleme zamanı, radyal tip işleme stratejisinde elde edilmiştir.

Gray et al [2001], deneysel çalışmalarında; cam boru yapımında kullanılan döküm kalıplarının üretilmesi için, 3 ve 5 eksen frezeleme metoduyla oluşturulan takım (kesici) yollarını incelemişlerdir. Büyük çaplı kesicilerle; 279.4x279.4x152.4 mm³ ölçülerinde erkek ve dişi kalıplar, farklı takım yolları kullanılarak 3 ve 5 eksen CNC freze tezgahında üretilmiştir. 3 ve 5 eksen frezeleme metodları, birbiriyle işleme zamanları bakımından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; 5 eksen frezeleme metodları, 3 eksen frezeleme metodlarından takım yolu uzunluğu bakımından çok daha kısa olarak bulunmuştur. Aynı zamanda; araştırmacılar, Waterloo üniversitesinde yapmış oldukları çalışmanın sonucunda; üretici firmaların programlarından, kendi programlarının daha iyi olduğu kanısına varmışlardır. Bu sonuç; deneylerle doğrulanmıştır.

Oktem and Ozcelik [2003], yapmış oldukları deneysel çalışmada; düz ve serbest formlu yüzeylerin 3 ve 5 eksenle işlenmesi için kullanılan takım yolları ve operasyonları açıklamışlardır. Araştırmacılar, düz ve serbest formlu yüzeylerde meydana gelen pürüzlülüğü taşınabilir bir pürüzlülük ölçme cihazıyla ölçmüşlerdir. Operasyonlar için uygulanan kesme parametreleri, kesicilere ve alüminyum malzemeye göre seçilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü düz ve serbest form yüzeylerin her bölgesi için yapılmıştır. Sonuç olarak; en düşük yüzey pürüzlülüğü, serbest formlu yüzey üzerinde tasarlanmış harflerin üst kısmında elde edilmiştir.

Öktem and Erzincanlı [2003], çalışmalarında; alüminyum malzemede kullanılan takım yollarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını incelemişlerdir. Dört tip takım yolu oluşturma metodu kullanmışlardır. Modelin serbest formlu yüzeyinde meydana gelen ölçüsel hatalar, bir koordinat ölçme cihazıyla (CMM-Coordinate Measurement Machine) tespit edilmiştir.

Lacalle et al [2002], çalışmalarında; GG25 dökme demir malzeme ile GGG70 haddelenebilir dökme demir malzemenin baskı kalıpları (stamping dies) için, yüksek kesme hızlarında işlenmesi ile klasik işleme yöntemiyle işlenmesini karşılaştırmışlardır. Yüksek kesme hızlarında, bir otomobil parçasının serbest formlu yüzeyleri küresel uçlu kesicilerle işlenmiştir. İlave olarak; klasik kesme yöntemi ve yüksek hızlarda kesme (high speed milling) yöntemi, maliyeti açısından da birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Dabade et al [2003], deneysel çalışmalarında; büyük çaplı kesiciler ucuna döner hareket yapan dairesel uçlar takarak, düz frezeleme metoduyla parçaları işlemişlerdir. Parçaların frezelenmesi için, farklı aralıklarda kesme parametreleri seçilmiştir. Parça yüzeylerinde meydana gelen pürüzlülükler, 2.5 mm'lik ölçüm aralığı kullanılarak ölçülmüştür. Kesme sonucunda ortaya çıkan talaşlar için, kesit kalınlığı bir mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Deney sonuçlarından; yüzey pürüzlülüğü ve talaş kalınlığına göre, kullanılan kesme parametrelerinin operasyonlar üzerindeki etkisinin oldukça önemli olduğu görülmüştür.

Lou et al [1999], çalışmalarında; düz frezeleme metodunda yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için, çok sayıda deney yapmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreler kullanılarak, yüzey pürüzlülüğü için bir model oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlardan; kullanılan bu üç kesme parametresinin, yüzey pürüzlülüğüne önemli ölçüde etki ettiği gözlenmiştir.

Çoğun ve Özses [2002], deneysel çalışmada; CNC tezgahlarında değişik işleme koşullarıyla işlenmiş parçaların yüzey pürüzlülüğünün gösterdiği değişimi deneysel olarak incelemişlerdir. Deney numuneleri olarak, fabrika ortamından alınan parçalar kullanılmıştır. Deneylerde; takım ilerleme hızı, dönme hızı, tabla ilerlemesi ve derinlik gibi işleme parametreleri değiştirilmiş ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün gösterdiği değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan; takım dönme hızı sabit tutulup, tabla ilerleme hızı azaltılarak yapılan deneylerde pürüzlülüğün arttığı görülmüştür.

Ghani et al [2002], çalışmalarında; küresel uçlu kesicilerle farklı kesme açılarında yüksek kesme hızları kullanarak deneyler yapmışlardır. Farklı takım yolları oluşturularak yüzeylerde meydana gelen pürüzlülük ve yüzey dokuları (desenleri) incelenmiştir. Kesme hızının uygun bir aralığında; yüzeyin eğim açısına göre efektif bir kesici kullanılarak, uygun yüzey pürüzlülüğü değeri bulunmuştur.

Lim et al [2002], deneysel çalışmalarında; türbin kanatçıklarının 5 ekseninde yüksek kesme hızları kullanılarak kesici uçlarında oluşan değişimler incelemişlerdir. Türbin kanatçıkları 5 eksen işlendiğinde, kanatların ince ve dirsek şekillerinin titreşimlere ve sapmalara yol açtığı görülmüştür. Kesme hızının artmasına karşılık, kesme kuvvetinde düşme olmuştur ve yüzey pürüzlülüğü daha iyi hale gelmiştir.

Ezugwu and Tang [1995], çalışmalarında; G-17 dökme demir ile Inconel 718 gibi iki malzeme üzerinde çok sayıda deney yapmışlardır. Inconel 718 malzemenin; çok sert, aşınmaya dirençli, yüksek kesme hızlarında kesicileri aşındırıcı olduğundan bahsetmişlerdir. Sonuç olarak; kesici geometrisi ve şeklinin, işlenen yüzeyin doğasının saptanmasında önemli olduğu belirtilmiştir.

Alauddin et al [1996] deneysel çalışmada; takma uçlu bir kesici kullanarak Inconel 718 malzemenin, işlenebilirliği üzerine çalışmışlardır. Kullanılan takma uçların ömürleri test edilmiştir. Kesme parametreleri, kesme kuvvetlerinin ölçümüyle optimize edilmiştir. Aynı zamanda; yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Düz frezeleme işleminde, kesme hızındaki artışla kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. İyi bir yüzey kalitesinin ($0.35-1.2 \mu m$), slot frezeleme işlemiyle elde edileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlardan; kesme hızının artmasıyla, yüzey pürüzlülüğünün slot frezeleme metoduyla azaldığı belirtilmiştir. Slot frezeleme işlemi için, ilerleme hızındaki bir artış, yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olduğu görülmüştür.

Choudhury and El-Baradie [1998], yapmış oldukları deneysel çalışmada; Inconel 718'in kaplamalı ve kaplamasız kesicilerde tornalanmasını incelemişlerdir. Inconel 718 malzemeyi işlemek için kesme sıvısı kullanmamışlardır. En uygun kesme şartlarını çıkarmak amacıyla, kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Deney sonuçlarına göre; kaplamasız kesicilerin, farklı ilerleme ve kesme hızlarında daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Bu çalışmada; Inconel 718 için tavsiye edilen kesme hız aralıklarının, 20-25 mm/dak. olduğu belirtilmiştir.

Sharman et al [2001], çalışmalarında; TiAl ve CrN kaplı tungsten karbid uçlarla Inconel 718'in işlenebilirliğini incelemişlerdir. 150 m/dak. kesme hızlarında deney yapılmıştır. 45° ve 60° 'de iş parçasının eğimli olduğu konumlarda işleme yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; kesme açılarının, kesicilerin ömrüne doğrudan etki ettiği görülmüştür. Kesicilerdeki kaplamaların, kesici ömrü üzerinde önemli etki yaptığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Alauddin et al [1996], çalışmalarında; kuru kesme şartları altında kaplamasız karbid uçlarla, Inconel 718'in frezelenmesi sonucu yüzeylerde meydana gelen pürüzlülüğü optimize etmişlerdir. 27 adet kesme deneyi, çeşitli parametreler kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak; kullanılan parametrelerin, yüzey pürüzlülüğüne etkisi bir tahmini modelle tespit edilmiştir. İlerlemenin, yüzey pürüzlülüğüne önemli ölçüde etki ettiği gözlenmiştir.

Alauddin et al [1998], Inconel 718 malzemenin düz frezeleme metodunda işlenmesiyle meydana gelen kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. İki farklı yönde kesme hareketine karşılık, ortalama kesme kuvvetleri üzerinde işleme şartlarının etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak; ilerleme yönünde ve ilerleme yönün tersinde, kesme hızının artışı olarak kesme kuvvetlerinin arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca; kesme derinliği arttıkça, kesme kuvvetlerinin de arttığı gözlenmiştir.

Li et al [2002], Inconel 718 malzeme; seramik ve kaplamalı karbid uçlar kullanılarak işlenmiştir. Inconel 718'in işlenmesinde; kesme hızının optimize edilmesi için, çok sayıda kesici ömür testi yapılmıştır.

Bu testlerde; kesme sıvısı kullanılmamış ve iki tip kaplamanın etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarından; yüksek kesme hızında Inconel 718 için en uygun kesme parametrelerinin, 60-70 m/dak. olduğu görülmüştür.

Kitagawa et al [1997], Inconel 718 ile Ti-Al-6V-2 Sn malzeme üzerinde kesme yaparak, kesici aşınması ile kesici sıcaklığını incelemişlerdir. 600 m/dak'lık kesme hızında, sayısal bir analiz yapmışlardır. 0.5 mm'lik kesme derinliği ve 0.19 mm/dev dönme hızında ilave deneyler yapılarak, sıcaklık ölçmüşlerdir. Deney sonuçlarına göre; Inconel 718 için, seramik uçlu kesicilerin daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Boothroyd and Knight [1989], metal kesme işlemleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında; bir metal kesme işlemi boyunca elde edilen yüzey pürüzlülüğünü, iki bağımlı değişkenin toplamı olarak tanımlamışlardır. Bu bağımlı değişkenler; ideal yüzey pürüzlülüğü ve doğal yüzey pürüzlülüğü olarak ifade edilmiştir. Yapılan deneylerden; ilerleme arttıkça, yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir. Pratikte kullanılan doğal yüzey pürüzlülüğünün; titreşimlere, sapmalara, malzemenin karakteristiklerine ve talaş akışından kaynaklanan yüzey bozukluğuna bağlı olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.

Dagnal [1986], yüzey pürüzlülüğünün nasıl oluştuğunu, yüzey pürüzlülüğünün hangi parametrelere bağlı olduğunu ve pürüzlülük ölçümünde kullanılan cihazların çalışma sistemi ile yapısı hakkında ilk ve en geniş araştırmaları yapmıştır. Çalışmasında; yüzey pürüzlülüğünün, bir işleme operasyonu sonucunda oluşan yüzey düzensizliği olduğunu ifade etmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün, kontrol edilemeyen bazı yapısal karakteristiklere de bağlı olduğunu belirtmiştir.

Tsai et al [1999], deneysel çalışmalarında; düz frezeleme metodunda dört kesme parametresi kullanarak 48 adet kesme deneyi yapmışlardır. Deney numuneleri üzerinde oluşan yüzey pürüzlülüğünü ölçerek, bir yapay sinir ağı modeli oluşturmuşlardır.

Üretilen pürüzlülük modeli için, çok sayıda proses elemanı ve ara katman kullanarak tahmin etme başarısı kontrol edilmiştir. Deney sonuçlarına göre; yapay sinir ağı modeli, % 92.07'lik doğrulukla tahmin başarısı sağlamıştır.

Benardos and Vosniakos [2002], çalışmalarında; Taguchi metodu ve yapay sinir ağı kullanarak düz frezeleme işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmişlerdir. 190 BHN sertlikte bir malzeme üzerinde çok sayıda deney yapılarak, tahmini bir pürüzlülük modeli oluşturmaya çalışmışlardır. 6 adet giriş parametresine karşılık; çıkış parametresi olarak, yüzey pürüzlülüğünü kullanılmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre; yapay sinir ağı modelinin, güvenilebilir, başarılı ve doğru bir biçimde kullanılabileceği görülmüştür.

Chien and Chou [2001], çalışmalarında; 304 paslanmaz çeliğin işlenebilirliği için, tahmini bir model geliştirmişlerdir. Bir yapay sinir ağı modeli; yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici ömrünün tahmin edilmesi için kullanılmıştır. 96 adet deney yapılarak, bu testlerin 56 tanesi yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Kalan 40 test içinden, 18'i modelin doğruluğunu kontrol etmek için kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü için maksimum hata, % 15 civarında olup, ortalama hata % 42 olarak deney sonuçlarından bulunmuştur.

Chien and Tsai [2003], paslanmaz bir çeliğin işlenmesinde; en uygun kesme şartlarının saptanması ve en uygun kesme modelinin tahmini için bir yapay sinir ağı geliştirmişlerdir. Geri beslemeli bir yapay sinir ağı, tahmini modelin yapılmasında kullanılmıştır. Taguchi metoduna dayalı olan, bir deney tasarımı kullanılarak 27 adet kesme yapılmıştır. Deney sonuçlarının yapay sinir ağıyla birleştirilmesinden; % 8.6'lık tahmin hatasının ortaya çıktığı görülmüştür.

Tosun ve Özler [2002], yüksek magnezyumlu çelik numunenin; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreler altında işlenmesini incelemişlerdir. Kesici ömrü için bir matematiksel model, regresyon analizi kullanılarak deneysel verilerden elde edilmiştir.

Kesici ömrü, geri beslemeli öğrenme algoritmasıyla yapay sinir ağı kullanılarak tahmin edilmiştir. Deneysel veriler, regresyon analizi ve yapay sinir ağı modeliyle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; tahmin hatası, 1.408×10^{-5} olarak bulunmuştur. Aynı zamanda; yapay sinir ağı modelinin, regresyon analiz sonuçlardan daha iyi tahmin başarısı elde ettiği araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.

Zuperl and Cus [2003], deneysel çalışmalarında; yapay sinir ağı kullanarak kesme işlemi boyunca en uygun kesme parametrelerini incelemişlerdir. Ürün maliyeti, malzeme çıkarma miktarı ve kesme kalitesi yapılan çalışmanın önemli kriterleri olarak göz önüne alınmıştır. İki ara katmanlı, 9 proses elemanlı bir yapay sinir ağıyla tahmin yapılmıştır. 20 adet veri, yapay sinir ağının eğitilmesi için kullanılmıştır. Toplam ortalama hata, 1.5×10^{-4} olarak deneysel sonuçlardan elde edilmiştir. Geliştirilen tahmini modelin, çok hızlı ve basit olduğu görülmüştür.

R.Jain and V.Jain [2000], yüzey işlemleri için en uygun kesme parametrelerinin seçilmesinde; bir yapay sinir ağı modeli kullanmışlardır. Geri beslemeli öğrenme metoduna dayanan, 4 girişli ve 2 çıkışlı bir model oluşturulmuştur. 9 proses elemanından oluşan bir ara katman, verilerin işleme tabi tutulmasını sağlamıştır. Yüzey pürüzlülüğünü ifade eden, bir matematiksel formül geliştirilmiştir. Sonuç olarak, pürüzlülükteki mutlak hata, en yüksek hata % 5.71 ve en düşük hata % 0.32 olarak bulunmuştur.

Suresh et al [2002], yapmış oldukları çalışmada; iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için, RSM yöntemi kullanılarak tahmini bir modeli incelemişlerdir. 81 deney, tam faktoriyel tasarım kullanılarak farklı kesme parametreleri altında yapılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, kesici uç yarıçapı ve kesme derinliği gibi dört kesme parametresinin farklı aralıkları, tahmini model oluşturmak için kullanılmıştır. Tahmini pürüzlülük formülü, deneysel veriler yardımıyla geliştirilmiştir.

Tandon et al [2002], çalışmalarında; düz frezeleme işleminde en uygun kesme parametrelerini bulmak için, yeni bir hesaplama tekniği geliştirmişler. Frezeleme durumları için eş zamanlı olarak çok sayıda kesme parametresini kolaylıkla ve etkili bir şekilde uygulamışlardır. Kritik proses parametreleri için tahmini bir yapay sinir ağı modeli, kesme kuvvetlerinin bulunmasında kullanılmıştır. İlerleme, kesme hızı, radyal kesme derinliği, kesici çapı, eksenel kesme derinliği ve kesici ağız sayısı gibi parametreler giriş katmanında kullanılmıştır. Çıkış katmanı olarak; kesme kuvvetlerinin en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapması kullanılmıştır. Araştırmacılar; kullanılan bu yeni metodun, işleme zamanını % 35 civarında azalttığını ifade etmişlerdir. İlave olarak, bu metodun çok etkili ve kolay olduğu görülmüştür.

Mansour et al [2002], yapmış oldukları deneysel çalışmada; karbon alaşımlı bir çelik malzemenin düz frezeleme metoduyla işlenmesi için tahmini bir pürüzlülük modeli geliştirmişlerdir. Toplam 24 deney, tahmini pürüzlülük modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi operasyon parametreleri seçilmiştir. Pürüzlülük için RSM yöntemi; deneylerin tasarımına göre kullanılmıştır. Matlab programı yardımıyla, malzeme çıkarma oranı için en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinde hesaplama yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; 0.6 mm'lik kesme derinliği ve 0.45 μm yüzey pürüzlülüğünde, 1.4 mm³/dak'lık malzeme çıkarma oranı bulunmuştur.

Lin et al [2003], çalışmalarında; alüminyum malzeme üzerinde işleme yaparak, kesme kuvveti ile kesici arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yapay sinir ağı ve çoklu regresyon metodu kullanılarak, deneysel sonuçlardan matematiksel modeller üretilmiştir. Elde edilen sonuçlardan; kesme kuvvetlerindeki artışla, kesicilerdeki aşınmanın arttığı gözlenmiştir. Deneylerde kullanılan veri setlerinde; kesme kuvveti için, yapay sinir ağı sırasıyla % 8.19 ve % 11.83'lük hatalarla tahmin başarıları sağlanmıştır.

Wang and Hamouda [200], işlenebilirlik verisinin sergilenmesinde; yapay sinir ağı kullanarak, uygunluk çalışması yapmışlardır. İleri beslemeli yapay sinir ağı, farklı işleme şartları altında en uygun kesme parametrelerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Geri beslemeli öğrenme algoritması, yapay sinir ağı bileşenlerinin sergilenmesinde kullanılmıştır. Deney sonuçlarından; doğrusal (lineer) yapay sinir ağı için, en düşük mutlak hata % 8.24 ve en büyük mutlak hata % 22.32 olarak bulunmuştur. Doğrusal olmayan (non-lineer) yapay sinir ağı için, en düşük mutlak hata; % 4.13 ve en büyük mutlak hata % 10.61 olarak bulunmuştur.

Suneel et al [2002], yapmış oldukları deneysel çalışmada; işleme boyunca parçalarda meydana gelen ölçüsel hataları, yüzey kalitesini ve form hatalarını araştırmışlardır. Yapay sinir ağı kullanılarak, işlenen parçalar için akıllı bir ürün kalite modeli geliştirilmiştir. 3 giriş katmanı, 8 ara katman ve 3 çıkış katmanı yapay sinir ağı modelini kurmak amacıyla kullanılmıştır. En iyi tahmin başarısı, bu model için elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için % 11.214, form hatası için % 19.019 ve ölçüsel hata için % 45.72 elde edilmiştir.

Choudhury and Bartarya [2003], deneylerin tasarımı ve yapay sinir ağı kullanarak; yüzey kalitesi, kesici aşınması ve kesme bölgesindeki sıcaklık tahmin edilmiştir. Yapay sinir ağında; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği giriş verileri olarak kullanılırken; pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık çıkış katmanı olarak kullanılmıştır. Deneylerin tasarımı ve yapay sinir ağıyla tahmin edilen değerler, deneysel sonuçlarla kıyaslanarak birbirlerine uygunluğu saptanmıştır. Ortalama hatanın % 5.66 olduğu, deneysel sonuçlardan görülmüştür.

Abouelatta and Madl [2001], çalışmalarında; yüzey pürüzlülüğü ve işleme esnasında meydana gelen titreşimler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Makineden kaynaklanan titreşimler ve kesme parametrelerine dayalı tahmini pürüzlülük modeli için matematiksel modeller çıkarmışlardır. Ölçülen deney sonuçları toplanarak, MATLAB programıyla analiz yapılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre; dört model, kesme parametrelerinin ve kesici titreşimlerinin fonksiyonları olarak yüzey pürüzlülüğünün tahmininde kullanılmıştır.

Choudhury and El-Baradie [1997], EN 24T çelik malzemeyi işleyerek RSM yöntemiyle yüzey pürüzlülük tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Bir faktoriyel tasarım tekniği, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin etkisini incelemek amacıyla kullanılmıştır. Deneyler; kesme sıvısı kullanmaksızın, kaplamalı ve kaplamasız kesici uçlarıyla yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarından; yüzey pürüzlülüğü için ilerlemenin, kesme hızı ve kesme derinliğinden daha fazla etkili olduğu görülmüştür. Aynı zamanda; yüksek kesme hızlarının, yüzey kalitesini artırdığı gözlenmiştir.

Lin et al [2001], kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için tahmini bir model oluşturmak amacıyla yapay sinir ağı geliştirilmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreler kullanılarak; toplam 27 deney yapılmıştır. Yapay sinir ağı ile ölçüm sonuçları arasındaki ortalama mutlak hata, % 2.79 olarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli faktörün, ilerleme olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.

Grzesik and Brol [2003], çeşitli işleme operasyonlarından elde edilen çok sayıda yüzeyin pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Yüzey kalitesini karakterize etmek amacıyla, üç farklı metod kullanmışlardır. Özellikle, bir yapay sinir ağıyla çok sayıda pürüzlülük parametresi tahmin edilmeye çalışılmıştır. 3 ara katmanlı, 1 giriş ve 1 çıkıştan oluşan yapay sinir ağı kurulmuştur. Yapay sinir ağında; ortalama karesel hata, yaklaşma kriteri olarak kullanılmıştır. Analizden elde edilen sonuçlara göre; % 90'lık tahmin başarısı ve % 10 civarında deneysel değerlerde uygunluk sağlanmıştır.

Feng and Wang [2002], deneysel modelleri; sertlik, ilerleme, kesici uç yarıçapı, kesme hızı ve kesme derinliği gibi işleme parametreleri altında çok sayıda deney yaparak geliştirmişlerdir. Yapay sinir ağı, regresyon ve deneylerden elde edilen sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. En iyi sonuç, yapay sinir ağıyla tahmin edilmiştir.

Yilbas and Hashmi [1998], çok sayıda yüzey dokusuna sahip parçalarda, optik ve mekanik ölçüm metodlarıyla pürüzlülük değerleri elde etmişlerdir. Optik ölçüm metoduyla elde edilen sonuçlara, bir yapay sinir ağı yardımıyla pürüzlülük modeli oluşturulmuştur. Yapay sinir ağının tahmini ile mekanik ölçüm metodunun tahmini karşılaştırılmıştır. Optik metodla bütünleştirilmiş yapay sinir ağı tahminin oldukça iyi olduğu görülmüştür.

Park and Kim [1997], bilgisayar kontrollü üretimde; kesici kırılması, aşınma, kesici sapması gibi işleme hatalarını en aza indirmek amacıyla en uygun kesme parametrelerinin bulunmasını incelemişlerdir. Bir yapay sinir ağı modeli; çeşitli kesme parametreleri altında geliştirilerek, parametrelerin optimize edilmesi sağlanmıştır. Deney sonuçlarından; yüzey pürüzlülüğü için en küçük değer elde edilirken, malzeme çıkarma oranının için de en yüksek değerin elde edildiği gözlenmiştir.

3. CNC TEZGAHLARINDA PARÇALARIN 3 VE 5 EKSENDE İŞLENMESİ

Bu bölümde; düz ve serbest formlu yüzeylere sahip parçaların CNC tezgahında 3 ve 5 eksenle işlenebilmesi için yapılmış olan deneysel bir çalışma anlatılmıştır. Aynı zamanda, CNC tezgahlarında bir parçanın üretilebilmesi için gerekli olan kesme parametreleri ve operasyon basamakları da bu çalışmanın kapsamında yer almıştır. Küresel ve düz uçlu kesiciler kullanılarak parça yüzeyleri frezelenmiştir. Bu deneysel çalışma, kaba ve ince yüzey işleme operasyonlarından oluşmuştur. Kaba işleme operasyonları; 3 eksen işleme metoduyla yapılırken, ince yüzey operasyonlarında; 5 eksen işleme metodu kullanılmıştır. Üretim için, düz (flat) ve serbest formlu yüzeylerin (sculptured surfaces) yer aldığı bir model tasarlanmıştır. Modelin üretilmesinde, kesici (takım) yarıçapını merkez alan yüzey formu, eğim açısı ve eğrilik yarıçapı gibi çeşitli tasarım faktörleri kullanılmıştır.

Bu çalışma, karmaşık yüzeylerin işlenebilirliğinin kontrol edilmesi dışında, yüzeylerde meydana gelen pürüzlülüğün incelenmesi yönünden de önemlidir. Çünkü; serbest formlu yüzeylerin işlenmesi sonucunda oluşan pürüzlülüğün ölçümü, oldukça zor ve zaman alıcı bir prosestir. Bundan dolayı; yüzeylerde meydana gelen pürüzlülüğün ölçümü, bu çalışmanın odak noktasını oluşturmuştur.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri, tasarlanan modelin farklı bölgeleri için yapılmıştır. İlerleme, kesme hızı, kesme tipi, eksenel ve radyal kesme derinlikleri gibi kesme parametreleri yüzeylerin işlenmesinde seçilmiştir. Deney için, ETI-AL 52 alüminyum malzeme, yumuşak olması ve kolay işlenebilme gibi avantajlarından dolayı tercih edilmiştir.

3.1. Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Takım Yolları

Türbin kanatçıkları, otomotiv parçaları, kalıp ve döküm parçalarında yer alan serbest formlu yüzeylerin frezelenmesi, oldukça zor ve karmaşık bir metal kesme işlemidir [Baptista and Simoes, 2000]. Serbest formlu yüzeylerin tasarımı, modelin üretilebilirliği açısından da oldukça önemlidir. Bir model üzerinde yer alan düz ve serbest formlu yüzeyler, doğrudan üretim zamanıyla ilgilidir. Model üzerinde yer alan her yüzey için, bir takım yolu (tool path) oluşturmak gerekir. Oluşturulan takım yolları modelin üretilebilirliği için, bir basamaktır ve üretim zamanına etki eder [Oktem and Ozcelik, 2003]. Bir çok kalıp ve döküm endüstrisinde kullanılan üretim stratejileri, model üzerindeki yüzeylerin tasarım biçimine göre belirlenir. Özellikle; cam boru kalıplarının yapılmasında kullanılan üretim stratejileri, yüzeylerin tasarım biçimine bağlı olarak oluşturulmuştur. En kısa üretim zamanları dikkate alınarak, cam boru kalıpları üretilmiştir. Cam boru kalıplarının 3 ve 5 ekseninde işlenmesi için, çok sayıda takım yolu oluşturma metodu kullanılmıştır [Gray et al, 2001].

Bu çalışmada tasarımı yapılan modeli üretmek için Pro/ENGINEER CAD/CAM yazılımı kullanılarak dört tip takım yolu stratejisi üretilmiştir. Oluşturulan bu takım yolu stratejileri; Straight Cut, Cut Line, Project Cut ve Surface Iso-Line olarak adlandırılmıştır.

3.1.1. Düz Kesme Stratejisi

Düz yüzeyler, genellikle büyük hacimli alanlarda yer alırlar ve kesme operasyonun büyük bir kısmını kaplarlar. Bir modelde yer alan büyük hacimli alanlar, en kısa üretim zamanlarında ve en etkili takım yolları kullanılarak işlenmelidir. Bundan dolayı; Straight Cut işleme stratejisi, modelin düz ve büyük hacimli alanlarının işlenmesinde kullanılmıştır. Bu strateji, zigzag biçiminde takım yolları üretir ve kullanılan kesici çapına bağlı olarak parça yüzeylerinden malzeme çıkarır. Aynı zamanda, kullanılan kesme derinliği de Straight Cut stratejisinin çıkaracağı malzeme miktarı üzerinde etkilidir [Öktem and Erzincanlı, 2003]. Bu metod, parça yüzeylerinden bir geçişte büyük hacimli malzemeler çıkarabilir.

3.1.2. Hat Biçiminde Kesme Stratejisi

İç bükey bölgeler olarak adlandırılan yüzeyler, Cut Line stratejisi yardımıyla kolaylıkla işlenebilir. Cut Line stratejisi, daire ve kapalı döngü (loop) gibi yüzey alanlarının işlenmesi için oldukça uygundur. Takım yolları, kesme operasyonları için kullanılan kesme aralığında (radyal kesme derinliği) loop yüzeyini tarayarak oluşturulur. Eğer loop kapalı ise, uygulanan işlem kolay olacaktır. Aksi durumda, loop'un başlangıç ve bitiş noktaları seçilerek takım yolu oluşturulabilir [Chen and Hu, 1999].

3.1.3. Yüzeyi Projeksiyonlar Kesme Stratejisi

Bu strateji (Project Cut), 5 eksen yüzey işleme yöntemi için oldukça kullanışlıdır. Takımın hareket sınırlarını belirleyen ve kesme düzlemine dik bir pencere oluşturularak, kesme işlemi başlatılır. İşlenecek bölgedeki yüzey alanının sınırları, bu pencerenin sınırları olarak kabul edilir. Kesici, uygun bir radyal kesme derinliğinde oluşturulan pencere sınırları içerisinde hareket eder. Project Cut işleme stratejisi, ince yüzey işlemleri ve küçük stoklu talaşların çıkarılması için oldukça avantajlıdır

3.1.4. İnce Yüzeylerde Kesme Stratejisi

Surface Iso-Line stratejisi, çok kısa mesafeli takım yollarının oluşturulmasına izin verir [Han and Yang, 1999]. Bu strateji, kesicinin rastgele hareketler yapmasına izin vermez ve yüzeyin normaliyle 90° lik bir açıda iniş-çıkış yapmasını sağlar. Özellikle; 5 eksen işleme yönteminde işleme zamanını azaltmak için tercih edilir. Buna ilave olarak; güvenilir takım yollarının oluşturulmasında oldukça etkin bir stratejidir. Bir yüzeyin farklı yönlerde işlenebilmesi için kullanılan en önemli takım yolu oluşturma metodlarından biridir.

3.2. Deneylerin Hazırlanması ve Kesme Şartları

Deneysel parça, 15 Kw motor gücü ve 20-12,000 rpm dönme hızına sahip 5 eksen CNC freze tezgahı kullanılarak üretilmiştir. Parçanın işlenmesinde, düz ve küresel uçlu kesiciler kullanılmıştır. Kesiciler, solid karbid malzemeden yapılmıştır. Deneysel parçanın frezelenmesi esnasında, kesme sıvısı kullanılmıştır. Deneysel parçanın üretiminde, ETI-AL 52 alüminyum malzeme kolay işlenebilme avantajından dolayı tercih edilmiştir. İş parçası olarak kullanılan alüminyumun kimyasal bileşimi, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Alüminyum malzemenin kimyasal bileşimi

İş Parçası	Kimyasal Bileşim , %					
	Cu	Fe	Mg	Si	Cr	Mn
Alüminyum ETIAL 52	0.10	0.30	2.2	0.20	0.15	0.10

CNC parça programları, Pro/ENGINEER CAD/CAM yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri, taşınabilir bir pürüzlülük ölçüm cihazıyla (Surftest 301) gerçekleştirilmiştir. Serbest formlu yüzeylerin işlenmesi sonucunda yüzeylerde oluşan ölçüsel hatalar, bir koordinat ölçüm cihazıyla (CMM) tespit edilmiştir.

Çizelge 3.2. Operasyonlarda kullanılan kesme şartları

Oper. No	Operasyon İsmi	İlerleme (mm/dak)	Dönme Hızı (dev/dak)	Adım genişliği (mm)	Kesme Deriliği (mm)	Kesici Çapı (mm)	Kesme Yöntemi
1	Kaba 1	750	3000	6	1.5	Ø12	3 eksen
2	Kaba 2	750	3250	1	0.3	Ø 10	3 eksen
3	Kaba 3	750	3250	1	0.2	Ø 12	3 eksen
4	İnce 1	500	3250	0.1	-	Ø 12	5 eksen
5	İnce 2	300	3000	1.5	0.3	Ø 6	5 eksen
6	İnce 3	250	3000	0.1	-	Ø 2	5 eksen
7	İnce 4	300	3250	-	0.4	Ø 2	5 eksen
8	İnce 5	750	3000	1	-	Ø 12	5 eksen

3.3. Büyük Hacimli Alanların İşlenmesi

Deneyisel parçanın üretilmesi için çok sayıda operasyon yapılmıştır. Bu operasyonlar, kaba ve ince yüzey kesme işlemleri olmak üzere iki grupta sınıflandırılmıştır. Kaba işlemler; üç alt operasyondan oluşurken, ince yüzey işlemleri; beş alt operasyondan oluşmuştur. Her bir operasyon için, kesme şartları en uygun aralıklarda seçilmiştir. Uygulanan operasyonlar, aşağıdaki bölümlerde sırasıyla anlatılmıştır.

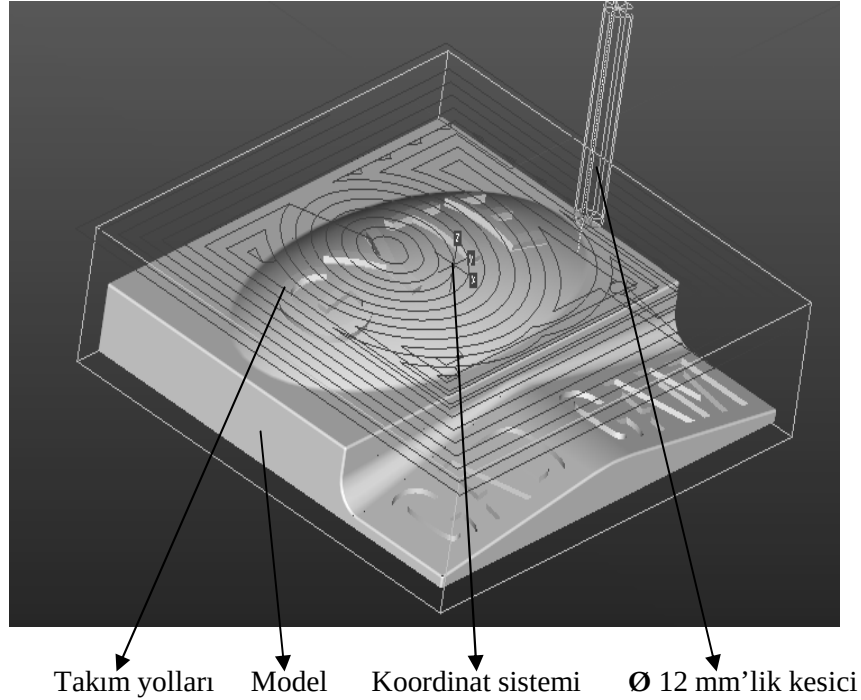
3.3.1. Kaba İşlem I

Kaba İşlem I, parçadan en fazla malzemenin çıkarıldığı operasyondur. Parça geometrisinin % 70'i, bu operasyonla ortaya çıkmıştır. Bu operasyon, modelin üretimi için oldukça önemlidir. 3 eksen frezeleme metodu, 12 mm'lik düz uçlu bir kesiciyle kullanılmıştır. Hacim (Volume) frezeleme işlemi, parçanın boyutuna göre bir çizim penceresi oluşturularak yapılmıştır.

Metal kesme işlemlerinde, makine ile bilgisayar programının birbiriyle tanıştığı bir nokta bulunur. Bu noktaya, sıfır noktası adı verilir. Bilgisayarda yapılan program, sıfır noktasını referans olarak kesme işlemini yönlendirir. Parça üzerine bir koordinat sistemi atanarak, program içersinden sıfır noktası ayarlanır. Operatör, sıfır noktasına prob ucuyla dokunarak makine üzerinde de sıfırlama işlemini tamamlar. Bu çalışmada; koordinat sistemi (CSO), iş parçasının tam orta noktasına yerleştirilmiştir. Aynı zamanda, koordinat sistemi bu çalışmada kullanılan modelin ana koordinat sistemi olarak kabul edilmiştir.

Lee'nin çalışmasında da olduğu gibi, hacim (Volume) frezeleme işlemiyle birlikte spiral biçiminde kesme hareketleri kullanılarak, parça üzerinde takım yolları oluşturulmuştur [Lee, 2001]. Böylece; parça üzerinde oluşabilecek dalma, çarpma ve form hataları önlenmiştir. Dweiri Kaba işlemlerde, dönme yönüyle ilerlemenin aynı yönlü olduğu kesme biçimi (down milling method) tercih edilmiştir [Dweiri, 2003].

Parça yüzeyinden 40 mm'lik bir yüksekliğe emniyet düzlemi oluşturulmuştur. Emniyet düzlemi, kesme işleminin başlangıcından bitişine kadar olan süreçte, kesicinin kendini çekmiş olduğu güvenli mesafedir. Birinci kaba operasyonda, model yüzeyleri üzerinden 0.6 mm'lik bir stok (talaş) bırakılarak, bir sonraki operasyonda daha düşük çaplı kesicilerle kaliteli yüzeyler elde edilmeye çalışılmıştır. İş parçası, model, emniyet düzlemi, kesici ve takım yolları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

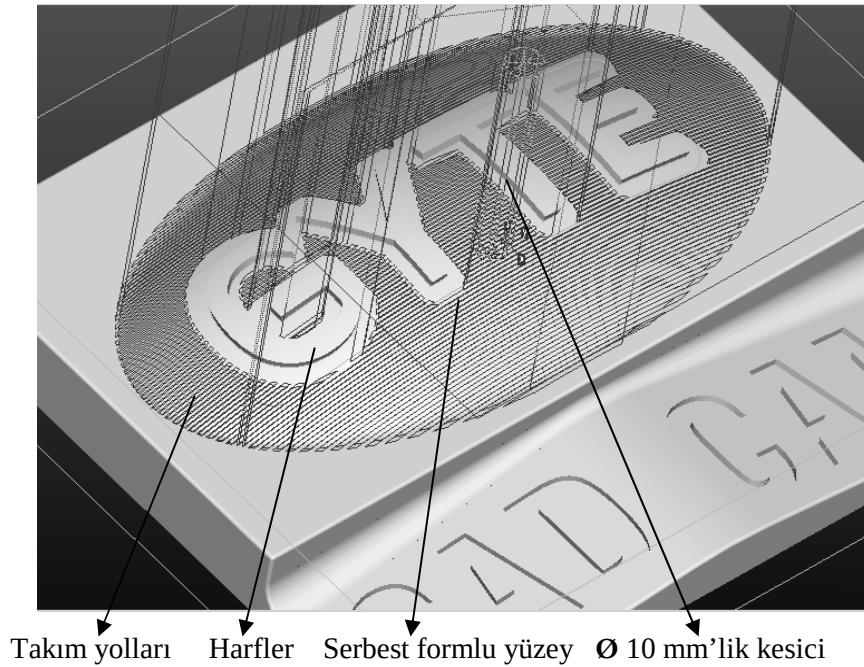


Şekil 3.1. Modelin düz uçlu kesiciyle 3 eksenle işlenmesi

3.3.2. Kaba İşlem II

3 eksen frezeleme metoduyla 10 mm'lik küresel bir kesici kullanılarak, yüzeylerden malzeme çıkarılmıştır. Model, dış bükey olan serbest formlu bir yüzey ve bu yüzey üzerine yerleştirilmiş dört harften meydana gelmiştir. Kaba işlem II operasyonun yapılmasının amacı, serbest formlu yüzey üzerinde bir önceki operasyondan kalan talaş miktarını azaltarak, ince işlemler için daha temiz yüzeyler bırakmaktır. Harflerin yüzeyi, serbest formlu yüzeyin yapısına uygun olarak tasarlanmıştır. Böylelikle; yüzeylerde uygun geçişlere sahip takım yolları oluşturulmuştur.

Serbest formlu yüzeyin, her bölgesinde kalan malzeme miktarı eşit değildir. Çünkü, yüzey bir dış bükeydir ve yüzeylerde kalan talaş miktarı her yerde aynı değildir. Bundan dolayı; yüzeylerde kesme prosesi başladığında, emniyet düzlemine (retract) paralel ve birbiri arasında 0.35 mm'lik aralık bulunan iki takım yolu üst üste oluşturulmuştur. Böylece; kesici ucunun aşınması ve kırılması önlenerek, kaliteli yüzeyler elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca; takım yolları 1 mm aralıkta olup, 0.3 mm'lik talaş derinliği için oluşturulmuştur. Serbest formlu yüzey ve bu yüzeyde oluşturulan takım yolları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

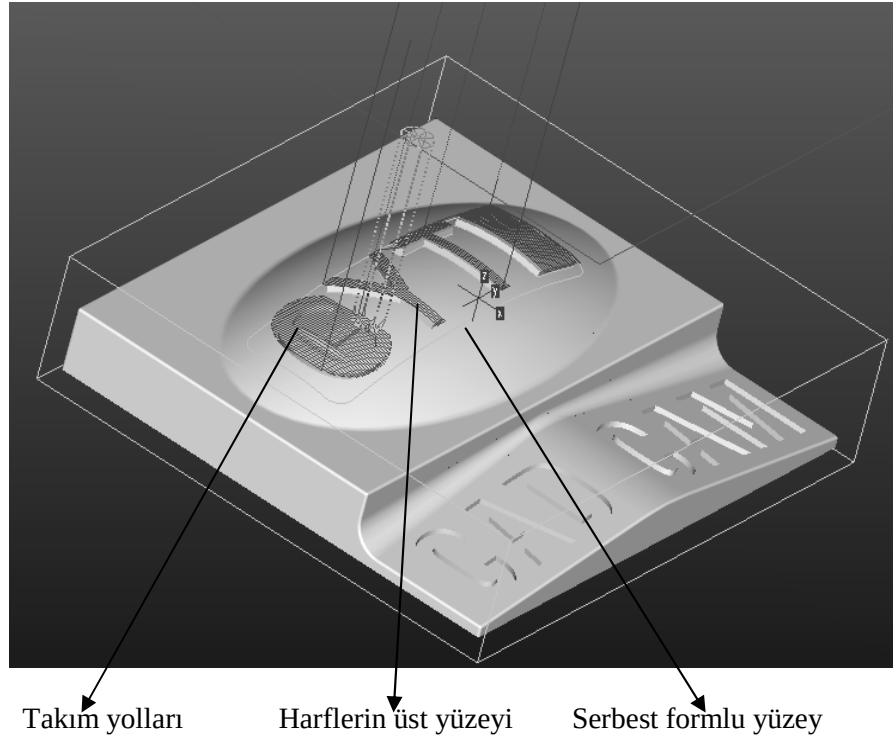


Şekil 3.2. Serbest formlu yüzeyin 3 eksenle işlenmesi

3.3.3. Kaba İşlem III

Bu operasyon, eğimli yüzey (serbest formlu yüzey) üzerinde bulunan harflerin yüzeylerinde kalan talaşların 3 eksenle işlenmesi için yapılmıştır. 12 mm'lik küresel takım kullanılarak, yüzey frezeleme (surface milling) işlemi yapılmıştır. Harf yüzeylerinin iyi kalitede olması için, kaba işlem yapılması oldukça önemlidir. Eğer yüzeyde kalan talaş (malzeme) tek bir operasyonla alınırsa, yüzeyler pürüzlü çıkabilir. Bundan dolayı; kaba işlemden sonra bir ince yüzey işlemi yapılmalıdır.

Harflerin üst yüzeylerinde işleme yapılırken, oluşturulan takım yolları harf sınırları içindeki bir kontur alanını dolaşmalıdır. İstenilen takım yollarını oluşturmak için, yüzey frezeleme metoduyla “Surface Iso-Line” işleme stratejisi kullanılmalıdır. Bölüm 3.1.4’te bahsedildiği gibi, Surface Iso-Line stratejisi, kesicinin kısa mesafeli hareketler üretmesini ve istenen iniş-çıkışlar yapmasını sağlar. Kesici, harflerin yüzeyine seçilen bir bölgeden girer ve harflerin yüzeyini radyal kesme derinliğinde (adım genişliğinde) tarayarak, yüzeyden paralel bir biçimde emniyet düzlemine çıkar. Harflerin yüzeyine, eğri uydurma yöntemiyle yeni bir yüzey uydurarak, kesme işlemi daha kolay yapılmıştır. Bu operasyon için yapılan uygulama Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



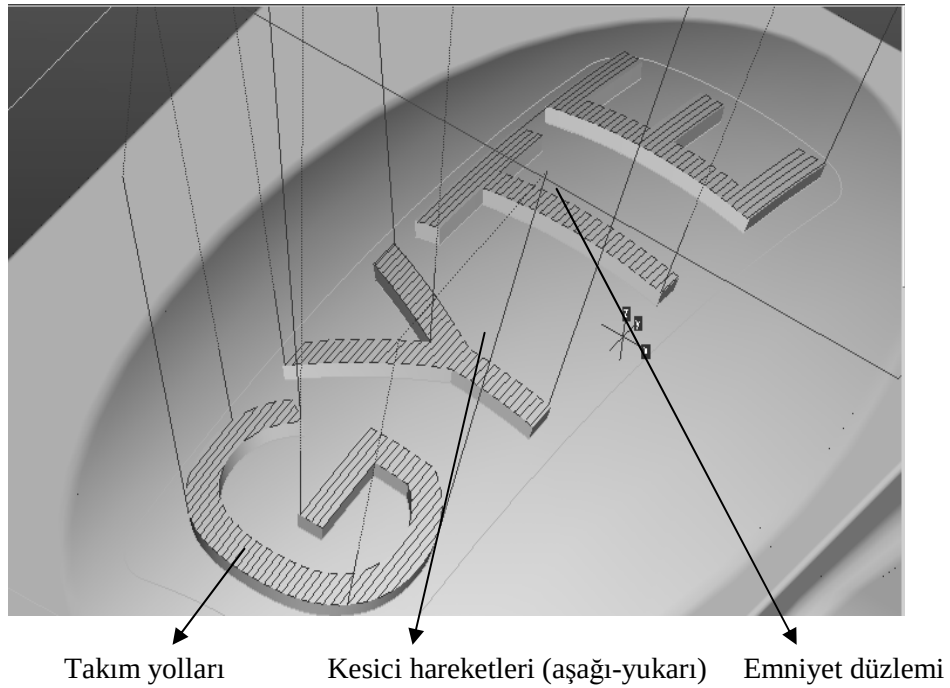
Şekil 3.3. Harflerin üst yüzeyinin 3 eksenle işlenmesi

3.4. Küçük Hacimli Alanların İşlenmesi

Serbest formlu yüzey ve harflerin yüzeylerinde kalan küçük miktardaki talaşlar, 5 eksen frezeleme metoduyla beş alt ince işlem yapılarak temizlenmiştir. Bu beş alt ince yüzey işlemi, aşağıdaki bölümlerde sırasıyla anlatılmıştır.

3.4.1. İnce Yüzey İşlem I

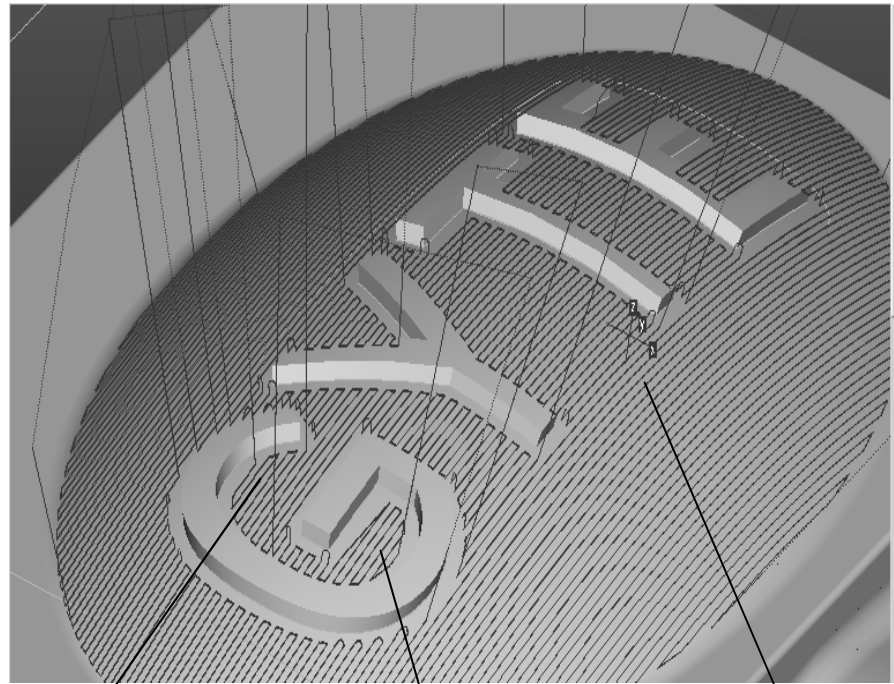
Harflerin üst yüzeyinin ince işlemi, 12 mm'lik küresel uçlu kesici kullanılarak 5 eksen işleme metoduyla yapılmıştır. Kaba işlem III operasyonundan, 0.2 mm'lik talaş bırakılmıştır. Bu ince işlemde, Project Cut işleme stratejisi seçilmiştir. Uygun radyal kesme derinliğiyle (step-over), harflerin üst yüzeyinin en son işlemesi yapılarak, bir önceki operasyondan kalan 0.2 mm'lik talaş tamamen temizlenmiştir. 12 mm'lik küresel kesicinin kullanılması, harflerin üst yüzeyinin oldukça kaliteli çıkmasını sağlamıştır. Bölüm 3.1'de bahsedildiği gibi, parçanın tam orta noktasına atanan koordinat sistemi kullanılarak, serbest formlu yüzeyin yapısına uygun bir silindirik emniyet düzlemi oluşturulmuştur. Böylelikle; kesicinin uç noktası işleme yüzeyiyle tam temas sağlayarak kalan talaşı en aza indirmiştir. Uygulanan operasyon için kullanılan model, emniyet düzlemi ve takım yolları Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Harflerin üst yüzeyinin 5 eksenle işlenmesi

3.4.2. İnce Yüzey İşlem II

6 mm'lik küresel uçlu kesici kullanılarak harflerin ara kısımlarında kalan talaşlar, 5 eksen yüzey frezeleme metoduyla işlenmiştir. Koordiant sisteminin Y eksenini boyunca, birbirine paralel takım yolları 1.5 mm'lik bir aralıkta oluşturulmuştur. Surface Iso-Line stratejisi, bu ara kısımların işlenmesinde kullanılmıştır. Serbest formlu yüzey, kesicinin referans yüzeyi olarak seçilmiştir. Böylece; kesicinin 5 eksenli hareketi boyunca, harflerin yan duvarlarına çarpma ve dalma riski ortadan kalkmıştır. Kullanılan takım yolları, model, harflerin ara bölgeleri ve iniş-çıkış hareketleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



5 eksen takım yolları

Harflerin ara bölgeleri

Serbest formlu yüzey

Şekil 3.5. Harflerin ara bölgelerinin ve serbest formlu yüzeyin işlenmesi

3.4.3. İnce Yüzey İşlem III

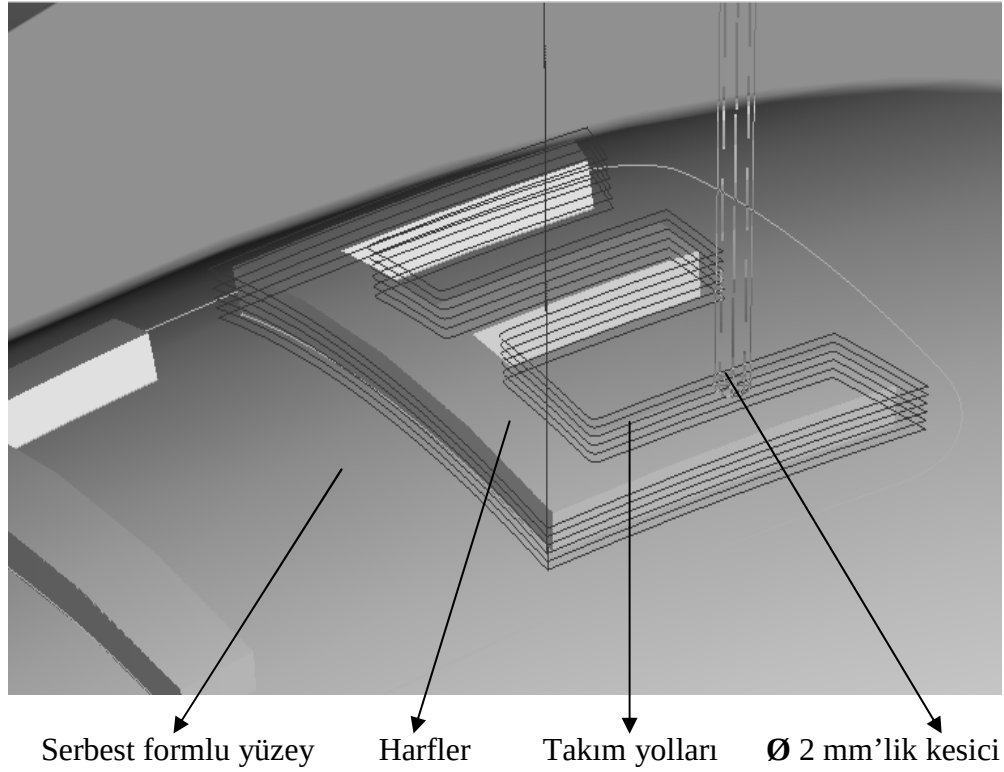
Harflerin ara kısımlarının ve serbest formlu yüzeyin işlendiği, en önemli ve en son yüzey operasyonudur. 2 mm'lik küresel uçlu kesici kullanılarak, yüzeyde son temizleme işlemi yapılmıştır. Bu operasyon, işleniş bakımından diğer operasyonlardan farklıdır. Çünkü, modelin gözle görünen kısımları bu operasyonla işlenmiştir. Aynı zamanda, üretim süresi diğer operasyonlara göre daha fazladır. 0.1 mm'lik radyal kesme aralığının kullanılması, operasyonun uzamasına yol açmıştır. Fakat, yüzeyler kaliteli çıkmıştır.

Diğer taraftan; serbest formlu yüzeyin bir bölgesinde form hatası oluşmuştur. Bu form hatası, bir CMM cihazıyla 0.005 mm olarak ölçülmüştür. Oluşan hata, ilave operasyonlar yapılarak ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır, fakat hata giderilememiştir. Bu tip hataların; uygun olmayan parça geometrisi, makine konumlama hataları ve post-prosesörden kaynaklanabileceği düşünülmüştür [Wang and Tang, 1999]. Bu çalışma, yüzeylerde meydana gelen hataların incelenmesiyle ilgili değildir. Bunun için; hatanın oluşum nedeniyle ilgili farklı bir çalışmanın daha sonra yapılması düşünülmüştür. Model, takım yolları ve yüzeyler Şekil 3.5'le aynıdır.

3.4.4. İnce Yüzey İşlem 4

2 mm'lik düz uçlu kesiciler kullanılarak, harflerin yan duvarlarında kalan talaşlar bu operasyonla temizlenmiştir. Toplam dört harf için, tek bir silindirik emniyet düzlemi yardımıyla, 5 eksen işleme metodu kullanılmıştır. Kesicinin uç noktası serbest formlu yüzey üzerinde hareket ederken, harflerin yan duvarlarındaki stok malzemeler çıkarılmıştır. Her bir harfin derinliği, 2.5 mm'dir ve 0.4 mm'lik bir kesme derinliği kullanılarak toplam 6 kez iniş-çıkış hareketi yapılmıştır. Kesme yüksekliği; $0.6 \times 4 = 2.4$ mm olarak hesaplanmıştır. Kalan 0.1 mm ise, kesicinin bağlanması sırasında meydana gelebilecek hata toleransı olarak bırakılmıştır. Harflerin işlenmesinden sonra, iki harfin yan duvarlarında hatalar oluşmuştur. Bu hatalar, program içerisinde bulunan Lineer Tolerans (Linear Tolerance) seçeneğiyle azaltılmaya çalışılmıştır.

Başlangıçta; lineer tolerans değeri, 0.01'den 0.0025'e çıkarılarak hataların % 50'ye yakını ortadan kaldırılmıştır. Daha sonra; lineer tolerans değeri, 0.0025'ten 0.001'e çıkarılarak, hataların % 90'ı ortadan kaldırılmıştır. Harflerin yan duvarlarının işlenmesi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

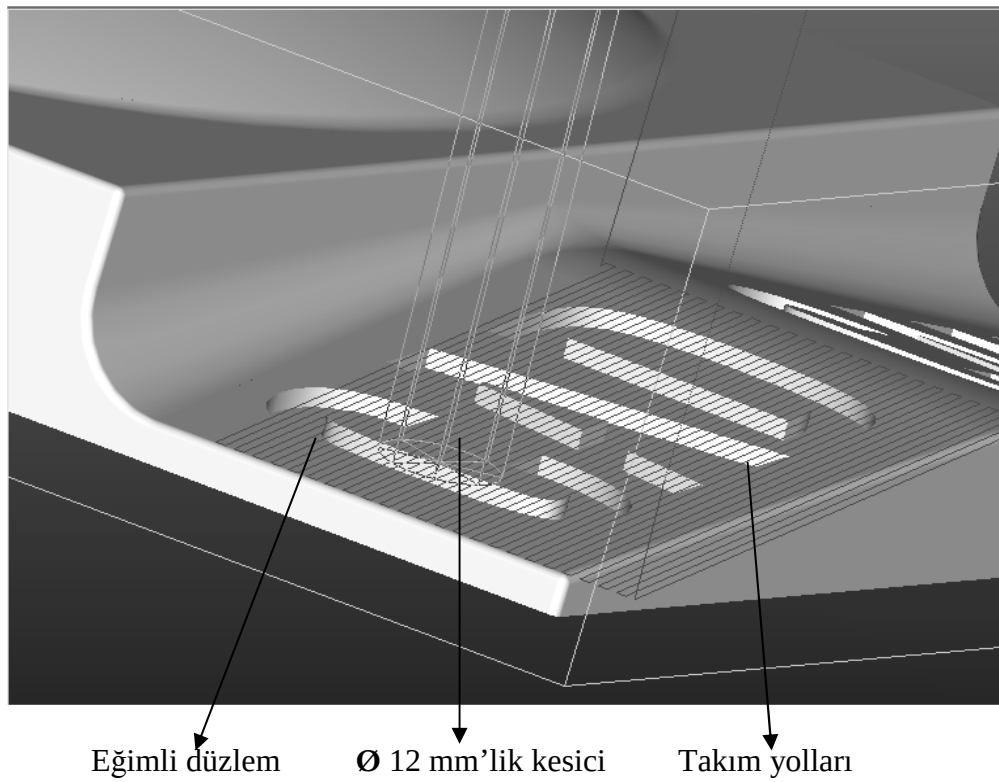


Şekil 3.6. Harflerin yan duvarlarının 5 eksenle işlenmesi

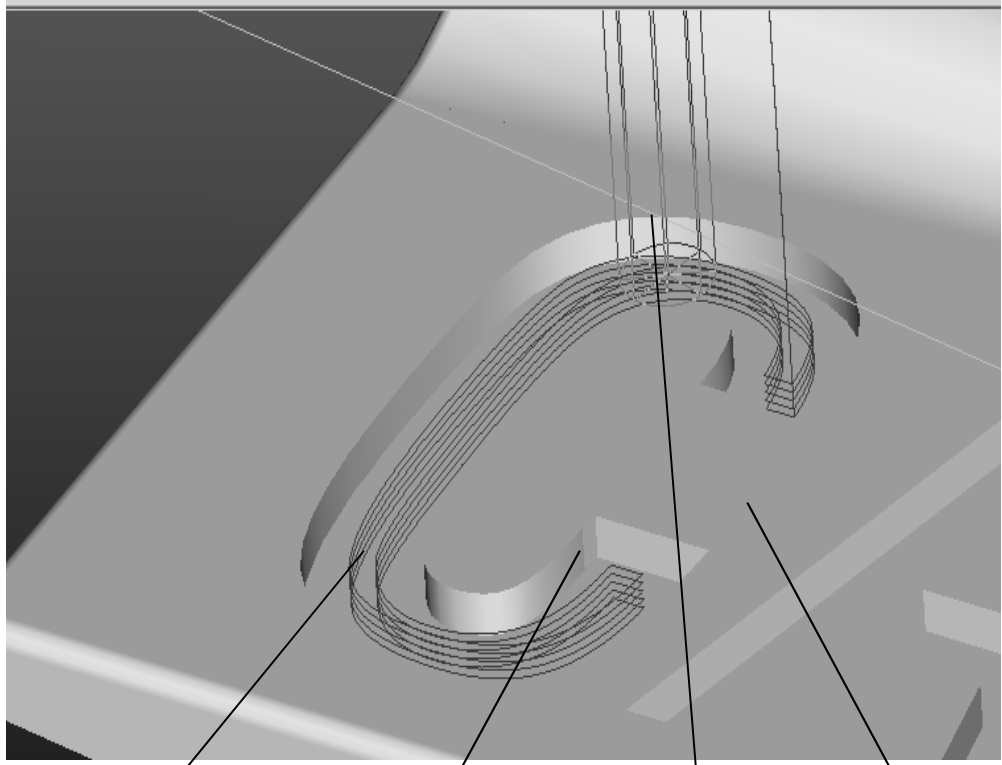
3.4.5. İnce Yüzey İşlem 5

Bu bölümde, deneysel parçanın ön kısmında yer alan eğimli iki yüzey ve bu yüzeylerde yer alan harflerin işleme yöntemi incelenmiştir. Harflerin yer aldığı iki eğimli düzlem (inclined plane), parçanın tabanıyla -6.543° ve $+6.543^\circ$ 'lik açılar yapmaktadır. İlk olarak, 12 mm'lik düz uçlu bir kesici bu düzlem üzerinde belli kesme aralıklarında işleme yapmıştır. Tezgah, A eksenini -6.543° ve $+6.543^\circ$ 'lik iki kesme açısına kullanılan program (post-prosesörden elde edilen G kodlarıyla) yardımıyla konumlamıştır. Şimdiye kadar yapılan operasyonların hepsinde; X,Y,Z ve C eksenleri kullanılmıştır. Bu operasyonda ise, ilave olarak A ekseni kullanılmıştır [Lee,1998].

Eğimli yüzeylerin frezelenmesinde, 1 mm'lik radyal kesme aralığı kullanılmıştır ve elde yüzeyler kaliteli çıkmıştır. Ayrıca; bu eğimli yüzeylerde tasarlanmış olan altı harf için, 0.4 mm'lik kesme aralığında beş iniş-çıkış hareketi kullanılarak işleme yapılmıştır. Dolayısıyla; kesici, harflerin iç kısımlarında 5 kez dolaşarak malzeme çıkarmıştır. Harflerin genişliği 4.5 mm olup, 4 mm'lik kesiciyle işlem yapılmıştır. Harflerin yan duvarları ile alt yüzeylerindeki yüzey kalitesi iyi çıkmıştır ve herhangi bir form hatası oluşmamıştır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8, eğimli yüzeyi ve bu yüzeyde yer alan harfler için oluşturulmuş takım yollarını göstermektedir.



Şekil 3.7. Eğimli düzlemin işlenmesi



Takım yolları

Harflerin yan duvarları

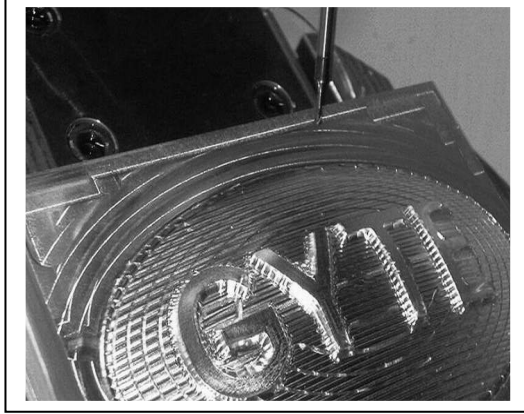
Ø 4 mm'lik kesici

Harf düzlemi

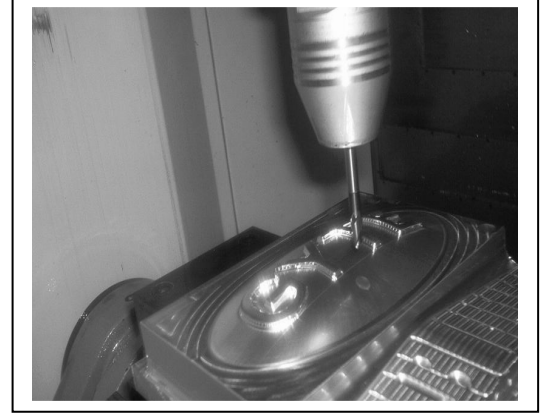
Şekil 3.8. Eğimli düzlemdeki harflerin işlenmesi

3.5. Kesme Operasyonlarının Sonucu

Şekil 3.9 (a),(b),(c),(d), kesme operasyonlarından elde edilen parça yüzeylerini göstermektedir. Her şekil, bir kaç operasyon sonucunda elde edilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.9. Gerçek kesme operasyonlarından elde edilen resimler

- (a) Büyük hacimli alanlar için yapılan işlemler
- (b) Serbest formlu yüzey için yapılan işlemler
- (c) Eğimli yüzey ve harfler için yapılan işlemler
- (d) Tüm operasyonlar sonucunda üretilen model

4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ

Bu bölümde; yüzey pürüzlülüğünün tanımı, hangi amaçlar için kullanıldığı, nasıl ölçüldüğü, hangi parametrelerden oluştuğu ve bu parametrelerin birbiriyle ilişkisi, bir yüzeydeki pürüzlülüğün mekanik ölçüm metodları dışında başka hangi metodlarla ölçüldüğü, yüzey pürüzlülüğünün nasıl hesaplandığı ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde kullanılan cihazlar incelenmiştir.

4.1. Yüzeyin Tanımı

Basit olarak bir malzeme ile diğer bir malzeme arasındaki sınır olarak tanımlanır. Yüzey bir alandır ve bir üretim prosesi tarafından oluşturulan doku tüm yüzeyi kaplar. Böylece; bir alan üzerinde yüzeyin var olduğu değerlendirilmelidir. Yüzey üzerinde yapılan işlemler sonucu, bir takım izler meydana gelir. Bu izler, yüzeyin dokusundan kaynaklanır ve yüzey pürüzlülüğüne yol açar [Dagnal, 1986].

4.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey Pürüzlülüğü, çeşitli üretim işlemleri sonucunda parça yüzeylerinde oluşan düzensizlikler olarak tanımlanır. Başka bir tanıma göre; yüzeyin yapısında meydana gelen mikro düzeydeki bozukluklar olarak ifade edilir. R_a parametresiyle bir çok uygulamada kullanılmaktadır.

4.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesinin Sebebi

Üretim işlemleri sonucunda çeşitli yüzeyler ve bu yüzeylere ait çeşitli parametreler elde edilir. Bu parametreler, üretilen parçaya ait ömür aşamalarıdır. Üretilen bir parça için ömür aşamaları; kontrol, performans ve fonksiyon'dur. Üretilen parça belli tolerans sınırları içinde değilse, burada kontrol en önemli unsurdur. Eğer bir parça kullanıcıyı memnun ediyorsa, parçanın doğru bir şekilde çalışması yetmez, aynı zamanda uzun bir kullanım ömrüne de sahip olması gerekir.

Bir çok mühendislik uygulaması için, yüzey dokusu kullanıldığı yere göre; önemlilik arzeder. Özellikle, birbiriyle hareket sonucu temas eden yüzeylerde bu kriter geçerlidir. Çünkü, hareket halinde olan iki yüzey birbiriyle temas ettiğinde bir sürtünme meydana gelir ve bunun sonucu olarak ısı oluşur. Daha sonra bir ses ortaya çıkar ve çalışma verimi doğrudan etkilenir. Aynı zamanda, çeşitli endüstri dallarında kullanılan hareketli aksamalarda yüzeylerin bozuk olması, makina elemanlarının verimliliğini azaltır. Yüzeylerin pürüzlü olması, aşınmanın da ortaya çıkmasına yol açar.

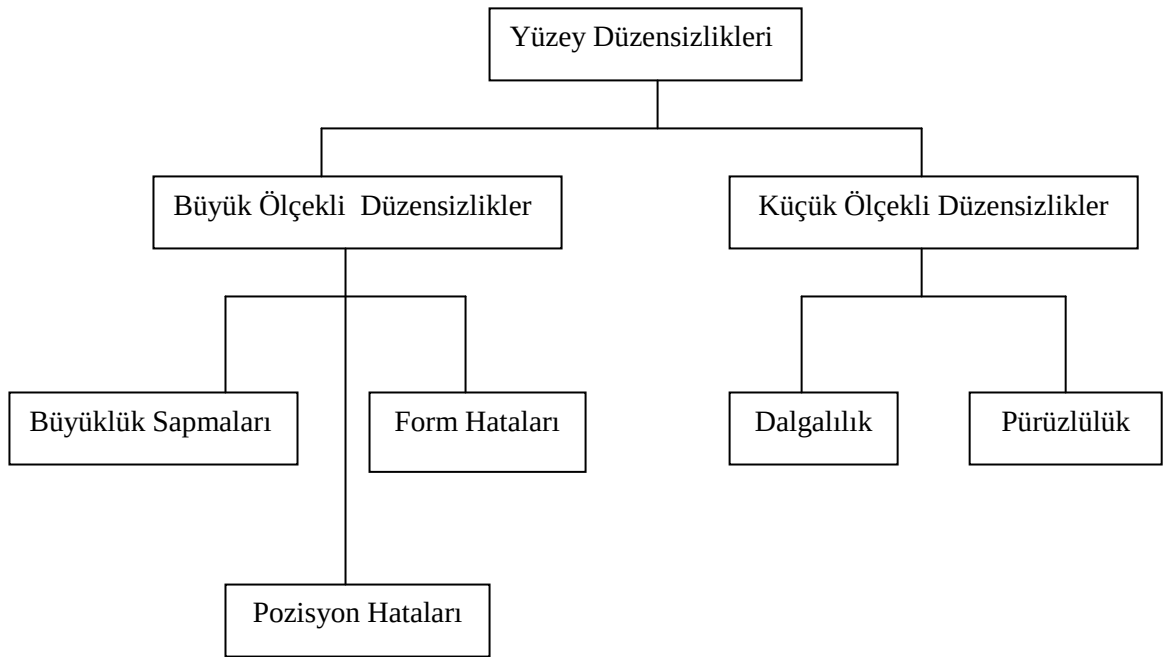
Yatak içinde hareket eden bir mil düşünülürse, mil ve yatağın birbirine temas eden yüzeylerinin pürüzlülüğü kontrol edilmezse, montaj edilip çalışma evresine geldiğinde istenen çalışma verimi elde edilemeyebilir. Belki; parçalar yağlama işlemine tabi tutularak sürtünme azaltılabilir, fakat yüzeyler pürüzlü ise, bu kez de iki yüzeyin temas etmesinden dolayı aşınma meydana gelir.

Birbiri içine geçen parçalarda gerekli ölçüsel doğruluğun olmaması, sızdırmazlık problemlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Yüzeyler pürüzlü olduğu sürece, bağlantı yerlerinde tam temas olmamasından dolayı sızma meydana gelecektir. Yüzeyler kullandıkları yerlere göre; ölçüm değerleriyle sınırlandırıldıkça, bahsedilen bu tip problemler oluşmaz. Sonuç olarak, yüzeyler ölçüm işleminden geçirilirse, hatalar ortadan kaldırılabilir ve düşük maliyetle kaliteli ürünler elde edilebilir.

4.2.2. Yüzeydeki Düzensizlik Tipleri

- 1) Form Sapmaları (Pozisyon sapmaları)
- 2) Dalgalı olma durumu (Dalgalılık)
- 3) Pürüzlülük

Form ve konum (pozisyon) sapmaları, büyük ölçekli düzensizlikler olarak tarif edilirken, dalgalılık ve pürüzlülük ise, küçük ölçekli düzensizlikler olarak tanımlanır. Şekil 4.1, herhangi bir yüzeye ait düzensizlikleri göstermektedir.



Şekil 4.1. Yüzey Düzensizlikleri

- **Konum Hataları**

Bir konum (pozisyon) hatası, bir parçanın iki elemanı (tekli) ve bu elemanların geometriksel olarak karşılıklı ideal konumundan sapması olarak ifade edilmektedir. Pozisyon sapmalarının örnekleri, iki deliğin birbirine paralellik hatası ve yüzeye deliğin dik olmamasından kaynaklanan hatalar olarak sıralanabilir.

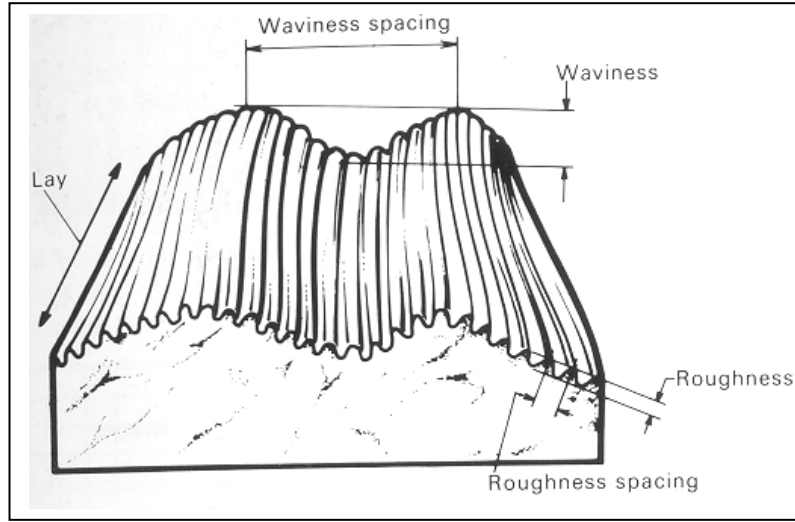
- **Form Sapmaları**

Form hataları; pürüzlülük, dalgalılık ve konum hatalarını kapsayan geometriksel yüzeyden işlenen yüzeyin sapmaları olarak tanımlanır. Örneğin, kübik bir fonksiyona ait eğriden üretilmiş yüzeyin işleme sonucunda tam bir eğri yapısında olmaması, bir form hatasıdır.

4.2.3. Yüzey Pürüzlülük Şekli ve Pürüzlülük İfadeleri

- Pürüzlülük (Roughness): Başlangıç yüzey dokusudur ve ürün prosesleri sonucunda yüzeyde bırakılan izlerdir.
- Dalgalılık (Waviness): Son yüzey dokusu olup, makina veya çalışma etkileri, titreşimler, gürültüler, malzemedeki çeşitli gerilme ve ileri düzeydeki etkiler gibi faktörlerin oluşturduğu yüzey pürüzlülüğüne bağlı yüzeyin doku bileşenidir.
- Form: Yüzeyin genel şeklidir, pürüzlülük ve dalgalılıktan dolayı oluşan çeşitlilikler ihmal edilir. İş parçası veya makinanın esnekliğinden kaynaklanır. Aynı zamanda; kesme kuvvetleri altındaki iş parçasının yetersiz rijitliği, çoğunlukla form hatalarının ortaya çıkmasına neden olur.
- Cepler (Lay): Bir çok yüzeydeki işleme desenleri (dokuları) yönsel bir karakteristiğe sahiptir. Ceplerin, yönü oldukça önemlidir. Çünkü, ölçüm cihazının hareketli ucu yüzey dokusundaki cep yönüne göre hareket eder.
- Yırtıklar (flaws): Malzemenin kendi yapısında bulunup, bir işlemten sonra ortaya çıkması muhtemeldir.
- Dalgalılık genişliği (Waviness spacing): Ölçüm uzunluğu içinde, en yüksek tepe dalgası ile en alçak çukur dalgası arasındaki genişliktir.
- Pürüzlülük genişliği (Roughness spacing): En yüksek tepeler arasındaki kabul edilebilen yüzeye ait paralel boşluktur [Lou et al, 1999].

Yüzey pürüzlülüğünün oluşumu ve yüzey pürüzlülüğüne ait yukarıda bahsedilen en genel ifadeler, Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Yüzey pürüzlülük şekli ve ilişkili ifadeler [Dagnal,1986]

4.3. Yüzey Dokusu

Yüzey dokusu (Surface Texture), bir yüzeyin düzlülüğünü niceliksel hale getirmek için yaygın olarak endüstride kullanılır. Pürüzlülük ve dalgalılık gibi bileşenleri yapısında barındırır. Yüzey dokuları, geniş bir ölçüsel aralığı kapsarlar. Elektron ve optik mikroskoplar kullanılarak, yüzey dokusunun yapısı incelenebilir [Dagnal, 1986].

Belli ölçüm aralıklarında 150 mm uzunluğundaki düz bir yüzey incelendiğinde, bu yüzeyde derinlik 0.015 mm'dir Buna göre, hala bu şeklin düz olduğu söylenebilir. Fakat, bu şekil biraz eğridir. Yüzeyin yüksek noktalarının aralığı ikiye bölünürse, yüzey hakkındaki düşünce değişmeyecektir. Yüzey hala düz olacaktır, fakat gerçekte eğridir. Buna rağmen; aralık daha da azaltılırsa, yüzey dalgalı olarak tanımlanır.

15 μm 'lik yüksekliğe sahip bir yüzeyin düzensizlikleri, düzensizlik aralıklarına göre; eğri, kaba ve dalgalı olarak kabul edilir. Eğrilik; formun bir şeklidir ve yüzey dokusunun bir parçası olarak kabul edilemez. Pürüzlülük ve dalgalılık; bazen başlangıç (birincil) ve bitiş (ikincil) yüzey dokuları olarakta adlandırılır [Kopac and Bahor, 2001].

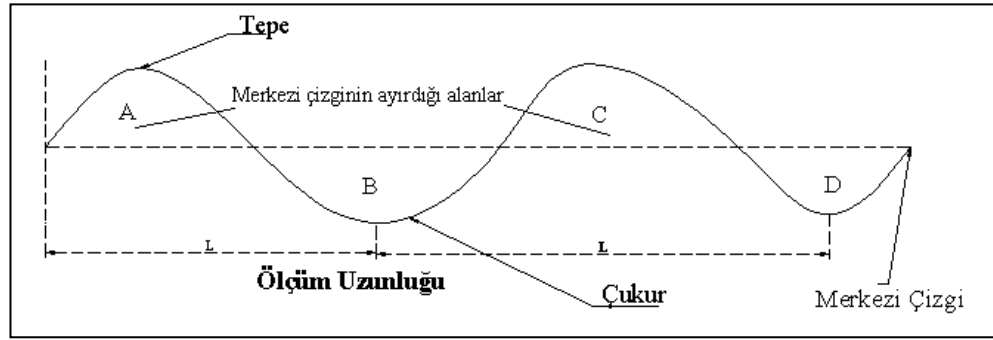
Çeşitli prosesler sonucunda elde edilen yüzeylerin belli ölçeklerde mikroskopla görüntülenmesi mümkündür. Bu sonuçlara bakılarak yüzeyin dokusu hakkında ve dolaylı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde çeşitli değerlendirmeler yapılabilir. Bir frezeleme işlemi sonucunda elde edilen yüzeyin mikroskopla büyütülmüş dokusu Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Frezeleme işleminden elde edilen yüzey dokusu

4.4. Tepe ve Çukur

Basit olarak ifade edilirse, ölçümün yapıldığı yüzeyden elde edilen üst ve alt noktalardır. Üst noktalara; tepe (peak) ve alt noktalara; çukur (valley) adı verilir. Tepe ve çukurlar, bir yüzey dokusunun en üst ve en alt noktaları olup, merkezi bir çizgiyle ikiye ayrılır. Bu iki bölge, kendi arasında eşit bir alana sahip değildir. Diğer bir ifadeyle; bir ölçüm içinden alınan herhangi bir tepe ile çukurun, merkezi çizgiden uzaklığı farklı olabilir. Bir yüzeyden elde edilen tepe ve çukurların bir dizisi, Şekil 4.4' te gösterilmiştir [Gadelmawla et al, 2002].



Şekil 4.4. Ölçülen bir yüzey için tepe-çukur ilişkisi

Bir çok bilimsel ve istatistiksel grafikte, kullanılan ölçme birimleri arasında gerçek bir ilişki yoktur. Örneğin; zamana karşı sıcaklığın değişimini gösteren bir grafikte, Y eksenini ve X eksenini °C ile saat birimini gösterecektir. Fakat, bu iki birim birbirinden bağımsızdır. Sonuç olarak; hangi ölçek kullanılırsa kullansın, grafiğin şekli olduğu gibi kabul edilir.

Bir yüzeyin grafiği gerçekte, yukarıda bahsedilen grafik biçimlerinden farklıdır. Hem düşey hem de yatay eksenler aynı uzunluğu gösterir ve başlangıçta bu grafiğin önemi anlaşılmaz, çünkü farklı ölçekler kullanılır. Grafik, yüzey düzensizliklerinin şekli için açık bir ipucu vermez. Çeşitli ölçüm cihazlarından elde edilen profil grafiklerinden yararlanılarak, tepe ve çukurlar hakkında bilgi edinebilir.

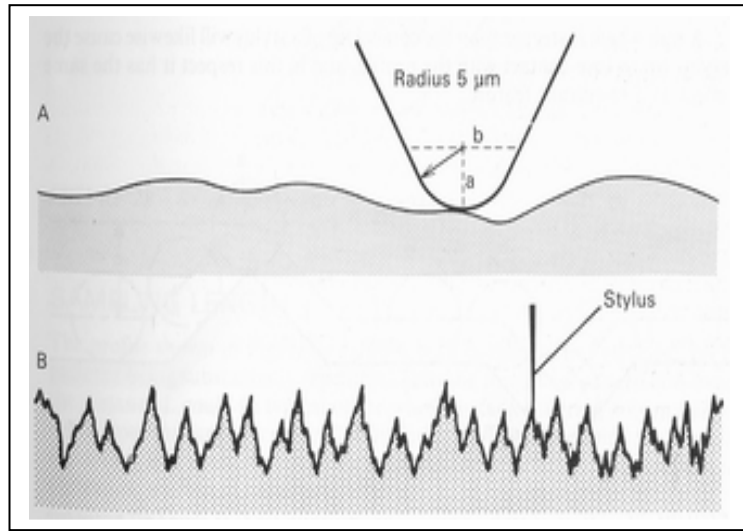
4.5. Stylus Büyüklüğü ve Şekli

Stylus (temas iğnesi); mekanik ölçüm cihazlarında, cihazın uç kısmına takılan ve yüzeyin dokusuyla teması sağlayan, verileri ölçüm cihazının elektronik kısmına taşıyan bir dokunma probudur. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan mekanik cihazların vazgeçilmez bir parçasıdır.

Bir profilden elde edilen grafiği gözde canlandırmak zor olduğu için, profil stylus büyüklüğüyle kıyaslanmalıdır. Stylus normal olarak, küresel (konik) ve düz olmak üzere dört kenarlı bir pramit şekle sahiptir. Konik stylus, 10 µm'den daha az bir yarıçapla, 60° veya 90°'lik konik açılara sahiptir.

Pramit stylus, $2\ \mu\text{m}$ 'lık bir izleme genişliğine sahiptir, fakat stylusa daha büyük dayanım vermek amacıyla izleme yönüne doğru olan açılarda genişliği daha azdır. Pratikte; pramit tip stylus, aşınmadan dolayı yuvarlak olmaya eğilimliyken, küresel (konik) tip stylus düz olmaya eğilimlidir.

$5\ \mu\text{m}$ 'lık yarıçapa sahip küresel tip stylusla, gerçek yüzeyin karşılaştırılması Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu şekilde; stylus ucuyla yüzey teması yatay ($V_v = \times 5000$) ve dikey ($V_h = \times 100$) oranlarda, bir büyültmeye tabi tutulmuştur. Büyütmelerde $a = 25\ \text{mm}$ ve $b = 1\ \text{mm}$ 'lik ölçülere sahip olan bir stylus yapısı ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.5. Stylus şekli ve stylusun büyültülmüş yüzeyle teması [Dagnal, 1986]

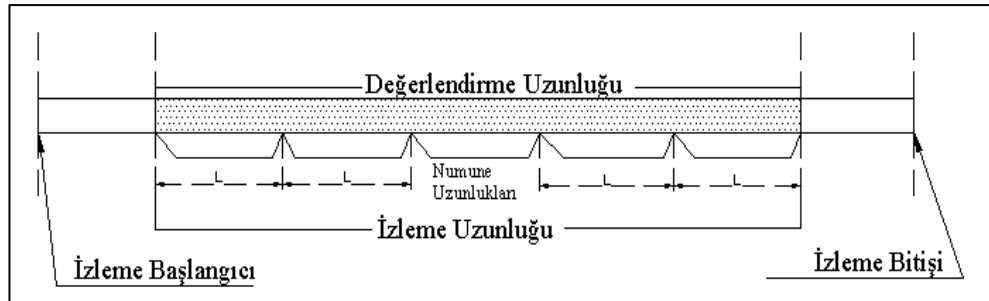
Stylus sahip olduğu uç tipinden dolayı, derin çukurlu yüzeylerde en alt noktalara giremeyebilir. Stylus yarıçapının büyümesi, ölçmenin hassasiyetini düşürür ve daha büyük olması gereken R_a (ortalama pürüzlülük) değeri, daha küçük olarak okunur [Sander, 1991].

Küresel tip bir stylus keskin bir tepe üzerinden geçtiği zaman, temas noktası stylusun bir ucundan diğer ucuna doğru hareket eder. Bu durum, stylusun tepeden daha çok silindirik bir yolu izlemesine neden olur. İçeride doğru girintili bir şekil, stylus tarafından izlendiğinde, stylus tipi profille olan temasını kaybeder. Ayrıca; stylus cihazları, 4.16 no'lu bölümde daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.6. Ölçüm Uzunlukları

Yüzey dokusunun sayısal olarak değerlendirilmesinde, üç karakteristik mevcuttur. Bu üç karakteristiğin birbiriyle ilişkisi, Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

- Numune Uzunluğu (Sampling Length): Bazı detayları içermeyen ve istatistik öneme sahip ölçülen parametre üzerindeki uzunluk olup, yüzey üzerinde tek bir değerlendirme için yapılır.
- Değerlendirme Uzunluğu (Evaluation Length): Ölçümün yapıldığı yüzey üzerindeki uzunluktur. Bu uzunluk, bir kaç tane numune uzunluğunu da kapsar. Bir parametrenin değerlendirilmesinden daha çok, ortalamasının alındığı ölçümdür.
- Hareket Uzunluğu (Traverse Length): Bir ölçümün yapılmasında, stylus tarafından izlenen yüzeyin toplam uzunluğudur. Değerlendirme uzunluğundan daha büyüktür. Kısa yüzeylerde, bir numune uzunluğunun ölçülmesiyle hareket uzunluğu sınırlandırılabilir [Lou et al, 1999].



Şekil 4.6. Numune, değerlendirme ve izleme (hareket) uzunluklarının ilişkisi

4.7. Frekans Cevabı

Stylus ölçüm cihazlarının hemen hemen hepsi, dokunma /yükseltme/ kaydetme gibi fonksiyonların birarada kullanılmasını sağlarlar ve buradan elde edilen grafikteki sistem sınırlamalarının etkisini göz önünde bulundururlar. Bunu yapmak için, zaman süreci içindeki bir sinyal çeşitliğiyle doğrusal aralıkların sergilenmesi olarak ifade edilen frekans cevabı kullanılır.

Stylusun mekanik yer değiştirmeleri, dokunmayla yüzeyden sinyal alınarak, belli bir dalga boyuna sahip elektriksel sinyale dönüştürülür. Yüzeydeki sık düzensizlikler, daha büyük dalga boyuna sahip frekans cevabı verirler. Aynı zamanda; üretilen frekanslar hareket hızıyla artar. Frekans, lm cihazının bir ucundan diğer bir ucuna bilgi taşıyan elektrik sinyal olmasından dolayı, pratik öneme sahiptir. Doğru bir grafik elde etmek için, bütün frekanslar sistem içine doğru olarak taşınmalıdır.

Bir lm cihazının kaydetme ünitesinde yer alan, kalem ile kağıt arasındaki sürtünme ve kalemin mekanik ataletinden dolayı; kaydedicinin frekans cevabı daima sistemin en üst toplam stylus-grafik frekans cevabını sınırladığı bir gerçektir. Bu durum, maksimum hareket hızının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Örneğin; 0.01 mm’lik aralıklarda tepelerin düzenli boşluklarına sahip bir yüzeyden çok sayıda nokta alındığında, yüzeyin bir ucundan diğer bir ucuna 1mm/sn’de izleme yapılır ve 100 Hz’lik bir elektriksel dalga formuna sahip frekans değeri elde edilir. Yüzey profilinden alınan tepelerin boşluğunun uzunluğu değiştikçe, izleme süresi ve elde edilen elektriksel dalga formunun frekans değeri de değişecektir.

Elektriksel dalga formundaki frekanslar, düzensizlik boşluğu (irregularity spacing) ve izleme hızı gibi iki faktöre bağlıdır. 100 Hz ve 50 Hz’lik frekanslar, 0.01 mm ile 0.02 mm’lik düzensizlik boşluğunu gösterir. Aynı izleme hızında, 4 Hz ile 1.25 Hz’lik frekanslar 0.25 mm ve 0.8 mm’lik düzensizlik boşluğu üretir. 4 Hz’in altındaki her frekansı sıkıştıran yüksek geçişli bir elektriksel filtre sisteme eklenirse, 0.25 mm veya daha düşük olan düzensizlik boşlukları filtrelenmiş bir profil sinyalinde sergilenir. Bu durum, 0.25 mm’lik bir numune uzunluğunun elde edilmesi için gerekli olan en uygun koşuldur.

4.8. Referans Çizgisi

Pratik amaçlar için kullanılan referans, profilin merkezi çizgisidir (bazen ortalama çizgi olarakta adlandırılır). Bu çizgi, tepe ve çukurlar boyunca merkezi olarak devam eder. Aynı zamanda; referans çizgisi, matematiksel olarak merkezi çizginin alt ve üstünde yer alan tepe ile çukurları birbirinden alansal biçimde ikiye ayırır [Gadelmawla et al, 2002].

Eşit alanların bu kriteriyle tanımlanan merkezi çizgi tek değildir, bahsedilen bu şartı karşılayan çok sayıda çizgi bulunabilir. Yüzey dokusunun incelenmesinde kullanılan merkezi çizgilerden bir tanesi, yüzeyin genel şekline paralel olan çizgidir. Bazen farklı bir referans çizgisi kullanılır, bu çizgide en küçük karelerin ortalaması olarak adlandırılır. Merkezi çizgi; dalgalılığın olmadığı bir profilde her numune uzunluğu için çizilirse, bu merkezi çizgi sürekli olan doğru bir çizgiyi şekillendirir

Her numune uzunluğu içinde, çizgi teoriksel bir doğru formuna sahiptir. Merkezi çizgi, grafik biçimindeki bir kaydedici profilinden bakıldığında, düz bir çizgi şeklinde çizilebilir. Buna rağmen; bu çizgi bir ölçüm cihazıyla tespit edildiğinde, merkezi çizgi eğri olabilir, fakat ölçülen sonuçlara önemli bir şekilde etki etmez. Görsel olarak kolay olmasına rağmen; bir çok yüzey doku parametresinin temelini oluşturur. Profil ölçümleriyle ilişkili olarak; R_a değerinin hesaplanmasında, tepe ve çukurlar merkezi çizgi referans alınarak yapılır [Gadelmawla et al, 2002].

4.9. Ölçüm Aralığı

Ölçüm aralığı (Cut-off Length), numune uzunluğunun alet ölçüm bilgisiyle ilişkilidir. Ölçüm cihazıyla yüzey dokusunun ölçülmesinde; numune uzunluğu, yükselticilerin frekans cevabını düzelten filtreler yardımıyla değiştirilir. Böylelikle; dalga formu değiştirilmiş olur. “ B_{max} ” sembolüyle gösterilen ölçüm aralık uzunluğu bu şekilde tanımlanır.

Numune uzunluğu ile ölçüm aralığı arasındaki ayrım, oldukça önemlidir. Numune uzunluğu, bir yüzeyin fiziki uzunluğudur. Ölçüm aralığı ise, numune uzunluğunun değerlendirilmesinde kısıtlama etkisini göstermek amacıyla profilin dalga formundan elde edilir [Sander, 1991].

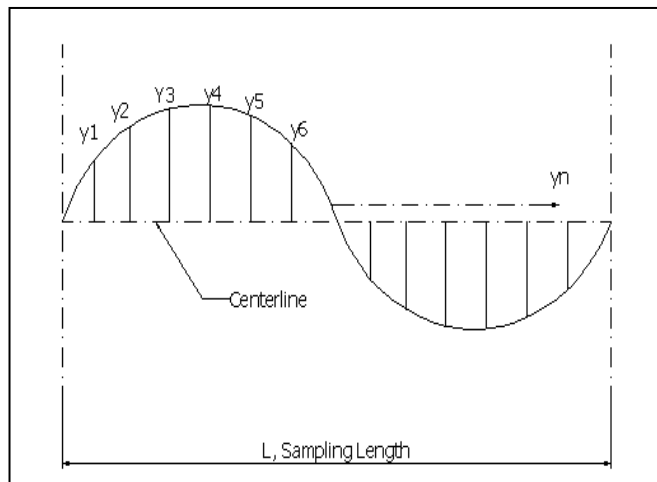
4.10. Ortalama Pürüzlülük

Ortalama pürüzlülük (Average Roughness), yüzey dokusunun ölçülmesinde uluslararası literatürde kullanılan bir metottur. R_a sembolüyle adlandırılır ve CLA (Center Line Average) olarak, bir çok ölçüm ortamında karşılaşılmaktadır. Amerikan ölçüm sistemlerinde ise, AA (Arithmetic Average) olarak adlandırılır [Dagnal, 1986].

R_a 'nın matematiksel ve grafiksel elde edilmesi, Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Matematiksel ifadeyle; L numune uzunluğu boyunca, merkezi çizgiden elde edilen profili ayıran aritmetik ortalama değeri olarak tanımlanır. Ayrıca; (4.1.) ve (4.2.) no'lu ifadeler, R_a 'nın hesaplanmasında kullanılan en genel ifadelerdir [Dagnal, 1986].

$$R_a = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n} \quad (4.1.);$$

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (4.2.);$$



Şekil 4.7. R_a 'nın matematiksel olarak ifade edilmesi

4.10.1. R_a Parametresiyle ilgili Önemli Değerlendirmeler

- Bir numune uzunluğu üzerindeki R_a değeri, ortalama pürüzlülüğü gösterir ve bundan dolayı, tek bir parazit etkisi değer üzerinde küçük bir değişime neden olur.
- Birbirini takip eden numune uzunlukları üzerinde değerlendirme yapma (bir kaç tane numune uzunluğunu içine alan değerlendirme aralığı) ve R_a değeri olarak kabul etme oldukça bilinen bir işlemdir.
- Ölçüm aralığı (cut-off length- B_{max}) anlaşılmazsa R_a değeri kendi başına anlamsızdır. R_a değeri, aynı ölçüm aralığı kullanılırsa tekrarlanabilir.
- Ölçüm, yüzeydeki akış (lay) yönüne daima dik yapılmalıdır.
- Tepe ve çukurlar arasında doğrudan bir ayırım yapılamaz.
- R_a değeri, grafikten belirlenmesine rağmen; alanların ölçülmesi de gereklidir.
- R_a değeri, μm veya $\mu inç$ ölçekleriyle birimselleştirilir.
- R_a değeri, yüzey parametrelerinin bir çoğu için doğru bir büyüklük olduğundan, profil şekliyle ilgili olarak bilgi vermez [Sander, 1991 and Dagnal, 1986].

4.10.2. RMS Değerleri

Bilimsel ölçüm ve istatistiklerde kullanılan ortalama alanı hesaplamanın diğer bir yöntemi, ortalama alanların kareleri toplamının karekökünü (RMS) almaktır. Aynı zamanda RMS ifadesi, R_q sembolüyle de gösterilir ve yüzey dokusunun ölçülmesinde, yaygın olarak kullanılır. Bir yüzeyden alınan profilin üzerindeki farklı dört noktanın (a,b,c,d), karesi alınarak toplanır ve daha sonra toplamın karekökü alınarak RMS değeri hesaplanır. (4.3.) no'lu ifade, RMS (R_q) ve R_a değerinin matematiksel olarak hesaplanmasını göstermektedir.

$$R_a = \frac{a + b + c + d}{4} \quad \text{ve} \quad R_q = \text{RMS} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}{4}} \quad (4.3.);$$

R_q değeri, R_a değeriyle kıyaslandığında daha yüksek değerlere ilave verme etkisine sahiptir. Aşağıdaki üç değer grubunda bu etki görülebilir.

I.grup:3,4,5

II.grup:2,4,6

III.grup:1,4,7

Yukarıdaki değerler R_a 'yı ifade eden formülde yerine yazılırsa, daima “4” değeri bulunur. Buna karşılık; R_q değeri, $\sqrt{16.6}$, $\sqrt{18.6}$ ve $\sqrt{22}$ olarak bulunur.

Buraya kadar R_a ve R_q değerleriyle ilgili değerlendirmeler ve bazı kıyaslamalar yapılmıştır. İnsan aklına şöyle bir soru gelebilir. Niçin iki ortalama pürüzlülük değeri (R_a ve R_q gibi) kullanılması gereklidir. Cevap tarihsel olarak yanıtlanabilir. R_a değerini, profilden kaydederek grafiksel olarak belirlemek daha kolaydır. Buna ilave olarak; R_a değeri, pürüzlülük ölçüm cihazları genel kullanımda yaygınlaşmadan önce kullanılmaya başlanmıştır. Pürüzlülük parametresi aletsel olarak belirlendiği zaman; R_q değeri, elektriksel filtrelerdeki faz etkisinin önemsiz olmasından dolayı, basitlik avantajına sahiptir. Ayrıca; istatistiki çalışmalar için, R_q değerleri, R_a değerlerinden daha anlamlıdır [Gadelmawla et al, 2002].

4.10.3. Pürüzlülük Dereceleri

Bir yüzeyin R_a değeri, performansta önemli farklılık olmaksızın gözle görülebilir bir oranda değişiklik gösterdiğinden, optimum (en uygun) dizayn dokusunda olmayan çizimlerin kabul edilebilir tolerans bandı içinde veya izin verilebilir maksimum pürüzlülükte belirli hale getirilmesi doğaldır. Pratik uygulamalar için bu çizimler; tolerans bantları veya pürüzlülük aşamaları olarak adlandırılır. N harfiyle bir sayı verilerek, aşamalar saptanmıştır. Pürüzlülük derece numarası arttıkça, yüzey pürüzlülüğü de artar. Yüzey pürüzlülük dereceleri arttıkça, nominal (mevcut) pürüzlülük değerleri de iki katına çıkar. Çizelge 4.1, pürüzlülük derece numaralarına karşılık gelen pürüzlülük değerlerini göstermektedir.

Çizelge 4.1. ISO'da tavsiye edilen pürüzlülük dereceleri ve derece numaraları

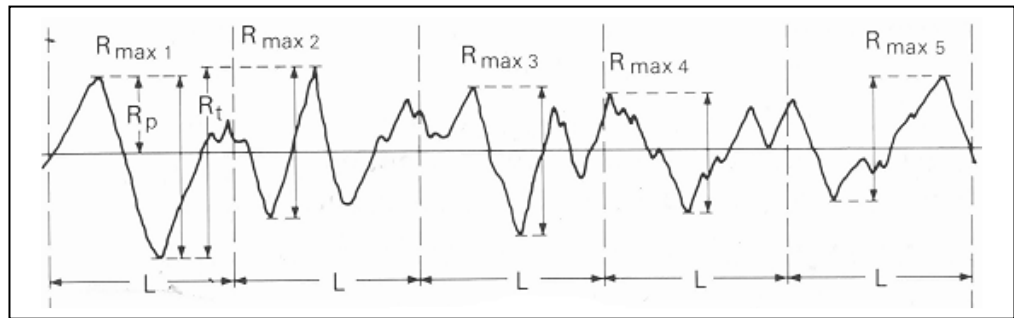
Pürüzlülük Değerleri, R_a		Pürüzlülük Derece Numaraları
μm	$\mu\text{inç}$	
50	2000	N12
25	1000	N11
12.5	500	N10
6.3	250	N9
3.2	125	N8
1.6	63	N7
0.8	32	N6
0.4	16	N5
0.2	8	N4
0.1	4	N3
0.050	2	N2
0.025	1	N1

* 1 mikro-inç=0.025 μm , 1 mikrometre=40 $\mu\text{inç}$

Bir çok uygulama için geçerli olduğu için, pürüzlülük dereceleri maksimum değeri göstermektedir. Örnek olarak; 0.6 μm 'lık R_a değerine sahip bir yüzey, N5 ile N6 dereceleri arasındadır. Bu sembollerin kullanımı, R_a değerinin μm ve $\mu\text{inç}$ ifade edilmesiyle ilgili her türlü belirsizliği önler.

4.11. Tepe ve Çukur Yükseklik Parametreleri

Maksimum pürüzlülük yüksekliğinin, bazı uygulamalar için daha açık şekilde ifade edilmesi istenebilir. Bir çok ölçüm ortamında, R_t parametresiyle ifade edilir. Değerlendirme uzunluğu içindeki, en yüksek ve en alçak noktalar arasındaki dikey yüksekliktir. Şekil 4.8, tepe-çukur yüksekliklerine ait parametreleri göstermektedir.



Şekil 4.8. Tepe-Çukur parametrelerinin numune uzunluğu içinde gösterilmesi [22]

$R_{\max}$ =Numune uzunluğu (L) içindeki maksimum tepe-çukur yüksekliği

R_{tm} = Beş tane ardı ardına numune uzunluğunun ortalama $R_{\max}$ değeri

R_p = Numune uzunluğu içindeki merkezi çizginin üzerinde kalan profilin en yüksek noktasının yüksekliği.

R_{pm} = Ardı ardına gelen beş numune uzunluğunun ortalama değeri

R_t değeriyle ilgili bazı değerlendirmeler;

- R_t değerinin tanımlanmasında merkezi çizgi kullanılmaz.
- R_t değeri, değerlendirme uzunluğu üzerinde belirlenir.
- R_t değeri, ortalama etkiye sahip değildir, bundan dolayı; yüzey üzerindeki çizikler ve kirlere etkilenir.

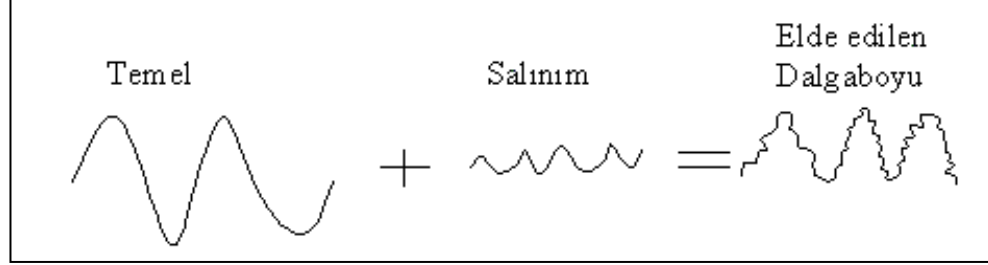
Profilin (numune uzunluğu içinde) en yüksek ve en alçak noktaları arasındaki dikey aralık, $R_{\max}$ sembolüyle verilmiştir. Bu parametrenin hassasiyetinden dolayı, ardı ardına gelen numune uzunluklarının herbirinin $R_{\max}$ ortalamasını almak doğaldır. Alman standartlarında (DIN); $R_{\max}$ parametresi, R_z olarak adlandırılır, fakat R_z başka parametreyi ifade etmektedir [Dagnal, 1986].

4.12. Ortalama Dalgaboyu

Profilin ortalama dalgaboyu, tepelerdeki aralıklarla karıştırılmamalıdır. Profil tepelerinin en uç noktaları, sadece profilin bir parçasını biçimlendirir. Ortalama dalgaboyu (aritmetik ortalamaya göre λ_a ve λ_q), en uç noktaların boşluğunda olduğu kadar yüzeyin kanatlarındaki her noktanın boşluğunu da kapsar.

“ λ_a ” parametresinin nasıl çıkarıldığını anlamak için, fourier analizinin bir bilgisini kullanmak gereklidir. Buna rağmen; işlemin matematik bilgisini araştırmaya ihtiyaç yoktur ve bir dizi dalga ile gösterilebilen her dalgaboyunun mevcut bilgisi yeterlidir.

Profil şekline bağlı olan harmoniklerin (salınımların) şiddetlerini, şiddet değerlerinin frekanslarına oranlamak için, grafikler çizilmiştir. λ_a , ağırlıklı ortalama şiddetlerin dalgaboyudur. Şekil 4.9, λ_1 ve λ_2 gibi iki dalgaboyuna sahip dalgaların profilinden elde edilen sonuçları göstermektedir.



Şekil 4.9. Dalgaboyları ile salınının birleşmesinden oluşan dalgaboyu [Dagnal,1986]

Sayısal olarak, ortalama dalgaboyu bir “a” uzunluğuyla açıklanır ve profilin ortalama pürüzlülük oranından çıkarılabilir. Bir yüzeye ait ortalama dalgaboyu, (4.4.) no’lu ifadedeki formüllerle hesaplanabilir [Gadelmawla et al, 2002].

$$\lambda_a = 2\pi \frac{R_a}{\lambda_a} \quad \text{veya} \quad \lambda_a = 2\pi \frac{R_a}{\Delta q} \quad (4.4.);$$

Bu parametreden, aşınma testleriyle çelik sac uygulamaları için faydalanılır. Bir yüzeyin düzensizliklerinin çok kapalı olarak boşluklandırılması, küçük şiddetle ilişkilidir, fakat bu pürüzlülük yüzey kayma etkisiyle kullanıldığı zaman hızlı bir şekilde aşınır. Yüzeydeki düzensizliklerin büyüklükleri çok küçük olduğundan, uygulanan proses boyunca R_a değerindeki değişim de küçük olacaktır. Dalgaboyu ne kadar küçükse, ortalama dalgaboyundaki değişim de o kadar küçüktür [Sander, 1991 and Dagnal, 1986].

Üretim işleminin doğrudan izlenmesiyle ortalama dalgaboyunun kullanımı çok daha önemlidir. İyi kalitede tornalama işleminde ortalama dalgaboyu, doğrudan kesicinin ilerleme izleriyle ilişkilidir. Makine takımının ayarları yanlış ise, λ_a ve λ_q parametreleri önemli ölçüde değişecektir. Fakat, R_a veya benzer yükseklik parametreleri önemli bir biçimde değişmeyebilir.

Benzer olarak taşlama işleminde, λ_a ve λ_q parametreleri taş büyüklüğüyle doğru bir ilişkiye sahiptir. Bundan dolayı; ortalama dalgaboyunun izlenmesi, taşlama tekerlerinin kaliteyi sağlamasında ihtiyaç duyulan zamanla ilişkilidir. Çizelge 4.2, tipik üretim işlemlerinden elde edilen numuneler için ölçülen λ_a ve R_a değerlerini göstermektedir.

Çizelge 4.2. Çeşitli üretim işlemlerinden elde edilen λ_a ve R_a değerleri

İşlem	λ_a (μm)	λ_a (μm)
Planyalama	400	17.8
Frezeleme	1300	5.1
Tornalama	100	1.7
Elektro erozyon	340	10.1
Taşlama	77	0.95
Perdahlama	19	0.07

4.13. Dalgalılık Parametreleri

Dalgalılıkla ilgili çok sayıda parametre mevcuttur. Yüzey pürüzlülüğüyle belli ölçülerde olmak üzere; dalgalılık parametresiyle benzerlik gösterir. Dalgalılıktaki ölçüm aralığı, sıkıştırılan düzensizliklerin altındaki uzunluğu tanımlamak için değerlendirilir. Bu sebepten dolayı; numune uzunluğu, ölçüm aralığından daha büyük olmalıdır. Pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan ölçüm aralığı, dalgalılık ölçüm aralığının tam zıttıdır. Bu ayrım oldukça önemlidir ve dalgalılık ölçümünde kullanılan ölçüm aralığının seçilmesi durumunda, akılda tutulmalıdır. W_a , W_q , W_z , W_p , W_{sk} , W_t , W_{tm} , W_{max} , $W_{\Delta q}$, $W_{\lambda q}$, W_{sm} , W_{pc} gibi dalgalılık parametreleri sırasıyla; R_a , R_q , R_z , R_p , R_{sk} , R_t , R_{tm} , R_{max} , Δq , λ_q , S_m , ve PC parametrelerine karşılık gelmektedir [Gadelmawla et al, 2002].

4.14. Parametrelerin İlişkisi

R_a ve R_q gibi parametrelerinin dönüştürülmesinde kullanılan sabit bir faktör yoktur. Buna rağmen; bir çok üretim işlemi için bir yüzeyin R_q değeri, R_a değerinin yaklaşık % 10'undan büyüktür. Böylelikle; $R_a : R_q$ oranı, 1 : 1.1 olarak kullanılır, fakat unutulmamalıdır ki bu bir yaklaşımdır ve bazı yüzeylerde hataya da yol açabilir. Diğer taraftan; R_a ve R_q arasındaki varyasyon (değişim), bir yüzey üzerindeki bir noktadan diğer bir noktaya değişiklik gösteren değişimlerin şiddetinden daha azdır. Çünkü, R_a ve R_q değerleri bazen pratik uygulamalar için aynı olarak kabul edilebilir [Sander, 1991].

R_{tm} ile R_z oranında, gözle görülebilir farklar mevcuttur. Çeşitli yüzeyler için elde edilen bir dizi deneyde, ortalama oran 1.21'dir; fakat maksimum 1.55:1'dir. R_z değeri, daima R_{tm} değerinden küçüktür. Pratik uygulamalar için, R_a ile R_z arasındaki oran 1:3 ve 1:2 olarak kullanılır. Eğer benzer profiller ölçülüyorsa, o zaman bir dönüşüm faktörü deneysel olarak tek bir örnekten belirlenir [Dagnal, 1991].

4.14.1. R_a ile R_z Parametrelerinin Karşılaştırılması

Örnek olarak, R_a matematik integrasyondan dolayı belli bir avantaja sahiptir. Farklı yüzeylerde ölçüm yapıldığı zaman, R_a değeri sabit kalır. R_z parametresi, profil tepelerine çok daha hassastır ve geniş bir dağılıma sahiptir. Bundan dolayı; proses ölçümlerinde daha çok tercih edilir. Genel kullanım için, R_z parametresinin aşağıdaki sebeplerden dolayı R_a 'dan daha uygun olduğu ifade edilmiştir.

- Bir yüzey parametresinin kolaylıkla yorumlanabilmesi
- Bir yüzey parametresinin ortalama profil sertliğindeki bilgiyi verebilmesi
- Bir yüzey parametresinin, profil grafiğinden belirlenebilmesi

4.15. Ölçümlerin Sayısı

İşlenen bir yüzey hiçbir zaman homojen bir yapıya sahip olmadığı için, ölçümler değişiklik gösterebilir. Tek bir ölçümden alınan sonucun düşük veya yüksek olup, olmadığı bir şans olarak kalır. Parametreye bağlı olarak, % 100'lük değişimler meydana gelebilir. Tüm yüzeyin ölçülme şansı olmadığından ve tek bir parametrenin istatistikler için yeterli olmaması, aynı yüzeyde bir dizi ölçümün yapılmasını gerektirir [Sander,1991].

4.16. Doğruluk

Ölçüsel metodolojide, doğruluk ve çözünürlüğün genellikle % 0.1-% 0.001 aralığında olduğu düşünülür. Örneğin; 25 mm'lik bir uzunlukta, basit bir mikrometreyle yapılan ölçümler, ancak 0.005 mm doğrulukta olabilir. Çözünürlük ise, maksimum uzunluğun % 0.02' si kadar olabilir [Dagnal, 1986].

Yüzey dokusunun ölçümünde, verilen bir yüzeyin parametreleri % 10'dan daha fazla bir yerel bölgeden diğerine yaygın olarak değiştirilir [Dagnal, 1986]. Örneğin; uçak motoru yapan üreticiler, sürekli üretimdeki parçaların yüzey dokusunun, $\pm 50'$ sinden daha fazlasının değiştiğini tespit etmişlerdir. Fakat, meydana gelen bu değişimin performansta çok küçük bir etkiye sahip olduğunu da söylemişlerdir. Ancak, yüzey dokusunun ölçümündeki tolerans kavramı, üretim yapılan fabrika ve atölyelerdeki ölçümden tamamen farklıdır.

Ölçümün tekrarlanabilirliği ve tutarlılığını garantilemek için, ± 3 ile ± 5 arasında daima kabul edilebilir bir yüzeyin pratik değişimleriyle ayarlanmış olduğundan çok daha büyük bir doğruluk gereklidir.

Ölçümün doğruluğuna etki eden diğer bir faktör, yapılan ölçümlerin çok küçük olmasıdır. Örnek olarak; R_t değeri, $0.25 \mu m$ olan bir profilin % 1'lik hatası, atom boşluklarının 10 katı kadar olan bir tepe-çukur yüksekliğindeki bir değişimi gösterir.

4.16.1 Aygıt Doğruluğu

Aygıt doğruluğu, normal ölçmenin tam ölçekli değerinin yüzdesi olarak ifade edilir, fakat elde edilen gerçek okuma değerinin yüzdesi değildir. Bu yorum, dijital bir gösterge veya nümerik bir çıkışa sahip ölçüm cihazlarının doğruluğu gözönüne alındığı zaman oldukça önemlidir. Bu cihazlar, seçilen aralığın tam ölçekli değerinin her ani görünüş özelliğini sağlamazlar. Bir yüzeyin bilinen R_a değeri $1.8 \mu m$ olarak ölçülürse, cihaz % 25’lik bir doğruluğa sahiptir, fakat bu değer muhtemelen yanlıştır. Çünkü; üretici, cihazı % 3 doğrulukla üretmiştir. Buna rağmen; seçilen ölçüm aralığı 0-25 μm ise, simgelenen ölçüm doğruluğu yapılan her ölçümde 0.8 μm ’lik sapmanın olduğunu gösterir.

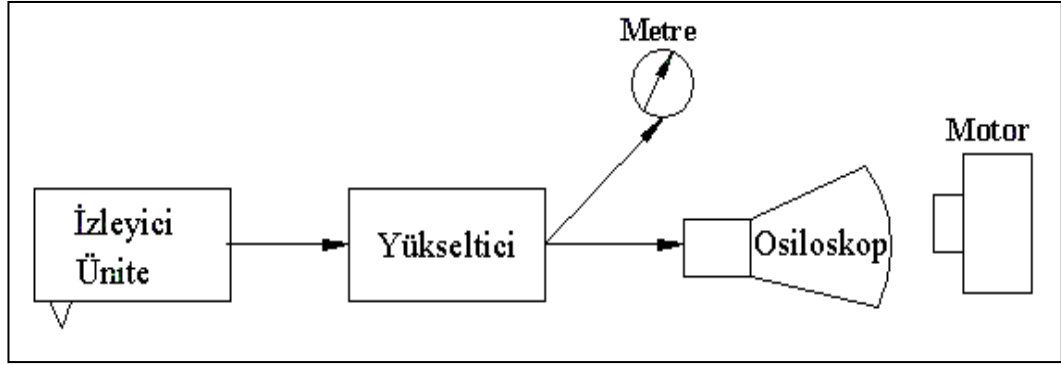
4.17. Stylus Cihazları

Stylus cihazları, yüzey pürüzlülük ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan cihazlardır ve bir çok ölçüm ortamında kolaylıkla bulunabilirler. Stylus cihazlarının geçmişten bu yana ve günümüzde en yaygın olarak kullanılan tipleri, şunlardır: 1) Schmaltz Kaydedici 2) Kontograph 3) Tomlinson Yüzey Kaydedici 4) Profilmetre 5) Talysurf. Fakat, bu bölümde sadece günümüzde yaygın olarak kullanıldığı için, Talysurf ve Profilmetre tipi stylus cihazları anlatılmıştır.

4.17.1. Profilmetre

Yüzey dokusunun değerlendirilmesi için bir elektriki transdüktör kullanma prensibi, 1931 yılında R.E.W. Harrison yardımıyla tanımlanmıştır [Dagnal, 1986]. Ticari amaçlı olarak Amerika’da, E.J. Abbott tarafından dizayn edilmiştir. Profilmetre, elle yüzeyin bir ucundan diğer bir ucuna doğru hareket ettirilerek çalıştırılır ve profil katot ışınli bir tübün ekranında gösterilir. Bu tip bir cihaz, kalıcı kayıt sağlama özelliğine sahiptir ve dikey büyültmeler, x50000 civarındadır.

Bir A.C. voltmetre yükselticiden elde edilen çıkışı ölçer ve profilin dalgaboyu RMS değerinin okunmasını sağlar. Şekil 4.10, bir profilmetrenin temel elemanlarından oluşan şematik diyagramı göstermektedir.



Şekil 4.10 Bir profilmetrenin şematik diyagramı

4.17.2. Talysurf

1935 yılında, Taylor ile Habson tarafından yüzey dokusunun ölçülmesi ve büyük bir araştırma projesi için yapılmıştır. Taylor tarafından geometrik standartlar ve ölçümlerin cihazla kontrolü için matematiksel temeller araştırılmıştır. Sonuç uzun sürmüştür, fakat çoğu ölçüm amaçları için kullanılmıştır. Talysurf cihazı, hem ulusal hem de uluslararası olarak yüzey dokusunun ölçülmesinde standartlaşma yönünden önemli katkı sağlamıştır.

4.17.3. Stylus Cihazlarının Yapısı

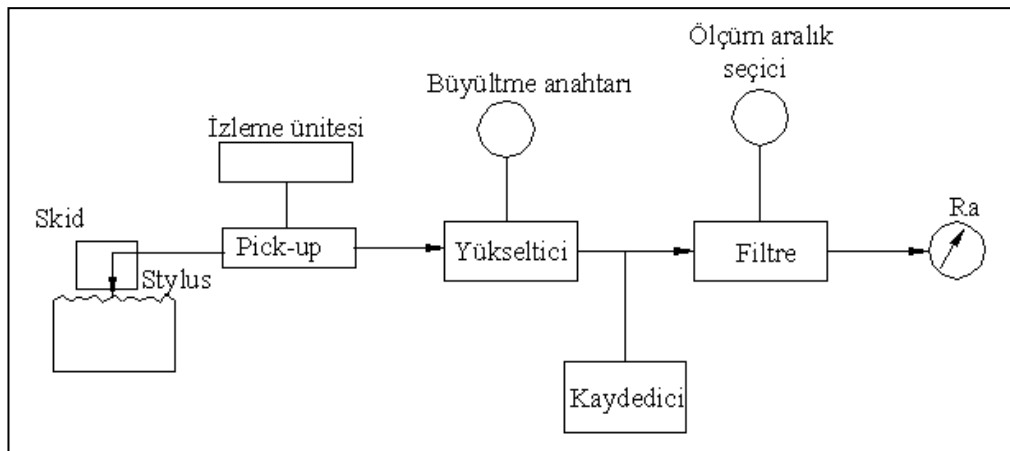
Bu cihazlar, uç kısımda yer alan temas iğnesinden isimlerini alırlar. Stylus, yüzeyin bir ucundan diğer ucuna hareket ettirilir ve pick-up (dokunarak toplama) stylusun dikey hareketlerini bir elektrik sinyaline dönüştürür. Bu sinyal yükseltilir ve bir kaydediciyi harekete geçirmek için kullanılır. Filtrelenmiş bir sinyalden çıkarılan R_a değeri, ya bir pointerle (işaret edici-göstergeç) yada dijital tip bir metreyle gösterilir. Daha küçük cihazlar, kaydediciyle kullanılmazlar ve sadece R_a değerinin okunmasını sağlarlar.

Stylus cihazlarında kullanılan metoda göre, iki ölçekli profil kesitinde stylus cihazının izleme hareketiyle yüzeyin yapısının araştırılması “Stylus Metod” olarak adlandırılır [Bhushan and Thomas, 1999].

Yüzey düzensizliklerinin değerlendirilmesinde, genellikle elmas tip bir stylusla donatılmış bir toplayıcı (pick-up) kullanılır. Stylus, kayma hareketinden oluşan sürtünmeye karşı bir pick-up’a takılır. Pick-up, kayıcı üniteyle yüzey boyunca hareket ettirildiği zaman, stylus yüzeyin düzensizliklerini doğru olarak takip eder. Profil tepe ve çukurları, dikey olarak stylusun hareket etmesine neden olur. Bu yer değiştirmeler, ölçmeye ve değişim bilgisayarına beslenen elektrik sinyallerine elektro-mekanik bir dönüştürücüyle çevrilir. [Sander, 1991].

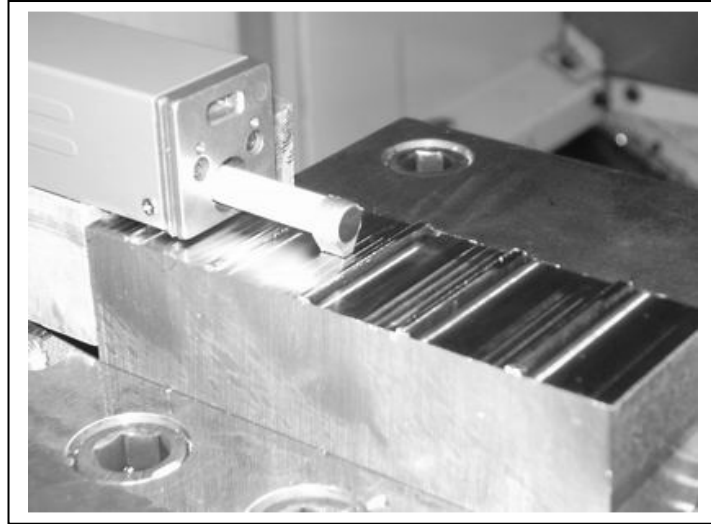
Bir stylus cihazı aşağıdaki temel elemanlardan oluşur. Bir stylus cihazının temel bileşenleri, Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

- Stylus
- Pick-up
- Skid
- Hareket Ünitesi
- Yükseltici
- Filtreler
- Ölçüm Bilgisayarı
- Kaydedici



Şekil 4.11 Bir stylus ölçüm cihazının şematik yapısı

- Stylus (uç): Ölçüm cihazı ile yüzey arasındaki aktif teması sağlar. Bundan dolayı; sistemin çok önemli parçasıdır. Stylusun ölçüsü ile şekli, yüzeyden elde edilebilen pick-up'ın bilgisinde önemli bir etkiye sahiptir. 1 μm 'lik bir uç yarıçapına sahip stylusla dahi, yüzey üzerinde meydana gelen çizikleri görmek mümkündür. Buna rağmen; R_a değeri ortalama bir parametre olduğundan, en iyi yüzey dokusunun ihmal edilmesi elde edilen değere önemli bir etki yapmaz. Bir dizi test sonucu elde edilen R_a değerleri için, iki farklı uçta (1.25 μm ve 10 μm) stylus kullanılmıştır. Her iki stylusla elde edilen değerler, 4.5 ile 3.25 μm , 8 ile 7.5 μm , 11 ile 10 μm ve 26 ile 25 μm arasında değişmektedir. Burada; değerlerin farklı olmasının sebebi, bir ucun diğerinden 8 kat daha büyük olmasından kaynaklanır. Şekil 4.12, stylus ucunun düz bir yüzey üzerinde izleme hareketini göstermektedir.



Şekil 4.12 Bir stylus ucunun gerçek iş parçası üzerinde izleme yapması

Normal yüzeyler için, stylus yarıçapı ile hata arasında kabul edilebilir bir ilişki vardır. Örneğin; 0.5 μm 'lik uç yarıçapına sahip bir stylusla 0.5 μm 'lik bir yüzey pürüzlülüğü elde edildiğinde, ölçüm cihazı yaklaşık % 2'lik bir farklılık okumuştur [Dagnal, 1986 and Sander, 1991].

- Pick-up (Toplayıcı): Pick-up, stylus cihazının en önemli parçalarından birisidir. Bir pick-up, yüzeyi tarar ve yüzeydeki düzensizlikleri elektrik sinyaline dönüştürür. Pick-up'larda hassasiyet gerekli olduğundan, 0.01 μm veya daha az stylus hareketini sağlayan pick-up olmalıdır.

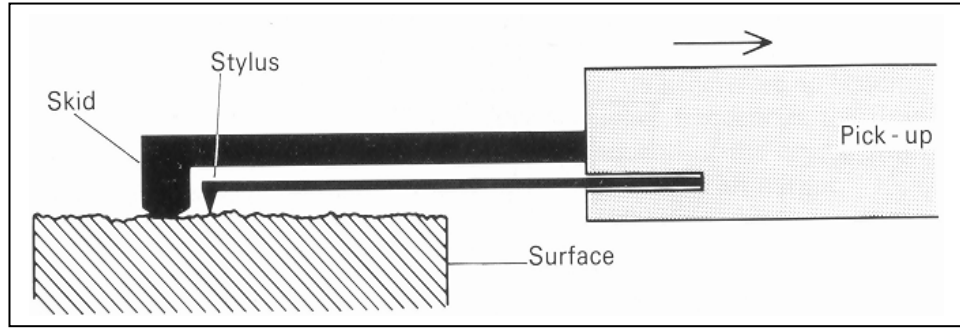
Elektrik sinyali çok küçük olup ve stylusun hareketinden 50.000 veya 100.000 kat daha büyük bir kalem hareketi gerekli olduğundan gözle görülebilir bir büyültmeye tabi tutulmalıdır [Sander, 1991].

Elmas tip styluslar, genellikle konik şekle sahiptirler ve normal olarak 90° 'lik tepe açısına sahiptir. Stylus kuvveti, izleme boyunca alüminyum ve plastik malzemelerin yüzeyine zarar vermemelidir. Normal olarak; stylus kuvvet miktarları 0.7 mN civarındadır, fakat özel durumlarda (çok yumuşak malzemeler için) 0.4 mN olarak azaltılabilir [Sander, 1991].

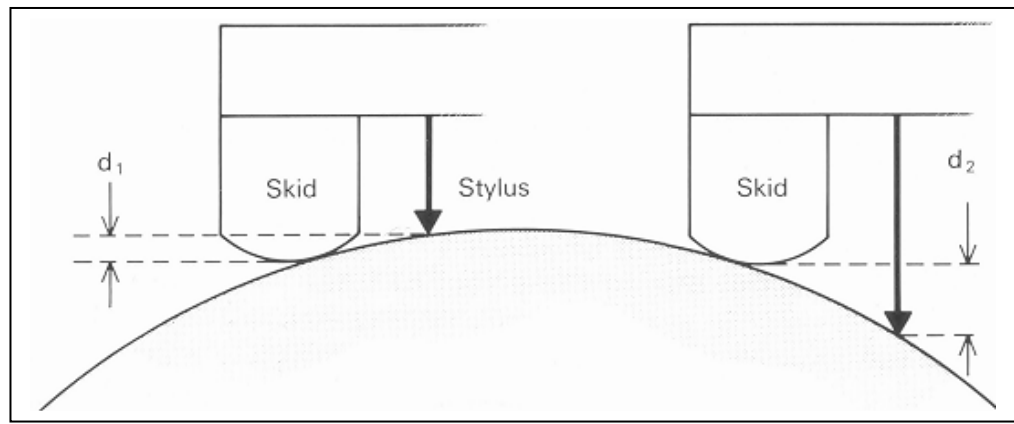
Pick-up'lar operasyon tipine bağlı olarak, Konum hassasiyetli ve Hareket hassasiyetli olmak üzere ikiye ayrılır. Konum hassasiyetli pick-up'lar; stylus durağan olduğu zaman dahi, yer değiştirmeye orantılı olan bir sinyal verirler. Çıkış değeri, yer değiştiren stylusun hızından bağımsızdır ve stylusun dikey hareket aralığı içindeki pozisyonuyla ilişkilidir. Hareket hassasiyetli pick-up'lar; stylusun hareket etmesi durumunda, bir çıkış verirler. Stylus yer değiştirdikçe, hızla ilişkili olan çıkış pick-up durgun hale geldiğinde "0" olur. Yer değiştirme çok yavaş olduğu zaman, çıkış oldukça küçüktür ve pratik uygulamalar için "0" dır. Bunun anlamı; dalgalılık ve form değişimleri profilden çıkarılmıştır. Bundan dolayı; bu tip pick-up'lar en yaygın kullanılan cihazlardır. Stylus ve pick-up'ın kayıcı destek mekanizmasıyla bir yüzey üzerinde birlikte kullanılması Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

- Kayıcı Destek (Skid): Pick-up, bir kayıcı destek mekanizması yardımıyla bir ucundan ve izleme hareket koluna ise, diğer bir ucundan takılır. Burada; skid, stylusun önünde bir kayıcı görevi yapar. Aynı zamanda; pick-up'ın durmakta zorlandığı parça yüzeylerine iç bükey ve dış bükey şekilleriyle kullanılabilir.

Skid yarıçapı, yüzeydeki tepe ve çukurların yarıçapından büyük olabilir. Skid uçları, yüzeyin şekline göre seçildiği için uygun bir biçimde olması yapılan ölçümün o derece hassas olmasını sağlar. Şekil 4.14, kayıcı destek mekanizmasının dış bükey bir yüzeyinin iki noktasındaki konumunu göstermektedir.



Şekil 4.13 Stylus, skid ve pick-up'ın gösterilmesi[Dagnal, 1986]



Şekil 4.14 Stylusun destek mekanizmalarıyla eğrisel yüzey üzerinde izleme yapması

- İzleme Ünitesi (Hareket Ünitesi): Bu birim, ölçülen yüzeyin bir ucundan diğer bir ucuna doğru düz bir hat boyunca sabit hızda izleme sistemi çizer. Eğer izleme ünitesi kayıcı destekle donatılmışsa, büyük ölçekli yüzey düzensizlikleri kolaylıkla elde edilebilir. Hareket etme hızı, normalde 0.1 veya 0.5 mm/s'dir.

Parametre ölçümleri ve profil grafikleri, genellikle izleme yönünde yapılır. Fakat, son yıllarda yapılan çalışmalar sonucu elde edilen yüzeyler için üç tür izleme yönü belirlenmiştir. Herhangi bir üretim işleminde kullanılan kesme yönüne göre, bu kesme yönünün tersi yönde ve kesme sonucu oluşan izlere dik yönde hareket etme yönleri oluşturulmuştur. Böylelikle; yüzey dokusunun düzensizlikleri, pürüzlülük yönünden geniş bir biçimde incelenmiştir [Dagnal, 1986].

- Yükseltici: Stylusun dikey yer değitirmeleri, son derece muntazamdır ve pick-up çıkışı x100.000'e yakın büyültme vermek amacıyla önemli ölçüde arttırılmalıdır. Bilinmeyen etkilerle karşılaşmaksızın, bu yüksek oranı elde etmek için yüksek kalitede elektronik parçalar ve devre dizaynı gereklidir. Elektronik ekipmanlardaki gürültü; sesi tarif etmez, fakat parça içindeki elektron hareketi ve ısıl etkilere yol açan değişken voltaj ile elektrik sinyali sesi oluşturur. Yüzey dokusunun ölçülmesinde kullanılan yükselticilerin bir dezavantajı, güvenilebilir olarak ölçülen R_a değerini sınırlamasıdır. Yükseltici, bir anahtarla seçilen büyültmelerin bir dizisini birleştirebilir [Sander, 1991].

- Filtreler: Elektriksel bir cihazda, pürüzlülük parametreleri için ölçüm aralığı (cut-off), dalga boyunun en düşük frekanslarını sıkıştıran bir filtreyle belirlenir. Filtre karakteristiği, seçilen ölçüm aralığında sert değişmelidir. Fakat, bahsedilen bu filtre pratikte ekonomik olarak elde edilemez. Bunun için; filtre ölçüm aralığı, % 75'e yakın bir dönüşüm vermek amacıyla standartlaştırılmıştır. Bunun anlamı; ölçüm aralığına eşit olan bir boşluğa sahip düzensizliklerin şiddetleri, bu boşluk değerlerinin % 75'i kadar azaltılacaktır.

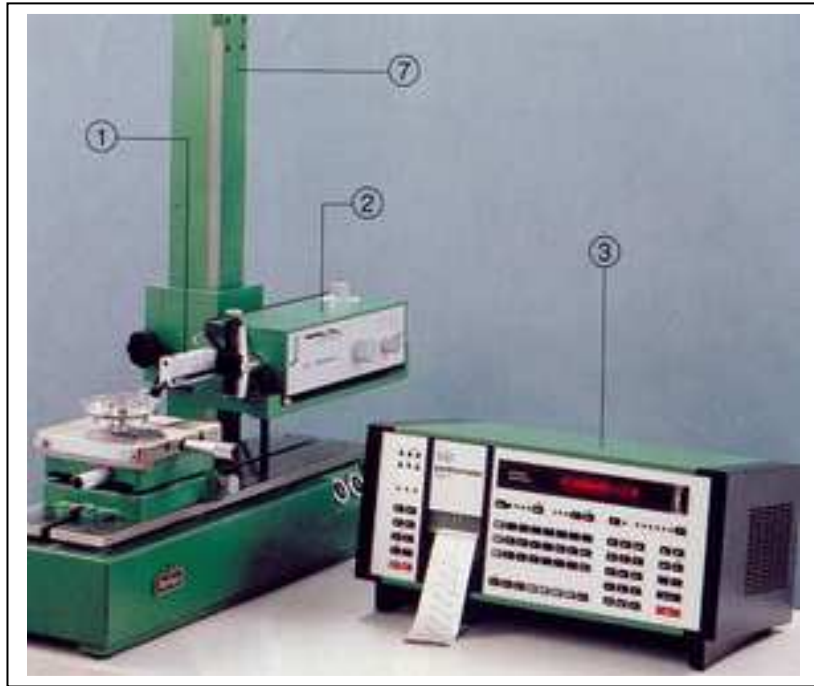
Filtreler, genellikle parametrelerin saptanması için gerekli olan sinyaller üzerinde kullanılırlar. Bir çok kayıt, pick-up'la elde edilebilen yüzey bilgisinin hepsini kapsar.

- Kaydedici (Kayıt Ünitesi): Kaydedici, taranan yüzey profilinden elde edilen en ayrıntılı bir grafik çıkışı verir. Genelde, bir profil kaydedici aşığıdaki profil tiplerinin gösterilmesine izin verir.

- 1) Filtrelenmemiş gerçek profil (P-profil)
- 2) Pürüzlülük Profili (R-Profil)
- 3) Dalgalılık profili (W-Profil)

Profil, dikey ve yatay büyöltmelerde kaydedilebilir. Gelişmiş cihazlar, otomatik olarak profilin grafiğini oluşturan bir ölçme kaydı verirler. Doğrusal bir kaydedicinin bir kaç tipi mevcuttur. Kaydediciler; Elektro-hassasiyetli olup, kağıt üzerinde elektriksel iz bırakan ve ısı hassasiyetli olup, kağıt üzerinde stylus yardımıyla iz bırakan tipler olmak üzere ikiye ayrılırlar [Sander, 1991].

Kaydedicinin frekans cevabı, profildeki en iyi detayın nasıl kaydedilebileceğinin saptanması için oldukça önemlidir. Aynı zamanda, pick-up'ın yüksek hızda hareket etmesini saptayan en önemli sınırlama faktörüdür. [Sander, 1991 and Bhushan, 2001]. Şekil 4.15, bir stylus cihazında yer alan tüm elemanların gerçek resmini göstermektedir.



Şekil 4.15 Gelişmiş bir stylus cihazının bileşenleri

- (1) Pick-up
- (2) İzleme Ünitesi
- (3) Yüzey ölçme cihazı (Kaydetme ünitesi, Elektriksel filtre, Ölçme işlemcisi)
- (7) Ölçme Standı

4.17.4. Stylus Cihazlarının Avantaj ve Dezavantajları

- Güncel olarak, bir stylus cihazı standartlaşmamış yüzey parametrelerini gösterir.
- Stylus cihazı, 1000 μm 'lik profil düzensizliklerinin incelenmesini sağlar.
- Stylus cihazı, sadece yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için kullanılmaz, aynı zamanda dalgalılık ve form hatalarının tespit edilmesini de sağlar. Herhangi bir yüzeye yapılan kaplamanın kalınlığının ölçülmesini de sağlar.
- Stylus cihazları, yüzeyde üç ölçekli doku bulunmasına rağmen; iki ölçekli yüzey profilinin kesitinden elde edilen parametre değerlerini değerlendirirler.
- Yüzey parametrelerinin belirlenmesinde gerekli olan ölçme uzunlukları, kullanılan parametre ile oyuk boşluğuna bağlı olan 0.4 ile 40 mm arasındaki değerleri dikkate alır. Bunun anlamı; bir yüzeyin tamamı izlenmez.
- Stylus ucunun geometrisi, ölçülen profil düzensizliklerinin en küçük profil büyüklüklerini de belirler (radyus tipi ve konik açısı).
- Pick-up'ın hassasiyeti ve 15 sn'lik ölçüm süresinden dolayı; otomatik gözleme yapılamaz.

4.18. Optik Ölçüm Metodları

Optik ölçüm metodları, mekanik ölçüm metodlarının alternatifi olarak bazı ölçüm ortamlarında kullanılmaktadır. Optik ölçüm metodları; Yansıtma, Işık dağıtma (yayma), Lazer odaklama, Mikroskopla ölçme ve Optik kesitleme olmak üzere 5'e ayrılmaktadır.

- Yansıtma Metodu: Yüzeyin görsel görünüşünün önemli olduğu yerlerde, oldukça faydalıdır. Bu ölçüm bölgeleri, temassız metodların gerekli olduğu kağıt gibi yumuşak yüzeyleri kapsar. Düz bir yüzey görsel olarak, pürüzsüzdür ve bir parlaklık ölçme cihazının çalışma prensibi, bir yüzeyde belli bir açıda paralel olarak giren bir ışının nasıl yansıtılabileceğini saptamaktır. Yansıtma, giriş açısına eşit olduğunda, düzenlidir ve bu sonuç düz yüzeyler için mükemmel bir şarttır [Bhushan, 2001].

- Işık Yayma Metodu: Bir ışık kaynağı, diyot yardımıyla incelenen yüzey üzerine odaklanır. Işık demetinin kalınlığı 2 mm civarındadır. Yüzeyin yapısına ve pürüzlülüğüne bağlı olarak, giren ışık daha büyük veya daha az genişlikte yayılır. Yayılmış olarak yansıtılan ışık, bir fotosel içinde farklı yayma açılarını elektriksel sinyale dönüştürür. Bir kontrollü mikroprosesör dönüştürme ünitesi, optik bozulma katsayısını (S_N -Yayılgıcılığın Standart Sapması) elde eder [Thomas, 1999].
- Lazer Odaklama Metodu: Bir lazer diyodundan elde edilen ışık özel bir mikro-optik ayarlayıcı içine yönlendirilir ve yüzey üzerine odaklanır. Yüzeyden geri yansıtılan ışık, sürekli okunabilmek amacıyla (ayarlı) ölçme kolunu çeviren çıkış sinyalinin iki çift diyodu içine gönderilir. Böylelikle; nesne ile yüzey arasındaki mesafe, sabit kalır ve ölçme seviyesi sabit olarak yüzey profilini takip eder. Optik bir probta ölçülen değerler, mekaniksel stylusla cihazlardan elde edilen parametre değerleriyle ilişkilendirilebilir [Ostafiev et al, 1997].
- Mikroskopta Ölçme Metodu: Bir yüzeyin basit ve görsel olarak incelenmesi, ölçülen baskın düzensizlik boşluklarının göz uçlu bir mercekten ölçülmesini sağlayacaktır. Bu metotta, düzensizliklerin yüksekliği ortaya çıkarılamaz. Fakat, yüzeyin çok iyi parlatılarak ve yüzey profilinin mikroskopta dikey yerleştirilmesiyle bu yükseklikler ölçülebilir. Aynı zamanda; bu metod, yatay boşlukların çok küçük olduğu temiz yüzeylerde daha fazla bilgi alınmasını sağlar.
- Optik Kesitleme Metodu: Fiziksel kesitleme olarak adlandırılan mikroskop altındaki bir yüzeyin fiziki biçimde yerleştirilmesiyle elde edilen yüzey dokusunu verir. Optik kesitleme, ışık saçakları ve karanlık yüzey desenleri üretir. Yüzey, bir profil kesitinin ince ışık bandıyla aydınlatılır ve daha sonra mikroskopta belli açıda gösterilir. Aydınlatma ve gösterme açıları, yüzeyle 45° lik bir açıdadır. Bu metotta ölçümler, bir mikroskopta birleşik olan mercekten yapılır. Optiksel kesitleme metodu, 2 ile 20 μm arasındaki pürüzlülük değerlendirmeleri için kullanılır. Aynı zamanda ölçülen yüzeyler, oldukça temiz ve yüksek yansıtma özelliğine sahip olmalıdır. Bu metod stylus tarafından deforme olmuş yüzeylerin ölçümü için de oldukça uygundur [Thomas, 1999].

5. YAPAY SİNİR AĞLARI VE TAHMİNİ PÜRÜZLÜLÜK MODELİ OLUŞTURMA

5.1. Yapay Sinir Ağlarına Giriş

Günümüzde bilgisayar sistemleri hızlı bir şekilde yaşamın her safhasına girmeye başlamıştır. Bu hızlı artış, bilgisayarın her alanda kullanılmasını olumlu yönde etkilemiştir. Bilgisayarlar, artık hem olaylar hem de olaylar arasındaki ilişkiler hakkında karar verebilmektedirler. Matematiksel olarak karar verilemeyen ve çözülmesi mümkün olmayan formülasyonlar tahmini olarak çözülebilmektedir. Bilgisayarların bu tip özelliğine “Yapay Zeka” adı verilmiştir. Bilgisayarların bu özellikleri, sistemlere dayalı olarak genişlemiştir ve “zeki sistemler” adını almıştır. Zeki sistemlerin en temel özellikleri, olaylara ve problemlere çözüm üretirken veya çalışırken bilgiye dayalı olarak karar verebilmeleridir. Aynı zamanda, eldeki bilgilerle olayları öğrenerek, sonraki olaylar hakkında tahmin yapabilirler. Yapay zeka bilimindeki gelişmeler, bu sistemlerde çeşitlendirmeye neden olmuştur. Bir taraftan donanım kapasiteleri artarken ve çok daha karmaşık fonksiyonlar çözülebilirken, diğer taraftan yazılım teknolojisi gelişmekte, bilgi işleme yetenekleri, öğrenme, karar verebilme, problem çözme ve muhakeme yapma yöntemleri artmıştır. [Öztemel, 2003].

5.1.1. Yapay Sinir Ağının Tanımı

Yapay Sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yoluyla yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yöntem olmadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Diğer bir tanımla, insanlar tarafından yapılmış olan örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olayları öğrenebilen basit bilgisayar sistemleridir [Tosun and Özler, 2003].

5.1.2. Yapay Sinir Ağının Görevleri

Yapay sinir ağlarının görevleri aşağıda ifade edilmiştir:

- Öğrenme
- İlişki kurma
- Sınıflandırma
- Genelleme
- Özellik belirleme
- Optimizasyon

Yapay sinir ağları, günümüzde bir çok probleme çözüm üretebilecek yeteneğe sahiptir. Bir takım girdi elemanlarının olması ve bu girdileri işleme tabi tutarak, çıktı elemanına göndermeleri temel işlevleridir. Yapay sinir ağlarının karakteristik özellikleri aşağıda ifade edilmiştir:

- Makine öğrenmesi gerçekleştirmeleri
- Programlama mantıklarının diğer programlama mantıklarına benzememesi
- Bilgiyi saklayabilmeleri
- Farklı metod ve koşullarda elde edilmiş örnekleri kullanarak öğrenebilmeleri
- Performans testleri uygulanarak güvenilirlik kontrollerinin yapılması
- Varolan örnekler yardımıyla elde olmayan örnekleri öğrenebilmeleri
- Algılamaya yönelik olayların çözülmesinde kullanılmaları
- Şekiller arasında ilişki kurabilmeleri
- Eksik bilgileri bütünleyebilmeleri
- Yeni olayları kolaylıkla öğrenebilmeleri
- Hata toleransına sahip olmaları
- Belirsiz bilgileri işleyebileme yeteneklerine sahip olmaları
- Ani bozulma göstermemeleri
- Bilgilerin ağın tümüne dağıtılmış olması
- Nümerik bilgilerle çalışabilmeleri [Öztemel, 2003]

5.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları

- Yapay sinir ağları donanım destekli çalıştılarından dolayı, paralel işlemciler üzerinde çalışırlar. Fakat, günümüzdeki bilgisayarlar seri işlemcilerle çalışmaktadırlar. Paralel işlemleri, seri işlemcilerde yapmak önemli ölçüde zaman kaybına yol açmaktadır.
- Bir problemin çözümünde uygun ağ yapısı seçilerek sonuç elde edilir. Bu işlem de, deneme-yanılma yoluyla yapılmaktadır. Eğer problemin çözümünde uygun bir ağ yapısı oluşturulamazsa, performansı düşük çözümlerin ortaya çıkması kaçınılmazdır.
- Ağda kullanılan parametre değerlerinin belli bir değere göre olmaması ve her problem için bu parametrelerin değişmesi, uygun modelin oluşturulmasında bir dezavantajdır.
- Çözülecek problemin ağa gösterilmesi önemli bir sorundur. Yapay sinir ağları, sadece nümerik bilgileri işlediğinden problemin nümerik gösterime dönüştürülmesi, modelin performansını önemli ölçüde etkileyecektir. Böylelikle problemin çözümü zorlaşacaktır.
- Ağın işlemi bitirme zamanı, oldukça önemli bir husustur. Çünkü, mevcut uygulamalarda bitirme zamanı, hatanın belli bir değerin altına düşmesi dikkate alınarak yapılmaktadır. Fakat, hiçbir çözüm optimum değildir, sadece iyi sonuçlar üreten modeller vardır [Öztemel, 2003].

Tüm bu dezavantajlara rağmen, yapay sinir ağları oldukça etkili ve verimli kullanılabilmektedir. Aynı zamanda, bir çok endüstriyel ve teknolojik uygulamada önemli yol katedilmiştir.

5.1.4. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları

Yapay sinir ağları; eksik bilgilerle çalışabilme ve normal olmayan verileri tamamlama özelliklerinden dolayı, endüstriyel ve sosyal hayatta görülen binlerce örnek için başarılı sonuçlar üretmiştir.

Özellikle, çok sayıda veriyi işleme gerektiren (radar verileri gibi) iş ortamında çok iyi sonuçlar verebilmektedirler. Fakat, her problem yapay sinir ağıyla çözülmeyebilir. Eğer problemle ilgili gerekli yetkinlik ve uygunlukta çözüm varsa, yapay sinir ağının kullanılmasının bir anlamı yoktur [Öztemel, 2003].

Yapay sinir ağları, problemlere pratik çözümler üretebilme durumunun söz konusu olduğu ve başka çözümlerin de mevcut olduğu, fakat yapay sinir ağının daha etkin ve kolay çözüm ürettiği durumlar için tercih edilir. Yapay sinir ağları; doğrusal olmayan, çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu ve hata olasılığı yüksek verilerin bulunduğu problemlerin çözümü için matematiksel modelin olmadığı durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar [Öztemel, 2003].

Bu amaçlar için geliştirilen ağlar, genel olarak aşağıdaki fonksiyonları yürütmektedirler:

- Olasılık fonksiyon kestirimleri
- Sınıflandırma
- İlişkilendirme
- Zaman seri analizleri
- Sinyal filtreleme
- Veri sıkıştırma
- Örüntü tanıma
- Doğrusal olmayan sinyal işleme
- Optimizasyon [Öztemel, 2003].

Aynı zamanda, günlük hayatta kalite kontrolü, robot hareket mekanizmalarının kontrol edilmesi, ürünün pazardaki performansının tahmin edilmesi, veri madenciliği, güvenlik sistemlerinde konuşma ve parmak izi tanıma, mekanik parçaların ömürleri ile kırılmalarının tahmin edilmesi ve beyin modellenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

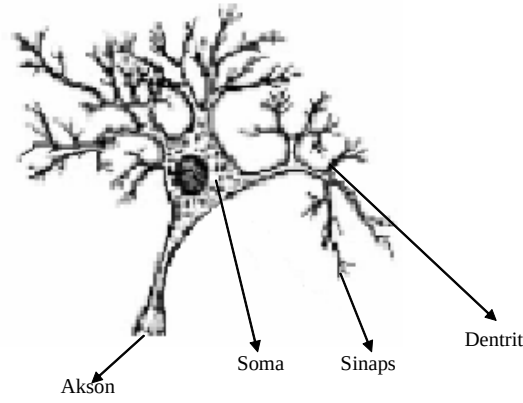
Sonuç olarak; yapay sinir ağları insan beynin en temel işlevi olan öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren bilgisayar sistemleridir. Öğrenme durumu, farklı ortam ve koşullardan elde edilen örneklerle gerçekleştirilir.

Bu ağlar, birbirine bağlı proses elemanlarından (yapay sinir hücrelerinden) oluşur. Her bağlantının bir ağırlık değeri vardır. Yapay sinir ağının sahip olduğu bilgi, bu ağırlık değerlerinde saklı olup, ağa yayılmıştır. Yapay sinir ağları, bilinen hesaplama yöntemlerinden farklı hesaplama yöntemlerini kullanmaktadırlar. Bulundukları ortama uyum sağlayan, adaptif, eksik bilgiyle çalışabilen, belirsizlikler altında karar verebilen, hatalara karşı toleranslı olan bu hesaplama yöntemini hayatın her alanında görmek mümkündür. Oluşturulacak ağ yapısının belirlenmesinde ve ağ parameterlerinin seçiminde belli bir standart olmaması, problemlerin sadece nümerik bilgilerle gösterilmesi, eğitimin nasıl sonuçlanacağını daha önceden bilinmemesine rağmen, yapay sinir ağları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Böylelikle; yapay sinir ağları, endüstriyel ve sosyal alanlarda önemli bir rol oynamaya başlamıştır.

5.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve Temel Elemanları

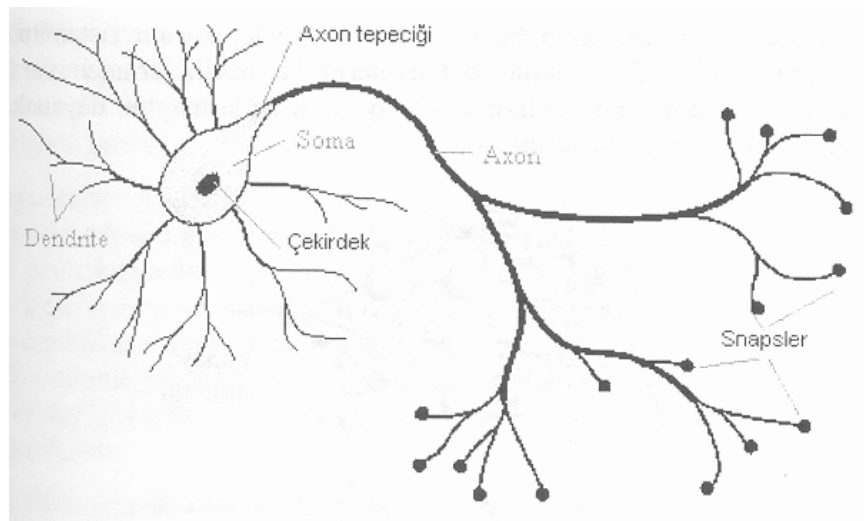
5.2.1. Biyolojik Sinir Hücreleri

Biyolojik sinir hücreleri, insan beyinde bulunan çok sayıda sinir hücresinin toplamıdır. İnsan beyinde, 10^{10} adet sinir hücresi ve bu sinir hücrelerine bağlanan 6×10^{13} 'ten fazla sayıda bağlantı olduğu söylenmektedir. İnsan beyni bir resmi 100-200 ms gibi zaman aralığında tanıyabilmektedir. Bu durum bilgisayarla kıyaslandığında, bilgisayar bu resmi çok daha uzun zamanda yapabilir. Biyolojik sinir ağlarının performansları küçümsemeyecek kadar yüksek ve karmaşık olayları işleyebilecek yetenektedir. Yapay sinir ağları, bu yeteneğin bilgisayara kazandırılmasını hedeflemektedir. Şekil 5.1, bir biyolojik sinir hücresinin yapısını göstermektedir [Tosun and Özler, 2002].



Şekil 5.1. Biyolojik sinir hücresi

Bir biyolojik sinir hücresi; sinapslar, soma, akson ve dendritlerden oluşmuştur. Sinapslar, sinir hücreleri arasındaki bağlantılar olarak görülmektedir. Bunlar fiziksel bağlantılar olmayıp, bir hücreden diğerine elektrik sinyallerinin geçmesini sağlayan boşluklardır. Bu sinyaller somaya giderler ve soma bu sinyalleri işleme tabi tutar. Daha sonra, sinir hücresi kendi elektrik sinyalini oluşturur ve akson aracılığıyla dendritlere gönderir. Dendritler ise, bu sinyalleri sinapslara göndererek diğer hücelere iletmış olur. İki hücrenin birbiriyle bilgi alış verişini sinaptik bağlantılarda nörotransmiter yoluyla sağlanmaktadır. Milyonlarca sinir hücresi biraraya gelerek sinir sistemini oluşturmaktadırlar. Yapay sinir ağları, biyolojik hücrelerin bu özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiştir [Tosun and Özler, 2002].



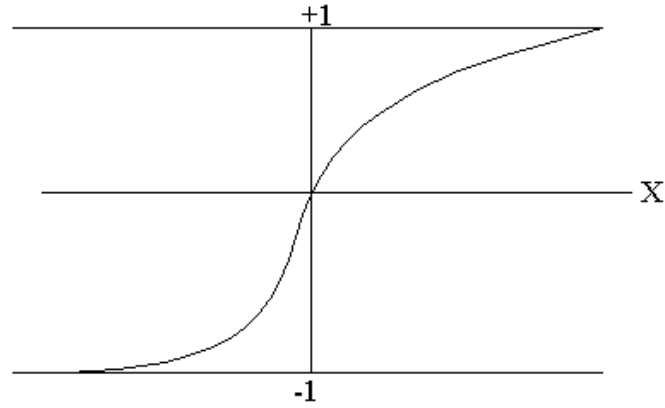
Şekil 5.2. Yapay sinir ağları

5.2.2. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı (Proses Elemanı)

Yapay sinir hücreleri, proses elemanları olarak adlandırılırlar. Her proses elemanın beş temel alt elemanı vardır. Bu beş temel alt eleman aşağıda açıklanmıştır.

- Girdiler; bir yapay sinir hücresine dış ortamdan gelen bilgilerdir. Bu bilgiler, öğrenilmesi gereken örnekler tarafından belirlenir.
- Ağırlıklar; bir yapay hücreye gelen bilgilerin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Bir ağırlığın değerinin sıfır olması, o ağ için en önemli bir durum olabilir veya ağırlık değerlerinin eksi olması, önemsiz olduğu anlamına gelmemelidir. Ağırlıklar, bir ağ için başlangıçta mantıklı sınırlar içinde rastgele seçilir [Öztemel, 2003].
- Toplama fonksiyonu net girdinin proses elemanında hesaplandığı yerdir. Birden fazla fonksiyon bir ağ için kullanılabilir. En yaygın olanı, ağırlıklı toplamın kullanıldığı fonksiyondur. Girdiler, bağlı olduğu ağırlıkla çarpılarak toplanır. Sonuçta; ağa gelen net girdi hesaplanır. Net girdi (toplam giriş değeri), (5.1.)’ nolu ifadede yer almıştır. W ; girdiler, X ; ağırlıklar ve N ; toplam girdi sayısını göstermektedir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonunun belirlenmesinde, standart bir formül yoktur. Bu fonksiyon deneme-yanılma yoluyla belirlenebilir. Her proses elemanın aynı toplama fonksiyonuna sahip olması söz konusu değildir. Bu tip değişimler, tamamen ağ oluşturan tasarımcının öngörüsüne bağlıdır [Öztemel, 2003].
- Aktivasyon fonksiyonu; proses elemanına gelen girdiyi işler ve hücrenin bu girdiye karşılık ürettiği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonlarında, çıktının hesaplanması için bir kaç tane formül vardır. Çok katmanlı algılayıcı tarzındaki modeller, bu fonksiyonun türevinin alınabilir bir fonksiyon olmasını şart koşmaktadırlar. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi, aktivasyon fonksiyonunda da ağda yer alan proses elemanları aynı fonksiyonu kullanmaz. Tasarımcı oluşturacağı ağa göre, uygun aktivasyon fonksiyonu seçebilir. Günümüzde yapılan yapay sinir ağ uygulamalarında, yaygın olarak “sigmoid” tipi aktivasyon fonksiyonu çok katmanlı

algılayıcılar için kullanılmaktadır. Şekil 5.3, sigmoid tip aktivasyon fonksiyonunu ifade eden grafiği göstermektedir [Efe ve Kaynak, 2000].



Şekil 5.3. Sigmoid fonksiyonun gösterimi [Efe ve Kaynak, 2000]

- Hücrenin çıktısı; aktivasyon fonksiyonundan elde edilen çıktı değeridir. Üretilen çıktı, dış ortama veya ağ içinde yer alan diğer bir proses elemanına gönderilir. Şematik olarak bir proses elemanına bağlantı sayısı fazladır, fakat çıktı sayısı bir tanedir ve birden fazla proses elemanına gönderilebilir. Aynı değerler birden fazla proses elemanına girdi olarak gitmektedir [Efe ve Kaynak, 2000].

5.2.3. Tek Hücreli Bir Yapay Sinir Ağı'nın Çalışma Prensibi

Üç girdi ve üç ağırlık değeri verilen tek hücreli bir proses elemanın ürettiği çıktının hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Girdi } 1=0.837 \quad \text{Ağırlık } 1=0.4$$

$$\text{Girdi } 2=1.197 \quad \text{Ağırlık } 2=0.7$$

$$\text{Girdi } 3=1.283 \quad \text{Ağırlık } 3=0.1$$

$$\text{Net}=(0.837 \times 0.4)+(1.197 \times 0.7)+(1.283 \times 0.1) \quad (5.1.);$$

$$\text{Net}=0.3948+0.8379+0.1283$$

$$\text{Net}=1.301$$

$$\zeta = \frac{1 + e^{-1.301}}{1 - e^{-1.301}} = 1.748 \quad (5.2.);$$

Burada; ağırlık değerleri ile giriş değerleri çarpılarak net giriş değeri, 1.301 olarak hesaplanmıştır. Net giriş değeri, tanjant hiperbolik tipi aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek, net çıkış değeri 1.748 olarak bulunmuştur. Eğer birden fazla proses elemanı kullanılırsa, ağırlık değerleri ve girdi değerlerinin sayısı da artar. Buna bağlı olarak; yapılacak işlem sayısı ve süresi de artarak, hesaplama yöntemi daha zor hale gelir. Günümüzde çok katmanlı algılayıcılarda birden fazla proses elemanının kullanımında, hesaplama bilgisayarlar tarafından kısa sürede yapılmaktadır. Böylelikle; insanların yapmak zorunda oldukları matematiksel işlemler ortadan kalkmaktadır.

5.3. Inconel 718'in Frezelenmesiyle Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini

5.3.1. Giriş

Yüzey pürüzlülüğü, frezeleme işlemlerinin performansının değerlendirilmesinde göz önüne alınabilecek en önemli kriterlerden biridir. Bir frezeleme işleminde, yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler uygulanan operasyon tipine ve üretilen malzeme cinsine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışma, Inconel 718 gibi süper alaşımlı bir malzemenin düz uçlu kesicilerle frezelenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün yapay sinir ağlarıyla tahmin edilerek bir pürüzlülük modeli oluşturulmasını kapsar. Toplam 81 deney, kesici kataloglarından seçilen kesme parametreleriyle sıvı kesme şartları altında yapılmıştır. Deneylerden elde edilen pürüzlülük değerleri, optik ölçüm metoduna göre çalışan yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. İleri beslemeli bir yapay sinir ağı, işlenen yüzeylerden elde edilen pürüzlülüğü tahmin etmek için kullanılmıştır. Kesme hızı (V_c), ilerleme (f_z), aksenal kesme derinliği (a_p) ve radyal kesme derinliği (a_e) gibi parametreler, yapay sinir ağının giriş katmanını oluştururken, yüzey pürüzlülüğü çıkış katmanını oluşturmuştur. Yapay sinir ağı modeli, MATLAB programı yardımıyla tasarlanarak eğitilmiştir. Geliştirilen tahmini model, deneylerden elde edilen pürüzlülük değerlerine karşı test edilerek modelin doğruluğu saptanmıştır.

Düz frezeleme işlemi, üretim endüstrisinde özellikle Inconel 718 gibi çok sert malzemelerin yüzey işlemlerinin yapılmasında kullanılan en yaygın ve en önemli yöntemdir. Bu işlem, hızlı üretim zamanlarında düşük üretim maliyeti için kaliteli parça yüzeylerinin elde edilmesi yönünden de etkin bir prosestir. Bu çalışmada kullanılan, nikel alaşımlı Inconel 718 malzeme, yaygın olarak uçak ile nükleer endüstrisi ve tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır. Inconel 718; iyi dayanım, uzun yorulma ve sürünme ömrüne sahip olduğu için uçak motorlarının gövdesinde yer alan kanatçıkların üretilmesinde yaygın olarak kullanılan süper alaşımlı bir malzemedir [Alauddin et al, 2003]. Diğer taraftan, bu malzeme yüksek kopma mukavemeti, aşınmaya dirençli olma, yüksek çalışma sertliği, düşük ısıl iletkenlik,

güçlü oranda kaynak yapmaya eğilimli olma, kesme sırasında takım ucunu şekillendirme ve yüksek kesme hızlarında kesicilerin aşınmasına sebep olma gibi özelliklerinden dolayı üretilmesi çok zor malzemler arasında yer almaktadır [Ezugwu et al, 1995 and Jawaid et al, 2001]. Inconel 718 işlendiği zaman, yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı kesicilerde aşınma, pürüzlü yüzeyler ve bozuk yüzey alanları oluşmasına neden olur [Sharman, 2001]. Boothroyd ve Knight[1989], süper alaşımlı malzemelerin işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün sürtünme, aşınma, temas sonucu deformasyon, ısı transferi, yağlama ve kaplama gibi parçaların karakteristik özelliklerine önemli ölçüde etki eden bir faktör olduğunu söylemişlerdir. Sharman et al, kaliteli yüzeylere sahip bir parçanın, korozyon direnci ve kayma mukavemetinin yüksek olduğundan bahsetmişlerdir.

Yüzey pürüzlülüğü, literatürde ve bir çok el kitabında yer alan analitik formüllerle doğru bir biçimde hesaplanamaz. Çünkü, bu analitik formüller yalnızca ilerleme hızı ve takım yarıçapını kullanarak hesaplama yapmaktadır. Fakat, yüzey pürüzlülüğünün çok sayıda faktöre ve bu faktörlere dayalı olarak ortaya çıkan etkileşimlere bağlı olduğu Boothroyd and Knight, tarafından ifade edilmiştir. Bundan dolayı, istenen yüzey pürüzlülüğü kesme hızı, ilerleme, eksenel ve radyal kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin matematik kombinasyonu ile hesaplanabilir.

Eğer oluşturulan yüzey pürüzlülük modeli bir optimizasyon programı kullanılarak çalıştırılırsa, en uygun ve efektif kesme parametreleri de hesaplanabilir. Bu çalışmada, elde edilen ölçüm değerleri ile modelin ürettiği değerlerin doğruluğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Alauddin et al [1996], düz frezeleme işlemlerinde kesme hızı ile ilerleme parametrelerini kullanarak Inconel 718'in işlenmesi üzerine bir pürüzlülük modelinin yer aldığı çalışmayı yapmışlardır. Tsai et al [1999], frezeleme işlemlerinde geri beslemeli öğrenme metoduna dayalı olan bir yapay sinir ağı modelini çok sayıda ölçüm sonucu kullanarak üretmişlerdir.

Benardos et al [2002], ileri beslemeli bir yapay sinir ağının çeşitli kesme parametreleri üzerindeki etkisini ve deneylerden elde edilen sonuçlarla tahmini modelin ürettiği sonuçları kıyaslayarak geliştirilen modelin doğruluğunu tespit etmişlerdir.

Chien et al [2001], çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı modelini 304 paslanmaz çeliğin işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde kullanmışlardır. Tosun and Özler, sıcak işleme prosesinde regresyon analizi ve yapay sinir ağı kullanarak kesici ömrünü incelemişlerdir.

Bu çalışmada, ileri sürümlü ve geri beslemeli öğrenme metoduna dayalı olan bir yapay sinir ağı modeli, solid karbid düz uçlu frezeler kullanılarak Inconel 718' in işlenmesinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Kesme hızı (V_c), ilerleme (f_z), eksenel kesme derinliği (a_p) ve radyal kesme derinliği (a_e) gibi parametreler yapay sinir ağının giriş katmanı olarak kullanılırken, elde edilen yüzey pürüzlülüğü çıkış katmanı olarak kullanılmıştır. Yapay sinir ağı, eğitim ve test seti olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Eğitim seti için elde edilen tahmin sonuçları, test setindeki verilerle kıyaslanarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir. Üretilen yüzey pürüzlülük modelinin gerçek uygulamalar içinde kullanılabileceği, deney sonuçlarıyla doğrulanmıştır.

5.3.2. Deneylerin Hazırlanması ve Kesme Şartları

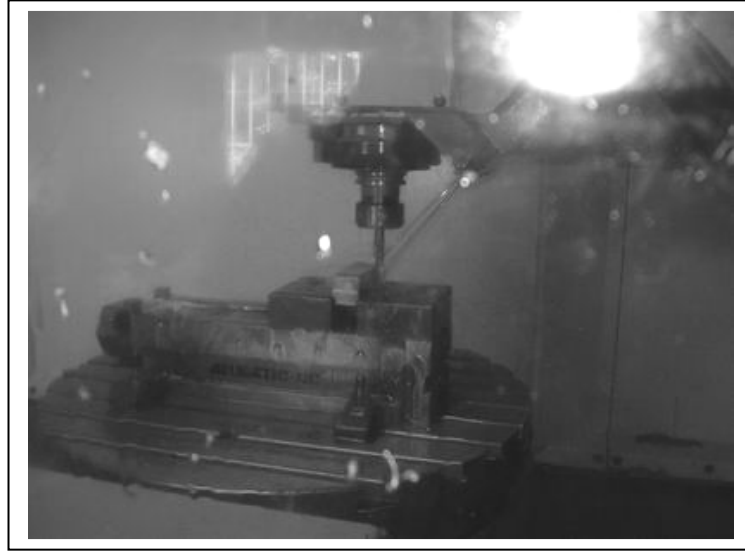
5.3.2.1. Kesme Şartları

81 deney, kuru kesme şartında yüzey frezeleme işlemi için 15 Kw motor gücü ve 12,000 rpm dönme hızına sahip bir beş eksen DECKEL MAHO DMU 60 P CNC freze tezgahında yapılmıştır. Parça yüzeylerini işlemek için, Pro/Engineer CAD/CAM programı Windows 2000® işletim sistemiyle çalışan Intel Pentium-IV 1.6 Ghz işlemciye sahip bir bilgisayarda yapılmıştır. Deneylerin tam-faktoriyel dizaynı, Inconel 718'in işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin etkisini göstermek amacıyla kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada; Sandvik kesici kataloğundan seçilen kesme parametrelerinin üç aralığı, Çizelge 5.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Kesme parametrelerinin seviyeleri

Kesme Hızı (V_c) (m/dak)	İlerleme (f_z) (mm/tooth)	Eksenel kesme derinliği (a_p)(mm)	Radyal kesme derinliği (a_e)(mm)
40-50	0.07-0.12	0.4-0.8	1-3

Düz frezeleme işlemi, daha iyi yüzey kalitesi, daha az ısı üretimi, uzun kesici ömrü, daha hassas geometrik doğruluk ve kesici ucu için tercih edilebilen aşırı gerilmelerin olması gibi özelliklerinden dolayı dönme yönüyle aynı yönde ilerleme (down milling) metoduyla kullanılmıştır. Deneylerin yapılmış olduğu gerçek üretim prosesi, Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Gerçek kesme operasyonu

5.3.2.2. Kesici Takımlar

Çalışmada kullanılan kesici takımlar, Inconel 718'in işlenmesine (frezelenmesine) uygun özellikte olup, Sandvik Coromant kesici kataloğundan seçilmiştir [S.Coromant, 2002]. Toplam 10 adet kesici deneylerin yapılması için kullanılmıştır. Daha iyi yüzey kalitesi elde etmek amacıyla, kesici ucundaki diş sayısı dört olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, kesicilerin aşınması kesme işleminin sonucuna etki etmemiştir.

Çünkü, kesicilerin yan kenar aşınması 0.2 mm olunca, kesme işlemi durdurulmuştur ve yeni bir kesici bağlanmıştır. Kesicilerde meydana gelen aşınmalar ($\times 100$) büyültme özelliğine sahip bir optik mikroskopla ölçülmüştür. Kesici takımların eksenel sapmaları, Mitutoyo ID-C112B marka bir komparatörle ortalama 0.001 mm olarak ölçülmüştür. Eksenel sapmayı önlemek için bağlanan komparatör, aynı zamanda parça ile kesicinin birbirine dikliğini kontrol etmek amacıyla da kullanılmıştır. Kesme işlemi boyunca kesicilerin tutucu ile bağlama mesafesi oldukça düşük tutulmuştur. Buna ilave olarak, pensli tutucular tercih edilmiştir. Amaç, meydana gelebilecek titreşimler ve sapmaları en aza indirmektir. Kullanılan kesicilere ait mekanik ve kimyasal özellikler, Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kesici takımların özellikleri

Mekanik ve Kimyasal Özellikler	
Kesici Çapı	10 mm
Diş Sayısı	4
Bağlama Boyu	40 mm
Helis Açısı	45 °
Rake Açısı	10 °
Helis Düşümü	12-15 °
Sıkıştırma mukavemeti	600 N/mm ²
Yoğunluk	14.5 gr/cm ³
Tanecik Büyüklüğü	0.5-0.9 μ m
Kaplama (tek kat)	PVD AlTiN

5.3.2.3. İş Parçası

Kesme deneyleri, bir Inconel 718 bloğunda sıvı kesme şartında gerçekleştirilmiştir. İş parçası, maksimum rijitliği sağlamak amacıyla doğrudan makinenin mengenesine bağlanmıştır. İş parçası, çalışma esnasında meydana gelebilecek geometrik hataları en aza indirmek amacıyla kesicinin bağlı bulunduğu tutucuya dik, tablaya paralel olarak bağlanmıştır. Çalışmada kullanılan Inconel 718, sıcak dövülmüş ve 649 C°’de tavlansmıştır. Parçanın sertliği, Instron Wolpert Testor 2100 sertlik ölçüme cihazıyla 415 HB olarak ölçülmüştür. İş parçasının geometrik ölçüleri, 120 mm x 40 mm x 50 mm’dir. Parçaya ait kimyasal ve mekanik özellikler Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Inconel 718'in kimyasal bileşimi, (%)

Ni	Cr	Fe	Cb+Ta	Mo	Ti	Al	Co	Si	N	Mn	Cu	C
53.91	18.10	17.76	5.40	2.88	1.01	0.48	0.32	0.10	0.068	0.06	0.04	0.026

Çizelge 5.4. Inconel 718'in mekanik özellikleri

Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1392	1163	14
1230	1041	19

5.3.2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

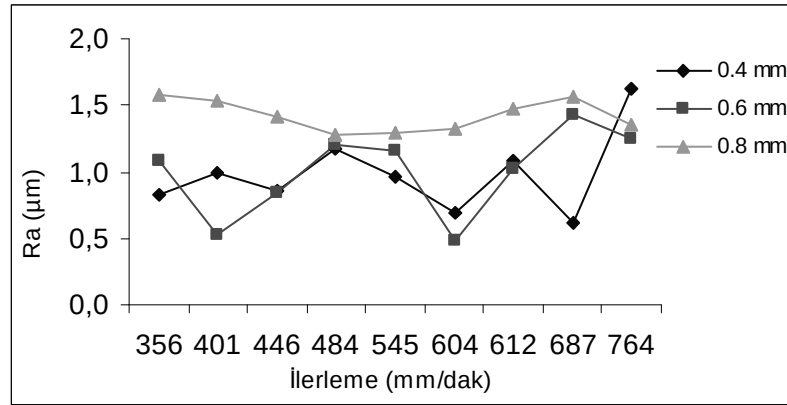
İşlenen yüzeyler, taşınabilir bir pürüzlülük ölçüm cihazı (Surftest 301) kullanılarak kesmenin yapıldığı yöne dik olarak ölçülmüştür. Toplam 81 adet ölçüm, 2.5 mm ölçme aralığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm yüzeyi için pürüzlülük ölçümleri, en az üç kez tekrarlanarak kaydedilmiştir. Ölçüm yapılan yüzeyin üç noktasından ölçümler alınarak, ortalama değerler elde edilmiştir. Ölçüm cihazının stylus ucunun daha fazla yüzey alanını taraması için, 2.5 mm'lik pürüzlülük ölçüm aralığı (cut-off length) seçilmiştir. Böylece; ölçüm sonuçlarının daha güvenilir ve kullanılabilir olması sağlanmıştır. Ölçümlerin daha hassas yapılabilmesi için, CNC tezgahında alüminyum bir malzemeden ölçüm aparatı yapılmıştır. Kesilen yüzeylerde oluşan pürüzlülüğü ölçmek için kurulan deney seti, Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülük ölçümünün yapılması

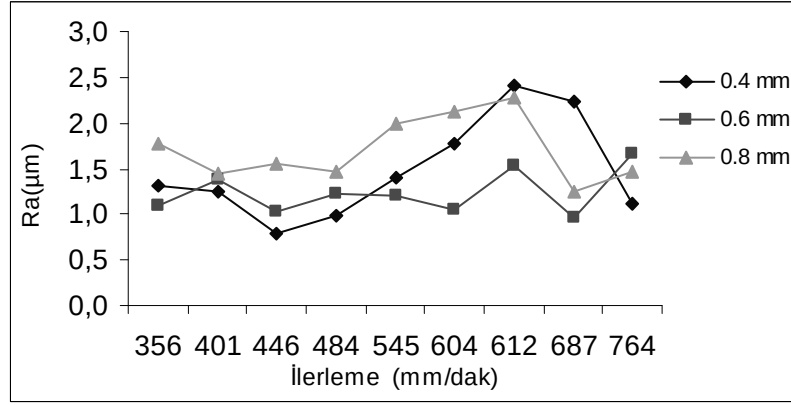
5.3.3. Deneysel Sonuçlar ve Sonuçların Yorumlanması

Çalışmada ölçülen R_a değerleri üç ayrı grafikte ifade edilmiştir. Bu üç grafik, toplam 7 tabla ilerleme (feedrate) değerine karşılık yüzey pürüzlülük sonuçlarının üç eksenel kesme derinliğindeki değerlerini göstermektedir. Her bir grafik, üç ayrı radyal kesme derinliği için oluşturulmuştur. 1 mm'lik radyal kesme derinliğinde, tabla ilerleme (V_f) değerlerine karşılık üç eksenel kesme derinliğinde meydana gelen yüzey pürüzlülük sonuçları Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Bu grafikte, 0.4 mm'lik eksenel kesme derinliği için en yüksek R_a değeri 764 mm/dak⁻¹ ilerlemeye karşılık 1.620 μm olarak bulunmuştur. En küçük R_a değeri ise, 0.6 mm'lik eksenel kesme derinliği için 401 mm/dak⁻¹ tabla ilerlemesine karşılık 0.520 μm olarak bulunmuştur.



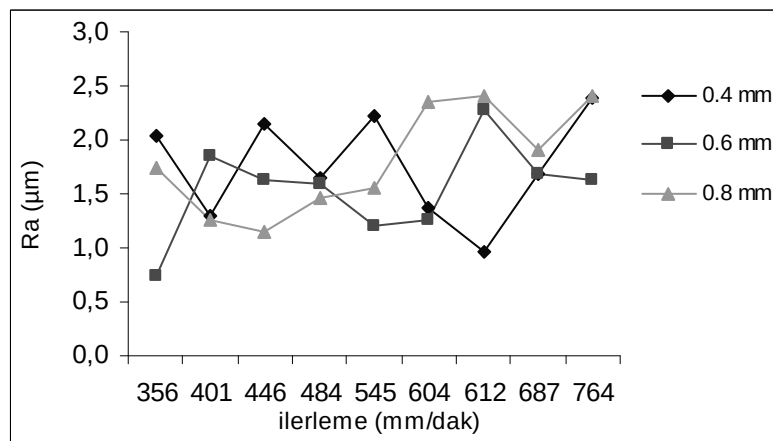
Şekil 5.6. Radyal kesme derinliği için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri

Şekil 5.7, 2 mm'lik radyal kesme derinliği için yüzey pürüzlülük (R_a) değerlerini göstermektedir. En yüksek R_a değeri, 0.4 mm'lik eksenel kesme derinliğinde elde edilmiştir. Bu grafikte, pürüzlülük değeri 612 mm/dak⁻¹ tabla ilerleme değerinde en büyük sapmayı göstermiştir. Bu noktadan sonra, 0.6 mm ve 0.8 mm'lik eksenel kesme derinliklerine ait grafikler azalıp tekrar yükselirken, 0.4 mm'lik eksenel kesme derinliğine ait grafik azalmaya devam etmiştir.



Şekil 5.7. Radyal kesme derinliği için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri

Pürüzlülük ölçümlerini ifade eden Şekil 5.8, 3 mm'lik radyal kesme derinliği için elde edilen R_a değerlerinin sonuçlarını göstermektedir. Diğer iki grafikten farklı olarak, bu grafikte her bir eksenel kesme derinliği için elde edilen sonuçlar birbiriyle zıtlık göstermiştir. Grafiklerin biri azalmaya eğimli iken, diğeri artmaya eğilimlidir. 687 mm/dak⁻¹ ilerleme değerine kadar, bu dengesiz artış ve azalış devam etmiştir. Bu noktadan sonra, 0.4 mm ve 0.8 mm'lik eksenel kesme derinliklerine ait grafikler artmaya başlarken, 0.6 mm'lik grafikte yüzde seviyesinde azalma olmuştur. En büyük R_a değeri, 764 mm/dak tabla ilerlemesinde 0.8 mm eksenel kesme derinliği için 2.411 µm olarak bulunmuştur. En küçük R_a değeri ise, 0.6 mm'lik eksenel kesme derinliği için 0.745 µm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.8. Radyal kesme derinliği için ilerlemeye karşılık gelen R_a değerleri

5.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü için Yapay Sinir Ağı Modeli

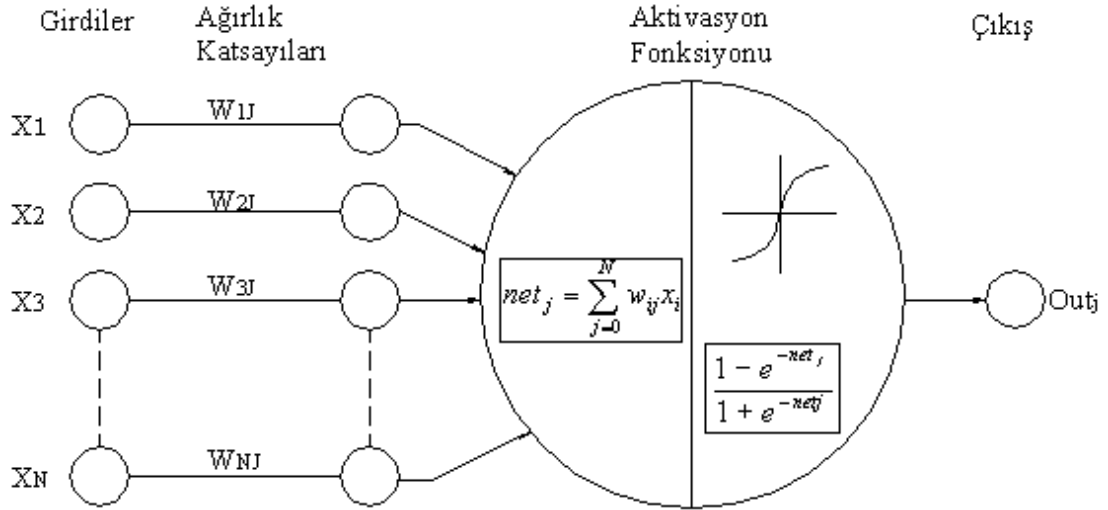
Çeşitli parametrelerle yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi çok sayıda ölçüm sonucunun kullanılmasını gerektirir. Buna rağmen; çok sayıda deneyin yapılması zaman ve maliyet açısından bir yük getirir. Bunun için, daha basit ve etkili bir model yapay sinir ağının yardımıyla yaratılabilir. Yapay sinir ağları, proses elemanları (nöronlar) olarak bilinen çok sayıda işlem yapma biriminin bulunduğu giriş ve çıkış katmanları arasına yerleştirilmiş bir veya daha fazla ara katmandan yapılmış olan çoklu birimlerdir. Yapay sinir ağlarındaki katmanlar, daha önceden belirlenmiş değişken ağırlıklarla bağlantılıdır. Yapay sinir ağında, her proses elemanı bir önceki katmanda yer alan proses elemanlarının hepsinden toplam giriş değeri alır. Toplam giriş değeri, (5.3.) no'lu formüldeki gibi ifade edilebilir:

$$\text{net}_j = \sum_{i=0}^N w_{ij} x_i \quad (5.3.);$$

(5.3.) no'lu formülde net_j ; toplam veya net giriş olup, N ; ara katmandaki j . proses elemanın giriş sayısıdır. w_{ij} ; ileri katmandaki i . proses elemanından ara katmandaki j . proses elemanına kadar olan bağlantının ağırlık katsayıdır. x_i ; geri katmandaki i . proses elemanından elde edilen giriş değeridir. Ağda yer alan bir proses elemanın değeri, tanjant hiperbolik gibi bir aktivasyon fonksiyonu yardımıyla net giriş değerinin işleme tabi tutulması sonucu hesaplanabilir. Net çıkış değeri (5.4.) no'lu formüldeki gibi ifade edilir:

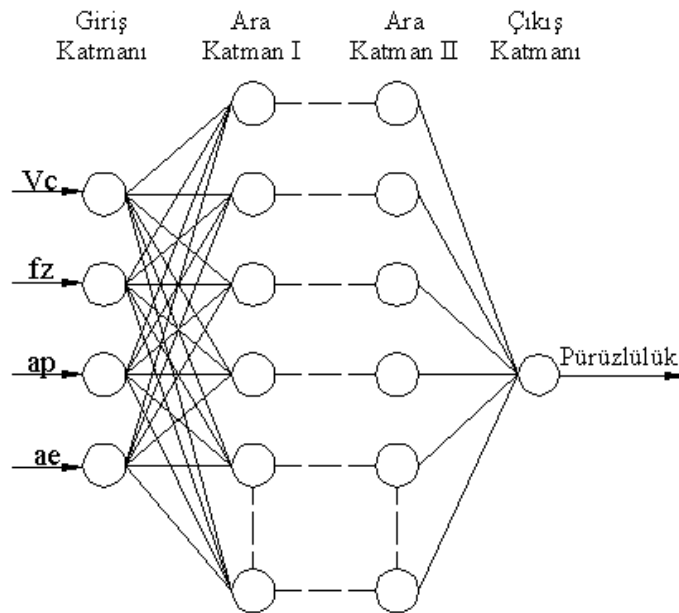
$$\text{out}_j = f(\text{net}_j) = \frac{1 - e^{-\text{net}_j}}{1 + e^{-\text{net}_j}} \quad (5.4.);$$

Yapay sinir ağında yer alan her bağımsız proses elemanın bağlantı yapısı Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Ağda yer alan her proses elemanın bağımsız yapısı

Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağ yapısı ve proses elemanlarıyla parametrelerin birbiri arasındaki ilişki, Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Ağ yapısı, MATLAB programı yardımıyla tasarlanmıştır [Matlab User Manual, 2002]. Ağ; bir giriş, iki ara ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Ara katmanlar 25 proses elemanından (nörondan) oluşurken, giriş katmanı 4 proses elemanından ve çıkış katmanı 1 proses elemanından oluşmuştur. Kesme hızı (V_c), ilerleme (f_z), eksenel kesme (a_p) ve radyal kesme derinliği (a_e) gibi kesme parametreleri yardımıyla yüzey pürüzlülüğü tahmini yapılmıştır. Çıkış katmanına karşılık yüzey pürüzlülüğü kullanılmıştır.



Şekil 5.10. Dizayn edilen yapay sinir ağı modeli

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij} \quad (5.5.);$$

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} out_j \quad (5.6.);$$

$$E = \frac{1}{2} (d - (\sum_{j=0}^N w_{ij} x_i))^2 \quad (5.7.);$$

(5.3.), (5.4.), (5.5.) no'lu formüller, yapay sinir ağı içerisindeki değerlerin hesaplanmasında kullanılır. Burada, Δw_{ij} ; hesaplanan ağırlıkların değişim miktarını ifade ederken, w_{ij}^{yeni} ise; eski ağırlık değerleri ile ağırlıkların değişim miktarının toplamını ifade eder. E ; ortalama hataların kareleri toplamı (Mean Square Error-MSE) ve η ; öğrenme parametresini gösterir. Öğrenme parametresi, genellikle 0 ile 1 arasındadır. Bu çalışmada, 0.0005 olarak seçilmiştir. d ise; istenen veya beklenen pürüzlülük değeridir.

5.3.5. Yüzey Pürüzlülüğü için Öğrenme Setinin Oluşturulması

5.3.5.1. Deneylerin Tasarımı

81 adet pürüzlülük ölçümü, üç seviyeli tam-faktoriyel tasarım kullanılarak yapılmıştır. Tam-faktoriyel tasarımda, değişken aralığı en düşük ve en yüksek seviyelere bölünmüştür. Bu çalışmada; kullanılan üç seviyeli tam-faktoriyel dizayn, düşük (-1), orta (0) ve yüksek (1) olmak üzere değişkenlerin en düşük, orta ve en yüksek değerlerine karşılık olarak kullanılmıştır. Üç seviyeli tam-faktoriyel tasarım 3^n sayıda eğitim verisi üretir. Burada, n ; değişkenlerin sayısını ifade etmektedir ve bu çalışmada $n=4$ olarak belirlenmiştir. öğrenme setindeki toplam veri sayısı $3^n=3^4=81$ olarak hesaplanmıştır. Üç seviyeli tam-faktoriyel dizayn kullanılarak seçilen kesme parametreleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

5.3.5.2. Öğrenme Seti

5.3.5.2.1 Eğitim Seti

81 adet öğrenme verisinden, 75'i eğitim seti oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. 75 adet verinin eğitilmesinde ağırlık değişkenleri hesaplanmıştır. Ağırlıklar başlangıçta mantıklı sınırlar içinde rastgele seçilmiştir. Daha sonra bu ağırlıklar, eğim düşümü (gradient descent method) metoduyla belli değerlere yaklaşıncaya kadar hesaplanarak uygun yerlere ilave edilmiştir. Eğim düşümü metodu, yapay sinir ağının tahmini ile gerçek değerler (pürüzlülük ölçüm sonuçları) arasındaki ortalama hataların kareleri toplamını en aza indirgeyinceye kadar ağırlıkları sürekli yeniler. Yani, yapay sinir ağının her bir adımını ifade eden iterasyon devam eder. Yapay sinir ağının tahmin ettiği değerler ile gerçek ölçüm sonuçlarının bir kısmını Çizelge 5.5'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Eğitim seti için tahmini değerler ile gerçek değerler

Deney numarası	Tahmini Değerler	Gerçek Değerler	Deney numarası	Tahmini Değerler	Gerçek Değerler
1	0.819949	0.820	43	1.780128	1.780
4	1.169902	1.170	47	2.114896	2.115
7	0.612891	0.613	51	2.034859	2.035
10	0.519669	0.520	55	2.215024	2.215
14	0.479718	0.480	58	2.379941	2.380
18	1.579982	1.580	62	1.592947	1.593
22	1.323096	1.323	64	1.252503	1.253
26	1.306909	1.307	67	1.636847	1.637
30	1.402963	1.403	70	1.455965	1.456
34	1.104818	1.105	72	2.344897	2.345
37	1.225391	1.225	73	2.409105	2.409
40	1.524925	1.525	75	2.411077	2.411

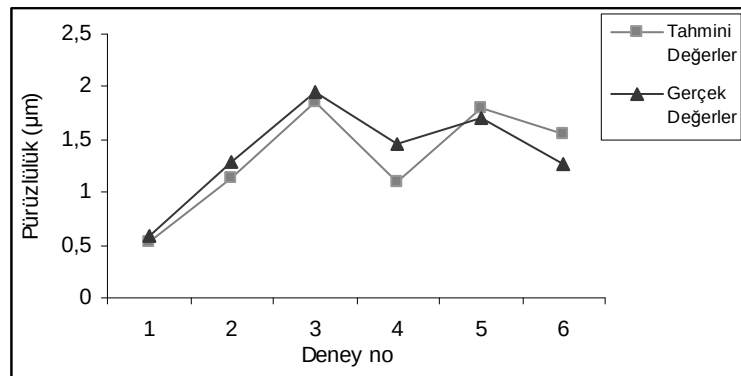
Çizelge 5.5'deki sonuçlar incelendiğinde, eğitim seti için elde edilen tahmin başarısının oldukça yüksek olduğu görülebilir. Ağ, eğitim seti için istenilen başarıyı sağlamıştır. 75 deneyden sadece 24 tanesi gösterilmiştir. Kalan 51 veride de aynı doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir.

5.3.5.2.2. Test Seti

Ağırlıklar ayarlandığı zaman eğitilen yapay sinir ağının performansı, kullanılabilirlik ve yeniden üretim için test edilmelidir. Ağ, eğitim sırasında bütün örneklere doğru cevaplar üretiyor olabilir, fakat bu sonuç ağın performansının çok iyi olduğu anlamına asla gelmemelidir. Bundan dolayı; öğrenme işlemine tabi tutulan ağlar, eğitim seti dışında yer alan verilerle test edilerek performans değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu çalışmada üretmiş olduğumuz ağ için, 6 test verisi (kontrol verisi) ağın performansını test etmek amacıyla ağın dışından seçilmiştir. Test seti için, yapay sinir ağının tahmini ile gerçek değerlerin karşılaştırılması Çizelge 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.11, test seti için yapay sinir ağının tahmin ettiği değerler ile gerçek değerleri karşılaştırmaktadır.

Çizelge 5.6. Test seti için kullanılan değerler

Deney numarası	Tahmini Değerler	Gerçek Değerler
1	0.536346	0.579
2	1.138250	1.280
3	1.856396	1.955
4	1.099912	1.456
5	1.798128	1.697
6	1.548927	1.263



Şekil 5.11. Test seti için tahmini ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Diğer taraftan, test seti için elde edilen tahmin başarısı, eğitim setine göre daha düşüktür. Test seti için kullanılan 6 veri, öğrenme seti dışından seçilmiştir. Bundan dolayı, tahmin başarısının daha düşük olması beklenen bir durumdur. Oluşturulan yapay sinir ağı daha yüksek hesap maliyetini kabul ederse, katman sayısı ve katman başına düşen proses elemanı artırılarak daha iyi sonuç elde edilebilir. Şekil 5.11, tahmini değer ile gerçek değerlerin birbirine oldukça yakın olduğunu göstermektedir.

Katman sayısının ve katmanlarda yer alan proses elemanlarının artırılması, oluşturulan ağın kısa sürede sonuç elde etmesini sağlar. Fakat, bazen bu durum bir ağ için istenmeyebilir. Mevcut veri karakterine bağlı olarak, ağ öğrenme yerine ezberleme yapabilir. Böylece, istenilen tahmin başarısı elde edilemez. Bazı ağlarda ise, iterasyon (adım) sayısı oldukça fazla olabilir. İterasyon sayısının fazla olması, hesap maliyetinin artmasına yol açar. Bu çalışmada, proses elemanlarının sayısının artırılmasından çok, iterasyon sayısının artırılmasına bağlı olarak yaklaşma kriteri sağlanmıştır. Veri sayısı, 81 adet olduğu için iterasyon süresi çok uzun sürmemiştir ve bu sayede ağı ezberleme yapması önlenmiştir. Bu çalışmada yer alan ağ parametreleri, Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kullanılan ağ parametreleri

Parametreler	Değerleri
Öğrenme Katsayısı	0.0005
Örnek Gösterimi	Tam-faktoriyel
İterasyon Sayısı	832438
Ortalama Karesel Hata	1.10^{-7}
Eğitim Süresi	2 saat

6. TARTIŞMALAR, SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Tartışmalar

Düz ve serbest formlu yüzeylere sahip parçaların 3 ve 5 ekseninde işlenmesi üzerine iki deneysel çalışma yapılmıştır. Birinci çalışmada; karmaşık yüzeylere sahip bir modelin çeşitli kesme parametreleri altında işlenmesiyle meydana gelen yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. İkinci çalışmada ise, Inconel 718 malzeme, düz uçlu kesicilerle frezeleme işlemine tabi tutularak parça yüzeylerinde meydana gelen pürüzlülük değerleriyle tahmini bir yüzey pürüzlülük modeli oluşturulmuştur.

Karmaşık yüzeylere sahip parçaların işlenmesi, oldukça zor ve zaman alıcı bir prosestir. Serbest formlu yüzeyler 3 ekseninde işlenebilir, fakat yüzey kalitesi iyi olmayabilir. Aynı zamanda; kesici ucu ile parça yüzeylerinin iyi temas etmemesi, form ve ölçüsel hataların ortaya çıkmasına da neden olabilir. Bazı parçalarda, 3 eksen işleme metodu parçanın her yüzeyini işleyemez. Bu durumda; 5 eksen işleme metodu en iyi alternatif olarak seçilebilir. 5 eksen işleme metoduyla frezelenen yüzeyler, genellikle kalitelidir ve çok düşük ölçüde form hatası oluşur. Serbest formlu yüzeylere sahip bir modelin üretildiği birinci deneysel çalışmada; 5 eksen işleme metoduyla frezelenen yüzeylerin kalitesi oldukça yüksek çıkmıştır. Fakat, bu yüzeyler 3 ekseninde frezelenmiş olsaydı, aynı kalite elde edilemezdi. Aynı zamanda yüzeylerde gözle görülebilir büyüklükte malzeme kalabilirdi. Bu çalışmada; serbest formlu yüzeylerin üzerinde dizayn edilmiş harflerin üst yüzeyleri oldukça kaliteli çıkmıştır. Harflerin üst yüzeyleri, kaba ve ince yüzey işlemi olmak üzere iki operasyon kullanılarak elde edilmiştir. Kaba işlem; 3 eksen frezeleme metoduyla yapılırken, ince yüzey işlemi 5 eksen frezeleme metoduyla yapılmıştır. 5 eksenle frezelenen harf yüzeyleri oldukça kaliteli iken, 3 eksenle frezelenen yüzeyler daha düşük kaliteye sahiptir.

Inconel 718 malzeme kullanılarak yapılan ikinci deneysel çalışmada; 81 kesme deneyi yapılarak, yüzeylerde meydana gelen pürüzlülüğün ölçülmesiyle bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Inconel 718; oldukça sert bir malzemedir ve işlenmesi çok zordur. Bu malzeme üzerinde çok sayıda deney yapmak için, çok sayıda kesici kullanmak gereklidir. Aynı zamanda; işçilik ve üretim süresi de önemli bir problemidir. Bu çalışmada; az sayıda deney yapılarak meydana gelen pürüzlülüğün tahmin edilmesi, bahsedilen bu problemlerin çözülmesini sağlamıştır. Yapay sinir ağlarıyla oluşturulan pürüzlülük modeli, gerçek değerlerle kıyaslanarak deney sayısının miktarı belirlenmiştir. Tahmini model iyi bir başarı elde etmiş olduğundan, deney sayısının artırılmasına gerek duyulmamıştır. Böylelikle; çok sayıda deney yapılmadan ve az sayıda kesici kullanılarak, sert bir malzemenin frezelenmesi sonucunda meydana gelen pürüzlülük değerleri daha önceden tahmin edilmiştir.

Birinci deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar;

- Alüminyum malzemeye uygun olarak, kesme parametreleri kesici kataloglarından seçilmiştir.
- Dizayn edilen modeldeki karmaşık yüzeylerin işlenmesi zor olduğu için, bu yüzeylerde kullanılan kesme parametrelerinin aralığı düşük tutulmuştur.
- Deneyde kullanılan kesicilerin zarar görmemesi için, en uygun takım yolları oluşturulmuştur.
- Serbest formlu yüzeyin bir bölgesinde, 0.005 mm'lik bir form hatasının olduğu görülmüştür.
- Harflerin bir tanesinin yan duvarlarında ölçüsel hata oluşmuştur.
- Modelin düz yüzeylerinde çok sayıda ölçüm yapılarak; ortalama pürüzlülük değeri, 0.55 μm olarak bulunmuştur.
- Serbest formlu yüzeyin dört ayrı bölgesi için toplam 12 adet ölçüm yapılarak ortalama pürüzlülük değeri, 0.60 μm olarak bulunmuştur.
- Modelin ön kısmında yer alan iki eğimli yüzeydeki ortalama pürüzlülük değerleri, sırasıyla 0.47 μm ve 0.54 μm olarak ölçülmüştür.

- Eğimli yüzeylerde dizayn edilmiş harflerin iç yüzeylerindeki ortalama pürüzlülük, 0.52 μm olarak ölçülmüştür.
- En düşük pürüzlülük değeri, harflerin üst yüzeylerinde elde edilmiştir. Harf yüzeylerindeki ortalama pürüzlülük, 0.29 μm olarak bulunmuştur.

İkinci deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar;

- 81 adet pürüzlülük değeri, kesme yönüne dik olacak biçimde taşınabilir bir pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür.
- Elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak, tahmini bir pürüzlülük modeli oluşturulmuştur.
- Pürüzlülük modeli için; bir giriş katmanı, iki ara katman ve bir çıkış katmanı kullanılmıştır.
- Ara katmanlar için, toplam 50 proses elemanı kullanılmıştır.
- Oluşturulan yapay sinir ağının, deneme-yanılma yöntemiyle çözüm ürettiği gözlenmiştir.
- Proses eleman sayısı artıkça; işlem süresinin azaldığı fakat, tahmin hatasının arttığı görülmüştür.
- İterasyon sayısı artıkça; tahmin hatasının azaldığı, fakat işlem süresinin arttığı görülmüştür.

Tahmini pürüzlülük modeline ait diğer sonuçlar Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Yapay sinir ağının üretmiş istatistiki bilgiler

Eğitim Verileri için ortalama hata kareleri toplamının Uygunluğu	Test Verileri için ortalama hata kareleri toplamının Uygunluğu
9.98×10^{-7}	0.1282621
Eğitim seti için Tahmini-Gerçek Değerlerin Maksimum Sapması	Test seti için Tahmini-Gerçek Değerlerin Maksimum Sapması
0.001388	0.534604
Maksimum Eğitim Hatası	Maksimum Test Hatası
% 0.165828	% 10.0987

6.2. Sonuçlar

Bu çalışmada iki deneysel çalışma yapılarak, çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Birinci çalışmadan; kalıp ve döküm parçalarında yer alan serbest formlu yüzeylerde, yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine ve kullanılan malzeme yapısına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. İkinci çalışmadan; deneysel veriler kullanılarak üretilen tahmini modellerden elde edilen sonuçların endüstriyel uygulamalar için rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

6.3. Öneriler

Düz ve serbest formlu yüzeylere sahip parçaların işlenmesi üzerine aşağıda ifade edilen çalışmalar yapılabilir;

- Birinci deneysel çalışmada yer alan model için; yüksek kesme hızları ve ilerleme değerleri kullanılarak üretim süresinin yarıya indirilmesi
- 5 eksende işlenebilecek yüzeyler için, farklı takım yollarının üretilmesi
- Dış bükey olarak dizayn edilmiş serbest formlu yüzeyin uç bölgesinde meydana gelen 0.005 mm'lik form hatasının ortadan kaldırılması
- Harflerin yan duvarlarında meydana gelen hatanın giderilmesi
- Alüminyum malzeme yerine, çelik bir malzeme kullanılarak yüzey kalitesinin incelenmesi

Inconel 718 malzemenin yüzeylerinde oluşan pürüzlülüğün yapay sinir ağlarıyla tahmin edilmesine ilave olarak;

- Kesme süresi artırılarak kesicilerde meydana gelen aşınmanın tahmin edilmesi
- Parçanın altına bir dinamometre bağlanarak kesme kuvvetlerinin ölçülmesiyle, tahmini kuvvet modeli oluşturma
- Yapay sinir ağlarıyla oluşturulan pürüzlülük modeli için, herhangi bir sınırlama olmaksızın en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi

- Malzeme çıkarma oranı ve yüzey pürüzlülüğü için kabul edilebilir sınırlar belirlenerek, bu iki kısıtlama altında en uygun kesme parametreleri ile karşılık gelen pürüzlülük değerlerinin elde edilmesi gibi farklı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Alauddin, M., El-Baradie, M.A., Hasmi, M.S.J., “Optimization of Surface Finish in End Milling Inconel 718”, International Journal of Materials Processing Technology, vol.56, pp.54-65, 1996.
2. Alauddin, M., El-Baradie, M.A., Hasmi, M.S.J., “End Milling Machinability of Inconel 718”, International Journal of Engineering Manufacture, vol.210, pp.11-23, 1996.
3. Alauddin, M., Mazid, M.A., El-Baradie, M.A., Hasmi, M.S.J., “Cutting Forces in End Milling of Inconel 718”, International Journal of Materials Processing Technology, vol.77, pp.153-159, 1998.
4. Abouelatta, O.B., Madl, J., “Surface Roughness Prediction based on Cutting Parameters and Tools Vibrations in Turning Operations”, International Journal of Materials Processing Technology, vol.269-277, 2001.
5. Baptista, R., Simoes, J. F., “Three and Five Axis Milling of Sculptured Surfaces”, International Journal of Materials Processing Technology, vol.103 pp.398-403 ,2000.
6. Benardos, P.G., Vosniakos, G.C., “Prediction of Surface Roughness in CNC Face Milling Using Neural Networks and Taguchi’s Design of Experiments”, International Journal of Robotics and Computer Integrated Manufacture, vol.18, pp.343-354, 2002.
7. Bhushan, B., Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques, The Ohia State University, 2001.

8. Boothroyd, G., Knight W.A., Fundamentals of Machining And Machine Tools, Second Edition, Marcel Dekker Inc., New York, 1989.
9. Chien, Wen.T., Chou, Chung-Y., "The Predictive Model for Machinability of 304 Stainless Steel", International Journal of Materials Processing Technology, vol.118, pp.442-447, 2001.
10. Chien, Wen.T., Tsai, C.S., "The Investigation on the Prediction of Tool Wear and Determination of Optimum Conditions in Machining 17-4PH Stainless Steel", International Journal of Materials Processing Technology, vol.144, pp.145-155, 2003.
11. Choudhury, I.A., El-Baradie, M.A., "Surface Roughness Prediction in the Turning of High Strength Steel by Factorial Design of Experiments", International Journal of Materials Processing Technology, vol.67, pp.55-61, 1997.
12. Choudhury, I.A., El-Baradie, M.A., "Machining Nickel Base Superalloys: Inconel 718", International Journal of Mechanical Engineering", vol.212, pp.195-206 , 1998.
13. Choudhury, S.K., 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, vol.43, pp.747-753, 2003.
14. Coğun, C., Özses, B., "Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgaharında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt.17, Sayfa 59-75, 2002.

15. Dabade, A.U., Jashi, S.S., Ramakrishan, N., “Analysis of Surface Roughness and Chip-Cross Sectional Area While Machining with Self-Propelled Round Insert Milling Cutter”, International Journal of Materials Processing Technology, vol.132, pp.305-312, 2003.
16. Dagnal., M.A, Exploring surface texture, Rank Taylor Habson Limited, England, 1986.
17. Dweiri, F., Al-Jarrah, M., Al-Wedyan, H., “Fuzzy Surface Roughness Modelling of Aluminic-79”, International Journal of Materials Processing Technology, vol.133, pp.266-275, 2003.
18. Efe, M.Ö, Kaynak, O., Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Basımevi, İstanbul, 2000.
19. Ezugwu, E.O., Tang, S.H., “Surface Abuse When Machining Cast Iron G-17 and Nickel-Base Superalloy (Inconel 718) with Ceramic Tools”, International Journal of Materials Processing Technology, vol.55, pp.63-69, 1995.
20. Feng, C.X., Wang, X.F., “Surface Roughness Predictive Modelling: Neural Networks versus Regression”, International Engineering Transactions on Design and Manufacturing, 2002.
21. Gadelmawla, E.S., Kaura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M., Soliman, H.H., “Roughness Parameters”, International Journal of Materials Processing Technology, vol. 23, pp.133-145, 2002.

22. Ghani, A.K., Choudhury, I.A., "Study of Tool Life, Surface Roughness and Vibration in Modelling Nodular Cast Iron with Ceramic Tool", *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.127, pp.17-22, 2002.
23. Grzesik, W., Brol, S., "Hybrid Approach to Surface Roughness Evaluation in Multistage Machining Processes", *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.134, pp.265-272, 2003.
24. Hu, Y.N., Chen, Y.H., "Implementation of A Robot System for Sculptured Surfaces Cutting Part.1.Rough Machining", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.15, pp.624-629, 1999.
25. Jain, R.K., Jain, V.K., "Optimum Selection of machining conditions in abrasive flow machining using neural network", *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.108, pp.62-67, 2000.
26. Jawaid, A., Koksai, S., Sharif, S., "Cutting Performance and Wear Characteristics of PVD Coated and Uncoated Carbide Tools in Face Milling Inconel 718 Aerospace Alloy", *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.116, pp.2-9, 2001.
27. Kang, M.C., Kim, K.K., Lee, D.W., Kim, J.S., Kim, N.K., "Characteristics of Inclined Planes According to the Variations of Cutting Direction in High-Speed Ball-End Milling", *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.17, pp.323-329, 2001.
28. Kitagawa, T., Kubo, A., Maekawa, K., "Temperature and Wear of Cutting Tools in High Speed Machining of Inconel 718 and Ti-6Al-6V-2Sn", *International Journal of Wear*, vol.202, pp.142-148, 2002.

29. Kopac, J., Bahor, M., “Interaction of the workpiece Material’s Technological Past and Machining Parameters on the Desired Quality of the Product Surface Roughness”, *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.109, pp.105-111, 2001.
30. Lacalle, L.L.N., Lamikiz, A., Sanchez, J.A., Arana, J.L., “Improving the Surface Finish in High Speed Milling of Stamping Dies”, *International Journal of Materials Processing Technology*, vol. 123, pp.292-302, 2002.
31. Lee, Y.S., “Non-Isoparametric Tool Path Planning by Machining Strip Evaluation for 5-Axis Sculptured Surface Machining”, *Computer Aided Design*, vol.30, pp.559-570, 1998.
32. Lee, E., “Contour Offset Approach to Spiral Toolpath Generation with Constant Scallop Height”, *Computer Aided Design*, 2001.
33. Li, L., He, N., Wang, M., Wang, Z.G., “High Speed Cutting of Inconel 718 with Coated Carbide and Ceramic Insert”, *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.129, pp.127-130, 2002.
34. Lim., T.S., Lee, C.M., Kim, S.W., Lee, D.W., “Evaluation of Cutter Orientations in 5-axis High Speed Milling of Turbine Blades”, *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.6331, pp.1-6, 2002.
35. Lin, W.S., Lee, B.Y., Wu, C.L., “Modelling the Surface Roughness and Cutting Force for Turning”, *International Journal of Materials Processing Technology* vol.108, pp.286-293, 2001.

36. Lin, J.T., Bhattacharyya, D., Kecman, V., “Multiple Regression and Neural Networks Analysis in Composites Machining”, International Composites and Science Technology, vol.63, pp.539-548, 2003.
37. Lou, M.S., Chen, J.C., Li, C.M., “Surface Roughness Prediction Techniques for CNC End-Milling”, Journal of Industrial Technology”, vol.15, pp.1-7, 1999.
38. Mansour, A., Abdalla, H., “Surface Roughness Model for End Milling: A Semi-Free Cutting Carbon Casehardening Steel (EN 32) in Dry Condition”, International Journal of Materials Processing Technology, vol.124, pp.181-191, 2002.
39. Matlab User Manual, Version 6.5 R13, The Math Works Inc., 2002.
40. Oktem, H., Ozcelik, B., “Experimental Work for Three and Five Axis Machining of Sculptured Surfaces”, METFAB 2003, pp.199-211, U.K., 16-18 September 2003.
41. Ostafiev, V., Sakhno, S., Tymchik, G., Ostafiev, S., “Laser Diffraction Method of Surface Roughness Measurement”, International Journal of Materials Processing Technology, vol. 63, pp.871-874, 1997.
42. Öktem, H., Erzincanlı, F., “Evaluation of Three and Five Axis Machining of Sculptured Surfaces”, MMSS 2003, pp.45-54, Poland, 22-24 September 2003.
43. Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları”, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.

44. Park, K.S., Kim, S.H., “Artificial Intelligence Approaches to Determination of CNC Machining Parameters in Manufacturing: A Review”, *Artificial Intelligence in Engineering*, vol.12, pp.127-134, 1998.
45. Paul G., Bedi, S., F. Ismail., Rao, N., Morphy, G., “Comparison of 5-axis and 3-axis Finish Machining of Hydroforming Die Inserts”, *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.17, pp.562-569, 2001.
46. Ramos, A.M., Relvas, Simoes C., J.A., “The influence of finishing milling strategies on texture, roughness and dimensional deviations on the machining of complex surfaces, *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.6740, pp.1-8, 2003.
47. S.Coromant, Die and Mould Making with Sandvik Coromant, Tool and Methods, Tool Catalog, Sweden, 2002.
48. Sander, M., A pratical Guide to the Assessment of Surface Texture, Germany, 1991.
49. Sharman, A., Dewes, R.C., Asphwall, D.K., “Tool life When High Speed Ball Nose End Milling Inconel 718”, *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.118, pp.29-35, 2001.
50. Suneel, T.S., Pande, S.S., Date, P.P., “A Technical Note on Integrated Product Quality Model Using Artificial Neural Network”, *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.121, pp.77-86, 2002.
51. Suresh, P.V.S., Rao, P.V., Deshmukh, S.G., “A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol.42, pp.675-680, 2002.

52. Tandon, V., El-Mounayri, H., Kishawy, H., “NC End Milling Optimization Using Evolutionary Computation”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol.42, pp.595-605, 2002.
53. Thomas, T.R., *Rough Surfaces*, Imperial College Press, Second Edition, 1999.
54. Tosun, N., and Özler, L., “A Study of Tool Life in Hot Machining Using Artificial Neural Networks and Regression Analysis Method”, *International Journal of Materials Processing Technology* vol.124, pp.99-104, 2002.
55. Tsai, Yu-H., Chen, J.C., Lou, Shi-J., “An In-Process Surface Recognition System Based on Neural Networks in End Milling Cutting Operations”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol.39, pp.583-605, 1999.
56. Wang, Y., Tang, X., “Five Axis NC Machining of Sculptured Surfaces”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.15, pp.7-14, 1999.
57. Wang, S.V., Hamouda, A.M.S., “Machinability Data Presentation with Artificial Neural Network”, *International Journal of Materials Processing Technology*, vol.138, pp.538-544, 2003.
58. Yang, D.C.H., Han, Z., “Interference Detection and Optimal Tool Selection in 3-axis NC Machining of Free-Form Surfaces”, *Computer Aided Design*, vol.31, pp.303-315, 1999.

59. Yilbas, Z., Hashmi, M.S.J., "An Optical Method and Neural Network for Surface Roughness Measurement", Optics and Lasers in Engineering, vol.29, pp.1-5, 1998.
60. Zuperl, U., Cus, F., "Optimization of Cutting Conditions During Cutting by Using Neural Networks", International Journal of Robotics and Computer Integrated Manufacture, vol.19, pp.189-199, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Öktem; 31.01.1977 tarihinde, Gümüşhane’de doğdu. İlkokulu Gazipaşa İlköğretim okulunda, ortaokulu Ümraniye Lisesi tamamladıktan sonra, 1994 yılında Ümraniye Teknik Lisesi, Bilgisayar Bölümünden mezun oldu. 1996 yılında, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine/Enerji Öğretmenliği’ne girerek, 2000 yılında mezun oldu. 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat mühendisliğini kazandı. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Yabancı Diller bölümüne 1 yıl devam etti. Bu tarihten itibaren, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat mühendisliğinde öğrenciliğini sürdürmektedir.