

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TALAŞLI İMALATTA GÖRÜNTÜ İŞLEME METODU İLE TAKIM SEHİMİ
TESPİTİ VE HATA ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Burak ÖZDEMİR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erkan BAHÇE

AĞUSTOS 2021

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TALAŞLI İMALATTA GÖRÜNTÜ İŞLEME METODU İLE TAKIM SEHİMİ
TESPİTİ VE HATA ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

**Burak ÖZDEMİR
23615180551**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erkan BAHÇE

AĞUSTOS 2021

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedenden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr Erkan BAHÇE'ye,

Çalıőmalarımnda ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmalarım süresince debenden her türlü desteklerini aileme,

Tezin uygulama aşamasında FDK-2020-2046 nolu proje ile vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı, İnönü Üniversitesi BAP birimine,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum ‘‘TALAŐLI İMALATTA GÖRÜNTÜ İŐLEME METODU İLE TAKİM SEHİMİ TESPİTİ VE HATA ANALİZİ’’ baŐlıklı bu çalıŐmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı dűŐecek bir yardıma baŐvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bűtűn kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yűntemine uygun biçimde gűsterilenlerden olduğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Burak Özdemir



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Tezin Kapsamı	3
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	4
2.1 Takım Sehimi Ölçümü ile İlgili Yapılan Çalışmalar	4
2.2 Görüntü İşleme ile İlgili Yapılan Çalışmalar	9
3. GENEL BİLGİLER	14
3.1 Kesme ve Talaş Kaldırma İşlemi.....	14
3.1.1 Kesme takımları.....	15
3.1.2 Frezeleme	18
3.1.3 Delme	22
3.1.4 Kesme kuvvetleri ve takım sehimi	22
3.2 Takım Sehiminin İşlenmiş Parça Kalitesine Etkileri.....	26
3.3 Görüntü İşleme	28
3.3.1 Koordinat sistemi.....	28
3.3.2 Histogram	29
3.3.3 Görüntü eşikleme.....	30
3.3.4 Renkli, gri ve siyah-beyaz görüntüler	31
3.3.5 Görüntü filtreleme	32
3.3.6 Kenar yakalama	33
3.4 Total Diz Protezi Femoral Bileşen	38
4. MATERYAL VE METOD	43
4.1 Deney Tasarımı.....	43
4.1.1 Delik delme deney tasarımı	46
4.1.2 Serbest şekilli yüzey frezeleme deney tasarımı.....	47
4.2 Görüntü İşleme	50
4.2.1 Görüntü alma ve sahnelere dönüştürme	51
4.2.2 Boyutlandırma	53
4.2.3 Görüntü dengeleme	53
4.2.4 Kenar yakalama	55
4.2.5 Takım görüntüsünün tanımlanması	58
4.2.6 Sehimi hesaplama	59
4.3 Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) Deney Tasarımı	62
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	64
5.1 Delik Delme Takım Sehimi Sonuçları.....	64
5.2 Frezeleme Takım Sehimi Sonuçları.....	73
5.3 Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) Takım Sehimi Sonuçları	77
5.4 Femur Frezeleme Takım Sehimi Sonuçları	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
6.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	86
6.2 Öneriler	88

KAYNAKLAR	89
EKLER	98
ÖZGEÇMİŞ	104



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 : Al7075 malzemesinin kimyasal ve mekanik özellikleri.	46
Çizelge 4.2 : Delme deneyinde kullanılan parametreler.	47
Çizelge 4.3 : CoCrMo malzemesinin kimyasal bileşen oranları.	49
Çizelge 4.4 : CoCrMo malzemesinin mekanik özellikleri.	49
Çizelge 5.1 : Görüntü işleme takım sehimi sonuçları.	66
Çizelge 5.2 : Maksimum sehim değerleri.	69
Çizelge 5.3 : ANOVA sonuçları.	69
Çizelge 5.4 : Frezeleme takım sehimi sonuçları.	75
Çizelge 5.5 : Sonlu elemanlar analizi ve görüntü işleme takım sehimi sonuçları.	78
Çizelge 5.6 : Sonlu elemanlar analizi ve görüntü işleme Anova sonuçları.	78
Çizelge 5.7 : Femur frezeleme takım sehimi sonuçları.	79
Çizelge A.1 : Çevrim 2-10 arasında ölçülen sehim değerleri.	98



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 : Ortogonal kesim teorisi.....	14
Şekil 3.2 : Açılı kesim teorisi.....	15
Şekil 3.3 : Talaşlı imalatı etkileyen ana performans kriterleri.....	16
Şekil 3.4 : Kesici kenar sayılarına göre talaşlı imalat türlerinin sınıflandırılması.....	17
Şekil 3.5 : Kesici takım malzemelerinin sınıflandırılması.....	18
Şekil 3.6 : Freze tezgahı bileşenleri.....	19
Şekil 3.7 : Frezeleme türleri. (a)Alın frezeleme b)Çevresel frezeleme c) Çevresel ve alın frezeleme.....	19
Şekil 3.8 : Takımın dönme ve iş parçasının ilerleme yönüne göre frezeleme çeşitleri a) Eş yönlü frezeleme b) Zıt yönlü frezeleme.....	21
Şekil 3.9 : Delme matkabı ve uç açısı.....	22
Şekil 3.10 : Merchant kuvvet denge diyagramı.....	23
Şekil 3.11 : Frezelemede takıma etki eden kuvvetler ve takım sehimi.....	24
Şekil 3.12 : Delme işleminde takıma etki eden kuvvetler.....	26
Şekil 3.13 : Talaşlı imalat ile üretilen parçalarda tolerans türleri.....	27
Şekil 3.14 : Görüntü koordinat sistemi ve piksel gösterimi.....	29
Şekil 3.15 : Görüntü histogram grafiği.....	30
Şekil 3.16 : Renklerine göre görüntüler a) Renkli (RGB) b) Gri c) Siyah-beyaz.....	32
Şekil 3.17 : Kenar yakalama uygulaması şematik görünümü.....	34
Şekil 3.18 : Kenar yakalama operatörleri a)Orjinal takım görüntüsü b) Sobel operatörü c) Prewitt operatörü d) Robert cross operatörü e) Compass operatörü f) Canny operatörü.....	38
Şekil 3.19 : Osteoartritlerin oluşum şekilleri.....	39
Şekil 3.20 : Diz protez bileşeni parçaları.....	40
Şekil 3.21 : Polietilen eklem yüzünün aşınması.....	41
Şekil 3.22 : Diz protezlerinin aşınmasına yüzey süreksizliklerinin etkisi (Chaves-Jacob ve diğ., 2011).....	42
Şekil 3.23 : Farklı firmalara ait diz protezlerinin yan düzlemden kesit görüntüsü (Zietz ve diğ., 2012).....	42
Şekil 4.1 : Talaşlı imalat deney tasarımı şeması.....	44
Şekil 4.2 : Görüntü işleme deney düzeneği a) Kamera, iş parçası, takım, dinamometre konumları b) Aydınlatma konumları.....	45
Şekil 4.3 : Delme deneyinde kullanılan iş parçasının form ve ölçüleri.....	46
Şekil 4.4 : Delme deneyinde kullanılan matkap ölçüleri.....	47
Şekil 4.5 : Frezeleme deneyinde kullanılan iş parçasının form ve ölçüleri.....	48
Şekil 4.6 : Frezelemede kullanılan takımın ölçüleri.....	48
Şekil 4.7 : Femur bileşeni CAD görüntüsü.....	49
Şekil 4.8 : Femur bileşeninin frezeleme deney seti.....	50
Şekil 4.9 : Görüntü işleme aşamaları.....	51
Şekil 4.10 : Görüntü işlemede kullanılacak videoların öz nitelik tablosu.....	52
Şekil 4.11 : Frezeleme işlemine ait görüntünün sahnelere ayrılması.....	52
Şekil 4.12 : Frezeleme işleminde takım görüntüsün kesilmesi.....	53
Şekil 4.13 : Sabit arka plana göre görüntü dengeleme işlemi. a) Takımın tepe noktasında bulunduğu sahne b) Takımın başlangıç noktasında bulunduğu sahne.....	55
Şekil 4.14 : Görüntülerin RGB, Gri, Siyah-beyaz dönüşümü.....	56
Şekil 4.15 : Görüntü temizleme işlemi.....	57
Şekil 4.16 : Takım sehimi-kuvvet modeli.....	58

Şekil 4.17 : Delme işlemi takım sehimi ölçüm bölgesinin güncellenme şeması.	58
Şekil 4.18 : Takım sehimi hesaplama modeli.	59
Şekil 4.19 : Kenar çizgisinin piksel değerleri.	60
Şekil 4.20 : Görüntüden eğim açısı ve takım sehimi hesaplama.....	61
Şekil 5.1 : Delme işleminde matkabın iş parçasına giriş sahneleri.	64
Şekil 5.2 : Delik delme görüntü dengeleme işlemi a) Dengelenmiş görüntü b) Normal görüntü.....	65
Şekil 5.3 : Delik delme görüntü işleme sahneleri.	66
Şekil 5.4 : Delme işlemi kuvvet-zaman ve sehim-zaman grafikleri.	68
Şekil 5.5 : Delme işleminde ilerleme ve devirin sehime etkisi.	70
Şekil 5.6 : Delik kesitinden elde edilen ilerlemeye göre form ve geometrik hata görüntüleri.....	71
Şekil 5.7 : Delme deneyinde kullanılan takımların aşınma görüntüleri a)0.1 mm/dev b) 0.2 mm/dev c)0.3 mm/dev ilerleme.....	72
Şekil 5.8 : Delme deneyinde kullanılan matkaplardaki talaş yapışmalarına ait görsel.	73
Şekil 5.9 : Frezelemede takım hareket yönü.	74
Şekil 5.10 : Frezelemede görüntü dengeleme işleme a) Dengelenmiş görüntü b) Normal görüntü.....	74
Şekil 5.11 : Frezelemede takımın tırmanma, tepe noktası ve iniş sehim grafiği.	77
Şekil 5.12 : Sonlu elemanlar analizi simülasyon modeli.	77
Şekil 5.13 : Femur frezeleme görüntü dengeleme işlemi a) Dengelenmiş görüntü b) Normal görüntü.....	79
Şekil 5.14 : Femur frezelemede takım tırmanış, tepe nokta ve iniş sehim grafiği.	81
Şekil 5.15 : Femur frezelemede takım çevrimine göre ortalama sehim değişim grafiği.	82
Şekil 5.16 : Femur frezelemede ilerleme değerinin %10 azaltılmasının takım sehimi üzerindeki etkisi.....	84

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

∇G	: Gradyan vektörü
2D	: Two dimensional
a	: Yumuşatma katsayısı
AISI	: American iron and steel institute
Al	: Alüminyum
ANOVA	: Analysis of variance
Argmax	: Noktaların en büyük değeri
b	: Regresyon sabiti
B_f	: Sürtünme açısı
C	: Filtre çıktısı
CAD	: Computer Aided Design
CNC	: Computer numerical control
CoCrMo	: Kobalt-Krom-Molibden alaşımı
D	: Takım çapı
dak	: Dakika
E	: Histogram eşitleme
E^C	: Compass operatörü gradyan matrisi
E^P	: Prewitt operatörü gradyan matrisi
E^{RC}	: Robert Cross operatörü gradyan matrisi
E^S	: Sobel operatörü gradyan matrisi
f	: Devir başına ilerleme
F	: Kesme kuvveti
F_a	: Pasif kuvvet
F_e	: Eksenel kuvvet
FE	: Finite Element
F_f	: İlerleme kuvveti
f_{F^{t(i)}}	: p noktasını içeren sahne
F_{ns}	: Kesme düzlemi normal kuvveti
F_{nt}	: Takıma dik etkiyen kuvvet
Fps	: Frame per second
F_r	: Radyal kuvvet
F^t	: t zamanındaki konum özellikleri
F_t	: Teğetsel Kuvvet
F_x	: X eksenindeki kuvvet

F_y	: Y eksenindeki kuvvet
f_z	: Diş başına ilerleme
F_z	: Z eksenindeki kuvvet
Υ	: Anlık dönüş açısı
G	: Gri resim
GPa	: Gigapaskal
h	: Histogram
HRC	: Rockwell sertliği
HSS	: High speed steel
ISO	: International organization for standardization
i	: Görüntü sırası
L	: Takım uzunluğu
λ_k	: Kanal bölümünün takım sehim
L_k	: Takım kanal uzunluğu
λ_m	: Mil bölümünün takım sehim
L_m	: Takım mil uzunluğu
l_s	: Kayma düzlemi
λ_t	: Toplam sehim
m	: Doğrunun eğimi
M	: Matris satır boyutu
MPa	: Megapaskal
mm	: Milimetre
n	: Devir sayısı
N	: Matris sütun boyutu
η_t	: Komşu noktalar kümesi
Ø	: Eğim açısı
P	: Piksel
q	: Filtre
r	: Regresyon değeri
R²	: 2 boyutlu resim
R²	: Belirleme katsayısı
R³	: 3 boyutlu resim
RGB	: Red-Green-Blue
s	: Grilik seviyesi
SIFT	: Ölçeğe göre değişmeyen özellik dönüşümü

Srt211	: Kenar çizgisinin Y koordinatlarının sıralanmış değeri
Srt222	: Kenar çizgisinin X koordinatlarının sıralanmış değeri
T	: Eşik değeri
t₀	: Kesmeden önceki talaş kalınlığı
t_c	: Kesme sonrası talaş kalınlığı
Ti6Al4V	: Titanyum-Alüminyum-Vanadyum alaşımı
u	: Birim ilerlemedeki dönüş miktarı
u,v	: Görüntü eksenleri
UHMWPE	: Yüksek moleküler yoğunluklu ultra hafif polietilen
V	: Takım ilerleme hızı
V	: Vanadyum
V_c	: Kesme hızı
V_f	: İlerleme hızı
V_t	: Görüntüdeki özellik değişimi
WC	: Tungsten-Carbur
w_{ij}	: Önceki hareket benzerliğinin toplam ağırlığı
X_g	: Görüntü yüksekliği
y_s	: Yoğunluk fonksiyonu
Z_t	: Kuvvet uygulama yüksekliği
α	: Talaş açısı
β	: Eğim açısı
δ	: Sehim
δ_{gs}	: Her bir görüntü için gerçekleşen sehim (piksel)
δ_{mm}	: Sehim değerinin mm'ye dönüşümü (mm)
δ_{ref}	: Referans görüntü sehimi (piksel)
δ_{sağ}	: Takımın sağ kenar sehimi (piksel)
δ_{sol}	: Takımın sol kenar sehimi (piksel)
θ	: Kayma açısı
π	: Pi sayısı
Π(t)	: t sahnesindeki benzerlik oranı
φ_m	: Sehim açısı

ÖZET

Doktora Tezi

TALAŞLI İMALATTA GÖRÜNTÜ İŞLEME METODU İLE TAKIM SEHİMİ TESPİTİ
VE HATA ANALİZİ

BURAK ÖZDEMİR

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

104+XII sayfa

2021

Danışman: Doç. Dr. ERKAN BAHÇE

Talaşlı imalat sürecinde önemli bir yere sahip olan CNC tezgahlarda, üretilen parçaların kalitesini sağlamak amacıyla, operasyon gerçekleşirken müdahale imkânı sunan proaktif yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Bu süreç ile birlikte görüntüleme ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, ürünlerin imalat aşamasında kontrol altına alınarak tek seferde doğru bir şekilde üretilmesine fırsat sunmaktadır. Buna rağmen değişken işleme parametreleri, takım aşınması ve malzeme iç yapısından kaynaklanan ve işleme sırasında yüzey ve form hatalarına neden olan bazı faktörler bulunmaktadır. Artan tüketime bağlı olarak seri üretimin daha önem kazandığı imalat sektöründe zaman ve malzeme kaybına neden olan bu faktörlerin, ürün tezgâhtan çıkmadan çözülmesi gereken büyük problemler olduğu görülmektedir. Talaşlı imalat sürecini olumsuz etkileyen bu faktörler, genel olarak kesici takımların maruz kaldığı kuvvetleri artırarak standart çalışma koşullarını bozmakta ve kesme yeteneklerini azaltmaktadır. Bu kapsamda talaşlı imalatta sıkça görülen bozucu etkenlerden biride, talaş kaldırma yeteneğini azaltan ve takımın işleme yönüne zıt kuvvetler sonucu ortaya çıkan takım sehimidir. Talaşlı imalatta yüzey, form ve geometrik hatalara neden olan takım sehimini, imalat esnasında tespit edilip işleme parametrelerinin değiştirilmesi ile giderilmesi gereken bir etkidir. Çalışmada, halihazırda kullanılan takım sehimini ölçüm yöntemlerine alternatif olarak eş zamanlı, hızlı ve düşük maliyetli olması özellikleri ile görüntü işleme metodu ile takım sehimini ölçümü önerilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, talaşlı imalat yöntemleri içerisinde yaygın uygulama alanı olan, CNC frezeleme ve delik delme işlemlerinde görülen takım sehimini, görüntü işleme yöntemi ile anlık olarak tespit eden bir metod geliştirilmiştir. Geliştirilen metotta frezeleme ve delme işlemleri süresince, kesici takım endüstriyel kamera ile kayıt altına alınmıştır. Eş zamanlı olarak kuvvet ölçümleri yapılmıştır. Görüntü işleme metodu kullanılarak takımın maruz kaldığı zıt kuvvetler sonucu eğilme miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen veriler kuvvet ölçümü ile modellenen sonlu elemanlar analizi (SEA) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Model medikal alanında kullanılan diz protezi femur bileşenine uygulanarak sonuçlar yorumlanmıştır. Tez çalışması İnönü Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir. Yapılan bu çalışma Makine Mühendisliği uygulamalarında dinamik görüntülerden sayısal veri elde etmek isteyen araştırmacılar için yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Frezeleme, Delik delme, Takım Sehimini, Görüntü işleme

ABSTRACT

Phd. Thesis

TOOL DEFLECTION DETECTION AND ERROR ANALYSIS WITH IMAGE PROCESSING METHOD IN MACHINING

Burak Özdemir

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

104+XII sayfa

2021

Supervisor: Doç. Dr. Erkan Bahçe

In CNC machines, which have an important place in the machining process, proactive approaches that provide the opportunity to intervene during the operation come to the fore in order to ensure the quality of the parts produced. Along with this process, the development of imaging and computer technology provides the opportunity to take control of the products during the manufacturing phase and to produce them correctly at once. However, there are some factors that result from variable machining parameters, tool wear and material internal structure and cause surface and form errors during machining. It is seen that these factors, which cause time and material loss in the manufacturing sector, where mass production gains more importance due to increasing consumption, are big problems that need to be solved before the product leaves the counter. These factors, which adversely affect the machining process, increase the forces that the cutting tools are exposed to in general, disrupt the standard working conditions and reduce their cutting capabilities. In this context, one of the disruptive factors frequently seen in machining is tool deflection, which reduces the ability to remove metal and occurs as a result of forces opposite to the machining direction of the tool. Tool deflection, which causes surface, form and geometric errors in machining, is a factor that must be detected during manufacturing and eliminated by changing the machining parameters. In the study, tool deflection measurement with the image processing method has been proposed as an alternative to the currently used tool deflection measurement methods, with its simultaneous, fast and low cost features.

Within the scope of the thesis, a method has been developed that instantly detects the tool deflection seen in CNC milling and hole drilling processes, which is a common application in machining methods, by image processing method. In the developed method, the cutting tool was recorded with an industrial camera during the milling and drilling operations. Force measurements were made simultaneously. By using the image processing method, the amount of bending was calculated as a result of the opposite forces that the tool is exposed to. The obtained data were compared with the finite element analysis (FEA) results modeled by force measurement. The model was applied to the femoral component of the knee prosthesis used in the medical field, and the results were interpreted. The thesis work was supported by the BAP unit of İnönü University. This study is a guide for researchers who want to obtain numerical data from dynamic images in Mechanical Engineering applications.

Keywords: Milling, Drilling, Tool Deflection, Image processing

1. GİRİŞ

Günümüz imalat sanayisinde ürün kalitesi büyük ölçüde kullanılan tezgâh ve teçhizata bağlıdır. Bu bağlamda gelişmiş bir parça işleme yöntemi olan CNC (Bilgisayarlı sayısal kontrol) tabanlı tezgahlar sektörde önemli bir yer tutmaktadır. CNC tezgahlarda, klasik tezgahlara göre daha kaliteli ve hızlı üretim yapılabilmektedir. Buna rağmen değişken işleme parametreleri, takım aşınması ve malzeme iç yapısından kaynaklanan ve işleme sırasında yüzey ve form hatalarına neden olan bazı faktörler bulunmaktadır. Artan tüketime bağlı olarak seri üretimin daha fazla önem kazandığı imalat sektöründe zaman ve malzeme kaybına neden olan bu faktörlerin, ürün tezgâhtan çıkmadan çözülmesi gereken büyük problemler olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ürün taleplerindeki tasarım çeşitliliği, özellikle sağlık, biyomedikal ve robotik alanındaki imalat hassasiyeti ihtiyacı gibi özel durumlar, bu faktörlerin imalatta yaşattığı problemleri kat kat artırmaktadır. Bu faktörler genellikle, takımın maruz kaldığı kesme kuvvetlerini değiştirerek talaş kaldırma yeteneğini olumsuz etkilemektedir (Afazov ve diğ., 2010). Takımın çalışma yönünün tersine olacak şekilde eğilmesine neden olmaktadır. Takım sehimi olarak adlandırılan bu durum, tüm olumsuz işleme koşullarının sonucu ve imalat hatalarının da nedeni olması açısından ürün kalitesini en fazla etkileyen faktördür.

Takım sehimi, takımın talaş kaldırma sırasında, kesici ağız ile malzeme arasındaki sürtünme kuvvetinin zıt yönde etki etmesiyle eğilmesidir (Dépincé & Hascoët, 2005). İşleme parametrelerinden etkilenen bu faktör, takımın kesici yüzeyinin malzemeye temas noktası ve konumunu değiştirmektedir (Lotfi ve diğ., 2018). Bu durum frezeleme ve delik delmede yüzey, form ve geometrik hata olarak sonuçlanmaktadır. Takım sehiminden kaynaklı hatalar içerisinde düzeltilebilir olanlar için ek işlem gerekmektedir. Ek işlem ile düzeltilemeyen hatalar maliyetlerin artmasına ve zaman kaybına neden olmaktadır. İşleme parametrelerini, kesme kuvveti düşük olacak şekilde seçerek takım sehimini azaltabilmemize rağmen, bu durum özellikle seri üretimde işleme süresini artırmaktadır (Bağci ve diğ., 2017). İşleme parametreleri, parçanın tek seferde ve en uygun sürede üretimini sağlayacak optimum kalite-süre ikilisini gözeterek seçilmelidir. Düz parçalarda bu seçim kısmen yakalansa dahi özellikle günümüzdeki tasarım çeşitliliği nedeni ile ürünlerin büyük kısmında mümkün

olmamaktadır. Bu durum, takım sehiminin işleme sırasında anlık ölçülerek kontrol altına alınmasını gerekli kılmaktadır.

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde takım sehiminin, eş zamanlı, işleme sonrası ve teorik olmak üzere üç şekilde ölçüldüğü görülmektedir. Eş zamanlı takım sehimi ölçümü, mesafe ölçen sensörler kullanılarak yapılmaktadır. Eş zamanlı ölçümde maliyet, hassas sensör ayarı ve sensör konumlandırma gibi önemli problemler ön plana çıkmaktadır. Özellikle serbest şekilli parçalarda yüzey formuna bağlı olarak takım yolunun değişkenlik göstermesi sensör ve takımın birlikte hareket etmesini zorlaştırmaktadır. İşleme sonrası ve teorik sehim ölçümleri, farklı imalat koşullarında alınan kuvvet ve işleme parametrelerinin paket programlar veya matematiksel modeller vasıtası ile hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu hesaplama imalat ile eş zamanlı yapılmadığı için, takım sehimine anlık müdahale yapılamamaktadır. Bununla birlikte işleme sonrası yapılan hesaplamalarda takım ve malzeme rijit kabul edilmekte ve işleme koşulları nedeniyle ortaya çıkan değişiklikler göz ardı edilmektedir. Çalışmada bu yöntemlere karşılık günümüz teknolojisinde önemi ve kullanımını hızla artan görüntü işleme yöntemi ile takım sehimi tespiti önerilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

CNC tezgahlarda en sık kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinden olan delme ve frezeleme işlemlerinde ortaya çıkan kesme kuvvetleri takımda sehim oluşmasına neden olmaktadır. İş parçasında form ve geometrik hataya sebep olan takım sehimi işleme sırasında anlık olarak ölçülüp parametre değişiklikleri ile giderilmesi gereken bir problemdir.

Bu çalışmanın temel amacı, frezeleme ve delme işlemlerinde form ve geometrik hatalara neden olan takım sehiminin mevcut yöntemlerden farklı olarak görüntü işleme yöntemi ile anlık olarak ölçülmesidir. Bu sayede imalatın başından sonuna kadar takımı kontrol altına alarak, tespit edilen olumsuz sehim değerlerini gidermek için eş zamanlı olarak işleme parametrelerine müdahale edilmesini sağlayacak bir sistemin alt yapısı oluşturulabilecektir. Üretim sırasında hatalara müdahale edilerek kaliteli ürün elde etmek ve fire-zaman kayıplarını en aza indirmek amaçlanmaktadır.

1.2 Tezin Kapsamı

Bu çalışma altı ana başlık olarak incelenmiştir.

Tezin ilk bölümünde, problemin tanımı, çözüm önerisi, tezin amacı ve kapsamı açıklanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde takım sehimi, ölçüm yöntemleri, görüntü işleme uygulamaları hakkında literatür çalışmaları incelenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde kesme ve talaş kaldırma teorisi, takıma etkiyen kuvvetler ve takım sehimi oluşumu, görüntü elde etme ve işleme yöntemleri, total diz protezi femur bileşeninin frezelenmesi hakkında kuramsal bilgiler verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde, alüminyum bir iş parçasının CNC tezgâhta delinmesi, serbest şekilli yüzeye sahip bir parçanın frezelenmesi ve eş zamanlı olarak görüntü ve kuvvet ölçümlerinin alınabileceği deney düzenekleri hakkında bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda femur bileşeninin deney düzeneği anlatılmıştır. Deneyde kullanılacak iş parçası ve takımın malzemeleri, ölçüm cihazının özellikleri ve konumları ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Sistemin kararlılığını belirlemek için teorik hesaplamalarla karşılaştırma yapılmıştır. Bu amaçla literatürde takım sehimi tespitinde en düşük hata oranına sahip olan sonlu elemanlar (SEA) yöntemi uygulanmıştır (Khorasani vd., 2016). Modelin test edilmesi için diz protez parçaları frezelenerek yeniden ölçüm yapılmıştır.

Tezin beşinci bölümünde deney uygulama ve istatistiksel değerlendirme sonuçları verilmiştir.

Tezin son aşamasında elde edilen genel sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Tezin bütününde frezeleme ve delme işlemlerinde oluşan takım sehiminin görüntü işleme yöntemi ile ölçülebilirliği incelenmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1 Takım Sehimi Ölçümü ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bu çalışma, takım sehimi ve görüntü işleme olarak iki önemli kavram üzerine kurulmuştur. Bu sebeple literatür çalışması bu iki başlık altında değerlendirilmiştir. Takım sehimi ölçümleri incelendiğinde genel olarak üç farklı yöntem kullanıldığı dikkat çekmektedir. Bunların ilki kuvvet ölçümüne bağlı olarak analitik metotlarla takım sehiminin tahminine dayalı yöntemlerdir. İkinci yöntem ise sensör vasıtası ile takım sehiminin ölçülmesine dayanır. Burada temaslı ve temassız yöntemler görülmektedir. Lazer, indüktif ve ultrasonik sensörler kullanılarak temassız, gerilme ölçer sensörler kullanılarak temaslı ölçüm yapılmıştır. Üçüncü yöntem olarak yapılan çalışmalarda SE (Sonlu Elemanlar) analizinden faydalanılmıştır. İşleme sırasında ölçülen gerçek kuvvetler ile takımın simülasyon modeline SE analizi uygulanarak gerilme ve eğilme değerleri ölçülmüştür.

Kuvvet ölçümü ile takım sehimi tespiti yapılan çalışmalar şu şekildedir;

Rao & Rao, (2006) eğri yüzeylerin frezelenmesinde takım sehiminin etkilerini araştırmışlardır. Tamamen analitik bir model kullanarak, konkav ve konveks yüzeylerin frezelenmesinde kesme kuvvetleri ve konum bilgisini tahmin etmişlerdir. Tahmin sonuçlarına göre takımın sapma telafisini hesaba katarak işleme parametrelerini güncellemişlerdir. Al7075-T6 malzemesi ile eğri bir yüzey üzerinde frezeleme ve anlık kuvvet ölçümü yaparak çalışmalarını test etmişlerdir. Deneyde 10 mm karbür düz ağızlı takım kullanılmıştır. Bu yöntemle yüzey hatalarının %65-78 oranında azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

Vahebi Nojeh ve diğ. (2011) takım sehimini ölçebilmek için takıma etkiyen kuvvetler ve takım yolu kavramlarını birlikte değerlendirebilecekleri bir yöntem geliştirmişlerdir. Kuvvet-sehim ilişkisini matematiksel olarak modelleyerek, sehimi azaltıcı işleme koşullarını belirlemişlerdir. Takım yolu boyunca her bir adımda bu modeli uygulayarak sehimin minimum olmasını sağlayan bir yazılım geliştirmişlerdir. Al7075-T6 malzemesi 10 mm düz ağızlı freze ile işlenerek model test edilmiştir.

Soori ve diğ. (2017) CNC frezede üretilen parçaların doğruluğunu etkileyen bir faktör olarak gördükleri takım sehimini hesaplayabilmek için kuvvete dayalı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. İşleme sırasında kuvvet ölçülerek konsol giriş modeli ile teorik

hesaplamalar yapılmış ve takım sehimi hesaplanmıştır. SE analizi kullanarak yöntemin doğruluğunu test etmişlerdir.

Zhang ve diğ. (2018) mikro uç frezelemede kesme kuvvetlerinin takım sehimine etkisini incelemişlerdir. Özellikle kesme anında takımın üzerine dağılmış yük temel alınarak Timoshenko kirişi eğilme modeli ile takım sehimini hesaplamışlardır. Kapasitans tipi sensor kullanarak Al6061 malzemesinin 0.5 mm takımla işlenmesi sırasında sehim ölçmüşlerdir. Analitik model ve uygulama arasında yüksek derecede uyum tespit etmişlerdir.

Huo ve diğ. (2017) mikro frezeleme sırasında takım sapmasının kesme kuvveti ve yüzey oluşumu üzerindeki etkisi araştırmış ve takım sapmasını dikkate alan geliştirilmiş bir kesme kuvveti tahmin yöntemi önermişlerdir. Takımın fiziksel özellikleri ve talaş kaldırma değerleri kullanılarak matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu model ile kesme kuvvetleri ve takım sehimini tahmini yapılmıştır. Al7075 malzeme 0.5 mm takım ile frezelenerek kesme kuvvetleri ölçülmüş ve analitik yöntemle karşılaştırılmıştır. Gerçek kesme kuvvetinin, takım sapması nedeniyle ideal kesme kuvvetinden daha küçük olduğu bulunmuştur.

Habibi ve diğ. (2019) 5 eksenli CNC frezede takım sehiminden kaynaklı form hatalarını giderici analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Kesme kuvvetlerini tahmin ederek, takım sehimine göre her bir adımda takımın parçaya temas ettiği konumu güncelleyip form hatalarını azaltan bir takım yolu oluşturmuşlardır. Orijinal takım yolu ile optimize edilmiş takım yolu arasındaki korelasyonlar sürekli hesaplanarak en kuvvetli korelasyona göre takım yolunu güncellemişlerdir. Al7075-T7451 malzemesi 12 mm karbür takımla frezelenerek ön görülen model test edilmiştir.

Benzer bir çalışmada Ma ve diğ. (2016) 5 eksenli CNC frezede tahmini kesme kuvvetleri ile kiriş eğilme modelini kullanarak takım sehimini hesaplamışlardır. Aynalama metodu olarak adlandırdıkları bir sistem ile takımın nominal pozisyonu ile sapma pozisyonu arasındaki farkı hesaplayarak her adımda takım yolunu güncellemişlerdir. Bu yöntemle konum sapmasını azaltmaya çalışmışlardır. Al5250 malzeme ve 8 mm küresel takım ile deneysel çalışmalar yaparak teorilerini doğrulamışlardır.

Literatürde bir diğer takım sehim ölçüm yöntemi sensörler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yöntem laser veya endüktif sensörler vasıtası ile temasız, gerilme sensörü vasıtası ile temaslı olarak uygulanmıştır. Yöntemin doğruluğunu test etmek için genel olarak kuvvete dayalı analitik yöntemler veya FE analizi yöntemi kullanılmıştır. Sensör ölçümüne dayalı takım sehim tespiti çalışmaları şu şekildedir;

Wojciechowski ve diğ. (2018) tungsten karbür kaplamalı 8 mm küresel uçlu takımlarla sertleştirilmiş çeliğin frezelenmesinde takım sehiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Lazer bir sensör ile takımdaki sapmayı anlık olarak ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ile takım sehimini değerlerini karşılaştırmışlardır. Elde edilen değerler ile işleme parametrelerini optimize ederek yüzey pürüzlülüğünü azaltıcı çalışmalar yapmışlardır.

Wan ve diğ. (2017) frezelemede takım sehiminin tespiti için takımın shaft kısmına konumlandıkları yer değişim sensörünü kullanmışlardır. Eş zamanlı olarak ölçülen kesme kuvvetleri ile hesaplanan takım sehimini değerleri ile sensörden gelen sonuçları karşılaştırarak yöntemi doğrulamışlardır. Önerdikleri yöntemi karbür 12 mm ve HSS (Yüksek Hız Çelikleri) 8 mm takımlarda deneyerek, malzemelerin kesme kuvvetlerine karşı gösterdikleri sehimini karşılaştırmışlardır.

Zhou ve diğ. (2018) mikrofrezelenmede küçük çaplı ve esnek takımların sehimini tespit etmek için laser yer değiştirme sensörü kullanmışlardır. Takım sapması, kesilememiş talaş kalınlığı ve takımın kesme kenarının konumu dikkate alınarak matematiksel bir model geliştirilmiştir. Model takımın her bir adımında yeniden uygulanarak optimum işleme değerleri elde edilmiştir. Metod eğimli yüzeyde Nak80 çeliğine uygulanarak uygulanarak doğruluğu test edilmiştir.

Gök ve diğ. (2016) frezelemenin finish işleme aşamasında takım yolunun sehim üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada yukarı ve aşağı yönlü frezeleme işlemlerinde endüktif sensör kullanarak takım sehimini tespit edilmiştir. Bununla birlikte, eş zamanlı olarak ölçülen kuvvet değerleri ile analitik ve FE analizi yöntemlerinden faydalanılarak sensör verileri doğrulanmıştır. Deneylede, çelik malzeme 16 mm takım ile frezelenerek kesme parametrelerinin ve farklı takım yolu stillerinin takım sapması üzerindeki etkileri araştırılmıştır

Denkena ve diğ. (2016) 5 eksenli frezede temaslı bir takım sehimini ölçüm yöntemi geliştirmişlerdir. Özellikle iş mili tutucusu gibi takıma yakın tezgâh parçalarına gerilim sensörü takarak dinamometre ile ölçülen kuvvetlerle karşılaştırılıp kalibrasyon yapılmıştır. Deneylede 12 mm takım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sonrası elde edilen kuvvetler ile kiriş eğilme modeli uygulanarak takım sehimini hesaplanmıştır. Anlık elde edilen verilere göre ilerleme ve devir ayarlanarak sehim azaltılmaya çalışılmıştır. Benzer çalışmayı 3 eksenli frezede, gerilme sensöründen gelen veriler ile yüzey pürüzlülüğü verilerini

karşılaştırarak uygulamışlardır. (Denkena & Boujnah, 2018). Karşılaştırma sonuçlarına göre takım sehimini azaltacak işleme parametrelerini hesaplamışlardır.

Sredanovic & Lakic (2017) mikro frezeleme yöntemi ile sertleştirilmiş çelik malzemelerin işlenebilirliğine etki eden faktörleri incelemiştir. İş parçasının dar ve derin bölgelerini işleyebilmek için özellikle uzun ve küçük çaplı (0.6 mm) takımlar seçilmiştir. Bu sebeple düz ve eğimli yüzeylerde takımın sehim yaptığı tespit edilmiştir. Takım sehimini laser yer değişimi sensörü ile ölçülerek yüzey kalitesi ile ilişkilendirilmiş ve uygun işleme parametreleri seçilmiştir.

FE analizi takım sehimini tespitinde hata oranı en düşük olan kuramsal yöntemdir (Khorasani ve diğ., 2016). Analitik takım sehimini ölçüm yöntemlerinin doğrulayıcısı olarak birçok çalışmada kullanılmıştır. Bununla birlikte literatürde bazı çalışmalarda tek başına takım sehimini ölçüm yöntemi olarak çalışılan bir konudur. Anlık ölçüme uygun olmaması ve hesaplama yapabilmesi için kuvvet ölçümüne ihtiyaç duyması yöntemin sadece test amaçlı kullanılmasına neden olmuştur. SE analizi ile takım sehimini ölçümü yapılan çalışmalar şu şekildedir;

Jalili Saffar ve diğ. (2008) çalışmalarında gerilme hızı ve iş parçasının sıcaklığını göz önünde bulundurarak SE analizi ile takım sehimini hesaplamışlardır. Takımın rijit ve esnek olmasına göre farklı sehim sonuçları elde etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları analitik yöntemle doğrulayıp SE analizi ile takım sehiminin ölçülebilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Smaoui ve diğ. (2011) düz, iç bükey ve dış bükey şeklindeki çelik bir malzemeyi 16 mm çapında küresel uçla işleyerek takım sehimini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada takım sehimini tespiti için SE analizi, analitik model ve deneysel ölçümün üçüde kullanılmıştır. Analitik model ve SE analizi arasından %4 sapma tespit etmişlerdir. Bu değer deneysel ölçüm ile SE analizi arasında %22'ye çıkmıştır. Takım ve takım tutucunun birlikte modellenmesi ile bu değer düşeceği ön görülmüştür. Çalışmada elde edilen veriler ile en uygun takım yolu simülasyonu yapılmıştır.

Gye ve diğ. (2013) mikrofrezelenmede kesme kuvveti tahmini yapan bir model uygulamışlardır. Modelden elde ettikleri kuvvet değerleri ile SE analizi yaparak takım sehimini tahmini yapmışlardır. Bu çalışma ile mikro frezeleme öncesinde kuvvet ve takım sehimini tahmin edip işleme kalitesini artırmayı amaçlamışlardır. Deneylerde pirinç malzeme 0.3 ve 1 mm takımla frezelenmiştir.

Benzer bir çalışmayı M Soori (2017) yüzey frezeleme işlemi için uygulamıştır. Takımın kesivci ağız temas noktaları üzerinden matematiksel olarak hesaplanan kesme kuvvetlerini takım sehimini hesaplamak için SE analizinde kullanmıştır. Sanal ortamda sehimini azaltacak parametre değişimlerini deneyerek en uygun takım sehimini değerlerini hesaplamıştır.

Sahoo ve diğ. (2020) mikrofrezelenmede temel bir sorun olan takım kırılmasına çözüm getirecek bir yaklaşım önermişlerdir. Takım kırılmadan önce eğilmeye başladığı konumu sonlu elemanlar yöntemi ile simüle ederek kesme kuvveti katsayıları elde etmişlerdir. SE analizi sonuçları ile takım aşınması, takım sehimini, minimum deforme olmamış talaş kalınlığı gibi parameterlerin eklendiği bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Bu model takımın çatlak oluşturmayacak kuvvet değerleri içerisinde frezeleme yapabilecek işleme parametrelerini belirlemektedir.

Thakur ve diğ. (2021) AISI 1045 çeliğinin frezelenmesinde takım sehimini oluşumunu araştırmışlardır. 9.5 mm ve 14 mm çapında iki takım ile yaptıkları frezeleme işlemi sırasında kuvvet ölçümü yapmışlardır. Ölçülen kuvvet değerleri ile sonlu elemanlar analizi yaparak takımın sehimini modellemişlerdir. Aynı zamanda koordinat ölçen bir cihaz ile takımın mevcut konumu ile olması gereken konumu arasındaki farkı tespit etmişlerdir. Her iki yöntemin takım sehimini değerlerini karşılaştırmışlardır. Özellikle takım çapı arttıkça kesme kuvvetinin ve buna bağlı olarak takım sehiminin azaldığını tespit etmişlerdir. Takım sehiminin teğetsel ve radyal kuvvetlerden fazla etkilendiğini, aksel kuvvetin ise daha az etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Jia ve diğ. (2021) havacılıkta sıkça kullanılan Inconel-718 nikel-krom alaşımı ince cidarlı malzemelerin işlenmesindeki takım sehimini araştırmışlardır. Yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahip olduğu için işlenmesi zor olan malzeme takım sehimini ve takım kırılması sorunlarına neden olmaktadır. Bununla birlikte belli bir kuvvete kadar malzemede de eğilme görülmektedir. Sonlu elemanlar analizi ile takımın maruz kaldığı kuvvetleri modelleyerek malzeme ve takımın sehim toleransları belirlenmiştir. Bu tür malzemelerin mikrofrezelenme ile uygun kuvvet aralıkları belirlenerek işleme kabiliyeti artırılmıştır.

FE analizi kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada, Vamsi Krishna Reddy ve diğ. (2021) Ti-6Al-4V ve tungsten karbür kaplamalı ve kaplamasız farklı takımların frezelemedeki takım sehimini tepkilerini incelemişlerdir. İşleme sırasında ölçülen kuvvet değerleri sonlu elemanlar ile modellenmiştir. Kaplamasız takımın kaplamalı takıma göre daha fazla sehim yaptığı

tespit edilmiştir. Kesme parametrelerinin takım sapmasına anlamlı bir etkisinin olduğu ve özellikle ilerlemenin en yüksek etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, frezeleme işleminde kaliteyi olumsuz etkileyen takım sehiminin işleme sırasında veya sonrasında geliştirilen yöntemler ile giderilmeye çalışıldığı görülmektedir. Özellikle yeni kullanılan malzeme ve takımlarda kesme kuvvetinin etkilerini belirlemek amacıyla matematiksel modeller veya SE analizi kullanılarak takım sehimini hesaplanmıştır. Kuvvet ölçümü ve hesaplama gerektiren bu yöntemler anlık takım sehimini ölçüm ihtiyacını gidermemektedir. Fakat yüksek doğrulukları nedeni ile yapılan diğer çalışmaların test edilmesi amacıyla kullanılacak etkin yöntemlerdir. Anlık ölçüm ve işleme sırasında müdahale için sensörlü ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Lazer, endüktif ve gerilim ölçer sensörler vasıtası ile takımdaki konum değişimleri incelenmiştir. Lazer ve endüktif gibi mesafe ölçüm sensörleri düz yüzeylerin işlenmesinde etkin sonuç verebilmektedir. Fakat özellikle serbest şekilli yüzeylerde sensörlerin konumlandırması yüzey girinti ve çıkıntı formlarında sorun teşkil etmektedir. Bununla birlikte bu tür sensörler, belirli hassas ayarlar yapılarak ön mesafe kabulü ile ölçme sistemine dahil edilmektedir. Takımın işlenmesi sırasında oluşan sarsıntı ve çapak oluşumları sensörün ayarını ve ölçümünü olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışmada yukarıda açıklanan takım sehimini ölçüm yöntemlerine alternatif olarak görüntü işleme metodu önerilmektedir. İşleme sonrası ölçüm ve sensörlü ölçüm yöntemlerinin belirtilen dezavantajlarını azaltmak açısından etkin bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Anlık ölçüm imkânı, takıma daha uzak mesafede konumlandırma, çapak oluşumunun ölçüm sonucunu etkilememesi gibi önemli avantajları ile sehim ölçümünün etkinliğini artırıcı bir yöntem olacağı öngörülmektedir. Ayrıca ilerleyen çalışmalarda, CNC tezgahlara karar verici bir yazılımla birlikte entegre edilerek, işleme parametreleri takım sehimine göre kontrol edilebilir hale getirilebilecektir.

2.2 Görüntü İşleme ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Görüntü işleme metodu birçok alanda, cisimlerin kameralar vasıtası ile görüntülenmesi ve onlardan veri elde edilmesi yoluyla kullanılmaktadır. Özellikle endüstriyel sistemlerin kontrolü, güvenlik sistemleri, kalite kontrol, stok yönetimi, otomasyon sistemleri, kullanıcısız hareketli araçlar, tarımsal faaliyetler ve medikal alanda yaygın uygulamaları bulunmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde belirtilen alanlar yanı sıra talaşlı imalatta görüntü işleme kullanımı ivmelenmektedir (Demircioğlu ve diğ., 2013).

Özellikle talaşlı imalat kalitesine etki eden ve görüntülenebilen boyut, renk ve sıcaklık ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Talaşlı imalatta ürün kalitesini boyutsal ve yüzeysel olarak etkileyen faktörlerden biride takım sehimidir. Takım sehimli talaşlı imalatta bir kalite sorunu oluşturmasının yanında işleme parametreleri ile doğrudan bağlantılı olması nedeniyle otomasyon sistemleri ile de yakından ilişkilidir. Takım sehiminin görüntü işleme ile tespiti, dinamik bir görüntü üzerinden takımın çalışma standartları içerisinde olup olmadığının tespiti şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda görüntünün elde edilmesi, işlenebilir hale getirilmesi ve görüntüdeki nesnelere boyut ve mesafe bilgilerinin alınması aşamaları uygulanmaktadır. Literatürde konuyla ilgili farklı alanlarda sabit görüntü üzerinden kalite kontrol ve dinamik görüntü analizi çalışmaları bulunmaktadır. Çalışmaların bir çoğu talaşlı imalat sonrası görüntü işleme ile kalite kontrol yapılması şeklindedir. Sabit görüntü üzerinden yapılan çalışmalar şu şekildedir;

Kannan & Kumar (2021), somun ve civata üretiminde hatalı parçaların tespit edilmesi için görüntü işleme yöntemiyle bir sistem tasarlamışlardır. Montaj ve paketlenme hattı öncesi konveyörün üstüne yerleştirdikleri bir kamera ile somun ve civataların görüntüleri alınmıştır. Görüntüler arka plandan ayrılarak ayırt edici boyut özellikleri hesaplanmıştır (en, boy, civata başı boyut ve şekil özellikleri). Alınan veriler referans görüntü ile karşılaştırılıp hatalı ürünler tespit edilmiştir. Sistem her bir hatalı ürün tespitinde selenoid valflere sinyal göndererek tablayı eğmekte ve hatalı ürünü konveyörden atmaktadır. Benzer çalışmalar sebze, meyve, tahıl ürünleri içinde yapılmıştır. Ürünlerin renk, en, boy, çevre, çap, sayı gibi sayısal ve görüntüsel özellikleri alınarak hatalı ürünler tespit edilmiştir. Bununla birlikte ürünlerin boyutsal olarak sınıflandırmaları yapılarak özellikle büyük parti ürünlerin kaç farklı türden ve kaç adet oluştuğu kolay bir şekilde tespit edilmiştir (Momin ve diğ., 2017; Sahu & Dewangan, 2017; Dorj ve diğ., 2017; Pandey ve diğ., 2020; Desai & Rao, 2017).

Vargas Vargas & Camacho Bello (2018) metal mekanik parçaların boyutsal özelliklerini elde etmek için karmaşık noktalar isminde yeni bir piksel değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Özellikle milimetrik vidalar gibi yapısında küçük hata ve farklar bulunan mekanik parçaların piksel hesaplarında kullanılan klasik yöntemler, hassas ölçüm yapamadıkları için gerçek sonuçlar elde edilememektedir. Geometrik hesaplama hatasına neden olan bu yaklaşım yerine kutupsal bir piksel bölgesinin kendi içerisinde toplamlarının alınarak malzemenin sınır bölgesine kadar ölçümünü önermişlerdir. Önerilerini 4 farklı standart vida ailesi için uygulamış ve etkin bir ölçüm sonucu elde etmişlerdir.

Xu ve diğ. (2019) CNC tezgâhta profil taşlama işleminde görüntü işleme tabanlı geometrik kontrol çalışması yapmışlardır. Taşlama öncesinde tezgâha entegre edilen bir kamera ile iş parçasının görüntüsü kayıt altına alınmış ve entegre bilgisayarda görüntü işleme yöntemi ile profil geometrisi çıkarılmıştır. Aynı yöntem ile kesici kenarın görüntüsünde kaydedilmiştir. Taşlama sırasında görüntü ile alınan değerler ile referans görüntü karşılaştırılarak profil hataları ve kesici kenarın aşınması değerlendirilmiştir. Hatayı telafi edici parametreler hesaplanarak standart profil geometrisi elde edilmiştir.

Lins ve diğ. (2020) CNC delme tezgahında görüntü işleme metodu ile takım aşınmasını belirleyen bir çalışma yapmışlardır. Delme sırasında takımda meydana gelen aşınma ve bunun sonucunda yüzeydeki form hatalarının önceden tespit edilmesini sağlayacak bir model oluşturulmuştur. ISO 3685 standartına göre kesme ağzı üzerindeki aşınma alanının genişliği 0,3 mm olana kadar bir takımın kullanılabilmesi bilinmektedir. Çalışmada takımdan alınan görüntülerde takımın kesici ağzında meydana gelen ve düz kenardan sapma şeklinde gerçekleşen aşınma bölgeleri tespit edilmiştir. Kenar belirleme yöntemi ile bu bölgelerin genişliği ölçülmüştür. Genişlik 0,3 mm olduğunda takım değiştirilerek delme performansı ve yüzey kalitesi artırılmıştır. Benzer çalışmalarda Ong ve diğ. (2019), Qin ve diğ. (2020) frezelemede görüntü işleme yöntemi ile takım aşınmasını araştırmışlardır. İşleme sonrası mikroskopla alınan aşınma görüntülerini işleyerek takım aşınma alanının büyüklüğünü belirlemişlerdir. Tekrarlı deneyler sonucunda takım aşınmasının en az olduğu frezeleme parametrelerini hesaplamışlardır.

Kar ve diğ. (2020) Inconel 718 nikel-krom alaşımının frezelenmesi sırasında iş parçasının kalitesine etki eden yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma oranı ve aksel kesme kuvveti parametrelerinin optimizasyonunu sağlayan bulanık mantık modeli önermişlerdir. Çalışmanın yüzey pürüzlülüğü tespiti aşamasında görüntü işleme tekniğini kullanmışlardır. İşleme sonrası yüzeyin mikroskop görüntüleri üzerinden histogram belirleme çalışması yaparak, görüntüdeki yüzey farklılıklarının renk değişimlerini tespit etmişlerdir. Renk yoğunluğuna göre pürüzlülük değerlerini hesaplamışlardır. Deneyler sonucunda en az pürüzlülük değerine sahip işleme parametrelerini belirlemişlerdir.

CNC frezeleme işlemlerinde işleme hızı, kalitesi ve maliyetine önemli derecede etkisi olan takım yolu belirleme süreçlerinde görüntü işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Geleneksel takım yolu stratejilerinin üretilen numuneler üzerinde optimizasyonunu sağlamak için görüntü işleme yöntemleri ile yüzeyler üzerinde etkin takım yolları oluşturulabilmektedir. Takımların 2D profil görüntüleri alınarak takım yolu, referans noktası konumu gibi veriler

elde edilmekte ve özellikle operatör müdahalesine gerek duyulacak işlemler bilgisayar kontrolünde yaptırılabilir (Londoño Lopera ve diğ., 2018; Agrawal ve diğ., 2019).

Görüntü işleme alanında dinamik görüntü üzerinden yapılan çalışmalar şu şekildedir;

Q. B. Zhang & Zhao, (2013) kaya malzemesinin dinamik yükler altındaki dayanımı ve mekanik özelliklerini tespit etmek için dinamik görüntü kolerasyonu yöntemini kullanmışlardır. Kaya numunelerine gerilme ölçer sensör yerleştirilerek yük uygulanmış ve taramalı elektron mikroskobu altında incelenmiştir. Gerilime bağlı çatlak ilerleme hızı ve yayılma şekli incelenmiştir.

Kesemen ve diğ., (2017) malzeme kontrolünde kullanılan yöntemlerden biri olan çekme deneyini dinamik görüntü işleme metoduyla modellemişlerdir. Lastik bir malzemenin üzerine referans çizgiler çizilerek çekme deneyi yapılmıştır. Deney sırasında alınan görüntüler görüntü işleme teknikleri ile analiz edilmiştir. Referans çizgilerin bir sonraki adımını bulmak için piksel değerlerinin kolerasyonu alınmıştır. Her bir adımda kolerasyon alınarak çizgi takibi yapılmıştır. Böylece çekme deneyinin sonunda, lastiğin kopmadan önceki son uzama değeri hesaplanmıştır. Benzer bir çalışmayı sac metallerin çekme deneyinde Dunand & Mohr, (2010) uygulayarak, çentikli ve çentiksiz numunelerin kırılma anına kadar süne oralarını belirlemişlerdir.

Zou & Chen, (2018) kaynak robotunun dikiş kalitesini inceleyen dinamik bir görüntü işleme sistemi oluşturmuşlardır. 6 eksenli bir kaynak robotunun çalışması sırasında laser kamera ile kaynak noktası görüntülenmiştir. Kaynağın yapıldığı yerin koordinatları ile olması gereken koordinatlarla karşılaştırılarak hata düzeltilmiştir. Aynı zamanda kaynak ağzının hemen sonrasındaki dikişin boyut ve şekli görüntü işleme ile kontrol altına alınmıştır.

Peng ve diğ., (2017) aşındırma ile makine ömrü belirleme işleminde, aşınma oranı ve mekanizmasını araştırmak için dinamik görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Çelik bilyalar ile metal yüzeylerin aşındırılması sırasında ortaya çıkan parçacıkların sayısı dinamik görüntü işleme ile belirlenerek aşınma oranı hesaplanmıştır. Ayrıca parça üzerindeki kalıntı ve çukurların boyut, şekil ve rengi görüntü işleme ile elde edilerek aşınma dayanıklılığı ve derinlemesine aşınma analizi yapılmıştır.

Talaşlı imalat alanında görüntü işleme ile yapılabilecek çalışmalar, diğer alanlara göre daha fazla ayrıntı veri ihtiyacı ile birlikte yakın mesafeden görüntü alma koşullarına gereksinim duymaktadır. Özellikle dinamik görüntü işleme çalışmalarında, talaşlı imalatın titreşim,

parlama, dönme vb. gibi bozucu etkenleri veri elde etmeyi zorlaştırmaktadır. Bu olumsuz etkenler teknolojik gelişim ve yazılım sistemlerinin iyileşmesi ile çözüldükçe literatürde talaşlı imalat alanında görüntü işleme metodunun kullanımı artacaktır.

Literatürdeki bu çalışmalar ışığında takım sehimi tespiti için halihazırda uygulanan yöntemler tartışılmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak CNC delme ve frezeleme işleminde takım sehimi tespitinin görüntü işleme yöntemi ile yapılması amaçlanmaktadır. Yöntemi karşılaştırması için sonlu elemanlar analizi kullanılacaktır.

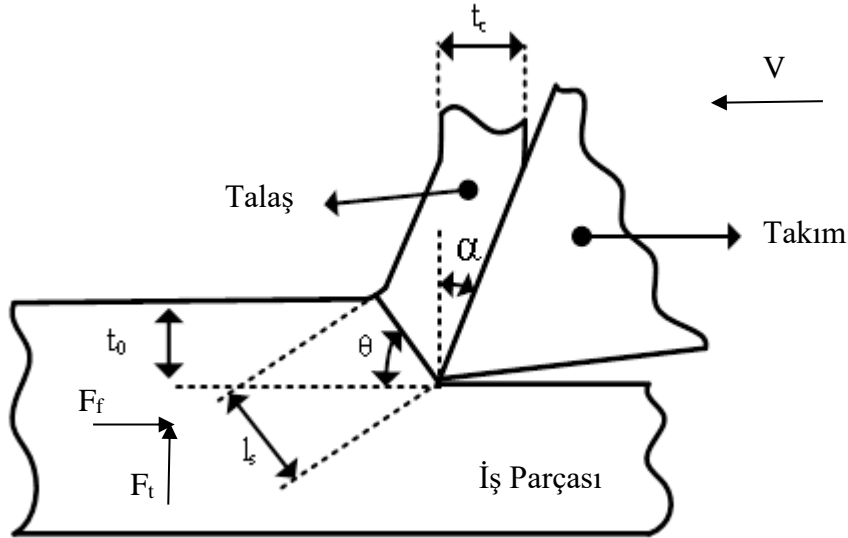


3. GENEL BİLGİLER

3.1 Kesme ve Talaş Kaldırma İşlemi

Metal kesme, malzemelere şekil vermek için yaygın olarak kullanılan imalat süreçlerinden biri olmakla beraber malzeme, elektronik ve bilgisayar sistemlerinin ilerlemesi ile birlikte sürekli gelişmektedir. Birçok malzemenin son şekli kesme işleme yapılarak gerçekleştirilmektedir. Kesme işlemi, malzemeden parça koparmak için kullanılır. Kesme işlemi sonucunda malzemeden kopan parçalar talaş olarak isimlendirilmektedir. En sık kullanılan kesme işlemleri tornalama, frezeleme ve delmedir. Bu kesme işlemlerinin hepsi aynı mekanik prensipleri paylaşmaktadır. Çalışma geometrisi ve kinematiği bakımından arada farklar oluşturmaktadır. Bu farklar işlemlerin kabiliyetlerini de belirlemektedir.

Kesme işlemlerinde talaş kaldırma sürecinin genel mekaniğini açıklamak için iki boyutlu ortogonal kesim kullanılır (Şekil 3.1). Ortogonal kesimde iş parçasının hareketine dik yönde malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir (Altintas ve diğ., 2001).



Şekil 3.1 : Ortogonal kesim teorisi.

t_0 =Kesmeden önceki talaş kalınlığı

t_c =Kesme sonrası talaş kalınlığı

l_s =Kayma düzlemi

θ =Kayma açısı

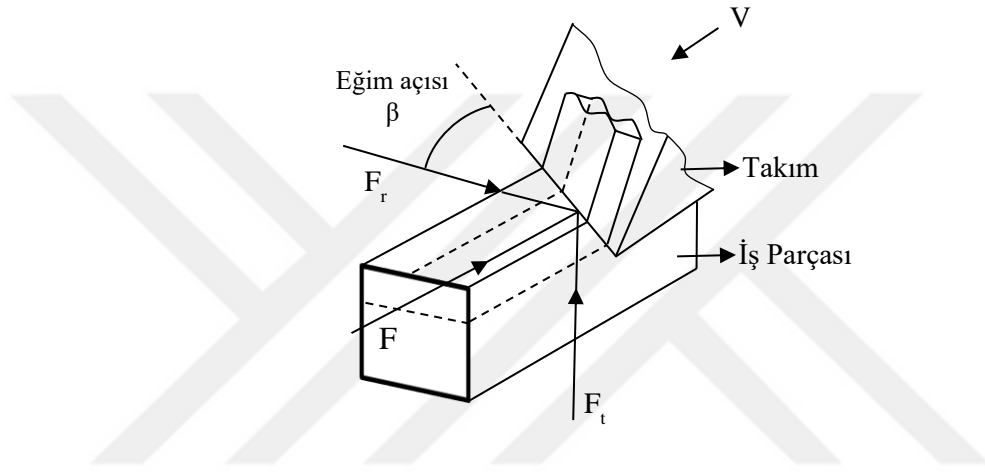
α =Talaş açısı

V =Takım ilerleme hızı

F_f =İlerleme kuvveti

F_t =Teğetsel Kuvvet

Daha kompleks olan açılı kesme işlemleri, geometrik ve mekanik olarak ortogonal kesmenin dönüştürülmesi ile hesaplanır. Açılı kesmede, takımın kesici kenarının β eğim açısına sahiptir . Bu kesme şeklinde takım ilerleme ve kesme kuvveti ile birlikte radyal kuvvetede (F_r) maruz kalır.



Şekil 3.2 : Açılı kesim teorisi.

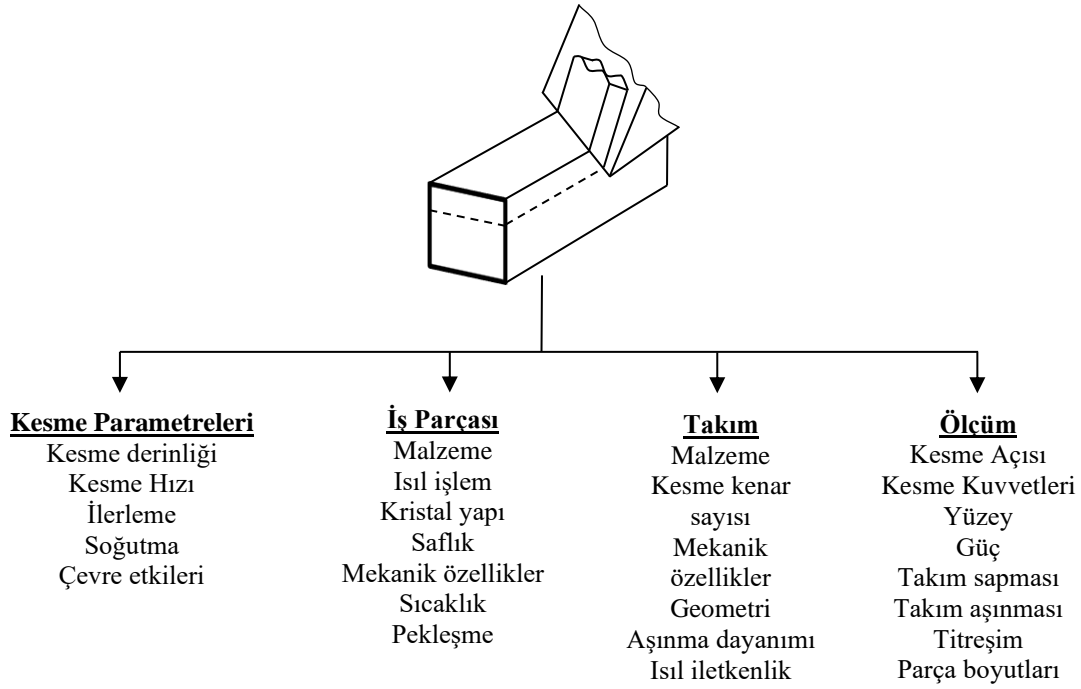
3.1.1 Kesme takımları

Talaşlı imalatta keserek işleme, iş parçasından daha sert bir takımın talaş şeklindeki işleme payını kaldırması ile gerçekleşmektedir. Genel olarak talaş kaldırma işlemi, kesici takım, iş parçası ve takım tezgahı üçlüsünden oluşmaktadır. Talaşlı imalat sürecinde takım tezgahları aşağıdaki görevleri yerine getirir (El-Hofy, 2018);

- Kesme gücünün uygulanması,
- Takım/iş parçası hareketlerini yönlendirme veya sınırlama,
- Kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı ve yağlama gibi kesme değişkenlerini kontrol etme,
- İmalat olanaklarının sağlanması, takımın ve iş parçasının sıkıştırılması.

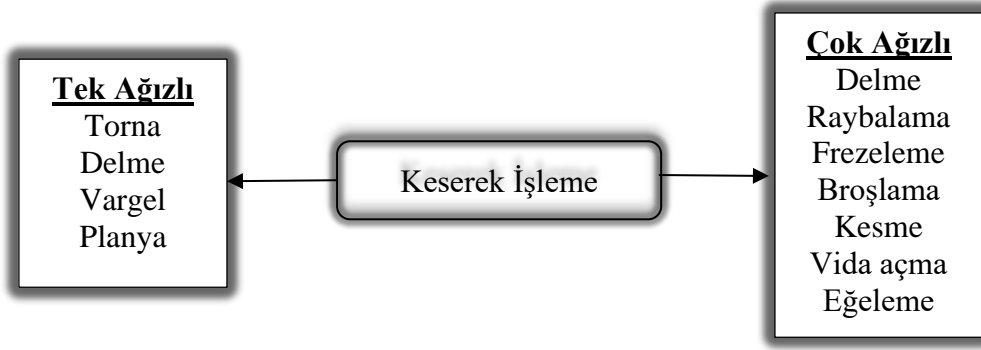
Uygun kesici takımın ve işleme değişkenlerinin seçimi, iş parçası malzeme özelliklerine, ısıl işleme, sıcaklığa ve malzeme pekleşme koşullarına bağlıdır. Kesici takım malzemesi ve

geometrisi, işleme parametrelerinde, aşınma direncinde, maliyette, imalat doğruluğunda ve işlenmiş parçaların yüzey kalitesinde önemli bir rol oynar (Shaw, 2005). Talaşlı imalat süreçlerinin performans kriterleri, kesme açısı, kesme kuvvetleri, güç tüketimi, takım sıcaklığı ve aşınması ve takım sapması ve titreşim ölçümleriyle belirlenir (Şekil 3.3). Bu tür ölçümlerin işlenmiş parçanın boyutsal doğruluğu ve yüzey kalitesi üzerindeki etkisi, imalat açısından büyük önem taşımaktadır (El-Hofy, 2018).



Şekil 3.3 : Talaşlı imalatı etkileyen ana performans kriterleri.

Keserek işlemede, kesici takımda bulunan kesme kenarlarının sayısına göre tek ağızlı veya çok ağızlı olarak sınıflandırılan belirli bir geometrideki takımlar kullanır (Şekil 3.3). Bu bağlamda, tornalama, şekillendirme, delik işleme ve planyalama, gerekli geometriyi oluşturmak için tek kesme kenarına sahip takımları kullanır. Delme işleminde iki kesme kenarı barındıran bükümlü matkaplar kullanır., Frezeleme, testereleme, raybalama, broşlama, eğeleme ve vida açma işlemlerinde belirli sayıda kesme kenarına sahip takımlar kullanılır.



Şekil 3.4 : Kesici kenar sayılarına göre talaşlı imalat türlerinin sınıflandırılması.

Kesici takımlar, sıcaklık, gerilme, iş parçası yüzeyine sürtünme ve ayrıca talaşın takım yüzeyi ile teması gibi ciddi zorlayıcı etkenlere maruz kalırlar. Kesici takım malzemesinin doğru seçimi, talaşlı imalat işlemlerinde en önemli faktörler arasındadır. Takımlar, parçaları kalite ve ekonomiklik açısından düzgün üretebilmek için aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır :

Yüksek sertlik: Takım, keskinliğini kaybetmeden talaş kaldırabilmesi için, iş parçası malzemesinden daha yüksek sertliğe sahip olması gerekmektedir.

Yüksek sıcak sertlik: Takım malzemesinin yüksek sıcaklıklarda sertliği koruma yeteneğidir. Bu yetenek, yüksek sıcaklıklarda sert ve kararlı karbürler oluşturan krom, molibden, tungsten ve vanadyum ilavesiyle artırılabilir.

Yüksek aşınma direnci: Bu özellik, takımın malzeme iç yapısındaki matriste bulunan çözünmemiş karbürlerin oranına bağlı olarak aşınmaya direnme yeteneğidir. Yüksek karbonlu, alaşımlı tungsten, molibden ve vanadyum içeren çelikler yüksek aşınma direncine sahiptir. Karbür takımlara tantal eklenerek aşınma direnci artırılabilir..

Yüksek mukavemet ve tokluk: Tokluk, takım malzemesinin işleme sırasında normal olarak ortaya çıkan şoklara veya darbe yüklerine direnme yeteneğidir. Takım malzemesi, işleme sırasında oluşan kesme kuvvetlerine sapma olmadan direnmek için yüksek mukavemete sahip olmalıdır.

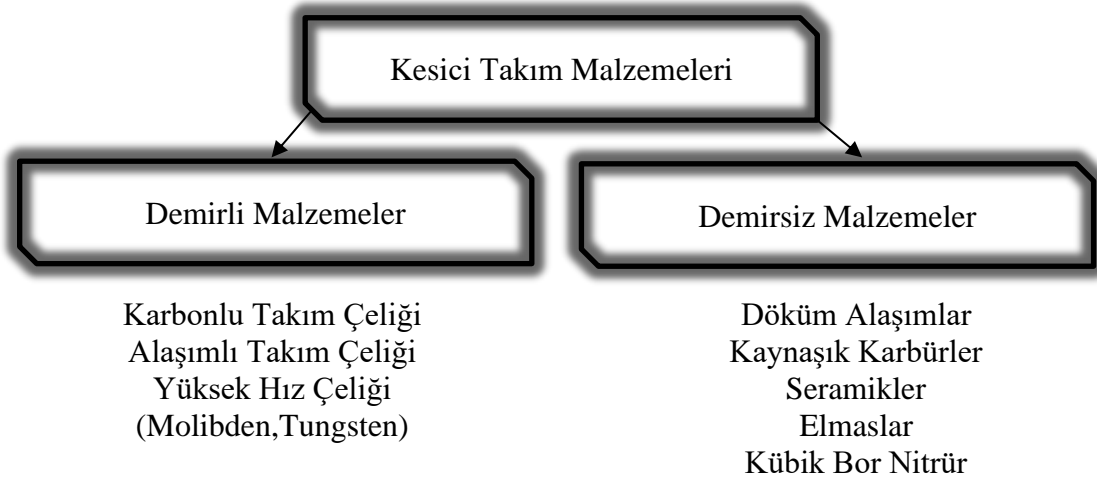
Yüksek ısıl iletkenlik ve özgül ısı: Takımın ısıl iletkenliği, malzemenin özgül ısısı ve takım geometrisine bağlıdır. Yüksek özgül ısı, işleme sırasında oluşan ısının takım sıcaklığını yükseltmeden makine gövdesine aktarılmasını sağlar. Widia ve seramik gibi bazı takım malzemeleri, yüksek sıcaklık oluşumuna neden olan düşük termal iletkenliğe sahiptir.

Düşük sürtünme katsayısı: Düşük sürtünme katsayısı, takım ile iş parçası ve ayrıca takım ile talaş arasındaki sürtünme nedeniyle oluşan ısının az olmasını sağlayan özelliktir.

Düşük maliyet: Ekonomik üretim için takım malzemesinin maliyeti mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Bir takımın toplam maliyeti, ilk satın alma, taşıma ve değiştirme maliyetlerini içerir.

Kimyasal stabilite: Takım aşınmasına neden olan herhangi bir reaksiyonun önlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple iş parçası malzemelerine göre takımın kimyasal stabilitesini sağlayacak malzemelerden üretilmesi önemli bir faktördür.

Kesici takım malzemeleri genel olarak demirli ve demirsiz şeklinde sınıflandırılır (Smith, 2008). Şekil 3.5’de bu sınıflandırma görülmektedir.

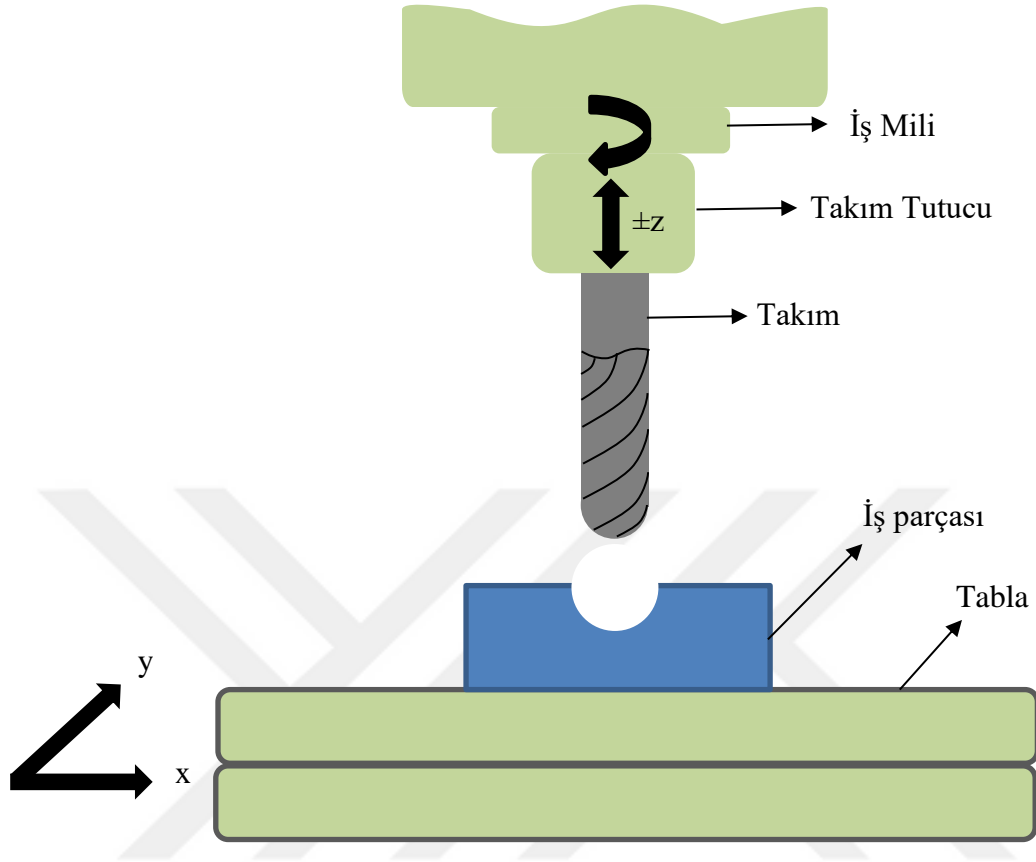


Şekil 3.5 : Kesici takım malzemelerinin sınıflandırılması.

3.1.2 Frezeleme

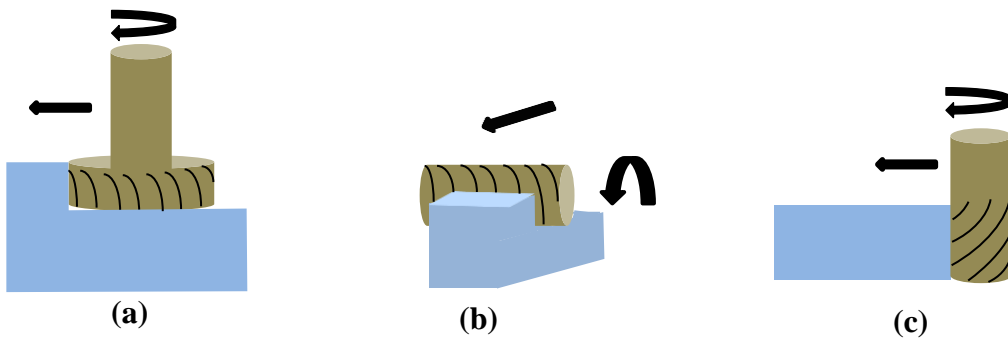
Frezeleme, bir veya daha fazla kesme ağızlı olan, yapacağı işleme göre değişik uç şekillerine sahip ve kendi ekseni etrafında dönen bir takımın talaş kaldırma işlemidir. Frezelemede iş parçası takıma doğru hareket eden bir tablaya sabitlenir. Freze takımı ise kendi ekseni etrafında dönen iş miline bağlanır. Takım dönme eksenine dik konumlandırılmıştır (Şekil 3.6). Frezeleme genel olarak alın ve çevresel olmak üzere ikiye ayrılır. Alın frezelemede takım ekseni işlenen yüzeye dik konumlandırılmıştır (Şekil 3.7a). Takımın alın kısmı ve çevresi birlikte ile talaş kaldırma işlemi yapılmaktadır. Çevresel frezelemede ise, takım ekseni işlenen yüzeye paralel konumlandırılmakta ve takımın çevresindeki kesici ağızlar ile talaş kaldırma işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.7b). Takımın hem çevresi hem de alın kısmı ile

yapılan frezeleme yapılabilmektedir (Şekil 3.7c). Her iki frezeleme çeşiti için yapılacak işleme göre farklı takımlar kullanılmaktadır (Çakır, 2000) .



Şekil 3.6 : Freze tezgahı bileşenleri.

Freze tezgâhları iş milinin konumu ve kontrol şekillerine göre düşey, yatay, universal, NC (sayısal kontrol), CNC (bilgisayarlı sayısal kontrol) ve işleme merkezleri olarak sınıflandırılır.



Şekil 3.7 : Frezeleme türleri a)Alın frezeleme b)Çevresel frezeleme c) Çevresel ve alın frezeleme.

Frezelemede çapı D olan bir takımın dakikada yaptığı devir sayısı (n-devir/dak), devir başına ilerleme (f-mm/devir) (Denklem 3.3) olmak üzere kesme hızı (V_c -m/dak), ilerleme hızı (V_f -mm/dak) denklemleri 3.1 ve 3.2’de görülmektedir.

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad (3.1)$$

$$V_f = f \cdot n \quad (3.2)$$

$$f = f_z \cdot z \cdot n \quad (3.3)$$

Frezeleme, takımın dönme ve iş parçasının ilerleme hareketine göre eş yönlü ve zıt yönlü olarak ikiye ayrılır (Groover, 2020).

Eş yönlü frezelemede takımın dönme yönü ile iş parçasının ilerleme yönü aynı doğrultudadır. Takım kesici ağzı parçaya temas ettiği ilk noktada talaş kalınlığı maksimumdur. Takım ilk temas noktasından sona doğru ilerledikçe talaş kalınlığı azalır (Şekil 3.8a). Bu süreçte takım iş parçasını kendine doğru çekmeye başlar. Aynı zamanda takım radyal kuvvetlerin etkisi ile iş parçasını tablaya doğru bastırır. Eş yönlü frezelemenin avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

Avantajları;

- İnce iş parçalarında takımın hareket alanı daha rahat ayarlanır. Takımın tablaya bastırılması ince parçaların daha rahat işlenmesini sağlar.
- Takım parçayı kendine doğru çektiği için kesici kenar yüzeye daha az sürtünür. Bu durum yüzey kalitesinin daha iyi olmasını sağlar.
- Takıma etkiyen kuvvetler azaldığı için daha az ısınır. Bununla birlikte takım ömrü daha uzundur.

Dezavantajları;

- Takım iş parçasını bastırarak çektiği için, küçük parçaları tabla mili boşluklu olan tezgahlarda üretmek zorlaşmaktadır.
- Takım iş parçasını çekerken, ilerleme ve buna bağlı olarak talaş kalınlığı aşırı artarak takımı kırabilir.

Zıt yönlü frezeleme, takımın dönme yönü ile iş parçasının ilerleme yönünün zıt olmasıdır. Talaş kalınlığı takımın parçaya temas ettiği noktada sıfır olarak başlar ve talaşın sonuna doğru maksimum değere ulaşır (Şekil 3.8b). Takım işleme boyunca iş parçasını iter ve radyal

kuvvetlerin etkisi ile yukarı kaldırmaya zorlar. Zıt yönlü frezelemenin avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

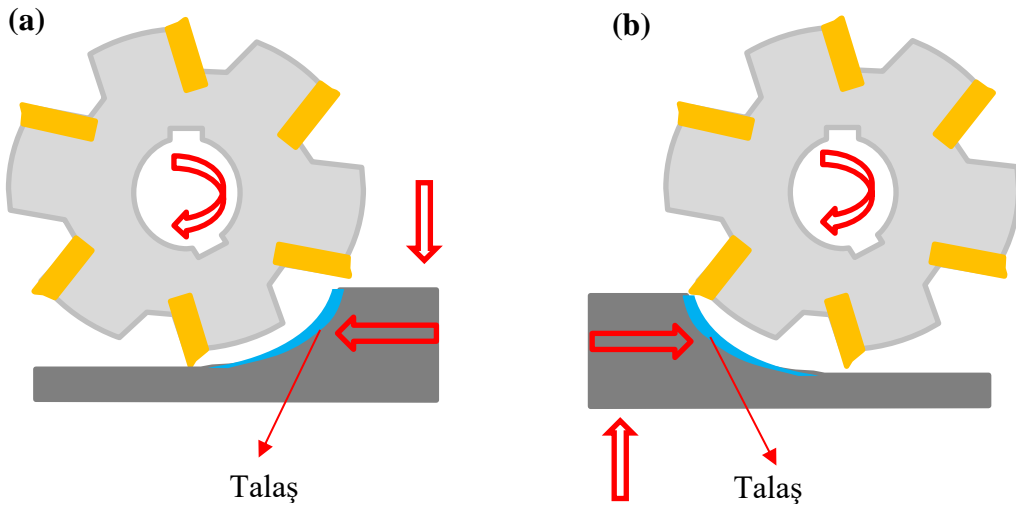
Avantajları;

- İşleme payı yüksek olan parçalarda etkili olabilir.
- Sert malzemeden üretilmiş takımlar kullanıldığında ilk darbeye karşı dayanım yüksek olur ve malzemeden büyük parçalar koparılabilir.

Dezavantajları;

- Yüzey pürüzlülüğü fazladır.
- Takım aşırı ısınır. Soğutma suyu ters yöne doğru iteleneceği için etkisi azalır.
- İş parçasının tablaya daha sağlam bir şekilde bağlanması gerekir.
- Frezeleme sırasında titreşim görülür.
- Takıma etkiyen kuvvetler artar ve takım ömrü kısalmır.

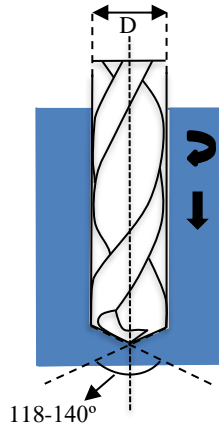
Uygulamalarda genellikle kaba malzeme ve işleme koşullarında zıt yönlü frezeleme, ince malzeme ve finish işleme koşullarında eş yönlü frezeleme kullanılmaktadır.



Şekil 3.8 : Takımın dönme ve iş parçasının ilerleme yönüne göre frezeleme çeşitleri **a)** Eş yönlü frezeleme **b)** Zıt yönlü frezeleme.

3.1.3 Delme

İş parçasından kesici takım yardımıyla talaş kaldırıp silindirik delik açma yöntemlerine delme denilir. Delme işlemi takımın kendi eksenini etrafında dönme ve parçaya doğru ilerleme hareketlerinden oluşur. Delme işleminin çeşidine göre farklı şekil ve malzemelerle üretilmiş matkap olarak isimlendirilen takımlar kullanılır. Matkapların gövdesinde talaşın malzemeden uzaklaştırılması sağlamayan helisel kanallar bulunmaktadır (Klocke, 2013). Delinecek malzemenin türüne göre takımın uç açıları 118-140° arasında değişmektedir. Sert malzemeler için dar açılar, yumuşak ve gevrek malzemeler için daha geniş açılar kullanılmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Delme matkabı ve uç açısı

Matkabın kendi eksenini etrafında dakikada yaptığı hareket devir sayısı (n) olarak tanımlanır. Birimi mm/dak'dır. Matkap her dönüşte çevresi takım çapı $D \cdot \pi$ olan bir daire çizer. Matkabın kesme hızı (V_c) m/dak cinsinden denklem 3.4'de görülmektedir.

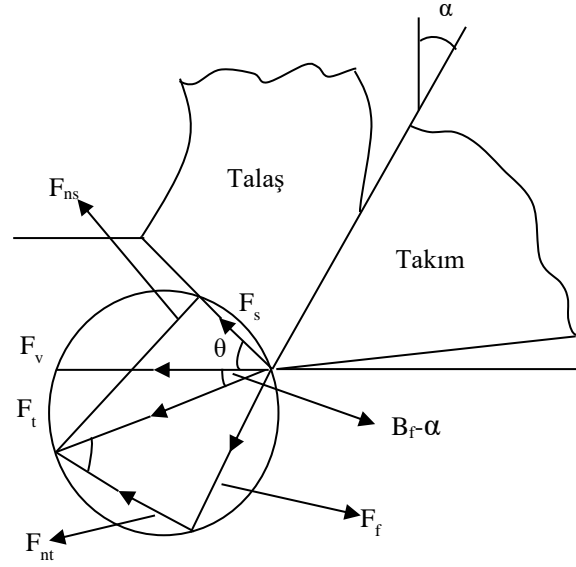
$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad (3.4)$$

Matkabın bir devirdeki ilerlemesi f ile ifade edilir ve birimi mm/dev'dir. Buna göre takımın ilerleme hızı (V_f) denklem 3.5'de verilmiştir.

$$V_f = f \cdot n \quad (3.5)$$

3.1.4 Kesme kuvvetleri ve takım sehimi

Talaşlı imalatta kesme kuvvetlerinin takım üzerindeki etkileri Merchant kuvvet diyagramı ile modellenmektedir. Bu diyagrama göre takım farklı yönlerden maruz kaldığı kuvvetler neticesinde dengede kalmaktadır (Li vd., 2001). Takımın denge hali, farklı yönlerden gelen kuvvetlerin bileşkeleri ile modellenmektedir (Şekil 3.10).



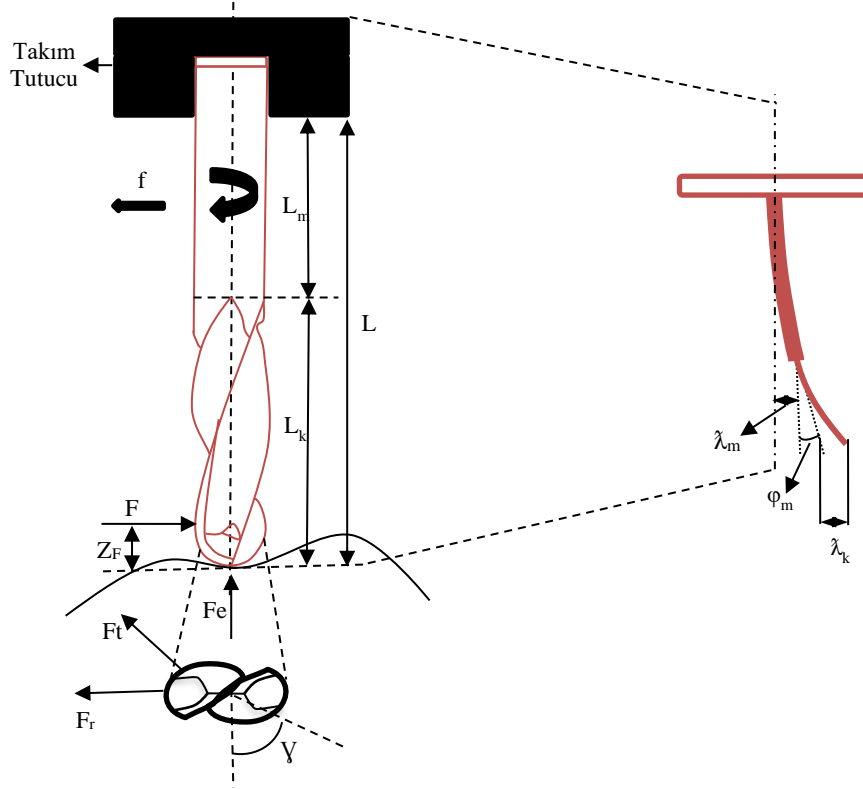
Şekil 3.10 : Merchant kuvvet denge diyagramı.

Şekil 3.9’da kesme hızı V yönündeki kesme kuvveti F_v ve ilerleme kuvveti F_t , kesme düzlemi boyunca kesme kuvveti F_s ve F_{ns} kesme düzlemine normal kuvvet, takım yüzü boyunca sürtünme kuvveti F_f ve takım yüzüne dik kuvvet F_{nt} , B_f sürtünme açısı, α talaş açısı, θ kayma açısı olarak verilmiştir. Buna göre denge kuvveti R , F_s-F_{ns} ve F_f-F_{nt} kuvvetlerinin bileşkesinden oluşmaktadır.

Merchant, bu kuvvetlerin bir daire içinde kompakt bir temsilini önermiştir. Kuvvetlerin dengesi, takım üzerinde gerçekleşmektedir. Bu kuvvetlerdeki dengesizlik takım sehimi olarak sonuçlanmaktadır.

Takım sehimi talaşlı imalat uygulamalarının genelinde dikkate alınması gereken önemli bir bozucu parametredir. Sehim temelde, takım tutucudan, takımın ucuna kadar olan bölgede sapma şeklinde gerçekleşir (Şekil 3.11). Sehim, kesici takımı ideal kesici konumu yerine başka bir konuma yerleştirir ve böylece işlenmiş parçanın yüzeysel ve geometriksel olarak hatalı olmasına neden olur. Bu nedenle, daha iyi yüzey dokusu ve doğru ölçülerde parça elde etmek için, talaşlı imalat sürecinde bu sapmalar dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde istenilen değere yaklaşmak için tekrar talaşlı imalat yapılması gerekir ki bu da üretim süresini ve aynı zamanda maliyeti artıracaktır. Tüm bu sapmalar temelde takımın karşılaştığı kesme kuvvetleri nedeniyle meydana gelir. Talaşlı imalatta, özellikle ilerlemenin artması ile kesme kuvvetleri artar ve bu durum daha fazla sehime neden olur. Bu nedenle, işleme parametre değerlerinin istenen operasyona göre ayarlanması, talaşlı imalat süresince gözlemlenmesi ve sehim artışı durumlarının tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma talaşlı imalat yöntemleri içerisinde yaygın olarak kullanılan delik delme ve frezeleme işlemleri üzerinde uygulanmıştır. Delik delme ve frezeleme uygulamaları sırasında takımların maruz kaldığı kuvvet aşağıdaki şekilde modellenmektedir:



Şekil 3.11 : Frezelemede takıma etki eden kuvvetler ve takım sehimi.

Frezelemede F kesme kuvvetinin üç bileşeni bulunmaktadır. Bunlar, takımın dönüş yönüne etki eden F_t teğetsel kuvvet, ilerleme yönüne etki eden F_r radyal kuvvet ve talaş kaldırma yüzeyi dışında iş parçasının takıma temas ettiği noktadaki F_e eksenel kuvvettir. f_z (mm/diş) ilerlemede, her birim ilerleme için takımın anlık dönüş açısı γ olmak üzere takıma etkiyen F kuvveti F_x , F_y ve F_z eksenlerinde denklem 3.6' de görüldüğü gibi birleştirilir (Kim ve diğ., 2003).

$$F_x(\gamma) = -F_t \cos(\gamma) - F_r \sin(\gamma) \quad (3.6)$$

$$F_y(\gamma) = F_t \sin(\gamma) - F_r \cos(\gamma)$$

$$F_z(\gamma) = F_e$$

Kesici takım üzerindeki anlık kesme kuvveti F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinin bileşkesi alınarak hesaplanmaktadır (3.7).

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (3.7)$$

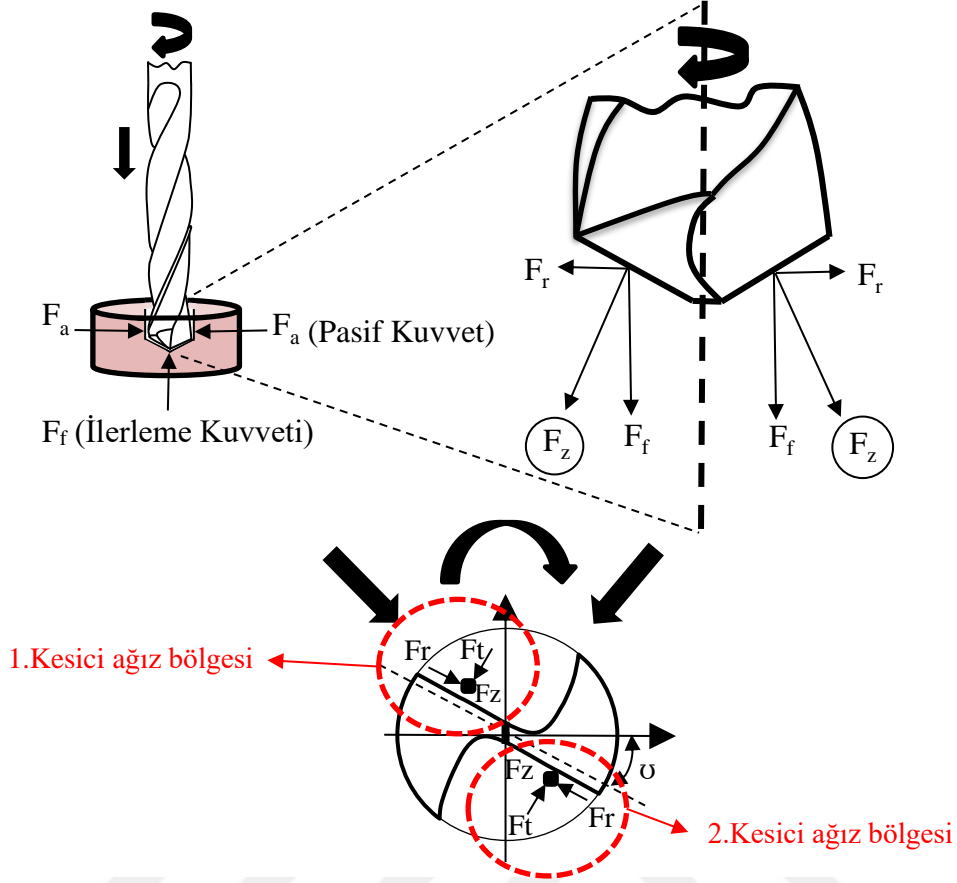
Takımın işleme yönündeki F kuvveti belirlenerek takım sehimi hesabı yapılabilmektedir. Freze takımı şekil olarak mil ve kanal bölümlerinden oluşmaktadır. Mil kısmı takım tutucuya bağlanan ve takımın devrini ileten bölüm, kanal kısmı ise talaş kaldırma işlemini yapan ve talaşı parçadan uzaklatıran bölümdür. L takımın tutucu ile uç kısmı arasında kalan uzunluk olmak üzere, L_m mil bölümünün, L_k kanal bölümünün uzunluğunu temsil etmektedir. Analitik takım sehimi hesabında bu iki kısım ayrı ayrı hesaplanarak takım sehimi bulunabilmektedir. Takıma uygulanan kuvvetin yüksekliği Z_f için herhangi bir z konumundaki takım sehiminin ölçümü yapılabilmektedir. λ_m mil bölümünün takım sehimi, φ_m mil bölümünün mil sehim açısı, λ_k kanal bölümünün sehimi olmak üzere toplam sehim λ_t denklem 3.8'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır (Tlusty, 2000).

$$\lambda_t = \lambda_m + \lambda_k + \varphi_m(L_k - z) \quad (3.8)$$

Her bir bölümün takım sehimini hesaplayabilmek için takımın E (young modülü) ve I (atalet momenti) değerleri kullanılarak kiriş eğilme denklemi uygulanmaktadır (3.9).

$$\lambda_t = \frac{F}{6EI} [-(L - L_k)^3 + 3(L - L_k)^2(L - Z_f)] + \frac{F}{6EI_k} [(|Z_f - z|)^3 - (L_f - z)^3 + 3(L_f - z)^2(L_f - Z_f)] + \frac{F}{2EI} [-(L - L_f)^2 - 2(L - L_f)(L - Z_f)](L_f - z) \quad (3.9)$$

Delme işleminde takım z ekseninde ilerlemektedir. Bu doğrultu boyunca kesici takımın uç kısmı, kesme kenarları ve talaş temas kenarlarında kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Teorik olarak takımın temas ettiği ve talaş alanının merkezi olan noktaya uygulanan kuvvet ile z eksenine ilerleme kuvveti birleşerek takımda sehim oluşturmaktadır. Bu kuvvetler F_f ilerleme ve F_r radyal kuvvetin bileşiminden oluşan F_z ağız başına kesme kuvveti ve F_t teğetsel kuvvetlerdir. Delme işleminde bu kuvvetlerle birlikte, takımın kesme ağzının üst kısmında, kanal içerisinde delik çeperlerine temas etmesi sonucu ortaya çıkan F_a pasif bir kuvvet bulunmaktadır. Bu kuvvet takımın delik içerisinde z eksenine doğrultusunda ilerlemesini sağlamasının yanında, takım sehimine karşıda direnç göstermektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : Delme işleminde takıma etki eden kuvvetler.

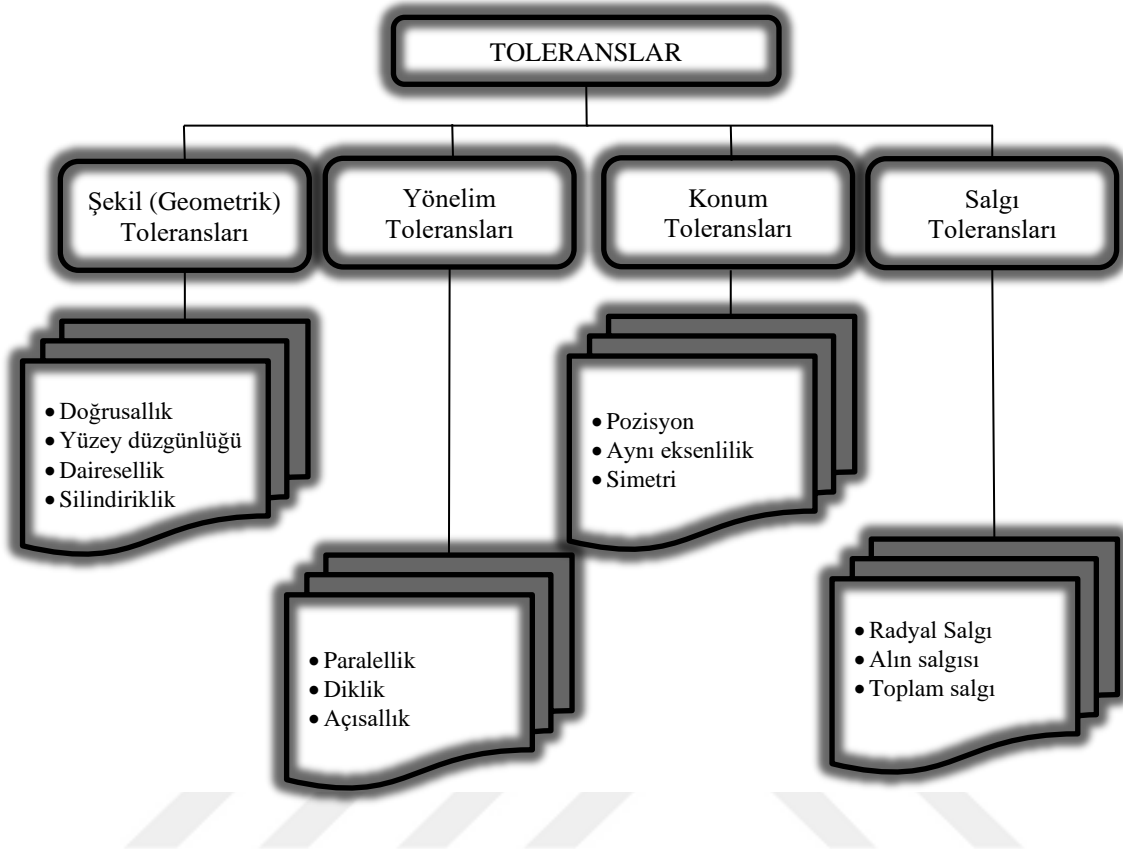
Matkabin bir kesici ağzının birim ilerlemedeki dönüş miktarı radyan cinsinden υ olarak gösterilmektedir. Kesici ağız 1 ve 2 için F_r , F_t ve F_z kuvvetleri birim ilerleme için farklılık göstermektedir. t birim sürede, matkabin talaş kaldırma sırasındaki maruz kaldığı toplam kuvvetlerin eksenlere dağılımı $F_x(t)$, $F_y(t)$, $F_z(t)$ olmak üzere denklem 3.9 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{Bmatrix} F_x(t) \\ F_y(t) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\upsilon_t) & \cos(\upsilon_t) \\ \cos(\upsilon_t) & -\sin(\upsilon_t) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{t_1} - F_{t_2} \\ -F_{r_1} + F_{r_2} \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

3.2 Takım Sehiminin İşlenmiş Parça Kalitesine Etkileri

Talaşlı imalat yöntemleri ile üretilen parçalar, çoğu kez birden fazla bileşen ile birlikte çalışmaktadır. Bu durum parçaların boyutsal, yüzeysel ve geometrik olarak belirlenen sınırlar içerisinde olmasını gerektirmektedir (Uslu, 2001). Tolerans olarak adlandırılan bu sınırlar, parçaların ölçüleri, yüzey kaliteleri, birbirlerine göre konumları ve geometrik

özelliklerine dair standartları belirler. Toleranslar genel olarak dört ana başlık altında incelenmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : Talaşlı imalat ile üretilen parçalarda tolerans türleri.

Takım sehimi, talaşlı imalat sürecinde genel olarak parçanın boyutsal, yüzeysel ve geometrik toleranslarının dışına çıkmasına neden olmaktadır (López De Lacalle ve diğ., 2004). Takım sehiminin işlenmiş parça kalitesine etkileri şu şekilde sıralanabilir (Dépincé & Hascoët, 2006);

- Takım sehimini ortaya çıktığında, takım tutucu G-kodlarda olması gereken konumda iken, takım ucu farklı bir konumda işleme yapmaktadır. Konum toleransının aşılması ile boyutsal ve geometrik hatalar ortaya çıkmaktadır.
- Sehim yapmış takımın kesici ağız konumu yer değiştirmektedir. Takımın kesim kabiliyetini etkileyen bu faktör yüzeyde pürüzlülük ve form hatası olarak sonuçlanmaktadır.
- Takım sehim yaptığı her noktada gerçek parça ölçülerinden uzaklaşmakta, işleme boyunca biriken bu durum geometrik ve yönelim toleransları dışına çıkılmasına neden olmaktadır.

- Uygun kesme pozisyonu dışına çıkan takım daha fazla kuvvete maruz kalmaktadır. Bu durum takımın fazla ısınmasına, erken aşınmasına ve titreşime neden olmaktadır. Bu olumsuz faktörler yüzey hataları ile sonuçlanmaktadır.
- Sehimin artması, takımın aşırı zorlanması ve sıcaklık artışı sonucu takımda kırılmalar gerçekleşmektedir.
- İş parçalarında malzeme iç özellikleri her bölgede standart olmadığı için kesici ağzın konum değiştirmesi parça üzerinde düzensiz kopmalara neden olmakta ve bu durum yüzey kalitesini bozmaktadır.

3.3 Görüntü İşleme

Görüntü işleme, imalat endüstrisi, güvenlik, sağlık, kalite kontrol gibi birçok alanda ortaya çıkan problemlerin görüntüleri üzerinden bazı veriler elde ederek kontrol altına alınması amacıyla dayanır. Bu amaçla görüntüler belirli aşamalardan geçirilerek sayısallaştırılır. Görüntüler en ve boyları doğrultusunda uzanan $f(x,y)$ gibi iki boyutlu bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Buradaki x ve y resmin herhangi bir yerindeki ekstenel koordinatlarıdır. f fonksiyonu ise x ve y koordinatında bulunan görüntü parçacığının genlik değeridir. Bu değer bulunduğu koordinatın yoğunluğu veya gri seviyesi olarak adlandırılır. Her görüntü bu değer ve koordinata sahip olan, sınırlı sayıda ve bütünden parçaya doğru ilerleyen resim ve piksel öğelerinden oluşur. Tek renkli görüntüler gri olarak adlandırılır. Renkli görüntüler ise kırmızı (R-red), yeşil (G-green), mavi (B-blue) birleşimi olan RGB olarak isimlendirilir.

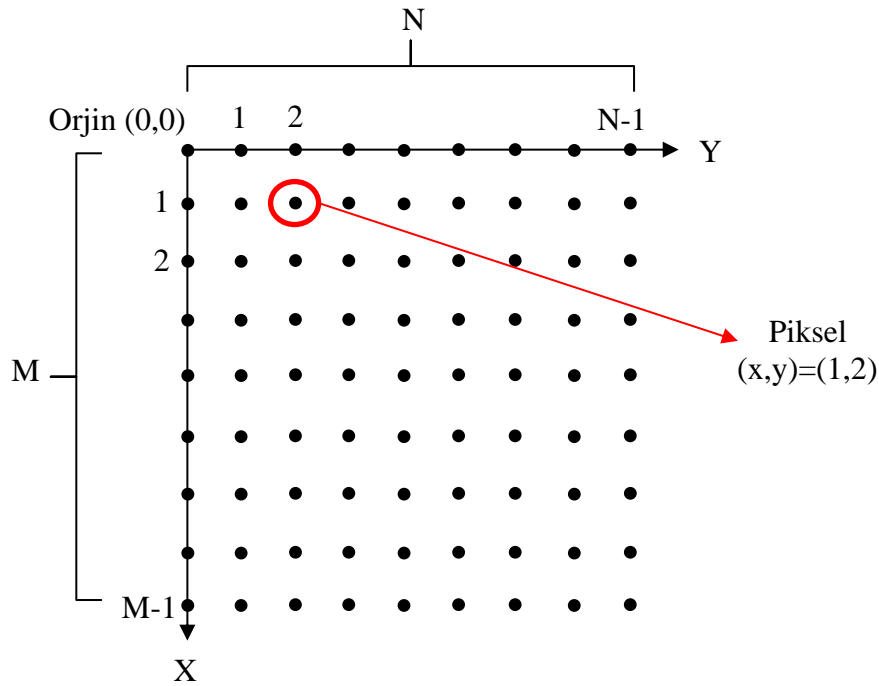
Bir görüntü üzerinde belirli işlemler yapıldıktan sonra görüntüdeki nesne ve kavramlar hakkında öz nitelik çıkarımları yapılır. Bu çıkarım süreci görüntünün karmaşıklığı, kalitesi, nesnelerin sınırlarının belirginliğine göre değişiklik gösterebilir. Görüntü işleme, görüntünün elde edilip, işlenebilir hale getirilmesi ile başlar.

3.3.1 Koordinat sistemi

Görüntüler, kaydedildiği cihazların piksel kapasitesine göre $M \times N$ boyutunda bir matris olarak kaydedilirler. Görüntünün kalitesi arttıkça birim alan başına piksel değeri yani M (sıra) ve N (sütun) değerleri artar. Bir pikselin koordinat değerini belirlemek için $M \times N$ lik bir matrisde karşılık gelen x ve y değerleri bulunur (Şekil 3.14). x ve y değerleri tamsayıdır. X ve Y ekseninde her bir yer değiştirme için x ve y değerleri birer artırılarak yeniden konum

değeri hesaplanır. Her görüntünün sol üst köşesi orjin kabul edilir ve burada $(x,y)=(0,0)$ değerindedir. Görüntünün sağ alt köşesi $(x,y)=(M,N)$ değerindedir.

Video görüntüleri için üçüncü bir değişken olan zaman (t) değişkeni eklenmektedir. Video kaydedici cihazın saniyedeki alabileceği görüntü sayısı fps (frame per second) kavramı her sahneyi farklı kılan bir değişkendir. Bu değişkenin eklenmesi ile birlikte dinamik görüntülerde koordinat sistemi $(x,y,t)=(M,N,fps)$ şeklinde gösterilir (Burger & Burge, 2013).



Şekil 3.14 : Görüntü koordinat sistemi ve piksel gösterimi

3.3.2 Histogram

Histogram, bir görüntüdeki renklerin kaçar adet pikselde görüldüğünü hesaplayan bir işlemdir. Özellikle renkler arasındaki kontrastın artırılması istenildiğinde kullanılan bir yöntemdir. Örneğin gri bir resimdeki herhangi bir pikselin grilik seviyesi s olarak ifade edilirse, o seviyenin histogramı (h), s 'nin görüntüdeki toplam sayısına (n) eşittir (3.11).

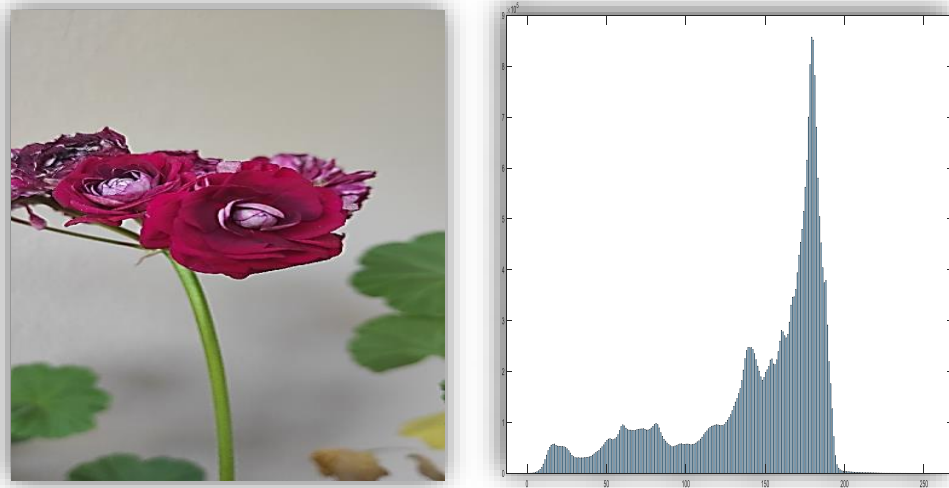
$$h(s) = n_s \quad (3.11)$$

Histogram görüntü üzerindeki bir çok düzenlemenin temelini teşkil eder. Görüntünün histogram dağılım grafiğine göre (Şekil 3.15) parlak, mat, renkli, koyu vb. bölgelerin tüm

piksellere normalize edilmesi veya bir yerde toplanması ile netleştirme, geliştirme, düzenleme, bölümlendirme, sıkıştırma gibi işlemler yapılabilmektedir.

Görüntülerin histogram analizi yapıldıktan sonra, kontrastın veya netliğin fazla olduğu bölgeler tüm görüntüye normalize edilerek daha net bir görüntü elde edilebilir. Bu amaçla grilik seviyesi (s) değerinin yoğunluk fonksiyonu (y_s) tüm görüntüye integral alınarak uygulanır (3.12). Histogram eşitleme (E) olarak adlandırılan bu uygulama görüntüler üzerinden veri elde etme işlemi kolaylaştırmaktadır (Wells, 2001) . Denklemdaki u integral değişkenidir.

$$E(s) = \int_0^s y_s(u) du \quad (3.12)$$



Şekil 3.15 : Görüntü histogram grafiği.

3.3.3 Görüntü eşikleme

Eşikleme (threshold), görüntüden elde edilmek istenen verilerle ilgili olmayan, görüntü işleme aşamalarını zorlaştırıcı etkiye sahip nesnelerin ayrıştırılmasını sağlayan bir işlemdir. Eşikleme ile görüntüleri siyah beyaza çevirme, arka planı kaldırma, belirli boyutlardan küçük olan nesnelere silme, kenar çizgilerinin ayırt edilmesi, bazı nesnelerin belirgin hale getirilmesi gibi kolaylaştırıcı işlemler yapılmaktadır. Eşik değeri T, görüntüdeki herhangi bir piksel, piksel bölgesi veya resmin tümüne uygulanabilir. $f(x,y)$ olarak ifade edilen genlik değeri belirlenen T değeri üstü ve altına indirgenebilir. $f(x,y) > T$ veya $f(x,y) < T$ işlemleri teker teker ya da birlikte kullanılarak görüntüdeki nesnelere seçilebilir. Seçilen nesnelere yeni

değerler atanarak (örneğin gri resmi siyah beyaza (1,0) çevirme işlemi) sonraki aşamalarda hesaplama kolaylığı sağlanabilir (Zhu ve diğ., 2007) .

Eşikleme yapılırken histogram grafiğinde genlik değerlerinin dağılımı kullanılabilir. Özellikle birden fazla eşik değerinin tespit edilmesi ve ortalama eşik değerlerinin hesaplanması ile, karmaşık görüntülerde arka plan seçimi yapılabilir.

Video görüntülerinde aydınlatmanın etkisi ile her bir görüntüde eşik değerini değiştirmek gerekebilir. Bu gereklilik dinamik görüntülerin işlenmesinde sürekli hesap gerektirmekte ve gecikmelere neden olmaktadır. Bu sebeple eşik değerinin (T) herbir görüntüde yeniden belirlenmesini sağlayan uyarlanabilir bir sistem oluşturulmaktadır. Eşik değeri görüntü içerisinde herhangi bir nesne, bölge veya genlik değerine göre yeniden belirlenebilmektedir.

3.3.4 Renkli, gri ve siyah-beyaz görüntüler

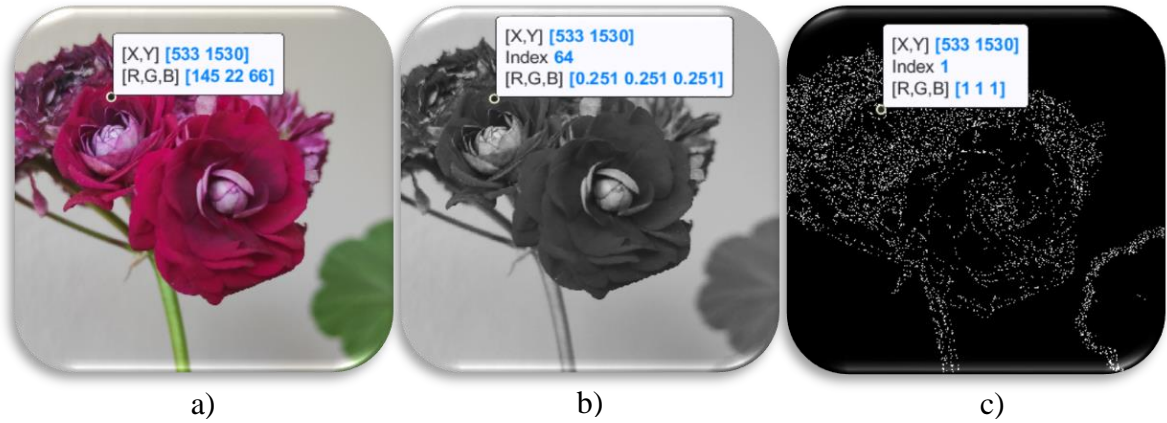
Sayısal görüntü işlemenin ilk aşaması, görüntülerden ne tür veriler elde edileceğine bağlı olarak renkli, gri veya siyah-beyaz dönüşümünün sağlanmasıdır. Kameralar ile çoğunlukla renkli (RGB) görüntüler elde edilmektedir. Görüntülerden alınmak istenen verilerin renk farklılıklarına bağlı olduğu durumlarda (Örnek; sıcaklık, ton farkı vb.) RGB görüntüsü üzerinden işleme yapılmaktadır. Bu işlem kırmızı, yeşil ve mavi renkler için ayrı ayrı matris hesaplamaları gerektirmektedir (Şekil 3.16a). Gri görüntülerde 3 farklı değere sahip olan her bir piksel tek değere indirgenmektedir (Şekil 3.16b). Bu sebeple renklerden ziyade şekillerin önemli olduğu görüntüler griye çevrilerek hesaplama kolaylığı sağlanmaktadır. Görüntülerin griye çevrilme işlemleri bir çeşit tonlama ve komşu değer ilişkisinden oluşmaktadır. Renkli resimlerdeki piksel değerleri komşu piksel değeri ile karşılaştırılarak beyaz ve siyah renkler arasında tonlanmaktadır. Böylece renkli görüntüde piksel değeri daha yüksek olan bölümler siyaha yakın, daha az olan bölümler ise beyaza yakın görülmektedir. Gri resmin (G) piksel değeri (p) kırmızı, yeşil ve mavi piksel değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır (3.13).

$$G_{gri}(p) = \frac{G_R(p)+G_G(p)+G_B(p)}{3} \quad (3.13)$$

Renkli ve gri görüntülerde, nesnelerin boy, en, merkez nokta, uzunluk, şekil, eğim, alan vb. matematiksel verilerini hesaplayabilmek için sınır bölgelerinin tek bir bit (1,0) ile ifade edilmesi hesaplamaları kolaylaştırmaktadır. Bu türdeki görüntü binary (siyah-beyaz) olarak isimlendirilmektedir (3.14). Bu amaçla belirlenen eşik değerinin (d) altında kalan yerler

siyah yani “0”, üzerindeki yerler ise beyaz yani “1” olmak üzere siyah-beyaz olarak temsil edilmektedir (Şekil 3.16c). Bu işlem görüntülerin renk veya ton farkından ziyade form farklılıklarının sınırlarını çizmektedir. Bu sebeple ölçümsel veya geometriksel görüntü işleme operasyonlarında, görüntüler önce griye sonra ise siyah-beyaza çevrilirler (Burger & Burge, 2013).

$$G_{binary}(p) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } G_{gri}(p) \geq d \\ 0 & \text{aksitakdirde} \end{cases} \quad (3.14)$$



Şekil 3.16 : Renklerine göre görüntüler a) Renkli (RGB) b) Gri c) Siyah-beyaz

3.3.5 Görüntü filtreleme

Filtreleme, nesnelerin görüntüsüne ait olmayan çevresel ve iletim araçlarından kaynaklanan gürültü ve bozuklukların giderilmesi işlemidir. Görüntü üzerinde rastgele oluşan noktalar, bazı bölgelerin daha beyaz çıkması veya normal bir dağılıma sahip genlik hataları filtreleme ile giderilmektedir. Aynı zamanda resim yumuşatma veya bulanıklaştırma için filtreler kullanılmaktadır.

Görüntü işlemede farklı filtreleme uygulamaları bulunmaktadır. Buna karşın filtreleme aşamaları birbirine benzer şekilde ilerlemektedir. İlk olarak maske boyutu belirlenir (m,n). Buradaki mxn her zaman tek sayı olmalıdır. Filtreleme uygulanacak alan seçildikten sonra bu alanın merkez noktası (x,y) belirlenir. Kullanılan filtrenin matematiksel işlemleri bu noktaya uygulanır. Filtreleme işlemleri her bir piksel ve komşu pikselleri değerlendirilerek yapılır. Bu işlemler; komşu piksellerin genlik değerlerinin ortalamasının alınması, değerlerin belli bir katsayı ile çarpılıp bölünmesi, belirli bir değer ile toplanıp çıkarılması, aralarındaki ilişki düzeyine göre normalize edilmesi gibi matematiksel uygulamalardır. Filtre işlemi

merkez piksel için uygulandıktan sonra tüm piksellere aynı şekilde uygulanır (İftikhar, 2011).

Filtrelemede maskenin büyüklüğüne göre merkez pikselin etrafındaki pikseller aynı maske ile çarpılarak toplanır ve o pikselin yeni değeri hesaplanır. Örneğin 3x3 lük bir q filtresinin elemanları denklem 3.15’de görüldüğü gibidir.

$$q = \begin{pmatrix} (1,1) & (1,2) & (1,3) \\ (2,1) & (2,2) & (2,3) \\ (3,1) & (3,2) & (3,3) \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

q filtresinin görüntüdeki herhangi bir $f(x,y)$ pikseline uygulanışı sonrasında pikselin yeni değeri K denklem 3.16’de görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} K = & q(1,1)f(x-1, y-1) + q(1,2)f(x-1, y) + q(1,3)f(x-1, y+1) + \dots \\ & q(2,1)f(x, y-1) + q(2,2)f(x, y) + q(2,3)f(x, y+1) + \dots \\ & q(3,1)f(x+1, y-1) + q(3,2)f(x+1, y) + q(3,2)f(x+1, y+1) \end{aligned} \quad (3.16)$$

3.3.6 Kenar yakalama

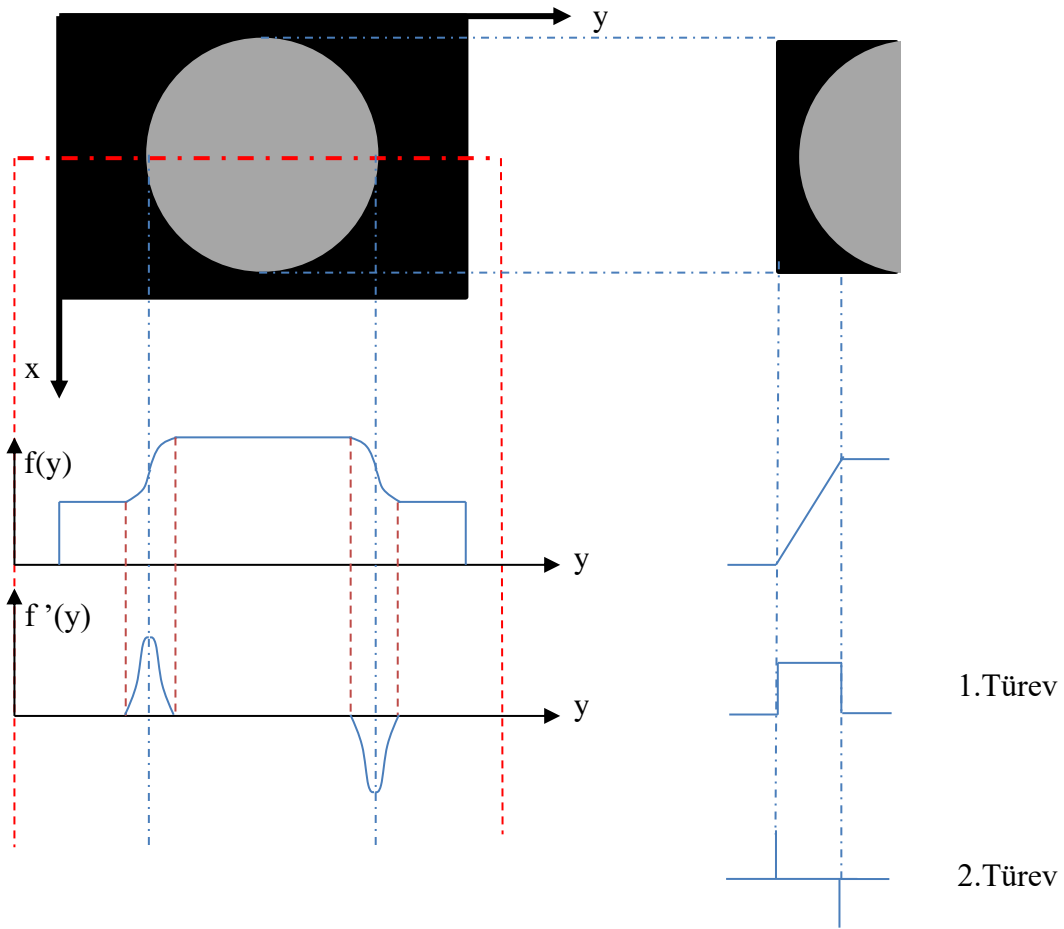
Görüntülerdeki nesnelerin renk, yoğunluk, parlaklık gibi belirgin değişiklikleri onların kenar veya dış hatları gibi önemli özelliklerinin tespit edilmesini sağlamaktadır. Bir görüntüde ne kadar süreksiz yapı varsa ayırt edilebilen nesne ve özellik okadar çok olmaktadır. Kenar yakalama olarak bilinen bu işlem farklı yöntemler ve görüntü keskinleştirme çalışmaları ile birlikte uygulanmaktadır (Nadernejad ve diğ., 2008).

Kenar yakalama temel olarak bölgesel genlik değerlerinin anlamlı olarak değişimi ile tespit edilir. Temel kenar belirleme yöntemleri, genlik fonksiyonlarının türevi alınarak hesaplanır. Şekil 3.17’de basit bir görüntüde, siyah kutu içerisinde beyaz daire görülmektedir. Bu dairenin gri seviye veya genlik profili $f(y)$ -y grafiğinde verilmiştir. Buna göre aynı x konumunda y noktasını görüntü boyunca ilerlettiğimizde piksel değerinin değişimi görülmektedir. $f(y)$ fonksiyonu ile tanımladığımız bu profilin birinci türevini alındığında görüntü içerisinde o bölgede herhangi bir kenarın olup olmadığını tespit edilir (3.17). Aynı fonksiyonun ikinci türevi ise kenarın ayırım noktasının hangi tarafında kaldığını belirtir. İkinci türevin sıfır olması kenar çizgisinin tam ortadan geçtiğini göstermektedir.

$$f'(u) = \frac{df}{du}(u) \quad (3.17)$$

Bu işlem x ve y doğrultularında adım adım yapılarak birinci türevde yoğunluğun çok olduğu yerlerden daha az olduğu yerlere doğru türev pozitif değerden negatif değere geçer. Geçişteki tepe noktaların olduğu yerler sınır bölgesi olarak işaretlenir.

Kenar belirleme işlemi, sınırı oluşturan piksellerdeki kesintiler, aydınlatma ve titreşim gibi çevresel sorunlar nedeni ile tam olarak tespit edilemeyebilir. Bu olumsuzluk çoğunlukla filtreleme uygulaması ile giderilebilmektedir. Giderilemeyen durumlarda ise bölgesel kenar birleştirme yapılarak piksellerin eksik kalan kısımları tamamlanmaktadır.



Şekil 3.17 : Kenar yakalama uygulaması şematik görünümü.

Herbir piksel için yapılan kenar yakalama işlemi görüntünün iki eksenı boyunca uygulanır. Bu uygulama genlik fonksiyonlarının iki eksenı boyunca kısmi türevinin alınması ile gerçekleştirilir. u ve v eksenı boyunca görüntünün kısmi türevi denklem 3.18'de görülmektedir.

$$\frac{dG}{du}(u, v) \text{ ile } \frac{dG}{dv}(u, v) \quad (3.18)$$

u ve v noktasındaki görüntünün fonksiyonu gradyan vektörü (∇G) olarak isimlendirilir (3.19).

$$|\nabla G|(u, v) = \sqrt{\left(\frac{dG}{du}(u, v)\right)^2 + \left(\frac{dG}{dv}(u, v)\right)^2} \quad (3.19)$$

Pratikte gradyan unsurlarının tahmini için kullanılan filtreler ve bu unsurların bir araya getirilme şekline göre farklı kenar yakalama operatörleri kullanılmaktadır. Bu operatörlerin en yaygın kullanılanları prewitt, sobel, roberts cross, compass ve canny olarak sıralanmaktadır. Aşağıda herbir kenar yakalama operatörünün matematiksel modelleri anlatılarak şekil 3.18a'da gösterilen takım görüntüsüne uygulanmıştır.

Sobel operatörü 3x3 matristen oluşan bir filtre kullanmaktadır. Bu matrisler dikey ve yatay sınırlar yanı sıra köşegen şeklindeki kenarları bulmak için kullanılır. Sobel operatörü bir resmin sınırlarına karşılık gelen bölgesel yüksek frekans sınırlarını ortaya çıkarır (Şekil 3.18b). Sobel operatörü için kullanılan gradyan matrisi E^S denklem 3.20'da görülmektedir.

$$E_u^S = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ ile } E_v^S = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Bu matrisler, yatay ve dikey olarak görünen kenarlar için ayrı ayrı olacak şekilde düzenlenmiştir. Matrisler kenarı bulunmak istenen bölgelere birbirinden bağımsız uygulanabilir. Böylece her bir yön için pikselin değeri ayrı ayrı ölçülmüş olur. Filtre matrisler görüntünün uygulanacak bölümlerinin genlik fonksiyonları ile çarpılıp türevi alınır. Eğimli kenarların yönünü ve açısını bulmak için denklem 3.21 uygulanmaktadır.

$$Açıs = \tan^{-1}\left(\frac{E_u}{E_v}\right) \quad (3.21)$$

Görüntünün 3x3 lük bir piksel alanındaki fonksiyonlarının türevi alınarak sobel matrisi ile çarpılması sonucunda denklem 3.22 elde edilir. Uygulama yapılan pikselin yaklaşık sobel değeri denklem 3.23 ile hesaplanmaktadır.

$$|\nabla G| \times \begin{bmatrix} E_u^S \\ E_v^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |-G_1 + G_3 - 2G_4 + 2G_6 - G_7 + G_9| \\ |-G_1 + 2G_2 + 2G_3 - G_7 - 2G_8 - G_9| \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$|\nabla G| \times E^S(u, v) = \sqrt{(|\nabla G|E_u^S)^2 + (|\nabla G|E_v^S)^2} \quad (3.23)$$

Prewitt operatörü sobel ile aynı tip filtreyi kullanmaktadır (Şekil 3.18c). Fakat filtrenin matris katsayıları farklılık göstermektedir. Denklem 3.24'de prewitt gradyan matrisi görülmektedir.

$$E_u^P = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ ile } E_v^P = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Sobel ve prewitt operatörlerine ait gradyan matrisleri belli oranlarda küçültülerek daha az hatalı hassas sonuçlar elde edilebilmektedir.

Robert cross operatörü basit ve hızlı uygulanabilen bir operatördür. Görüntüdeki iki boyutlu geçişlerde başarılı bir kenar yakalama yöntemidir. Özellikle keskin kenarların bulunmasında üstünlük sağlamaktadır (Şekil 3.18d). Filtreleme işleminde 2x2 boyutlarında gradyan maskesi kullanılır(3.25). Bu sebeple bulanık kenarları çok iyi tespit edememektedir. Tespit edilebilen bulanık kenarlar çok ince çizgilerle temsil edilir. Operatörün uygulaması matematiksel olarak sobel ile benzerdir.

$$E_u^{RC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \text{ ile } E_v^{RC} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Robert cross operatörünün matrisi resmin ızgarasına 45° açıyla durmaktadır. Görüntüde 2x2'lik bir alana uygulanan operatörün denklemi 3.26'de görülmektedir.

$$|\nabla G| \times \begin{bmatrix} E_u^{RC} \\ E_v^{RC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |G_1 - G_4| \\ |G_2 - G_3| \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Pikselin Robert Cross değeri denklem 3.23'de verilen denklem ile hesaplanmaktadır. Operatör matrisinin eğiminin 45° olması nedeni ile kenar çizgisinin eğim açısı denklem 3.27 ile hesaplanmaktadır.

$$Açıl_{RC} = \tan^{-1} \left(\frac{E_u}{E_v} \right) + 45 \quad (3.27)$$

Compass algoritması kenarların her iki tarafındaki renk geçiş farkını kullanan algoritmaya sahip bir operatördür (Şekil 3.18e). Bu operatörde piksel değeri, çekirdek matrisin 8 farklı yönde döndürülerek en yüksek değerin seçilmesi ile hesaplanır. Bu sayede kenar çizgilerinin en iyi yönelim koordinatları bulunmuş olmaktadır. Matrisin kullanıldığı açı ise o kenara ait ilerleme yönünü de vermiş olmaktadır. Önceki operatörlerde E_u ve E_v şeklinde birbirine dik iki yön kullanılarak, ara açıları bu iki yönün birleşimi ile hesaplanırken, compass operatöründe 8 adet yön (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315) kullanılmaktadır. Bu avantaj hem hat olarak hemde kalınlık olarak kenarların daha belirgin olmasını sağlamaktadır (Ganesan & Sajiv, 2018). Algortimanın işlem süresi diğer operatörlere göre daha uzun olmaktadır. Algoritmanın matematiksel anlamış şu şekilde gösterilebilir. Compass operatörünün gradyan matrisi denklem 3.28'de görülmektedir.

$$\begin{aligned}
E_0^C &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & E_1^C &= \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} & E_2^C &= \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \\
E_3^C &= \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} & E_4^C &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} & E_5^C &= \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix} \\
E_6^C &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} & E_7^C &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{3.28}$$

Herbir filtre çıktısı (C) görüntü genlik fonksiyonları ile filtrelerin çarpımının türevi alınarak hesaplanır (3.29). Kenar çizgisini oluşturan piksel değeri 8 adet filtre çıktısının maksimumu bulunarak hesaplanır (3.30).

$$C_0 \rightarrow G \times E_0^C \dots \dots C_3 \rightarrow G \times E_3^C \dots \dots C_7 \rightarrow G \times E_7^C \tag{3.29}$$

$$C_{max} = \max (C_0(u, v), C_1(u, v), C_2(u, v), C_3(u, v), C_4(u, v), C_5(u, v), C_6(u, v), C_7(u, v)) \tag{3.30}$$

Kenar çizgisinin eğim açısı (3.31);

$$Açıl_C(u, v) \cong \frac{\pi}{4}j, \quad j = \operatorname{argmax} C_i(u, v), \quad 0 \leq i \leq 7 \tag{3.31}$$

argmax=noktaların en büyük değeri.

Canny, bir görüntüde birden fazla pikselin, yönlendirilmiş filtreler kullanılarak analiz edilmesi ve ayrı ayrı elde edilen sonuçların müşterek bir kenar haritası üzerinde birleştirilmesi şeklinde uygulanan operatördür (J. Canny, 1986). Canny diğer operatörler gibi gradyan yöntemini kullanmaktadır. Yani genlik fonksiyonlarının maskelenmesi ile ilk türevinin alınmasına dayanır. Kenarların kesin konumlarını bulmak için ikinci türevlerin sıfır temas noktalarını kullanır. Canny operatörünü diğer operatörlerden ayıran en önemli özelliği filtrenin yarıçapı kadar bir yumuşatma katsayısı (a) kullanmasıdır. Yumuşatma katsayısı sayesinde hatalı kenarların sayısı minimize edilirken, kenarlar en iyi konuma sabitlenir (Şekil 3.18f).

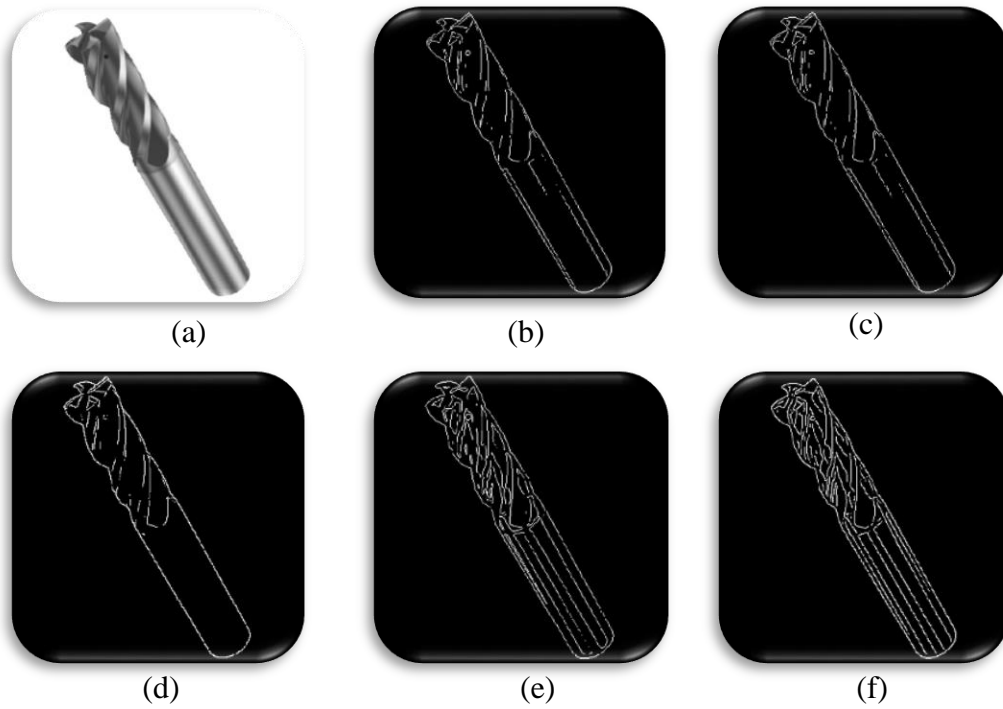
Bu metotta kullanılan 2x2'lik maskeleyme, u ve v eksen bileşenleri formuyla denklem 3.32'de verilmiştir.

$$E_u^{Can} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & -a \end{bmatrix} \text{ ile } E_v^{Can} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & -a \end{bmatrix} \tag{3.32}$$

Bir G görüntüsü üzerindeki $G(u,v)$ pikseli için yapılan Canny kenar tespit maskeleye işlemine ait gradyan değer çiftinin hesaplanması aşağıdaki gibi olmaktadır (3.33):

$$\begin{aligned} \text{Can}_u &= G(u, v) - G(u + 1, v) - a \times G(u + 1, v + 1) \\ \text{Can}_y &= G(u, v) - G(u, v + 1) - a \times G(u + 1, v + 1) \end{aligned} \quad (3.33)$$

Buradaki a değeri uygulama bölgesine göre değişiklik göstermektedir. Canny kenar tespit tekniğine yönelik birden fazla uygulama olmakla birlikte a değeri için çoğunlukla $0,707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$ değeri tercih edilmektedir. a sıfır değerini alabilmektedir.



Şekil 3.18 : Kenar yakalama operatörleri a)Orjinal takım görüntüsü b) Sobel operatörü c) Prewitt operatörü d) Robert cross operatörü e) Compass operatörü f) Canny operatörü

3.4 Total Diz Protezi Femoral Bileşen

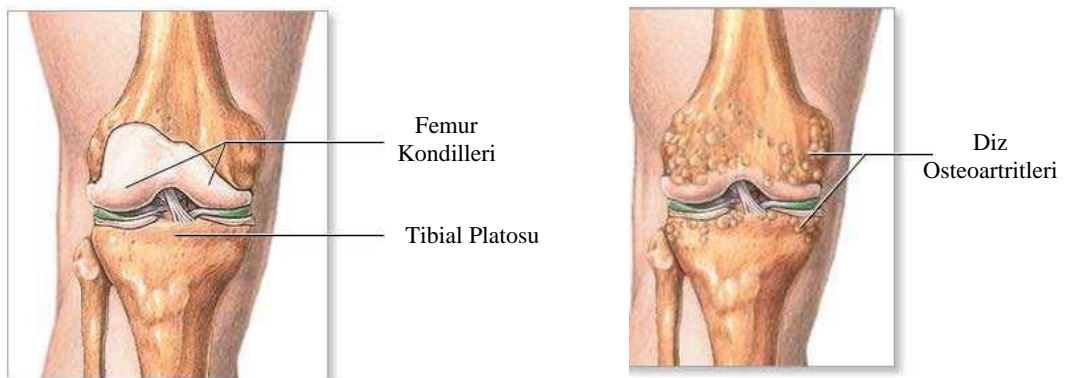
Total diz protezi, aşınmış olan eklem yüzlerinin, metal ve polietilenden imal edilen, ağırsız eklem hareketi için tasarlanmış özel parçalar ile kaplanarak yapay bir eklem oluşturulmasıdır (Akyer, 2009). Protezi oluşturan metal ve plastik parçalar, hareket sırasında ortaya çıkan sürtünmeye bağlı olarak zaman içinde aşınır. Aşınma ile ortaya çıkan ve gözle görülmeyecek kadar küçük metal ve plastik parçalarına karşı, vücudun cevabı ile diz protezinin parçaları

tutunduğu kemikten ayrılıp gevşemesine neden olmaktadır. Gevşeyen diz protezleri, çoğu hastada ikinci bir ameliyat ile çıkartılıp yeniden protez yerleştirilir, ancak ikinci protezin ömrü, ilki kadar uzun değildir. Uygun cerrahi teknik ve modern protez tasarımları kullanılarak yapılan diz protezlerinin ömrü günümüzde 10-20 yıla kadar uzamıştır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde genel nüfusun yaşlanma oranı artmış ve giderek de artmaya devam etmektedir. Nüfustaki bu değişimlerin sonucu olarak yaşlanan nüfusun en büyük problemlerinden biri olan diz eklemi protezlerinin ömürlerinin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kazalar veya spor yaralanmaları gibi sebeplere bağlı olarak gençlerde hatta çocuklarda bile osteoartritlerin erkenden başlanmasına neden olmaktadır.

Diz eklemi, üst tarafta Femur (Uyluk kemiği), alt tarafta Tibia (Kaval kemiği) ve ön tarafta da Patella (Diz Kapağı kemiği) tarafından oluşturulan bir eklemdir. Bu üç kemik arasındaki temas noktalarına göre üç kompartmanda değerlendirilebilir. Bu kompartmanlar;

- 1- Tibia ve Femur arasında diz iç kısmında yer alan “İç Kompartman”
- 2- Tibia ve Femur arasında dış kısımda yer alan “Dış Kompartman”
- 3- Patella ve Femur arasında ön kısımda yer alan “Ön Kompartman” , olarak sınıflandırılır.

Total diz artroplastisi (TDA) dizde dejeneratif bozuklukların neden olduğu deformite, ağrı ve hareket kısıtlılığının giderilmesinde konservatif ve diğer cerrahi yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda etkili bir yöntemdir. Şekil 3.19’da osteoartritler, dizin birleşme noktalarının da kıkırdak dokunun dejenerasyon ilerlemesi görülmektedir.

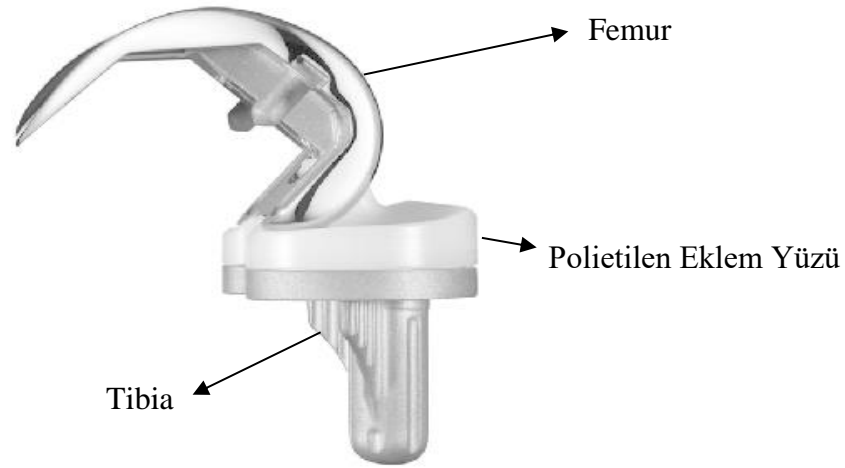


Şekil 3.19 : Osteoartritlerin oluşum şekilleri .

Osteoartrit diz eklemi ameliyatının ana sebebidir ve bu operasyonda femoral, tibial ve patellar eklem yüzlerinin değiştirildiği cerrahi bir tekniktir. Bu üç komponent, yapılan uygun kesilerden sonra femur, tibia ve patellaya kemik çimento yardımıyla ya da hidroksiapatit

poroz kaplı çimentosuz teknikle sabitlenir. Tibial komponentin üzerine tibiofemoral uyumu sağlayacak ve eklem çizgisine paralelliği sağlayacak kalınlıkta polietilen insert yerleştirilir. Gerek unikondiler (kısmi) implantlarda, gerekse total (tam) implantlarda, implant 3 ana parçadan oluşmaktadır (Şekil 3.20);

- 1- Femurun alt yüzeyini kaplayan metal “Femoral Komponent”
- 2- Tibianın üst yüzeyini kaplayan metal “Tibial Komponent”
- 3- Tibial komponent üzerine oturan poli-etilen “İnsert”



Şekil 3.20 : Diz protez bileşeni parçaları.

Femur ve tibia çoğunlukla titanyum alaşım (Ti6Al4V) ve kobalt krom molibden (CoCrMo) malzemedен üretilmektedir. Eklem yüzü ise kıkırdak esnekliğine benzemesi yönü ile yüksek moleküler yoğunluklu ultra hafif polietilen (UHMWPE) malzemedен üretilmektedir (Emir, 2019).

Bu parçalar içerisinde femur ve polietilen eklem yüzü birbirlerine temas ederek çalışmakta ve sürtünmeye maruz kalmaktadır. Vücut ağırlığı ve sürtünme kuvvetinin etkisi ile femur polietilen eklem yüzü üzerinde aşınmaya neden olmaktadır. Aşınma sonrası protez bileşenleri gevşemekte ve ikinci bir ameliyat ihtiyacı doğmaktadır (Şekil 3.21).

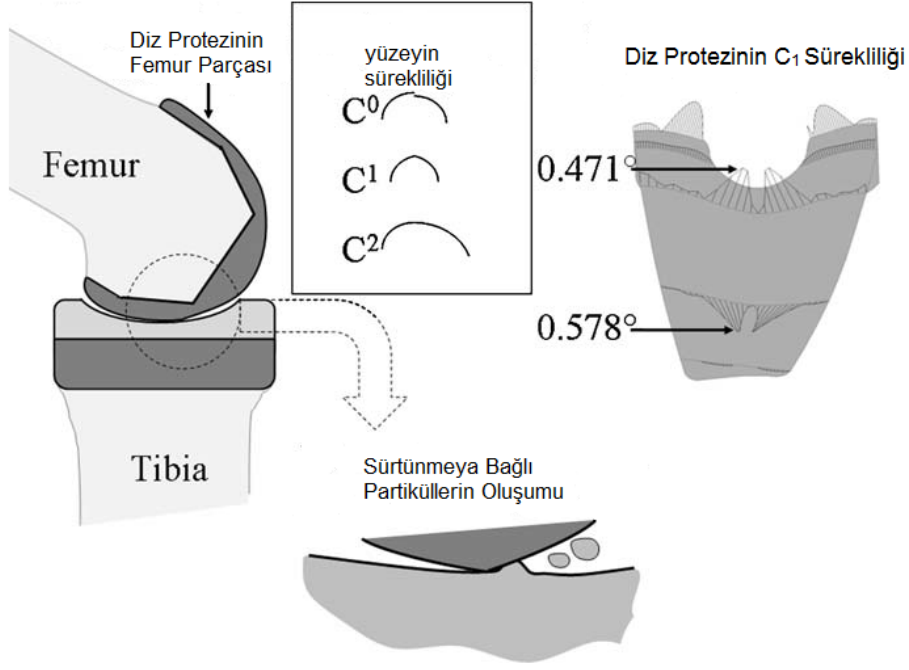
Polietilen eklem yüzünün aşınma süreci femur parçasının yüzeyindeki pürüzlülük ve form hataları nedeni ile hızlanmaktadır. Bu süreç içerisinde daha yavaş gerçekleşmesine rağmen femur parçasında aşınmaktadır.



Şekil 3.21 : Polietilen eklem yüzünün aşınması.

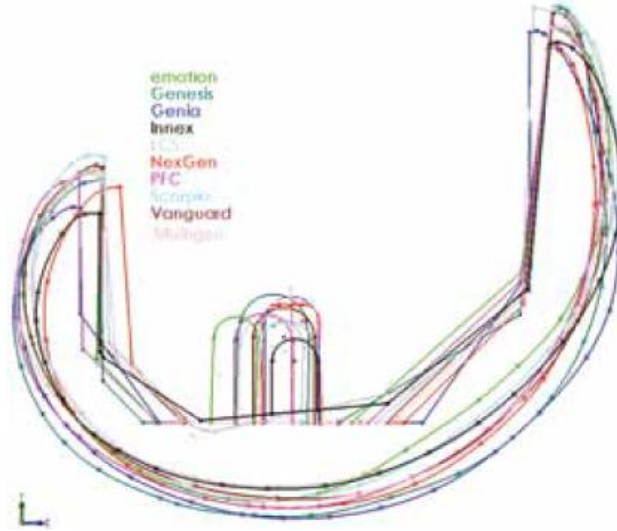
Döküm ve dökme yöntemleri ile üretilen femur bileşeni istenilen forma getirilmesi için önce frezeleme ardından yüzey partlatma işlemine tabii tutulmaktadır. Ti ve Co gibi sert alaşımlar yüksek sertliğe sahip olması nedeni ile işleme esnasında yüksek kesme kuvvetleri, takım aşınması, takım sehimine bağlı form hataları, gibi problemler ile karşılaşmaktadır (Markopoulos ve diğ., 2018a). Ayrıca parçanın serbest şekilli bir yüzeye sahip olması, kesme kuvvetlerini iniş ve çıkışlarda daha fazla artırmaktadır. Geometrik ayrıntıların çokluğu ve femur yüzeyinin pürüzsüz olma ihtiyacı frezelemede kullanılacak takımın küçük çapta olmasını gerektirmektedir. Özellikle frezelemenin finish operasyonlarında 3, 4 ve 5 mm çaplarında takımlar kullanılmaktadır. Takım çapının küçük, malzemenin sert ve parça geometrisinin karmaşık olması nedeni ile takıma etkiyen zıt kuvvetler sehime neden olmaktadır. Kullanım alanı sebebiyle hassas bir parça olan femur, takım sehiminin neden olduğu geometrik ve yüzey hatalarıyla daha hızlı aşınmaktadır.

(Chaves-Jacob ve diğ., 2011) aşınmaya bağlı olarak ortaya çıkan partikülleri azaltmak amacıyla diz protezlerinin sürtünme yüzeylerinin kalitesini artırmayı araştırmışlardır. Femoral implantların imalatından önce işlenmiş yüzeyler üzerindeki geometrik düzensizliklerin neden olduğu yüzeyleri geliştirmek için yeni bir polinom interpolasyon yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemle yüzeyin imalatında yüzey eğriliği ve eğimini kontrol etmeyi amaçlamışlardır.



Şekil 3.22 : Diz protezlerinin aşınmasına yüzey süreksizliklerinin etkisi (Chaves-Jacob ve diğ., 2011).

Özellikle femoral bileşenlerinin tasarım kriterlerine bağlı olarak firmaların geliştirdiği modeller dikkate alındığında bir çok eğrilik ve formda femur bileşeni üretilmektedir (Şekil 3.24).



Şekil 3.23 : Farklı firmalara ait diz protezlerinin yan düzlemden kesit görüntüsü (Zietz ve diğ., 2012).

Şekil 3.23’de görüldüğü üzere bir çok eğrilikten meydana gelen femoral bileşenin hassas olarak üretilmesi mikron seviyelerinde meydana gelen form hatalarının önüne geçerek, implantlarda imalata bağlı hata oranını azaltacaktır.

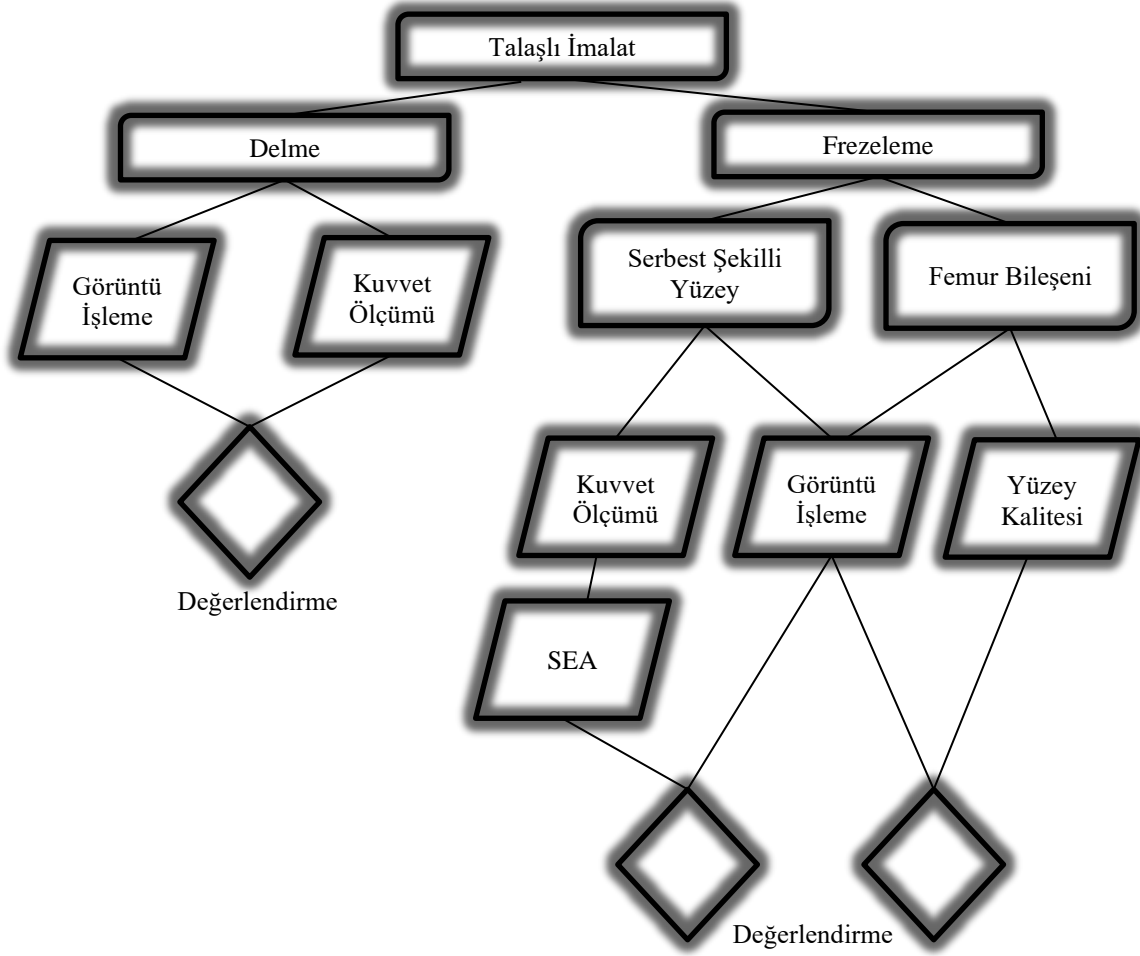
4. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde görüntü işleme yöntemi ile takım sehimi tespiti için kurulan deney düzeneği ve kullanılan malzemeler bulunmaktadır. Takım sehimi tespiti benzer deney düzeneği ile delme ve frezeleme olmak üzere iki farklı imalat üzerinde uygulanmıştır. Birinci uygulamada, delik açma sırasında matkabın düz bir yüzeye ilk girişindeki zıt kuvvetlerin etkisi ile oluşan takım sehimi incelenmiştir. İkinci uygulamada serbest şekilli bir yüzeyin frezelenmesi sırasında oluşan takım sehimi incelenmiştir. Son olarak femur bileşeni frezelenerek görüntü işleme ile takım sehimi hesaplaması yapılmıştır..

4.1 Deney Tasarımı

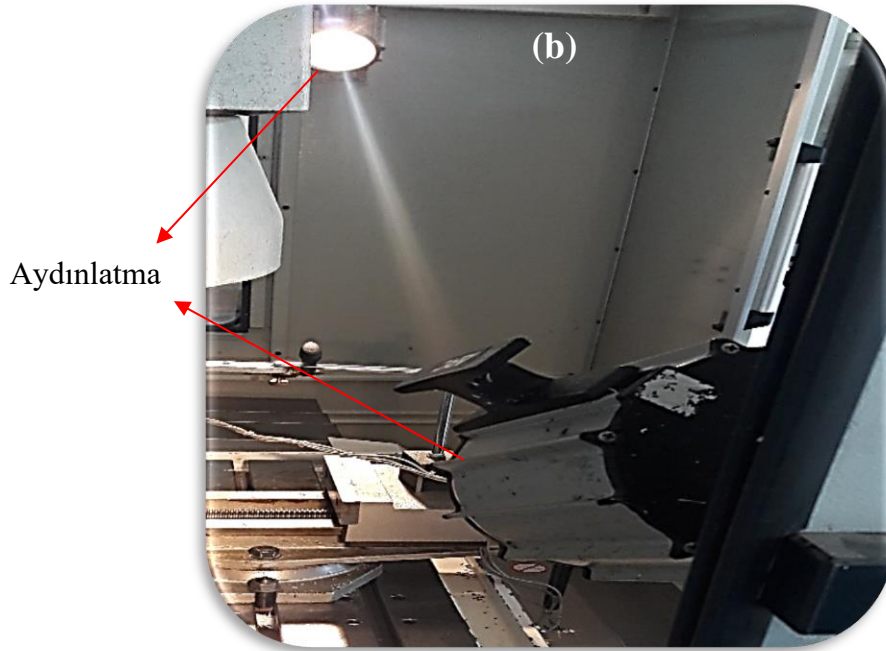
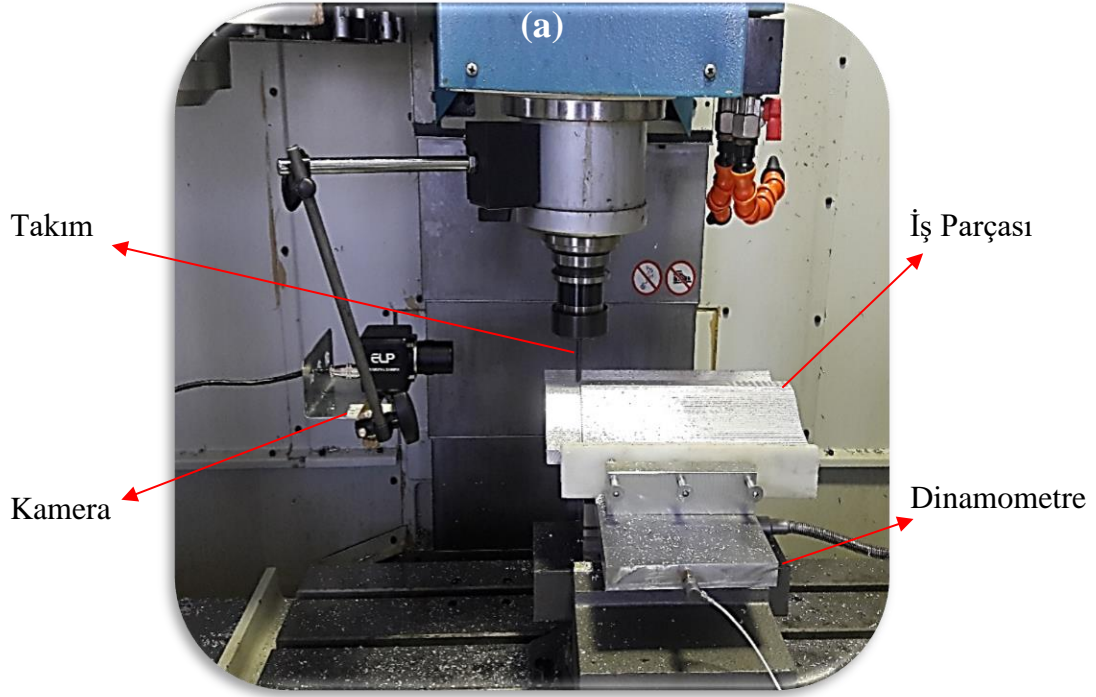
Deneyler delme ve frezeleme olmak üzere iki farklı talaşlı imalat yöntemi üzerinde tasarlanmıştır. Delme deneyi uygulanırken eş zamanlı olarak görüntü kaydı ve kuvvet ölçümü yapılmıştır. Veriler görüntü işleme metodu ile analiz edilmiş ve kuvvet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Frezeleme işleminde ilk olarak serbest şekilli bir yüzey işlenmiştir. İşleme sırasında görüntü kaydı ve kuvvet ölçümü yapılmıştır. Görüntü verileri işlenerek takım sehimi hesaplanmıştır. Kuvvet ölçüm sonuçları ile sonlu elemanlar analizi yapılarak elde edilen takım sehimi verileri görüntü işleme verileri ile karşılaştırılmıştır. İkinci uygulamada femur bileşeni işlenmiştir. İşleme sırasında görüntü kaydı alınmıştır. Görüntü işleme ile takım sehimi hesaplanarak form hataları değerlendirilmiştir (Şekil 4.1).

Deneylerde İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği atölyesinde bulunan TAKSAN marka CNC tezgâh kullanılmıştır. Tezgâh 5,5 kw iş mili motoru ve maksimum 8000 rpm işleme hızına sahiptir. Deneylerde soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Deneylerde kuvvet ölçümü için KISTLER 9257B marka dinamometre kullanılmıştır. Görüntüler 8MP ELP ve 12MP BASLER marka endüstriyel kameralar ile alınmıştır. Takımla birlikte hareket etmesi ve titreşimin azaltılması için kamera CNC tezgâhın kafa kısmına mıknatıslı aparatlarla sabitlenmiştir (Şekil 4.2a).



Şekil 4.1 : Talaşlı imalat deney tasarımı şeması.

Kamera ve takım arasındaki uzaklık işlenen parçanın şekli ve işleme yöntemine göre her deney için ayrıca ayarlanmış ve görüntü kalibrasyonu yapılmıştır. Daha net görüntü almak ve gölge oluşumunu engellemek üzere CNC tezgâh üzerinde bulunan 2 adet 600 lümen 3000 K sıcaklıkta günışığı spot aydınlatma kullanılmıştır (Şekil 4.2b). İşlenmiş yüzey incelemeleri için DINO-LITE AMK4112ZT-D15 marka dijital mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 4.2 : Görüntü işleme deney düzeneği a) Kamera, iş parçası, takım, dinamometre konumları b) Aydınlatma konumları.

Görüntülerin işlenmesi için gerekli kodlar Matlab 2018b programında yazılmıştır. Kuvvet ölçümlerine dayalı olarak Ansys 19.1 programında statik ve dinamik sonlu elemanlar analizi (SEA) yapılmıştır. Deneylerdeki tüm CAD çizimleri Solidwork 2018 programında

hazırlanmıştır. Aynı şekilde işleme için gerekli G-kodları Solidcam 2018 programında oluşturulmuştur.

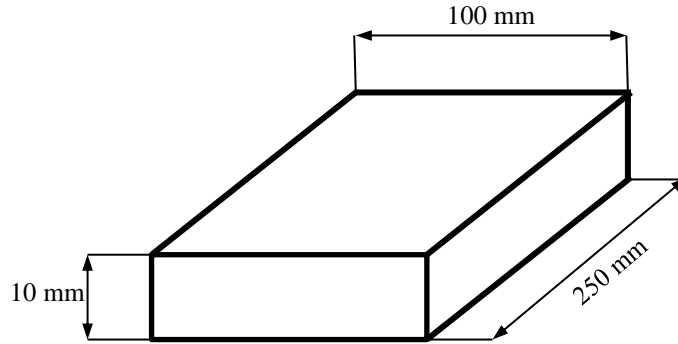
Delme ve serbest şekilli yüzey frezeleme deneylerinde ortak olarak AL7075 malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Al7075 malzemesinin kimyasal ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Bileşim (% ağırlık)									
Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others
89.5	0.0567	0.2763	1.4024	0.0108	2.3800	0.2009	6.0294	0.0778	0.0675
Mekanik Özellikler									
Isıl İşlem (Temper)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Akma Direnci (MPa)	Çekme Direnci (%)	Kesme Modülü (MPa)	Elastisite (GPa)				
T651	572	503	11	331	72				

4.1.1 Delik delme deney tasarımı

Delik delme deneyinde 250x100x10 mm ebatlarında Al7075 plaka kullanılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Delme deneyinde kullanılan iş parçasının form ve ölçüleri.

Deney 5mm çapında HSS matkap uçları ile yapılmıştır. Her deney için yeni matkap ucu kullanılmıştır. Deney 3 farklı ilerleme ve 3 farklı devir kullanılarak 9 set halinde uygulanmıştır. Deney parametre ve düzeyleri çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2 : Delme deneyinde kullanılan parametreler.

Parametreler	Düzeyler		
	1	2	3
İlerleme (mm/dev)	0.1	0.2	0.3
Devir (dev/dak)	1300	1800	2300

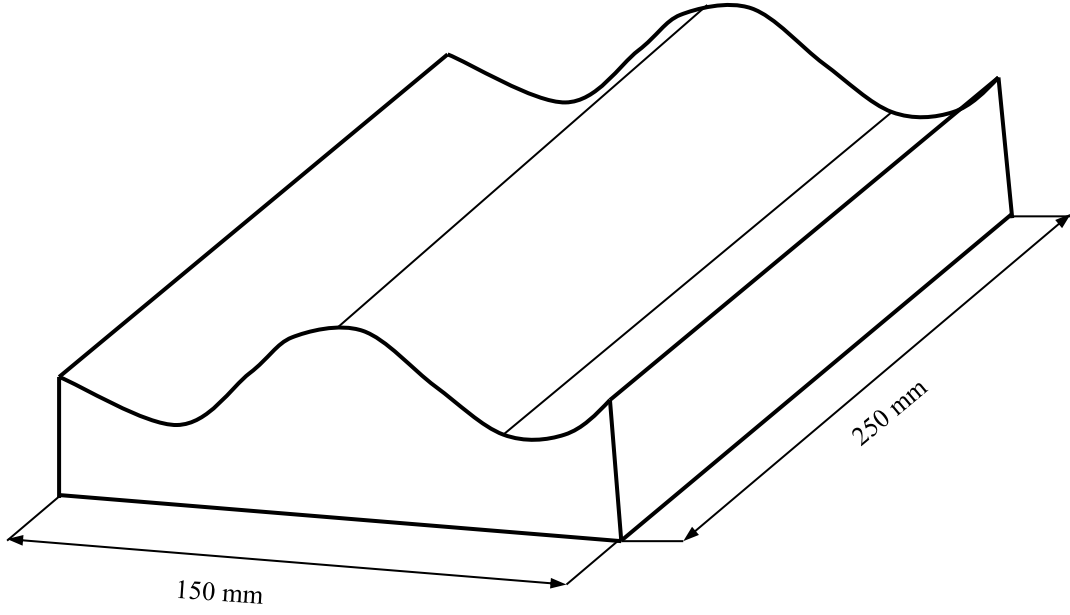
Deneyde kullanılan matkap uçlarının ölçüleri şekil 4.4’de görülmektedir. Kamera ile takım arasındaki uzaklık 10 cm olarak ayarlanmış ve odaklama yapılmıştır.



Şekil 4.4 : Delme deneyinde kullanılan matkap ölçüleri.

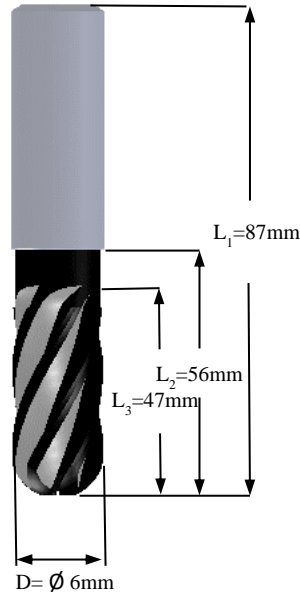
4.1.2 Serbest şekilli yüzey frezeleme deney tasarımı

Frezeleme deneyinde 250x150x50 mm ölçülerinde Al7075 malzemesi işlenmiştir. Takımın iniş ve çıkışlardaki sehimini ölçebilmek için yüzey serbest şekilli olarak tasarlanmıştır. Yüzey tasarımında B-Spline eğri yöntemi kullanılmıştır. Matlab ortamında eğrinin denklemleri hesaplanarak Solidwork programında 3B CAD tasarımı yapılmıştır. Yüzeyin görüntüsü ve ölçüleri şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5 : Frezeleme deneyinde kullanılan iş parçasının form ve ölçüleri.

Frezeleme işleminde 6 mm çapında 4 ağızlı WC (Tungsten-Carbur) küresel uçlu takım kullanılmıştır. Takımın ölçüleri şekil 4.6’da görülmektedir. İşleme 4000 dev/dak devir, 0.2 mm/dev ilerleme ve 0.2 mm paso derinliği parametreleri ile yapılmıştır. Sehimi daha net görebilmek için eğriye paralel takım yolu kullanılmıştır.



Şekil 4.6 : Frezelemede kullanılan takımın ölçüleri.

Kamera ile takım arasındaki uzaklık 15 cm olarak ayarlanmış ve odaklama yapılmıştır.

4.1.3 Femur frezeleme deney tasarımı

Femur bileşeni frezeleme deneyi finish işleme aşamasında yapılmıştır. Finish işlemede son paso verilerek yüzey formunun nihai geometrisi oluşturulmaktadır. Bu aşamada düşük paso değerinin sonucunda ince talaş tabakası işlenmektedir. Takım sehiminin yüksek olması ince talaş tabakasında büyük hatalara neden olmaktadır. Deney seti, bu durum gözetilerek uygulamalarda yaygın olarak kullanılan parametreler ile hazırlanmıştır. Deneylede iş parçası malzemesi olarak CoCrMo kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşen oranları çizelge 4.3’de, mekanik özellikleri çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : CoCrMo malzemesinin kimyasal bileşen oranları.

	Cr	Mo	C	Fe	Mn	Si	Ni	Co
%Bileşen	27.30	5.96	0.057	0.37	0.62	0.67	0.22	Kalan

Çizelge 4.4 : CoCrMo malzemesinin mekanik özellikleri.

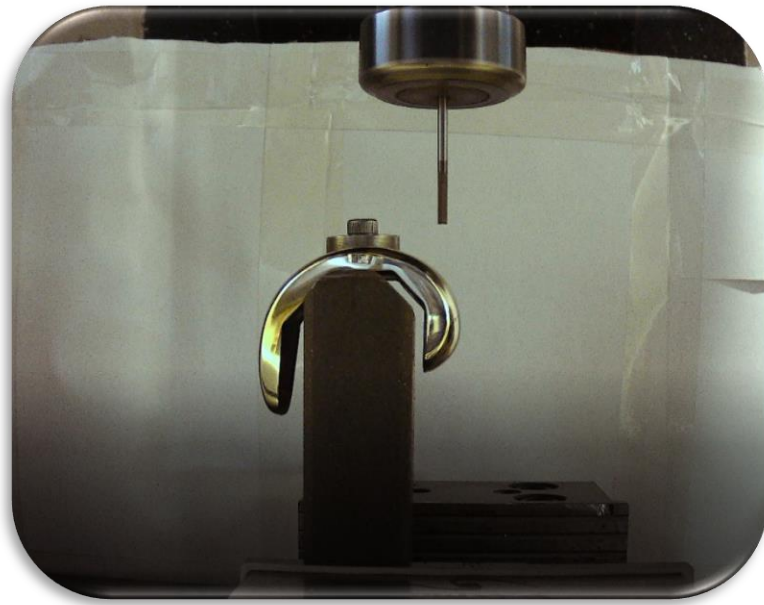
Özellik	Değer
Elastik Modülü (GPa)	220
Poisson’s Oranı	0.29
Sertlik (HRc)	35
Uzama (%)	14
Kopma Gerilmesi (MPa)	1020
Akma Gerilmesi (MPa)	600

Femur bileşeni CAD görüntüsü şekil 4.7’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.7 : Femur bileşeni CAD görüntüsü.

CoCrMo malzemesinin sert olması nedeni ile 5 mm karbür takım kullanılmıştır. Görüntü işleminin farklı tezgahlarda uygulanabilirliğini inceleyebilmek için, delme ve serbest şekilli yüzey frezeleme işlemlerinin yapıldığı tezgahtan farklı bir CNC tezgah kullanılmıştır. Frezeleme 2400 dev/dak devir ve 0.25 mm/dev ilerleme ve 0.2 mm paso derinliği parametreleri ile yapılmıştır. Kameranın takım ile birlikte eş zamanlı hareket etmesini sağlamak için mıknatıslı aparat ile takım tutucuya sabitleme yapılmıştır. Bu şekli ile kamera takımdan 20 cm uzağa konumlandırılmıştır. Deney setinin görüntüsü şekil 4.8'de görülmektedir. Frezeleme femur bileşenin yüzeye formu boyunca eğriye paralel takım yolu kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.8 : Femur bileşenin frezeleme deney seti.

4.2 Görüntü İşleme

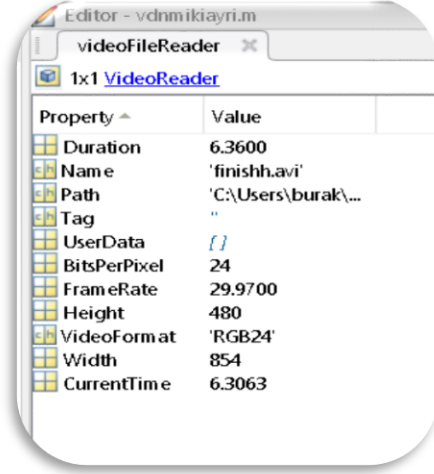
Görüntü işleme süreci, görüntünün elde edilmesinden takım sehiminin hesaplanmasına kadar 5 aşamadan oluşmaktadır (Şekil 4.9). Metodun oluşturulması aşamasında görüntüler kamera ile alınarak sahnelere çevrilmiş ve görüntü işleme ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Oluşturulan modele ait kodlar ile video kayıtlarından sehim ölçümü yapılabildiği gibi, dinamik görüntü alımı ile eş zamanlı ölçüm yapılmasına da imkân sağlamaktadır. Sürecin son aşamasında takımın harekete bağlı şekil değişimini gösteren video oluşturulmuştur. Bu bölümde her bir aşamada kullanılan görüntü işleme yöntemi ve bu yönteme ait fonksiyon ve kodlar açıklanmıştır. Kullanılan tüm kodlar, çalışmanın yapıldığı Matlab programı versiyonunda çalışabilirliğine göre seçilmiştir.



Şekil 4.9 : Görüntü işleme aşamaları.

4.2.1 Görüntü alma ve sahnelere dönüştürme

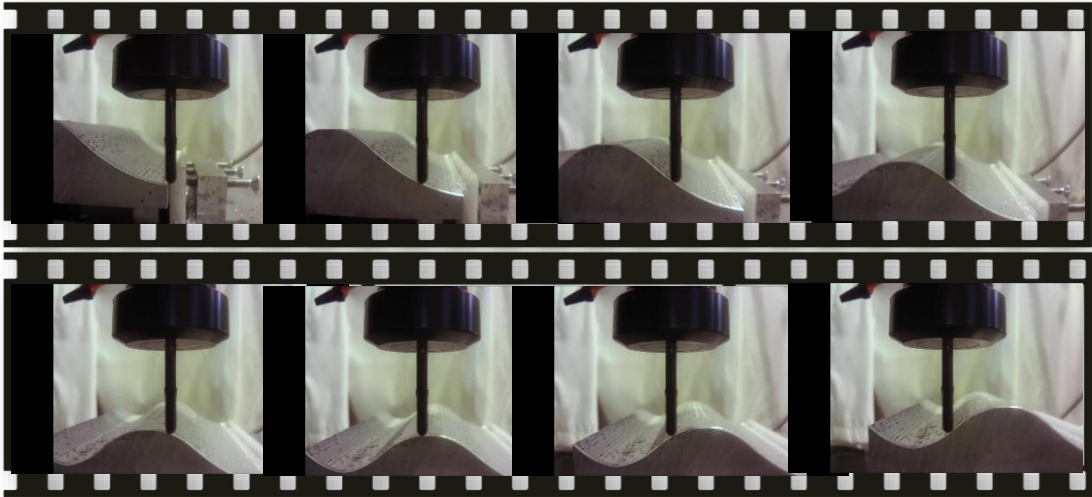
MATLAB programında görüntü işleme yöntemine ait bazı hazır fonksiyonlar bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar görüntü işleme sürecinde özellikle standart olarak tekrarlanan ve sıkça yapılan işlemleri içermektedir. Aynı şekilde bir videonun Matlab programına tanıtılması için birçok video şeklini destekleyen okuyucular bulunmaktadır. Modelde, Matlab programının versiyonuna uygun olarak seçilen “VideoReader” komutu kullanılarak CNC işleme görüntüleri Matlab ortamına aktarılmıştır. VideoReader komutu videoyu her bir piksel başına kapladığı alan, video süresi, saniyede yakaladığı sahne sayısı (fps), videonun görüntü formatı (gri, siyah beyaz, renkli), genişlik ve yükseklik bilgileri ile birlikte saklamaktadır (Şekil 4.10). Dinamik görüntü alımlarında, görüntü kameradan direk Matlab programına aktarılarak sonrasında benzer süreçler uygulanabilmektedir. Bunun için “videoinput” komutu kullanılarak görüntü alınacak kamera Matlab programına tanıtılmaktadır.



Property	Value
Duration	6.3600
Name	'finishh.avi'
Path	'C:\Users\burak\...
Tag	''
UserData	{ }
BitsPerPixel	24
FrameRate	29.9700
Height	480
VideoFormat	'RGB24'
Width	854
CurrentTime	6.3063

Şekil 4.10 : Görüntü işlemede kullanılacak videoların öz nitelik tablosu.

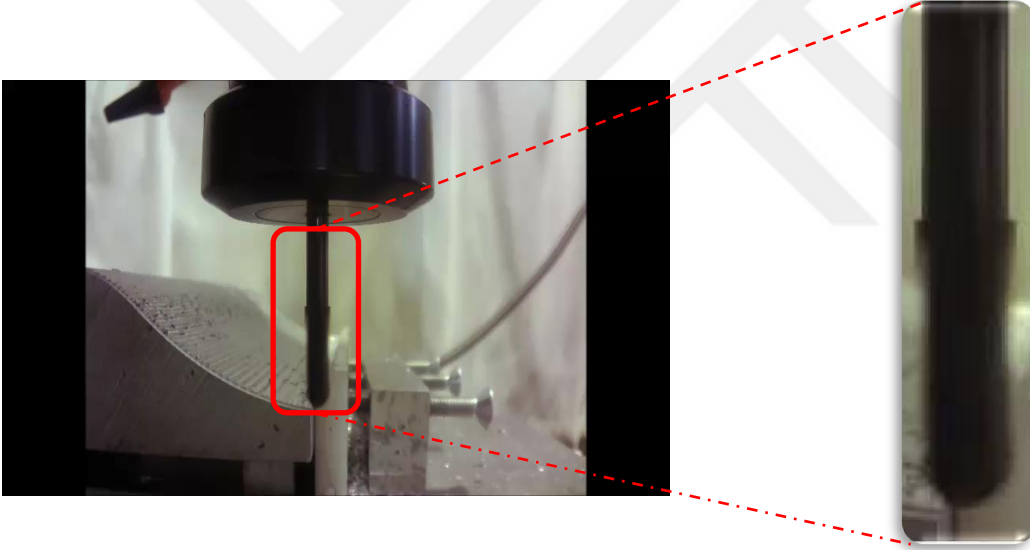
Bu süreçte ikinci aşama görüntülerin sahnelere ayrılmasıdır. İngilizce “frame” olarak tanımlanan sahne, birleştiğinde videoyu oluşturan her bir görüntüyü ifade etmektedir. Sahne görüntüleri Matlab programına yüklenen video üzerinden ikinci bir okuma yapılarak elde edilir. Bu ikinci okuma, Matlab versiyonuna uygun olarak seçilen ve videoyu sahnelere ayırarak kayıt altına alan “readFrame” komutu ile yapılmaktadır. Bu komut video yüklenirken elde edilen sahne sayısı kadar döngü halinde çalıştırılarak tüm sahneler bağımsız olarak saklanmaktadır (Şekil 4.11). Görüntü işleminin bu iki aşaması ile, görüntüler Matlab programına yüklenerek sahne sahne işlemeye hazır bir duruma getirilmiştir.



Şekil 4.11 : Frezeleme işlemine ait görüntünün sahnelere ayrılması.

4.2.2 Boyutlandırma

Görüntü işlemede, kamera lens açısının ulaştığı tüm bölgeler görüntü olarak kaydedilmektedir. Kaydedilen görüntü içerisinde hesaplama yapılmayan bölgeler veri fazlalığı ve karmaşasına neden olmaktadır. Bu sebeple görüntü işleme yapılacak bölgeyi görüntünün genelinden ayırmak için boyutlandırma yapılmaktadır. Çalışmada takım sehimi tespiti için, sadece freze ve delme takımlarının olduğu bölge kesilerek üzerinde görüntü işleme çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla her bir görüntü takımın tutucuya bağlandığı yerden başlayarak uç noktasına kadar belirlenen konumlardan kesilmiştir. Kameranın konumunun sabit olması ve takımlarla birlikte hareket etmesi nedeniyle takımın konumunun bir kez belirlenmesi yeterli olmaktadır. Matlab programında görüntü kesme işlemi “imcrop” komutu ile yapılmaktadır. Komuta verilen piksel koordinat bilgisine göre kesme işlemi yapılmaktadır. Alınan görüntülerde takımın konumu [383,172; 427,362] olarak belirlenmiş ve kesme işlemi yapılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 : Frezeleme işleminde takım görüntüsünün kesilmesi.

4.2.3 Görüntü dengeleme

Dinamik görüntülerde titreşim, görüntü işleme hesaplamaları süresince karşılaşılan önemli bir problemdir. Titreşim görüntüde bulunan nesnelerin şekil sınırlarını bulanıklaştırmakta ve gerçek boyutlarının hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Talaşlı imalat görüntülerinde, tezgahın çalışması sonucu ortaya çıkan titreşim ve dinamik görüntü kaynaklı titreşim ile karşılaşmaktadır. Titreşime maruz kalan görüntülerde kenar yakalama işleminin daha sağlıklı yapılabilmesi için görüntünün titreşimden arındırılması gereklidir. Titreşimden arındırma, görüntü işleme yapılacak cisim ile arka planın titreşime maruz kalma durumlarına

göre farklılık göstermektedir. Cisim ve arka planın her ikisinde titreşimi halinde, görüntü bulanıklaştırma ve giderme filtreleri kullanılarak titreşim frekansı bulunmakta ve görüntü titreşimden arındırılmaktadır (Yitzhaky, 2000). Fakat bu yöntemin uygulanmasında cisim ve arka plan arasındaki titreşim frekansının benzer ortalama ve varyansa sahip olduğu varsayılmaktadır. Arka planın sabit cismin titreşimi durumunda ise görüntü arka plana göre dengelenerek titreşimden arındırılmaktadır (Chen ve diğ., 2011). Görüntü dengeleme olarak isimlendirilen bu işlem özellikle hareketli cisimlerin kenar yakalama işlemlerinde sabit bir arka plan sağlanması durumunda etkili bir sonuç vermektedir (Chen ve diğ., 2009).

Görüntü dengeleme, bir veya daha fazla hareketli cisimden oluşan görüntülerde, durağan sahneleri veya arka planın uzak noktalarını takip ederek göreceli olarak diğerlerinden farklı olan hareketlerin bir sonraki konumlarını tahmin eder. Titreşim veya kamera konum hatalarından kaynaklanan görüntü sapmalarını giderir. Böylece özellikle titreşimden kaynaklı cisimlerin kenarlarındaki bulanıklık ve belirsizlik giderilerek daha stabil bir kenar yakalama sonucu elde edilmektedir.

Görüntü dengeleme adımları, görüntüdeki zamana bağlı olarak en az değişim gösteren noktaların komşuluk ilişkilerini belirleyerek, hareket yörüngesinin tespit edilmesi şeklinde uygulanır. Bu algoritma görüntü üzerinde hareket benzerliği olan en az iki bölge için yapılır. Son olarak sabit noktalardaki koordinat değişimi bütün görüntüye normalize edilerek cisimlerin nihai konumları belirlenir.

Görüntü dengelemede, arka planın sabit olma durumunda etkin bir yöntem olduğu için tercih edilen ölçüğe göre değişmeyen özellik dönüşümü (SIFT) algoritması kullanılarak görüntünün özelliklerini tanımlanır. Görüntü üzerindeki tüm noktaların (p_i) özelliklerindeki değişim toplamının (V_t), en düşük değere sahip olduğu noktalar dengeleme noktası olarak belirlenir. N tüm komşu noktaların kümesi, η_t komşu özelliklerin arasındaki denge katsayısı ve F^t , t zamanındaki konum özellikleri, $f_{F^t(i)}$ p noktasını içeren sahne olmak üzere, görüntüler arasındaki değişim miktarı (V) denklem 4.1'deki gibi hesaplanır (Ken-Yi Lee ve diğ., 2010);

$$V(F^t) = \sum_i \left\| c(p_i^t) - c(f_{F^t(i)}^{t+1}) \right\|^2 + \eta_t \sum_{(i,j) \in N} w_{ij} \left\| k_i^t(F^t) - k_j^t(F^t) \right\|^2 \quad (4.1)$$

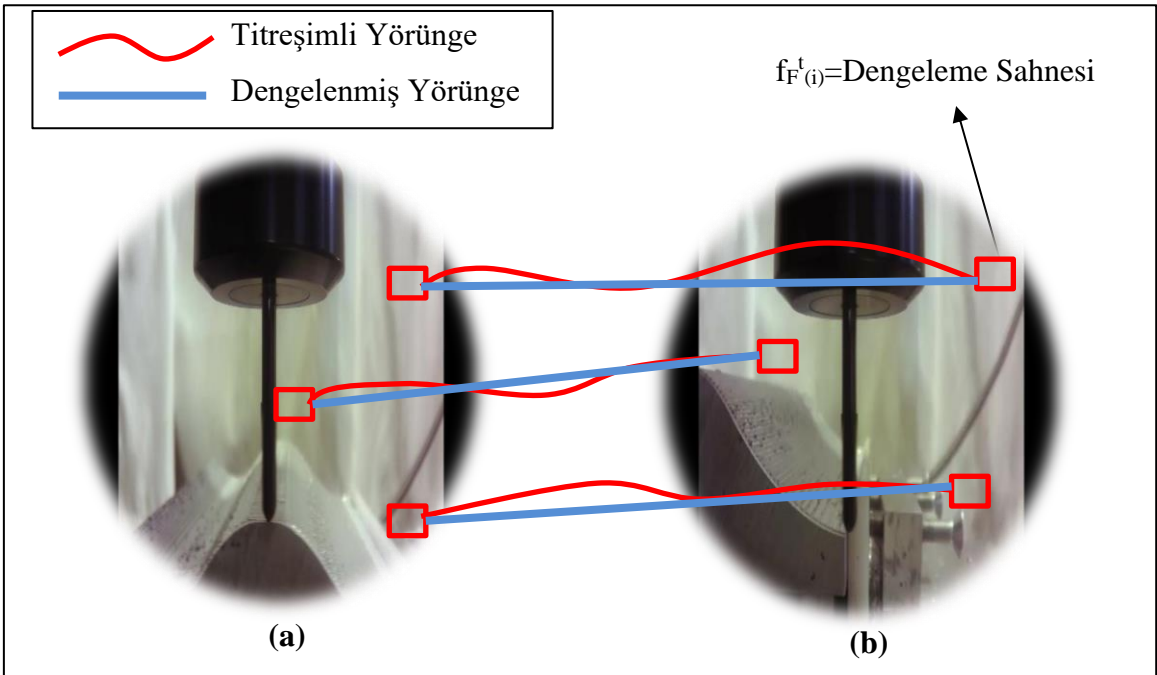
w_{ij} önceki hareket benzerliğinin toplam ağırlığıdır.

Özellik değişiminin en düşük olduğu yani benzerliğin en yüksek olduğu noktalar hareketli cismin yörüngesi boyunca takip edilir. Sahnelerin sonunda bulunan optimum yörüngeler tüm görüntü alanına normalize edilir (Denklem 4.2).

$$w_i^t = \frac{\tilde{w}_i^t}{\sum_{j \in \Pi(t)} \tilde{w}_j^t} \quad (4.2)$$

$\Pi(t)$ t sahnesinden geçen benzerlik oranı yüksek yörüngelerin kümesidir.

Tüm görüntüye normalize edilen yeni piksel konumları, cisimler arasında ve cisimler ile arka plan arasındaki görüntü sınırlarındaki titreşim kaynaklı bulanıklığı gidermektedir. Görüntülerde, takımın başlangıç noktasında bulunduğu sahnenin (Şekil 4.13b) arka planındaki uygun noktaların özellikleri kaydedilerek takip edilmekte ve takımın ilerlemesi ile birlikte herhangi bir konumda (Şekil 4.13a) takip edilen noktalarındaki değişim ile görüntüdeki diğer noktalar normalize edilmektedir.



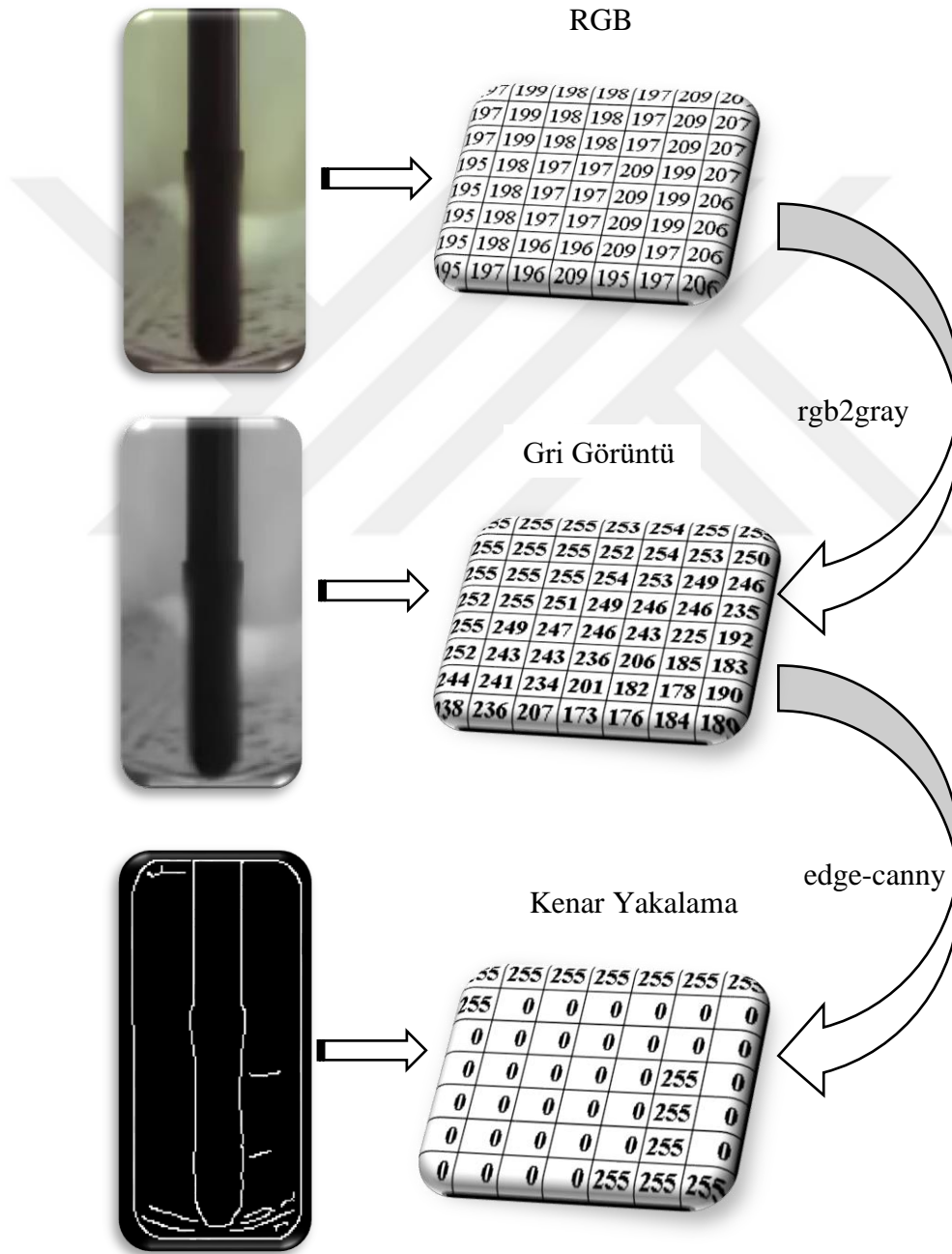
Şekil 4.13 : Sabit arka plana göre görüntü dengeleme işlemi. a) Takımın tepe noktasında bulunduğu sahne b) Takımın başlangıç noktasında bulunduğu sahne.

Çalışmada, delme ve frezeleme işlemlerinde tezgahın titreşiminden izole edilmiş arka planı sağlamak için, tezgaha temas olmayacak şekilde sert mukavva ile perdeleme yapılmıştır. Sabit arka plan referans olarak alınarak ve görüntü dengeleme uygulanmıştır.

4.2.4 Kenar yakalama

Görüntülerdeki cisimlerin tanımlanmasında kenar yakalama işlemi önemli bir adımdır. Kenar yakalama adımının ön hazırlığı olarak, önce görüntünün piksel değerlerini standartlaştırması yapılmıştır. Renkli görüntüler RGB diye adlandırılan kırmızı, yeşil ve mavi renklerin tonları ile temsil edilir. Bu durumda üçlü piksel değerleri üzerinden işlem yapılır. Kenar yakalama işlemi görüntünün sürekliliğinin kesilip ikinci bir süreklilik bölgesi

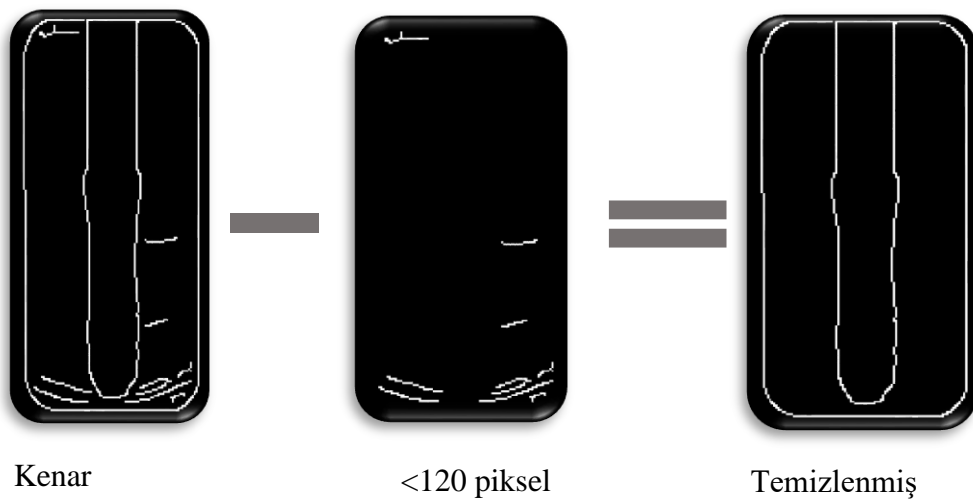
ile arasındaki sınırı hesaplamaktadır. Sehir tespitinde bu sınır bölgesinin çizgisel ayırımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple görüntünün RGB boyutunun griye çevrilerek üçlü piksel değerinin ikili piksel değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir (Şekil 4.14). Kullanılan Matlab programında bu işlem “rgb2gray” komutu ile yapılmaktadır. Komut görüntüyü 3 boyuttan 2 boyuta (R3→R2) indirgemektedir. Bu işlemle görüntü unit8 formatına dönüştürülmüş olmaktadır. Burada piksel değerleri (0-255) aralığında, beyaz ve siyah arasındaki gri tonlar olarak görülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : Görüntülerin RGB, Gri, Siyah-beyaz dönüşümü.

Kenar yakalama işlemi temelde görüntünün gri seviyelerindeki ani değişimlerin tespit edilerek bu bölgeye bağlı piksellerin birleştirilme işlemidir. Gri görüntünün belli bir eşik değeri altında kalan pikselleri silinerek en keskin görüntüye sahip sınırlar belirgin hale getirilmektedir. Matlab programında bu işlem “edge” komutu ile yapılmaktadır. Bu komut görüntüyü maske denilen küçük piksel guruplarına ayırır. Her bir maskenin ortalama değerini hesaplamak için, Gauss yöntemi kullanılır. Bu işlem ile, maske her bir aşamada komşu piksellere kaydırılarak tüm görüntüye uygulanır. Böylece kenar bölgeler etrafındaki gri seviye değerleri de göz önünde bulundurularak net bir şekilde ortaya çıkarılmış olur. “edge” komutu ile birlikte uygulanan kenar bulma yöntemlerinin farklı olduğu bazı alt komutlar bulunmaktadır. Bu çalışmada hareketli görüntüler için daha iyi sonuç veren “canny” alt komutu kullanılmıştır (Demigny, 2002). Canny yöntemi, güçlü ve zayıf kenarları tespit etmek için iki eşik kullanır ve zayıf kenarları yalnızca güçlü kenarlara bağlar. Bu nedenle, bu yöntemin gürültüye bağlı hatalı hesaplama olasılığı diğerlerine göre daha düşüktür ve gerçek zayıf kenarları algılama olasılığı daha yüksektir (Demigny, 2002).

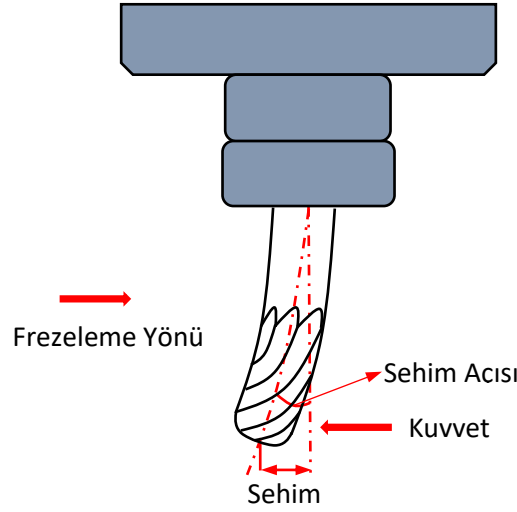
Kenar yakalama işlemi görüntü üzerindeki tüm belirgin noktaları yakaladığı için, asıl tespit edilmek istenen nesne dışında çeşitli boyutlarda çizgilerde görünmektedir. Herhangi bir ana gövdeye bağlı olmayan bu çizgileri yok etmek için, en uzun çizginin piksel sayısı altında olan tüm görüntüleri silmek gerekmektedir. Bu işlem Matlab programında “bwareaopen” komutu ile yapılmıştır. Şekil 4.15’de en uzun çizgisi 120 piksel olan bir sahnenin çizgi temizleme işlemi örnek olarak gösterilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 : Görüntü temizleme işlemi.

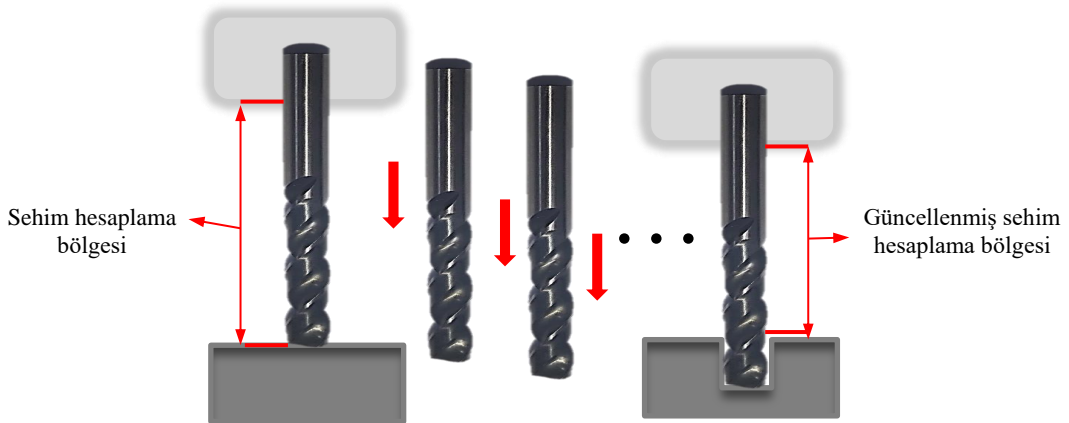
4.2.5 Takım görüntüsünün tanımlanması

Takım görüntüsünün işlenebilir hale getirilmesi ile birlikte görüntüyü oluşturan binary (1,0) yapı hakkında merkez nokta, en uzun aks, en kısa aks, piksel listesi gibi bazı bilgiler elde edilebilmektedir. Takımın eğilme yönelimine göre bu bilgileri alma şekli değişmektedir. Bu çalışmada takımın ilerleme doğrultusunun zıt yönüne doğru etki eden kuvvetlerin oluşturduğu takım sehimi incelenmektedir. Bu yöndeki takım sehimi kiriş eğilme şeklinde gerçekleşmektedir. Takımın tezgâha bağlandığı nokta sabit olmakla birlikte uç noktasından zıt yönde eğilim göstermektedir (Şekil 4.16).



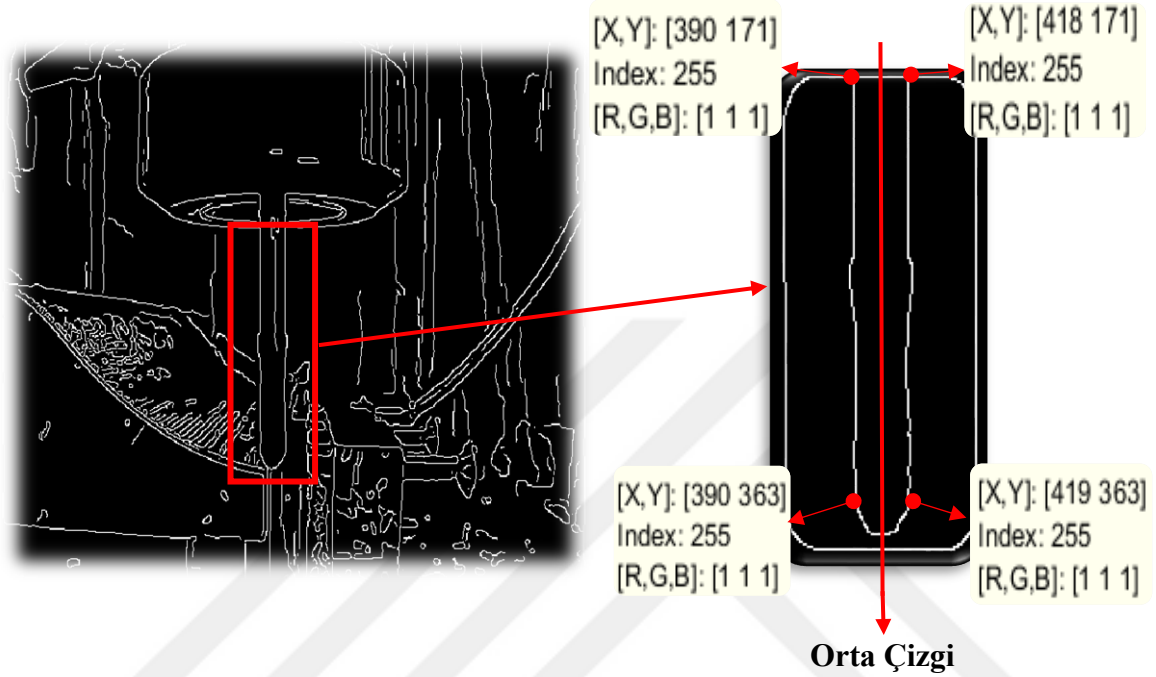
Şekil 4.16 : Takım sehimi-kuvvet modeli.

Delme işleminde takım iş parçasının içerisinde ilerleyerek görüntüden kaybolmaktadır. Bu sebeple görüntü işleme ile takım sehimi hesabı için, takım tutucu ile takımın iş parçasına girmeyen son noktası arasındaki bölge kullanılmıştır (Şekil 4.17). Takım ile iş parçasının kesişme noktasındaki koordinat bilgileri takip edilerek aralık güncellenmiştir.



Şekil 4.17 : Delme işlemi takım sehimi ölçüm bölgesinin güncellenme şeması.

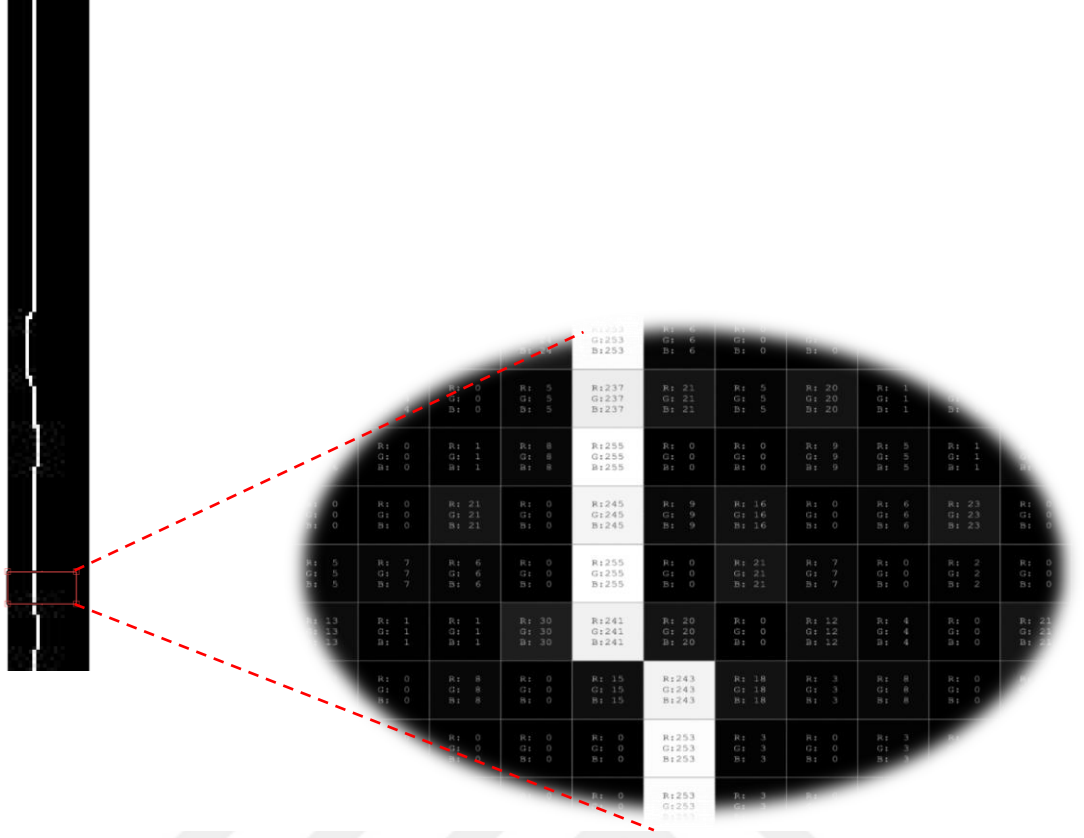
Frezelemede ise takımın uç noktası parçanın içerisinde olacağı için bu noktanın konum tespiti mümkün değildir. Takım tutucu ile uç açısının başlangıç noktası arası sehim ölçüm bölgesi olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18). Delme ve frezelemede takımın sağ ve sol kenar çizgilerindeki değişim tek tek ele alınıp ortalaması alınarak takımın ortasından geçen çizginin eğimi hesaplanacaktır



Şekil 4.18 : Takım sehimi hesaplama modeli.

4.2.6 Sehimi hesaplama

Bu aşamada yapılan işlemler takımın sağ ve sol kenarlar için aynı metotla ayrı ayrı uygulanacaktır. İşlemler ilk olarak takımın işlemeye başlamadığı andaki görüntüye uygulanacak ve bu görüntü referans olarak kaydedilecektir. Her bir kenar için “corner” kodu kullanarak köşe tespiti yapılmıştır. Kenarların “regionprops” komutu ile alınan piksel değerleri, eğimin ölçüleceği doğrultuda köşe koordinatlarının başlangıç ve bitişi arasında büyükten küçüğe sıralanmıştır. Bu sıralama işlemi “sortrows” komutu ile yapılmıştır (Şekil 4.19). Belirtilen tüm kodlar Matlab programının kullanılan versiyonuna uygun olduğu için seçilmiştir.



Şekil 4.19 : Kenar çizgisinin piksel değerleri.

Kenar çizgisi boyunca düzenlenen koordinat değerlerine “regression” komutu ile liner regresyon uygulanmıştır. Regresyon, takımın tezgâha bağlandığı yerden uç kısmına kadar tüm piksellerdeki değişimin etkisini net bir şekilde gösterdiği için seçilmiştir. Regresyon denkleminin katsayıları kullanılarak kenar çizgisinin eğimi hesaplanmıştır (Denklem 4.3).

$$[r(i), m(i), b(i)] = regression(Srt222, Srt211) \quad (4.3)$$

r=Regresyon değeri;

m=Doğrunun eğimi

b=Regresyon sabiti

i=Görüntü sırası

Srt222=Kenar çizgisinin X koordinatlarının sıralanmış değeri

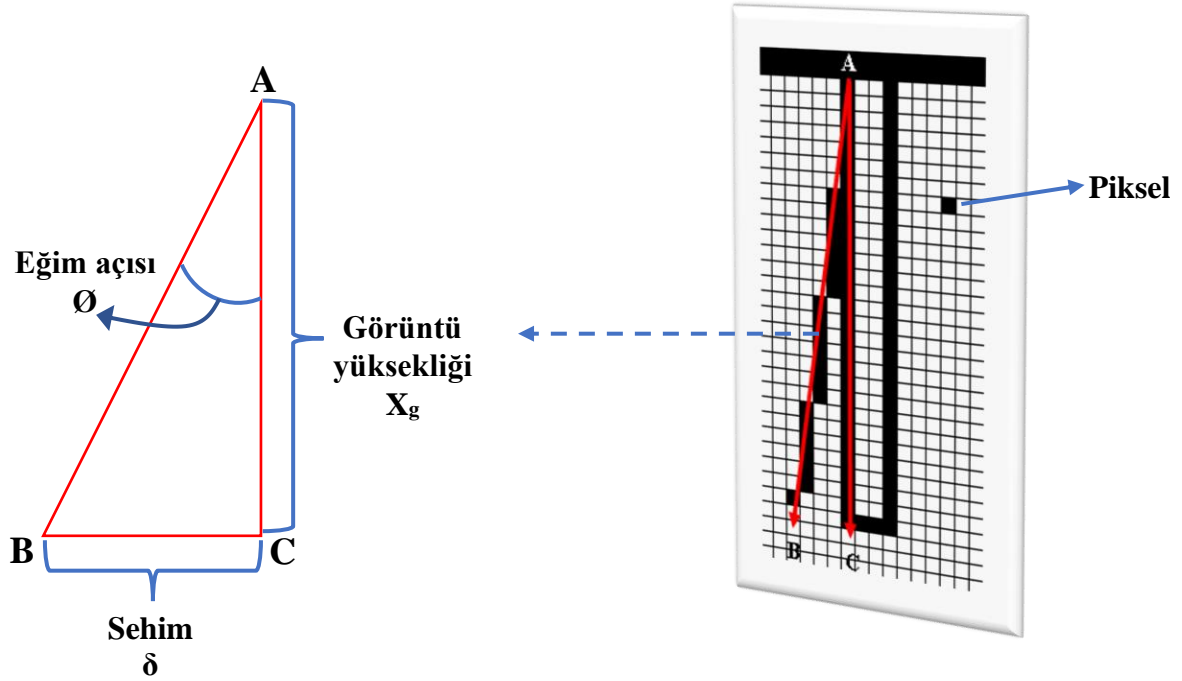
Srt211= Kenar çizgisinin Y koordinatlarının sıralanmış değeri

Regresyon ile hesaplanan eğim (m) açının tanjantı olarak verilmektedir (Şekil 4.20).

Buradaki eğim açısı tanjant dönüşümleri ile derece olarak hesaplanmıştır (Denklem 4.4).

Görüntüdeki takım uzunluğunun açının tanjantıyla çarpımı sehim vermektir (Denklemler 4.5). Bu işlem takımın sağ ve sol kenarlar için yapılarak ortalaması alındığında takımın sehim miktarı bulunur (Denklemler 4.6). Referans görüntü ve her bir işleme görüntüsü için bu hesaplamalar yapılmıştır. Her bir görüntünün sehiminden referans görüntünün sehimini çıkarıldığında gerçekleşen sehim miktarı piksel olarak bulunur (Denklemler 4.7).

Bu işlemler delik delme takım sehim hesabı için aynı şekilde uygulanmıştır.



Şekil 4.20 : Görüntüden eğim açısı ve takım sehim hesaplaması.

$$m = \arctan (\varnothing) \quad (4.4)$$

$$\delta = X_g \times \tan (\varnothing) \quad (4.5)$$

$$\delta_{ort} = \frac{\delta_{sağ} + \delta_{sol}}{2} \quad (4.6)$$

$$\delta_{gs} = \delta_{ort} - \delta_{ref} \quad (4.7)$$

Ø= Eğim açısı (°)

δ= Sehim (piksel)

Xg= Görüntü yüksekliği (piksel)

δsağ= Takımın sağ kenar sehim (piksel)

δsol= Takımın sol kenar sehim (piksel)

δref= Referans görüntü sehim (piksel)

δ_{gs} = Her bir görüntü için gerçekleşen sehim (piksel)

δ_{mm} = Sehim değerinin mm'ye dönüşümü (mm)

L= Takım uzunluğu (mm)

4.3 Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) Deney Tasarımı

Çalışmada uygulanan görüntü işleme ile takım sehimini tespit model sonuçlarını karşılaştırma yapabilmek için, literatürde işleme sonrası takım sehimini ölçüm yöntemleri içerisinde doğruluk oranı en yüksek olan (Khorasani ve diğ., 2016) sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde gerçek deney şartları tam olarak sağlanamamaktadır. Buna rağmen takım ve iş parçasının malzeme ve mekanik özellikleri sistemde seçilerek işleme koşullarını değiştiren ağ yapılanmasının sınırları belirlenmektedir. Sonlu elemanlar analizinde talaşlı imalatın karakteristik özelliklerinden olan iş parçasının tanecik sınır boyutları, titreşim, takım sarması ve talaş boyutları göz ardı edilmektedir. Bu durumun olumsuzluklarını gidermek için yapılan kuvvet ölçümü sonuçları anlık değişimleri ile birlikte sonlu elemanlar analizine yüklenmiştir. Böylece gerçek deney şartlarında talaşlı imalatı etkileyen koşulların kuvvet değişimi ve buna bağlı olarak takım sehiminde gerçekleşen değişim sonlu elemanlar analizine yansıtılmıştır. Analiz sonucunda görüntü işleme verileri ile tam bir eşleşme beklenmemektedir. Bununla birlikte, görüntü işleme ve sonlu elemanlar analizi takım sehimini sonuçlarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi yapabilmek için Solidwork programında parça ve takımın CAD modeli hazırlanmıştır. Ansys paket programında dinamik ve statik analiz modellemesi yapılmıştır. Dinamik analiz için düz bir yüzey ve 4 ağızlı freze kullanılmıştır. Ansys malzeme kütüphanesinden parça için Al7075, takım için WC (tungsten-carbur) seçilerek deneyde kullanılan gerçek malzemeler ile aynı mekanik ve kimyasal özelliklerde olması sağlanmıştır.

Takım için daire merkezinde koordinat belirlenerek takım dönme ekseninde hareket etmesi sağlanmıştır. İş parçası koordinatı, parçanın merkezi olarak belirlenmiştir. Takım ve parçanın temas yüzeyleri seçilerek bu bölgede kırılma olacak şekilde etkileşim yapımları sağlanmıştır. Takım ağ yapılanması (mesh) 32502 düğüm (node) ve 30752 parçadan (element) oluşmaktadır. İş parçasının ağ yapısı üzerinden malzeme kalkacağı düşünülerek, kesme hattı boyunca düzenli talaş oluşumunu sağlayacak şekilde her bir parça 1 mm olarak

belirlenmiştir. Analiz süresi frezeleme işleminin ilerleme miktarına göre hesaplanarak 0.004 sn olarak belirlenmiştir. Analiz sırasında takım x ve z ekseninde sabit y ekseninde her turda 360° dönecek şekilde yer değiştirme miktarı belirlenmiştir. İş parçası kendi x ve y ekseninde sabit z ekseninde parçaya doğru her adımda 40 mm yer değiştirecek şekilde belirlenmiştir. Gerçek deneylerde dinamometre ile ölçülen kuvvet verileri iş parçası ile takımın temas noktasında takım hareketinin zıt yönünde etki edecek şekilde yüklenmiştir. Model çalıştırılarak toplam deformasyon ve gerilme sonuçları incelenmiştir.

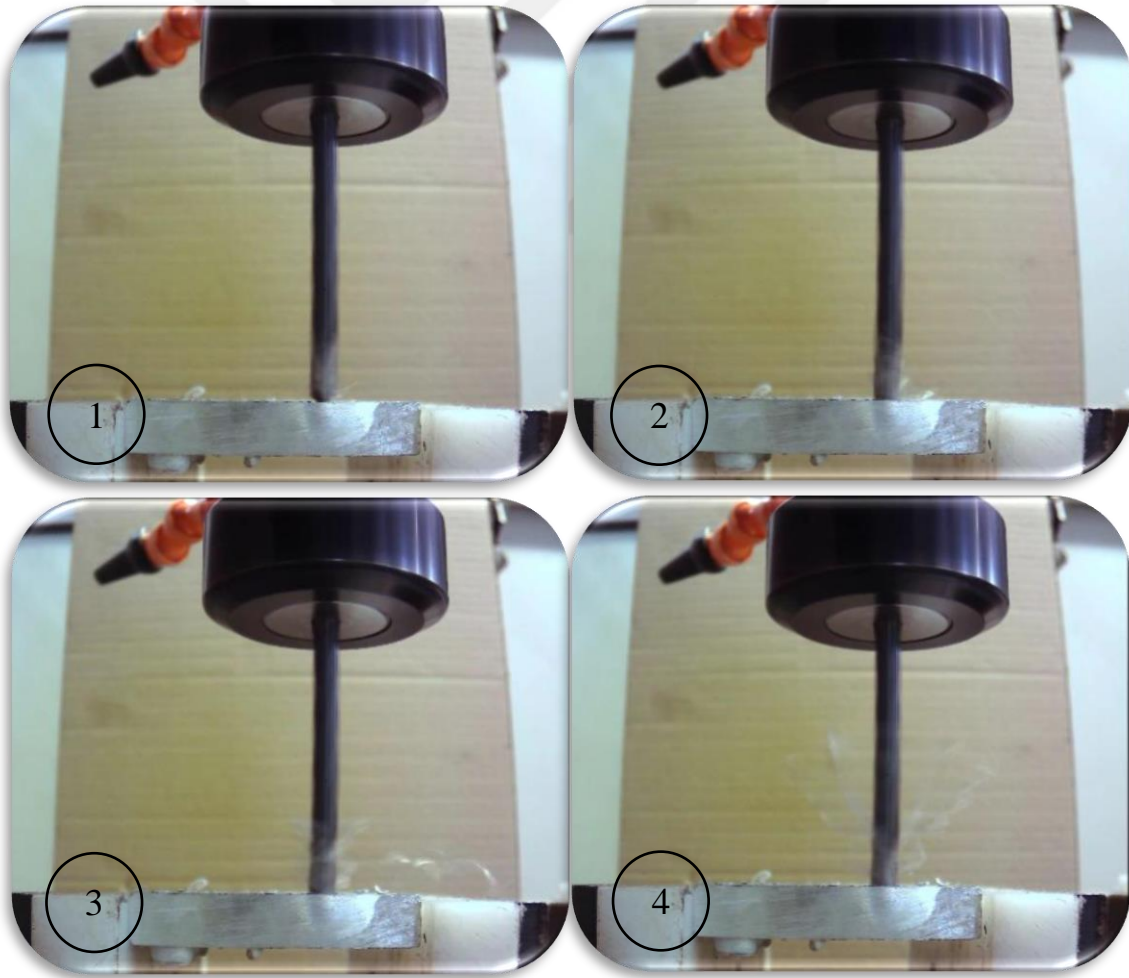


5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Görüntü işleme ile takım sehiminin tespiti modeli uygulandıktan sonra delik delme, serbest şekilli yüzey frezeleme, sonlu elemanlar analizi ve femur işleme için ayrı başlıklar altında değerlendirilmiş ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

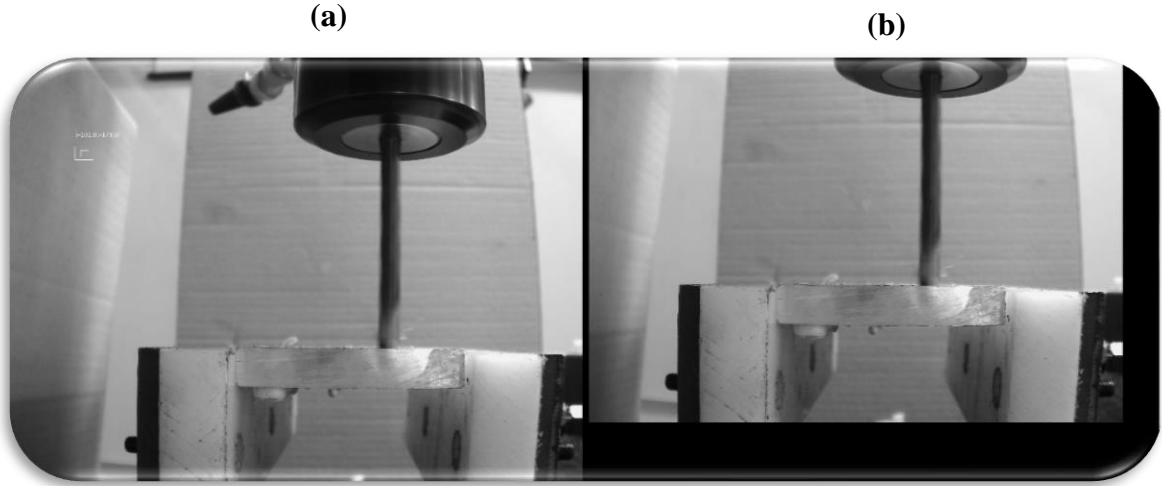
5.1 Delik Delme Takım Sehimi Sonuçları

Delik delmede takım sehiminin tespiti için, 3 farklı ilerleme ve devir parametreleri ile 9 delik delinmiştir. Takımın parçaya temasından itibaren sehim hesaplanmış ve en yüksek olduğu değer alınmıştır. Görüntülerde takımın parçayla temasından itibaren, takım tutucu ile iş parçası arasında delik eksenine boyunca sehim görülmüştür. Her bir delik için 209 sahne görüntü kaydı yapılmıştır. Birinci delik için takımın parçaya giriş sahnesi Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 : Delme işleminde matkabın iş parçasına giriş sahneleri.

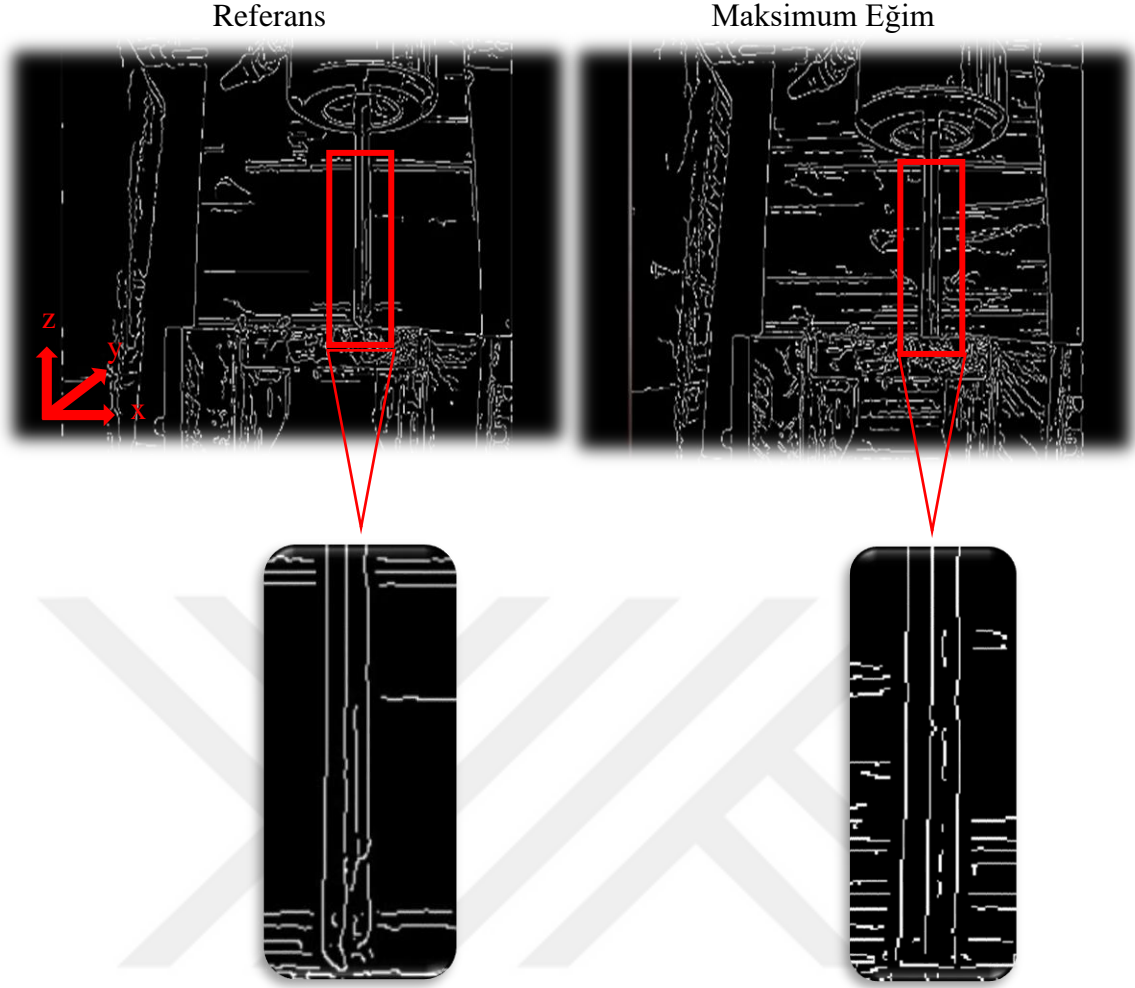
Kenar belirleme öncesinde görüntüyü titreşimden arındırmak için dengeleme yapılmıştır (Şekil 5.2). Delme işleminde talaş z ekseni boyunca tahliye edilmektedir. Bu sebeple takım sarılarak birlikte dönmekte ve matkap ucunun görüntüsünü bulanıklaştırmaktadır. Görüntü dengeleme işlemi ile birlikte takım dışındaki arka planın kaldırılması bu sorunun giderilmesini sağlamıştır.



Şekil 5.2 : Delik delme görüntü dengeleme işlemi a) Dengelenmiş görüntü b) Normal görüntü

Her bir sahne için görüntü işleme yöntemi uygulanmıştır. Takım, işleme parametreleri ve malzemenin işlenebilirlik yeteneğine göre maruz kaldığı zıt kuvvetler sonucu belli bir yere kadar artarak sehim yapmakta, maksimum noktaya geldikten sonra bir süre sabit devam etmekte ve daha sonra azalmaktadır. Bu aşamalara ait görüntünün tespit edilen kenarları Şekil 5.3’de görülmektedir. Maksimum takım sehiminin görüldüğü sahnede, takım kenar çizgilerinin katman katman eğilerek takımın uç noktası ile tutucu arasında x ekseni boyunca sapma yaptığı tespit edilmiştir.

Delme işleminde takım itme kuvveti, kesme kuvveti ve delik çeperinin tepki kuvveti ve arasında dengeye ulaştıktan sonra delik çıkışına kadar bu dengeyi kısmen korumaktadır. Bu durum maksimum takım sehimi noktasından itibaren sehimde küçük değişimler yaparak ilerlemektedir. Delik çıkışına yakın takımın önündeki talaş miktarının azalması ile birlikte sehim azalmakta, takım delik çeperinin tepki kuvveti ile belli bir konumda dışarı çıkmaktadır.



Şekil 5.3 : Delik delme görüntü işleme sahneleri.

İlk deneyde takımın parçaya girmeden alınan son görüntüsü ile delme işleminin bitişine kadar alınan görüntülerin takım sehimi farkları hesaplanmış ve çizelge 5.1’de sunulmuştur. Takım sehimin en fazla olduğu nokta aynı zamanda delikteki geometrik ve yüzeysel sapmanın en yüksek olduğu noktadır. En yüksek sapma 3.5997 piksel olarak 53. görüntüde gerçekleşmiştir.

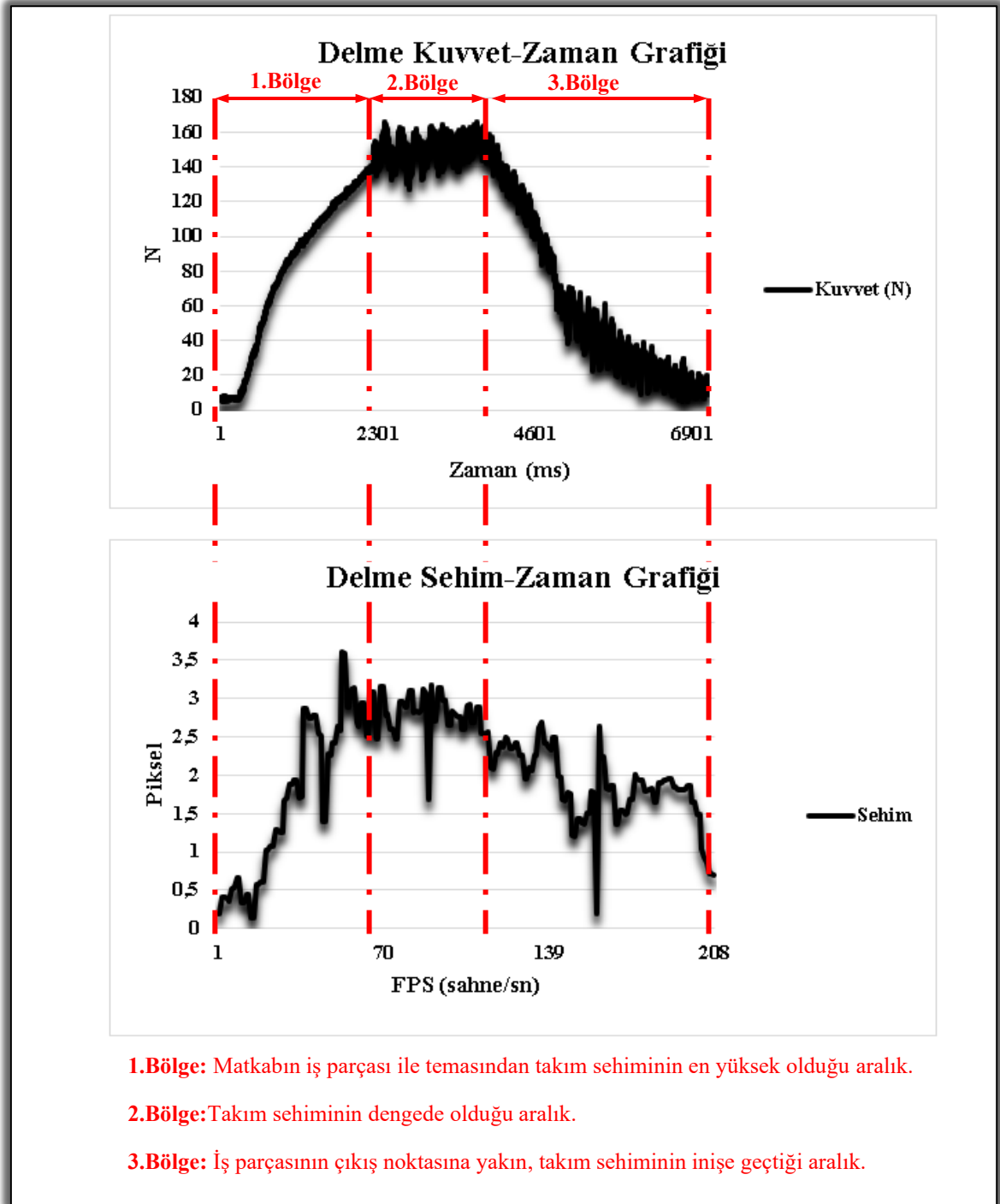
Çizelge 5.1 : Görüntü işleme takım sehimi sonuçları.

Görüntü No	Sehim (piksel)	Görüntü No	Sehim (piksel)	Görüntü No	Sehim (piksel)	Görüntü No	Sehim (piksel)
Referans Gör.	0	53	3.5997	106	2.9201	159	0.1998
1	0.1839	54	3.5821	107	2.6882	160	2.6402
2	0.1839	55	2.8855	108	2.6882	161	2.2257
3	0.3993	56	2.8855	109	2.8895	162	2.2347
4	0.3993	57	3.1262	110	2.8895	163	1.8358
5	0.3893	58	3.1353	111	2.5494	164	1.8126
6	0.3603	59	2.6882	112	2.5494	165	1.8719
7	0.5087	60	2.6435	113	2.5113	166	1.8723
8	0.5351	61	2.9427	114	2.5612	167	1.3535

Çizelge 5.1 (devam): Görüntü işleme takım sehimi sonuçları.

Görüntü No	Sehim (piksel)	Görüntü No	Sehim (piksel)	Görüntü No	Sehim (piksel)	Görüntü No	Sehim (piksel)
9	0.6545	62	2.9427	115	2.1041	168	1.3535
10	0.6545	63	2.5123	116	2.0869	169	1.5350
11	0.3390	64	2.5174	117	2.2907	170	1.5350
12	0.3390	65	3.0801	118	2.2698	171	1.4817
13	0.4431	66	3.0801	119	2.4124	172	1.5035
14	0.4431	67	2.4662	120	2.3664	173	1.6872
15	0.1347	68	2.4662	121	2.4915	174	1.6872
16	0.1347	69	3.1565	122	2.4830	175	2.0084
17	0.5667	70	3.1571	123	2.3536	176	1.9499
18	0.5667	71	2.7799	124	2.3536	177	1.9283
19	0.6125	72	2.7966	125	2.4239	178	1.9283
20	0.6125	73	2.6086	126	2.4147	179	1.7853
21	1.0231	74	2.6086	127	2.2541	180	1.7937
22	1.0231	75	2.4805	128	2.2541	181	1.8057
23	1.0749	76	2.4805	129	1.9540	182	1.8213
24	1.0767	77	2.9686	130	1.9540	183	1.6558
25	1.2827	78	2.9686	131	2.0972	184	1.6558
26	1.2827	79	2.8917	132	2.0663	185	1.9070
27	1.2582	80	2.8917	133	2.2680	186	1.9070
28	1.2582	81	3.1009	134	2.2680	187	1.9302
29	1.6733	82	3.1009	135	2.6242	188	1.9422
30	1.7104	83	2.8109	136	2.6919	189	1.9506
31	1.8837	84	2.8322	137	2.4154	190	1.9506
32	1.8837	85	2.8212	138	2.4154	191	1.8427
33	1.9404	86	2.8471	139	2.3716	192	1.8420
34	1.9404	87	3.1282	140	2.3396	193	1.8015
35	1.7100	88	3.0653	141	2.4971	194	1.8015
36	1.7157	89	1.6811	142	2.4971	195	1.8171
37	2.8677	90	3.1799	143	1.9894	196	1.8171
38	2.8671	91	2.7019	144	1.9714	197	1.8686
39	2.7405	92	2.7019	145	1.6835	198	1.8621
40	2.7405	93	3.1333	146	1.6646	199	1.6404
41	2.7756	94	3.1333	147	1.7705	200	1.6404
42	2.7756	95	2.9825	148	1.7520	201	1.4867
43	2.5417	96	2.9825	149	1.2116	202	1.4867
44	2.5179	97	2.6618	150	1.2007	203	1.0317
45	1.3996	98	2.6618	151	1.4373	204	0.9317
46	1.3890	99	2.8261	152	1.4403	205	0.8514
47	2.2785	100	2.7979	153	1.3860	206	0.7125
48	2.2573	101	2.7715	154	1.3577	207	0.7125
49	2.4138	102	2.7715	155	1.5069	208	0.7016
50	2.4138	103	2.5978	156	1.5069		
51	2.6407	104	2.5978	157	1.7923		
52	2.5906	105	2.9153	158	1.7766		

Delme sehim sonuçları ile kesme kuvveti değişimlerinin zamana göre grafiği incelendiğinde, eş zamanlı olarak, 1. bölgede takımın maksimum sehim değerine kadar kuvvetin arttığı ve 2.bölgede belli bir süre sabit kaldığı, daha sonra kuvvetle birlikte 3. bölgede sehimin azaldığı görülmektedir (Şekil 5.4). Grafikler 6.9 sn (208 fps/30) süre içerisindeki takım sehim-kuvvet değişimini göstermektedir.



Şekil 5.4 : Delme işlemi kuvvet-zaman ve sehim-zaman grafikleri.

Delme işleminde takımın önünde biriken talaş ve ilerlemenin etkisi ile aynı veya azalan kuvvet değerlerinde sehim değeri ani yükselme veya alçalma gösterebilmektedir (Hamade ve diğ., 2005). Özellikle iç çeper katmanları arasındaki geçişlerde, belirli bir seviyeye kadar takımın zorlaması ve sürtünme kuvvetini yenmesi ile birden boşa çıkması durumlarında sehim dalgalanmaları görülmektedir. Şekil 5.4’de verilen grafikte kuvvet değerlerinin stabil veya azalan şekilde ilerlediği noktalarındaki sehim değerlerindeki değişkenlik bu durumu göstermektedir.

Sehim hesaplama işlemleri tüm deneyler için uygulanmış ve her bir deneyin maksimum sehimi hesaplanmıştır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 : Maksimum sehim değerleri.

Deney No	İlerleme (mm/dev)	Devir (dev/dak)	Sehim (Piksel)
1	0.1	1300	3.5997
2	0.1	1800	2.9126
3	0.1	2300	2.0911
4	0.2	1300	3.9532
5	0.2	1800	3.5449
6	0.2	2300	3.0968
7	0.3	1300	4.1026
8	0.3	1800	4.0428
9	0.3	2300	3.6047

İlerleme ve devir verilerinin takım sehimine etkisini incelemek için ANOVA (Varyans Analizi) yapılmıştır (Çizelge 5.3). Analiz sonuçlarında, ilerleme ve devir p değerleri 0,05’den küçüktür ($p_{ilerleme}=p_{devir}=0,002<0,05$). Bu sonuç ilerleme ve devirin sehim sonuçları üzerinde anlamlı etkilerinin olduğunu göstermektedir.

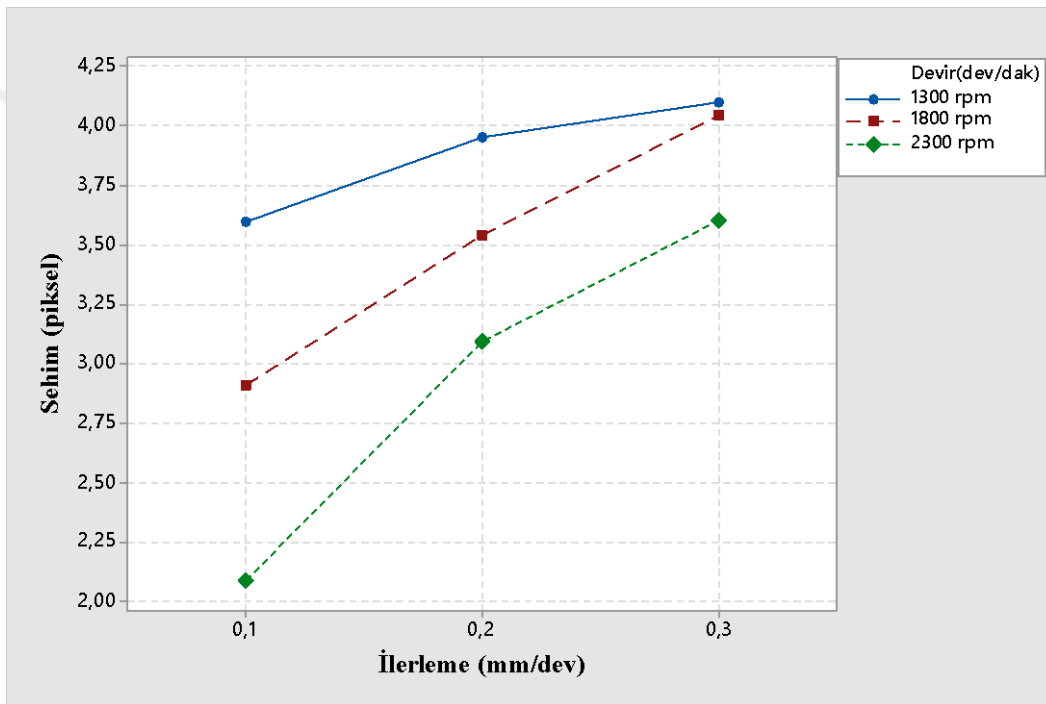
Çizelge 5.3 : ANOVA sonuçları.

Kaynak	SD	Düz. KT	Düz. OK	F-Değeri	P-Değeri
İlerleme (mm/dev)	1	1.6503	1.65029	30.14	0.002
Devir (dev/dak)	1	1.3660	1.36603	24.95	0.002
Hata	6	0.3285	0.05476		
Toplam	8	3.3449			

Sehim değerleri incelendiğinde takıma etkiyen kuvvetlerin artması ile yükseldiği görülmektedir. 1-4-7, 2-5-8, 3-6-9 deney sonuçları karşılaştırıldığında devirin sabit

tutulması ve ilerlemenin artması ile takım sehiminin arttığı görülmektedir (Şekil 5.5). Bu sonuç literatür ile uyuşmaktadır (Luo ve diğ., 2016). Aynı devirde takımın talaş kaldırma miktarı aynı olmaktadır. Buna rağmen ilerleme artırıldığında, takım birim ilerlemede yeterli talaş kaldıramayacağı için parçaya baskı uygulamakta bu durum zıt kuvvetleri artırmaktadır. Zıt kuvvetlerin artışı takımda sehim olarak ortaya çıkmaktadır.

Delme işleminde ilerlemenin sabit tutulup devirin artması ile takım sehimini azalmaktadır (Karimi ve diğ., 2015). Takımın devir artışı, kesici ağızların birim zamanda daha fazla tur atması ve buna bağlı olarak önündeki talaş daha hızlı kaldırmasına neden olmaktadır. Bu durum, aynı ilerleme miktarında zıt kuvvetleri azaltıcı etki göstermektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Delme işleminde ilerleme ve devirin sehime etkisi.

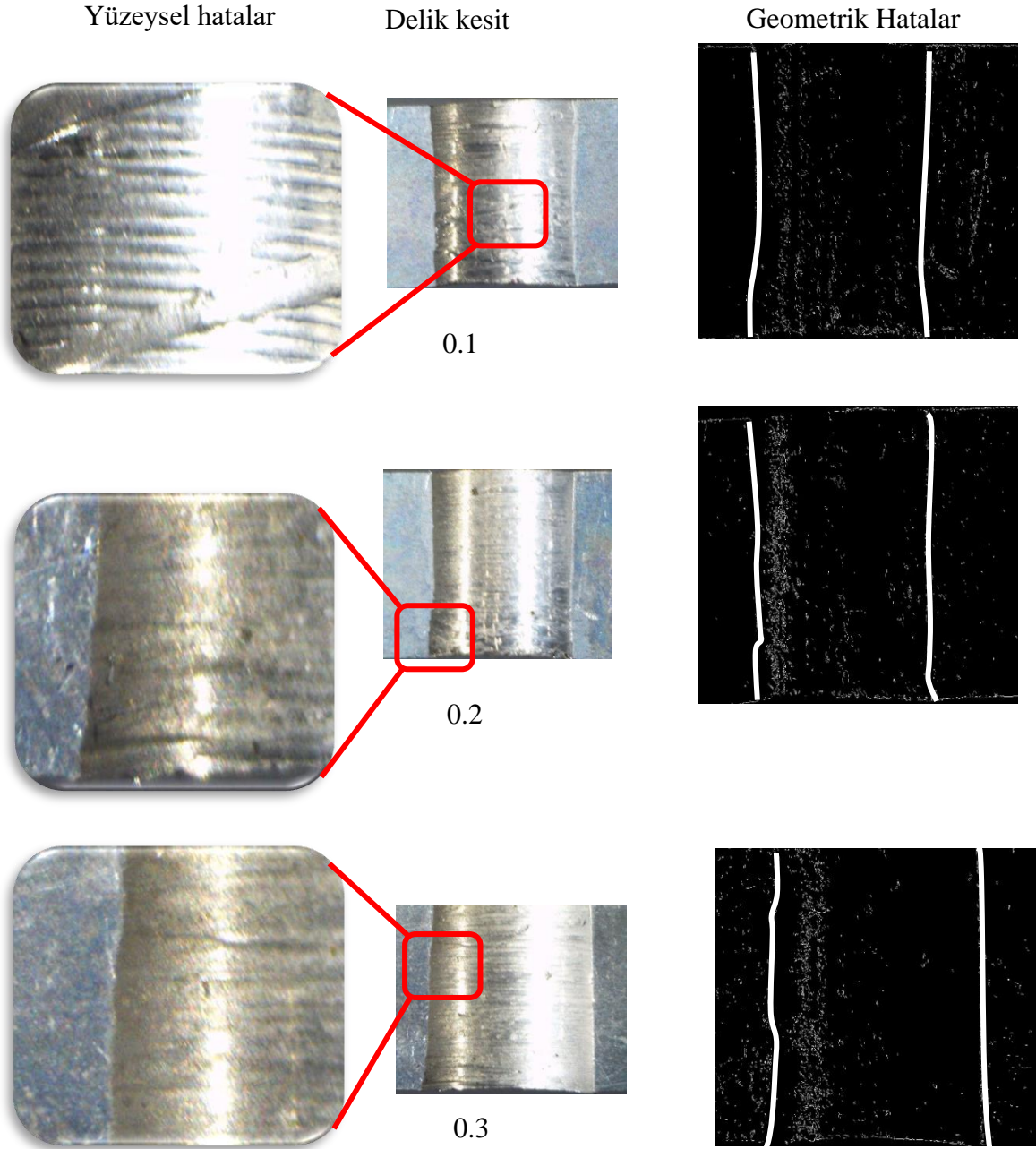
Verilere regresyon analizi uygulanarak, ilerleme ve devir değerlerinin maksimum sehim değerine etkisi matematiksel olarak modellenmektedir. Bu modelin düzeltilmiş etkinlik değeri, verilerin 1. derece katsayıları kullanılarak $R^2=0,86,90$ olarak hesaplanmıştır. Parametrelerin 2. derece ve birbirleri ile etkileşimi denkleme dahil edilerek daha yüksek oranda etkinlik elde edilebilir. Matematiksel model (5.1);

$$Sehim = 4.108 + 5.244 * ilerleme - 0.000954 * devir \quad (5.1)$$

şeklindedir.

Deney sonrasında numune delik eksenli boyunca kesilerek iç yapısı incelenmiştir. İç yapısındaki geometrik hatalar takım sehimini ile örtüşmektedir. Özellikle deliğin giriş ve çıkışı

arasındaki aksel farklar dikkat çekmektedir. Takım sehimi delme sırasında kuvvete bağlı artış ve azalış gösterdiği için deliklerin iç yüzeyinde pürüzlülüğü olumsuz etkileyen katmanlar görülmektedir. 1300 dev/dak devir için 0.1-0.2-0.3 mm/dev ilerleme değerlerine ait 1-4-7 nolu deneylerin kesit görüntüleri Şekil 5.6'da görülmektedir.

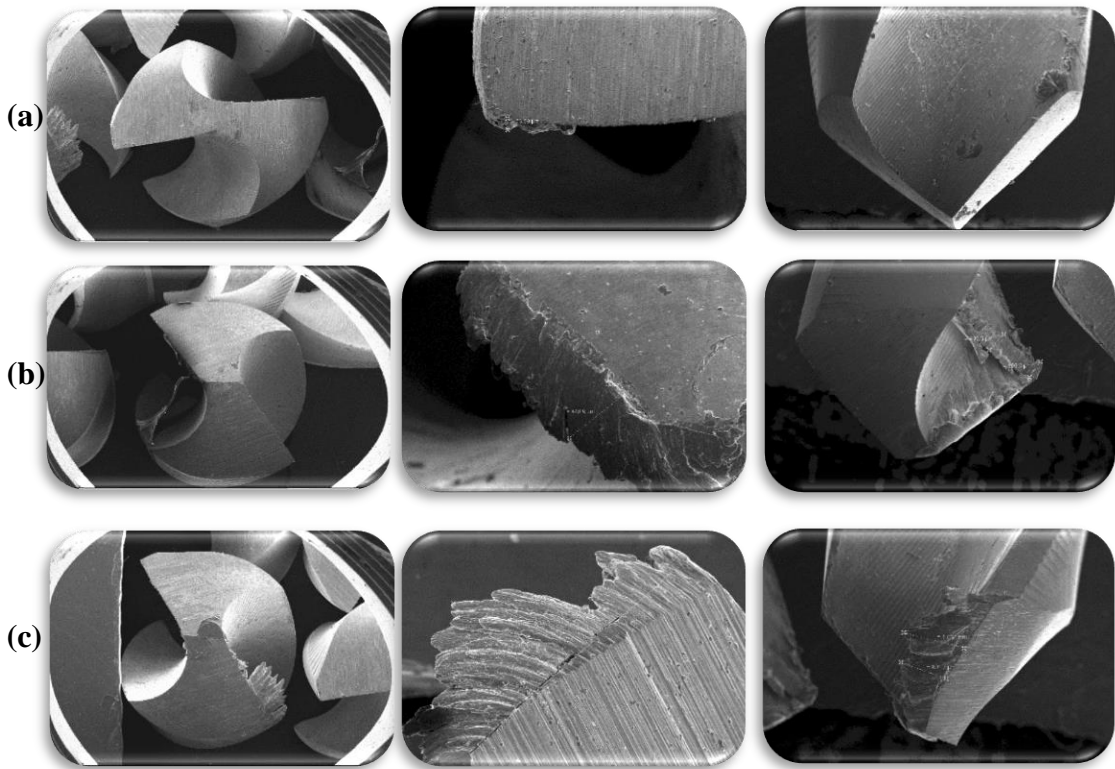


Şekil 5.6 : Delik kesitinden elde edilen ilerlemeye göre form ve geometrik hata görüntüleri.

0.1 mm/dev ilerleme değerinde deliğin geometrik yapısı kısmen korunurken takım sehimi nedeniyle yüzeyde katman katman matkap izleri görülmektedir. Takımın eğim doğrultusunda kesme ağzı malzemede iz bırakarak sehimi tolere etmiştir. 0.1 mm/dev

ilerlemede delik iç yüzey pürüzlülük değeri ortalama 3.241 μm olarak ölçülmüştür. 0.2 mm/dev ilerlemede delik içerisindeki izler incelik sıklaştıkça, bazı zayıf noktalarda daha belirgin geometrik hatalar oluşmaya başlamıştır. Takımdaki sehim miktarının artması geometrik hatayı artırmıştır. Özellikle deliğin sonuna doğru malzemenin daha zayıf olduğu noktalarda genişleme görülmektedir. 0.2 mm/dev ilerlemede delik içi yüzey pürüzlülük değeri 3.683 μm olarak ölçülmüştür. 0.3 mm/dev ilerleme uygulandığında ince yüzey hataları yer yer kalınlaşmaktadır. Bununla birlikte geometrik hata deliğin girişe yakın, orta ve çıkış bölgelerinin hepsinde görülmeye başlanmıştır. 0.3 mm/dev ilerlemede delik iç yüzey pürüzlülüğü ortalama 4.428 μm olarak ölçülmüştür.

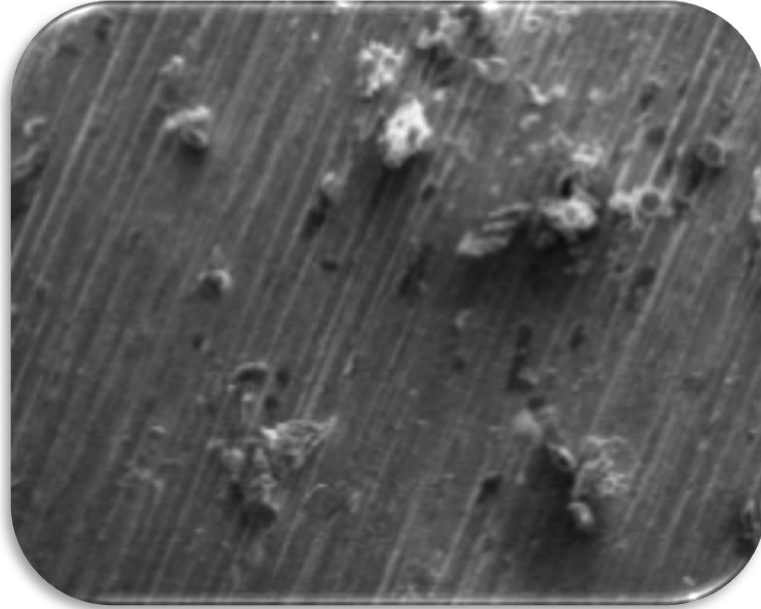
Takım üzerinde artan kuvvetler sadece takım sehimine yol açmamaktadır. Aynı zamanda takımın normalden hızlı aşınmasına neden olmaktadır (Ghasemi ve diğ., 2018). Aşınmış takımın kesme performansı düştüğü için delik içerisinde pürüzlülüğe neden olmaktadır (Aamir ve diğ., 2020). Şekil 5.7’de delme deneyinde kullanılan takımların mikroskop altında tespit edilen takım aşınması görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.7 : Delme deneyinde kullanılan takımların aşınma görüntüleri a)0.1 mm/dev b) 0.2 mm/dev c)0.3 mm/dev ilerleme.

0.1 mm/dev ilerlemede ortalama takım aşınması 73.59 μm olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5.7a’da bu ilerlemedeki takım aşınması görülmektedir. Aşınma kesici ağzın uç bölgelerinde

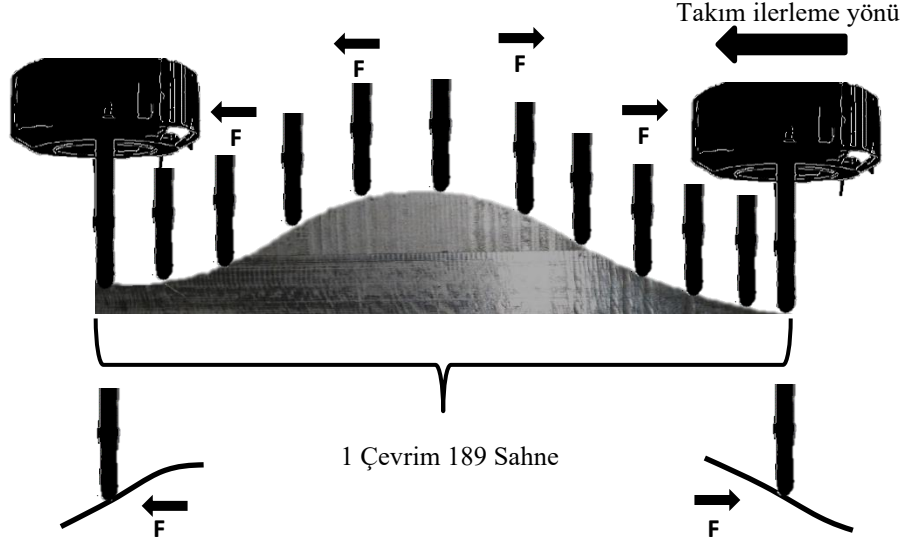
ve ağız doğrultusunda az bir bölgede gerçekleşmiştir. 0.2 mm/dev ilerlemede ortalama takım aşınması 405.5 μm olarak ölçülmüştür. Aşınmanın kesici ağzın uç noktasından başlayarak takımın içlerine doğru ilerlediği görülmektedir (Şekil 5.7b). 0.3 mm/dev ilerlemede ise ortalama takım aşınması 720.21 μm olarak ölçülmüştür. Bu ilerleme değerinde aşınma kesici ağzın uçlarından dışarı doğru gerçekleşmiştir. Aşınma bölgesi ve kopan malzeme alanı diğer ilerleme değerlerine göre hem ölçüsel hemde göreceli olarak daha fazla alana sahiptir. Delme işleminde delik iç yüzey pürüzlülüğünü etkileyen diğer bir etken çıkan talaş parçalarının takıma yapışmasıdır. Yüksek sıcaklığın etkisi ile takıma yapışan talaş, kesici ağızla birlikte delik çeperinde izler bırakarak pürüzlülüğe neden olmaktadır (Gökçe ve diğ., 2021). Şekil 5.8’de deneylerde kullanılan matkaplardaki talaş yapışmaları görülmektedir.



Şekil 5.8 : Delme deneyinde kullanılan matkaplardaki talaş yapışmalarına ait görsel.

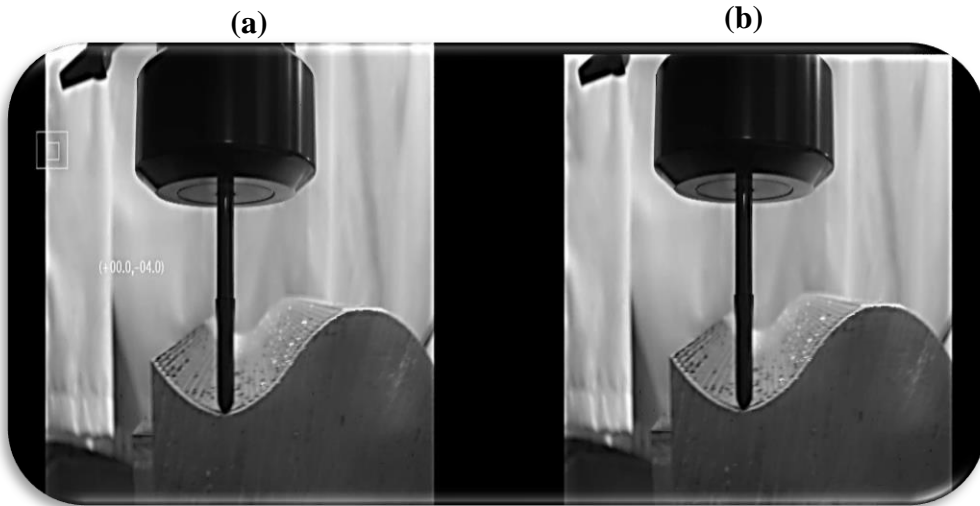
5.2 Frezeleme Takım Sehimi Sonuçları

Görüntü işleme ile takım sehimi hesaplama metodu serbest şekilli bir yüzeyin finish frezeleme aşamasına uygulanmıştır. Takımın iş parçası üzerinde x doğrultusundaki bir tam tur frezeleme yapıp başlangıç konumuna dönmesi çevrim olarak adlandırılmaktadır. Takımın her bir çevriminde, malzemenin geometrik olarak çıkış, tepe noktası ve iniş bölgelerinin frezelenmesine ait 189 sahne elde edilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : Frezelemede takım hareket yönü.

Frezeleme, takımın iş parçasına kuvvet uygulanarak talaş kaldırması şeklinde gerçekleştiği için, işlem süresince tezgah takımdan gelen titreşime maruz kalmaktadır (Khorasani ve diğ., 2012). Titreşimin görüntü üzerindeki olumsuz etkilerini giderebilmek için, frezeleme işlemi başlamadan önceki sahneden itibaren sabit arka plan referans alınarak görüntü üzerinde dengeleme işlemi yapılmıştır. Görüntü titreşim kaynaklı bulanıklık ve hatalardan arındırılmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 : Frezelemede görüntü dengeleme işleme a) Dengelenmiş görüntü b) Normal görüntü

Takımın bir çevrim boyunca görüntüsü alınarak görüntü işleme yöntemleri ile takım sehimi hesaplanmıştır (Çizelge 5.4). İlk görüntü takımın frezelemeye başlamadan önceki referans

görüntüsü olduğu için takım sehimi sıfırdır. Takım sehimi, malzemenin tepe noktasına kadar hareket yönünün zıttı olan sağ tarafa doğru gerçekleşmiştir. İnişe başladıktan sonra, takım ilerleme yönü değişmemesine rağmen, uç kısımdaki kuvvet uygulama noktası sağ tarafa geçtiği için takım sola doğru sehim yapmıştır.

Çizelge 5.4 : Frezeleme takım sehimi sonuçları.

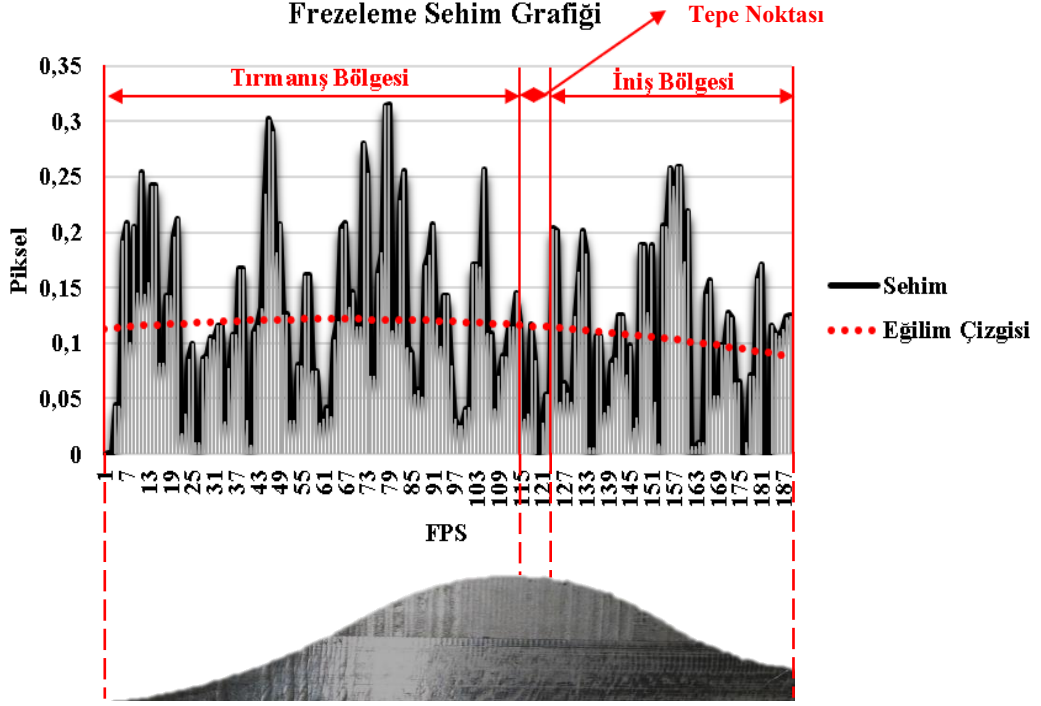
Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)
1	0.00000	39	0.16721	77	0.18176	115	0.11969	153	0.00994
2	0.00018	40	0.03065	78	0.31415	116	0.03202	154	0.20577
3	0.00018	41	0.00884	79	0.31481	117	0.03621	155	0.20577
4	0.04366	42	0.11002	80	0.11204	118	0.11720	156	0.25762
5	0.04366	43	0.11660	81	0.12066	119	0.08485	157	0.24175
6	0.19185	44	0.13173	82	0.22923	120	0.00022	158	0.25910
7	0.20778	45	0.23430	83	0.25508	121	0.02884	159	0.25910
8	0.10114	46	0.30202	84	0.09632	122	0.05379	160	0.17381
9	0.20516	47	0.29116	85	0.09156	123	0.05379	161	0.21887
10	0.14578	48	0.18162	86	0.05422	124	0.20329	162	0.00680
11	0.25350	49	0.20712	87	0.05764	125	0.20128	163	0.00680
12	0.14465	50	0.12610	88	0.05213	126	0.04727	164	0.01040
13	0.15508	51	0.12610	89	0.16981	127	0.06380	165	0.01040
14	0.24193	52	0.03031	90	0.18010	128	0.05544	166	0.14485
15	0.24193	53	0.03031	91	0.20659	129	0.04734	167	0.15629
16	0.08221	54	0.08012	92	0.12130	130	0.12413	168	0.05276
17	0.08221	55	0.08012	93	0.09787	131	0.16376	169	0.05276
18	0.14278	56	0.16080	94	0.14286	132	0.20076	170	0.09812
19	0.14278	57	0.16080	95	0.14286	133	0.18015	171	0.09812
20	0.19609	58	0.07473	96	0.08010	134	0.00645	172	0.12703
21	0.21188	59	0.07495	97	0.03178	135	0.00645	173	0.12283
22	0.01948	60	0.02807	98	0.02567	136	0.10665	174	0.06513
23	0.03676	61	0.03138	99	0.02567	137	0.10665	175	0.06513
24	0.08580	62	0.04128	100	0.04016	138	0.03786	176	0.00028
25	0.09929	63	0.03441	101	0.04190	139	0.04382	177	0.01127
26	0.01082	64	0.10274	102	0.17081	140	0.08257	178	0.07070
27	0.01082	65	0.12018	103	0.17081	141	0.08722	179	0.07070
28	0.08596	66	0.20315	104	0.16927	142	0.12489	180	0.15877
29	0.08825	67	0.20816	105	0.25673	143	0.12469	181	0.17128
30	0.10453	68	0.13317	106	0.10884	144	0.07182	182	0.00000
31	0.10358	69	0.14584	107	0.10825	145	0.09770	183	0.00000
32	0.11608	70	0.11459	108	0.04134	146	0.02354	184	0.11579
33	0.11608	71	0.11555	109	0.06992	147	0.03246	185	0.10876
34	0.02900	72	0.28029	110	0.08828	148	0.18833	186	0.10632
35	0.07735	73	0.25369	111	0.08828	149	0.18831	187	0.11254

Çizelge 5.4 (devam): Frezeleme takım sehimi sonuçları

Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)
36	0.10742	74	0.07014	112	0.11480	150	0.12767	188	0.12327
37	0.10742	75	0.07047	113	0.11480	151	0.18793	189	0.12463
38	0.16721	76	0.16360	114	0.14537	152	0.04677		

Çizelge 5.4'deki gri değerler takımın iş parçasının formuna göre tepe noktasında frezeleme yaptığı esnadaki sehim değerleridir. Gri bölgenin öncesi takımın tırmanış sehim değerleri, sonrası ise iniş sehim değerleri olarak verilmiştir. Ortalama tırmanış sehim değeri 0.12277 piksel, ortalama tepe noktası sehim değeri 0.05087 piksel ve ortalama iniş sehim değeri 0.10610 piksel olarak gerçekleşmiştir. Bölgelerin tepe sehim değerleri sırasıyla 0.41236, 0.29327 ve 0.36150 olarak ölçülmüştür. Takım ilerleme yönüne doğru tırmanış yaptığı için zıt etkiyen kuvvetler ve iş parçasının formunun eğim yönü takımı aynı doğrultuda sehim yapmaya zorlamaktadır. Bu sebeple tırmanış sehim değeri diğer bölgelere göre yüksek çıkmıştır (Rao & Rao, 2006). Aynı şekilde iniş sırasında takıma etkiyen zıt yönlü kuvvetler ile eğim yönü farklı doğrultuda olduğu için, kısmen takımı dengeye getirmiş ve tırmanışa göre ortalama daha az sehim oluşmasına neden olmuştur (Gok ve diğ., 2013). Malzemenin tepe noktası 8 sahnelik uzunlukta bir düzlük şeklindedir. Bu bölgede takım kesici ağzı ile iş parçasının temas noktası tırmanma ve inişe göre daha ideal konumda olduğu için optimum kesme şartlarına yakın bir durum ortaya çıkmaktadır. Kesici ağız malzemedan parçayı daha az kuvvetle koparmakta ve uzaklaştırmaktadır. Bu bölgede kesme kuvvetlerinin az olması takım sehiminin diğer bölgelere göre daha düşük olmasını sağlamıştır (Lamikiz ve diğ., 2004). Takım sehimindeki bu değişim Şekil 5.11'da verilmiş olan eğilim çizgisinin değişiminde daha net görülmektedir. Şöyleki, takım tırmanışta iken artmakta, tepe noktasında azalışa geçmekte ve inişte azalarak ilerlemektedir.

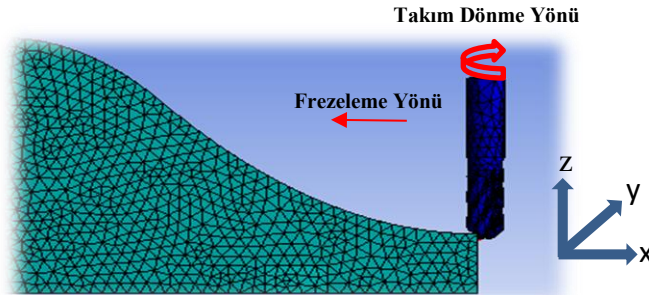
Frezelemede takımın kesme yapan herbir ağzı, malzeme üzerinden kaldırdığı katmanı talaş olarak atmakta ve diğer kesme ağzıları aynı işlemi ardı ardına tekrarlamaktadır. Bu aşamada malzemenin iç yapısında katılaştırılarak oluşan parçacık tane sınırlarının homojen olmaması, kopan talaş parça boyutlarının standart olmamasına neden olmaktadır. Takımın, iş parçasında oluşturduğu kesme deformasyon bölgesinin büyüklüğünü değiştiren bu durum frezeleme boyunca kesme kuvvetlerinin de değiştirmektedir (Wang & Liu, 2016). Değişen kesme kuvvetleri frezeleme boyunca takım sehiminde yükseliş ve düşüş yaparak ilerlemektedir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 : Frezelemede takımın tırmanma, tepe noktası ve iniş sehim grafiği.

5.3 Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) Takım Sehimi Sonuçları

Takım sehimi tespit yöntemleri içerisinde, işleme sonrası ölçüm yöntemlerinden, literatürde doğruluk oranı en yüksek olanı sonlu elemanlar analizi ile takım sehimi tespiti yöntemidir (Khorasani ve diğ., 2016). Çalışmada görüntü işleme takım sehimi tespit model sonuçlarını karşılaştırma yapabilmek için, sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Dinamometre ile ölçülen kuvvet değerleri kullanılarak Ansys paket programı ile sonlu elemanlar simülasyonu yapılmıştır (Şekil 5.12). SE analizi uygulama ve sınır şartları çalışmanın 4. bölümünde verilmiştir. Bu aşamada görüntü işleme ve sonlu elemanlar analizi takım sehimi sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.



Şekil 5.12 : Sonlu elemanlar analizi simülasyon modeli.

Dinamometre cihazı kuvvet ölçümünü 0.0002 saniyede bir yapmaktadır. Her bir görüntüye ait 265 kuvvet ölçümü yapılmıştır. Deneylerde kullanılan takımın mekanik ve kimyasal özellikleri, CAD çizimi ve kuvvet değerleri Ansys programında dinamik ve statik analiz olarak modellenmiştir. Model sonucunda takımın oluştuğu minimum ve maksimum sehim sonuçları elde edilmiştir. Takım sehiminin en çok olduğu 79. sahne (0.31481 piksel) ve en az olduğu 2. Sahne (0.00018 piksel) ve ara kuvvetlere “ait takım sehim değeri (Çizelge 5.5) görülmektedir.

Çizelge 5.5 : Sonlu elemanlar analizi ve görüntü işleme takım sehim sonuçları.

Sahne	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Sehim SEA (mm)	Sehim Görüntü İşleme (piksel)
79	157.3410	69.5268	156.2958	0.3668	0.3148
46	139.8587	61.8016	138.9296	0.3261	0.3020
159	122.3763	54.0764	121.5634	0.2853	0.2591
45	104.8940	46.3512	104.1972	0.2446	0.2119
132	87.4117	38.6260	86.8310	0.2038	0.2008
167	69.9294	30.9008	69.4648	0.1630	0.1458
68	52.4470	23.1756	52.0986	0.1223	0.1332
35	34.9647	15.4504	34.7324	0.0815	0.0774
2	17.4824	7.7252	17.3662	0.0408	0.0002

Görüntü işleme ve SE analizi ile belirlenen sehim değeri arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için ANOVA (varyans analizi) yapılmıştır (Çizelge 5.6). Analiz sonucuna göre $p < 0.05$ bulunmuş ve iki veri kümesi arasındaki ilişkinin anlamlı olduğu görülmüştür. Veri kümelerinin ilişki düzeyini belirleyen R^2 değeri %95.44 bulunmuştur. Bu değer görüntü işleme sonuçlarının doğruluk derecesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Görüntü işleme ile hesaplanan takım sehim sadece uzunluk ölçüsü birimi ile değil eğilmenin oransal değeri alınarak da değerlendirilebilir niteliktedir.

Çizelge 5.6 : Sonlu elemanlar analizi ve görüntü işleme Anova sonuçları.

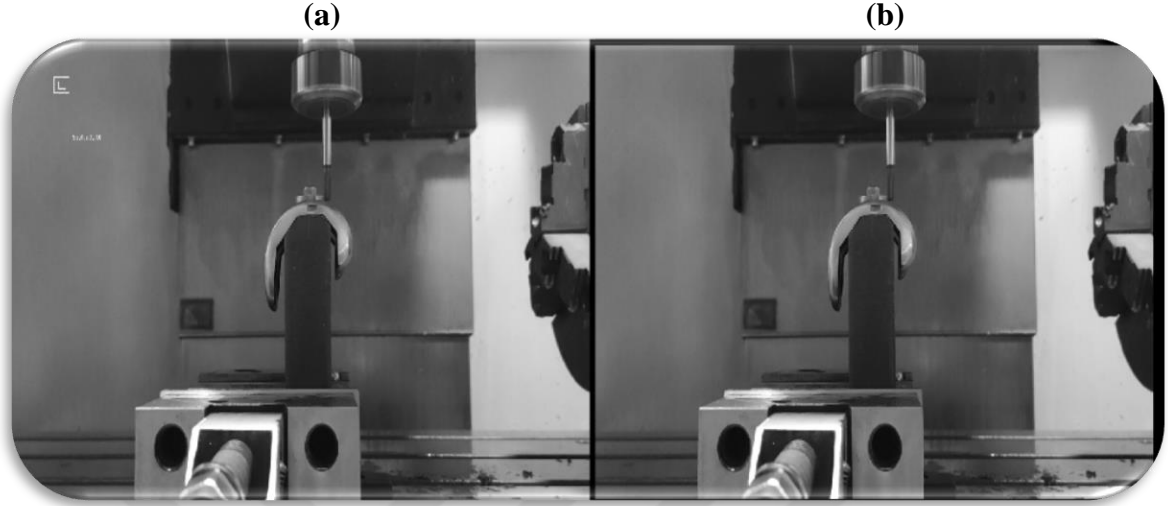
ANOVA

Terim	Katsayı	T-Değeri	P-Değeri
Sabit	0.0139	0.84	0.430
Sehim Görüntü İşleme (piksel)	1.0144	12.98	0.000

5.4 Femur Frezeleme Takım Sehim Sonuçları

Görüntü işleme ile takım sehim tespiti modeli femur bileşeni finish işleme aşamasında uygulanarak gerçek bir iş parçası üzerinde test edilmiştir. Ayrıca önerilen metodun farklı bir malzeme ve tezgah uygulamasında vereceği sonuçlar gözlemlenmiştir. Femur bileşeni form

yapısına göre eğri boyunca frezelenmiş ve takım sehimi ölçümü yapılmıştır . Takımın bir çevrimindeki görüntü 246 sahneye ayrılmıştır. Arka plandaki sabit noktalar referans alınarak görüntüye stabilizasyon uygulanmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Femur frezeleme görüntü dengeleme işlemi a) Dengelenmiş görüntü b) Normal görüntü

Takım serbest şekilli yüzeyin frezelenmesine benzer şekilde, ilk olarak eğri doğrultusunda çıkış yapmakta ve tepe noktasında kısa bir düz yüzey işlemesinden sonra iniş hareketi yapmaktadır. Bu durum takımın ilerleme doğrultusu boyunca iki farklı yönde sehim yapmasına neden olmuştur. Çıkışta sağa, inişte sola doğru sehim yapmaktadır. Kısmen düz yüzeylerde takım sehiminin sıfıra yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 5.7). Femur profilinin iki ucunda dik bir eğime sahip olması ve malzemenin sert olması takım sehim değerlerinede yansımıştır. Takımın parçayla temasa başlamasından itibaren sehim görülmektedir. Çizelge 5.7’de gri ile gösterilen değerler parçanın tepe noktasındaki eğimi az olan bölgeye aittir. Bu değerlerden öncesi takımın tırmanış sehim değerleri, sonrası ise iniş sehim değerlerine aittir.

Çizelge 5.7 : Femur frezeleme takım sehim sonuçları

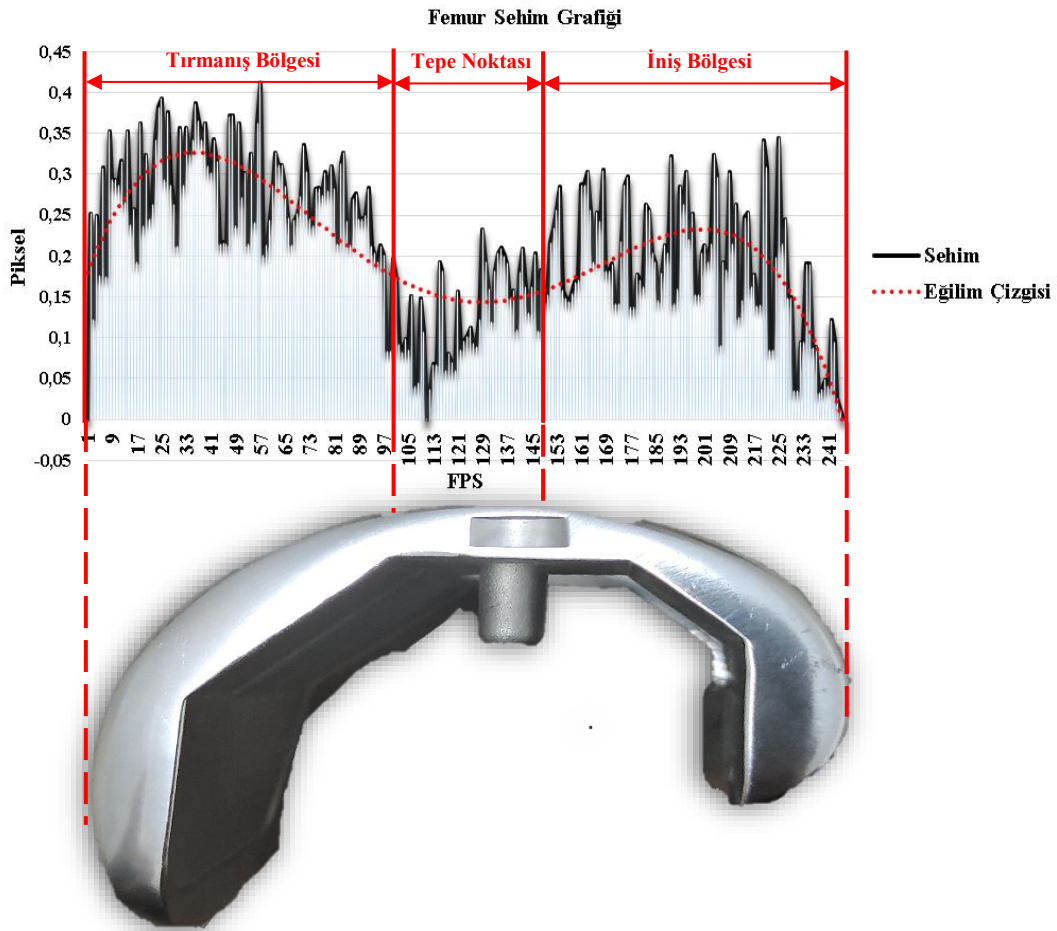
Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)
1	0.00000	63	0.31117	125	0.11233	187	0.17857
2	0.25216	64	0.31117	126	0.09362	188	0.21326
3	0.12274	65	0.28570	127	0.08966	189	0.20323
4	0.24897	66	0.24625	128	0.12303	190	0.32133
5	0.17692	67	0.21363	129	0.23266	191	0.14171
6	0.30765	68	0.24327	130	0.19257	192	0.16011
7	0.17554	69	0.25221	131	0.15910	193	0.28476
8	0.35256	70	0.27252	132	0.12001	194	0.26357
9	0.29360	71	0.33517	133	0.18243	195	0.30327

Çizelge 5.7 (devam): Femur frezeleme takım sehimi sonuçları

Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)	Sahne	Sehim (piksel)
10	0.29360	72	0.30337	134	0.20328	196	0.22074
11	0.28633	73	0.24570	135	0.21001	197	0.25172
12	0.31625	74	0.23657	136	0.20001	198	0.15326
13	0.26537	75	0.28237	137	0.19131	199	0.15326
14	0.35265	76	0.28325	138	0.14910	200	0.20323
15	0.23797	77	0.27366	139	0.15799	201	0.21323
16	0.25714	78	0.30253	140	0.10929	202	0.19232
17	0.19256	79	0.28000	141	0.18001	203	0.21526
18	0.36254	80	0.31024	142	0.20910	204	0.32363
19	0.23656	81	0.28236	143	0.16236	205	0.29657
20	0.32366	82	0.21525	144	0.13000	206	0.09083
21	0.24566	83	0.31254	145	0.16207	207	0.19236
22	0.26366	84	0.32625	146	0.20298	208	0.18257
23	0.34236	85	0.24237	147	0.10910	209	0.30233
24	0.38257	86	0.21326	148	0.18255	210	0.21525
25	0.39266	87	0.26954	149	0.14257	211	0.26324
26	0.29366	88	0.27636	150	0.15233	212	0.12487
27	0.37563	89	0.24569	151	0.21675	213	0.14606
28	0.28697	90	0.24516	152	0.23383	214	0.24690
29	0.26326	91	0.24892	153	0.25699	215	0.25299
30	0.21254	92	0.28327	154	0.28437	216	0.16185
31	0.35637	93	0.21237	155	0.15807	217	0.17724
32	0.28625	94	0.20327	156	0.14848	218	0.13926
33	0.35660	95	0.19257	157	0.14515	219	0.14043
34	0.32366	96	0.21236	158	0.15365	220	0.34065
35	0.34266	97	0.20154	159	0.16829	221	0.30833
36	0.38656	98	0.08387	160	0.17014	222	0.08524
37	0.36527	99	0.08427	161	0.28710	223	0.08564
38	0.34236	100	0.19563	162	0.28710	224	0.19883
39	0.36236	101	0.17326	163	0.30323	225	0.34427
40	0.31024	102	0.09254	164	0.25624	226	0.21475
41	0.30254	103	0.08236	165	0.19233	227	0.24490
42	0.34236	104	0.09856	166	0.25324	228	0.14910
43	0.31543	105	0.08564	167	0.24250	229	0.14910
44	0.21549	106	0.15081	168	0.30537	230	0.03584
45	0.21683	107	0.04034	169	0.18245	231	0.03584
46	0.21492	108	0.04563	170	0.18122	232	0.09473
47	0.37147	109	0.14767	171	0.19021	233	0.09473
48	0.37225	110	0.10691	172	0.14236	234	0.19013
49	0.23656	111	0.00028	173	0.14236	235	0.19013
50	0.36236	112	0.03634	174	0.21805	236	0.08836
51	0.27105	113	0.06778	175	0.28654	237	0.08862
52	0.30162	114	0.06778	176	0.29654	238	0.03319
53	0.21455	115	0.19236	177	0.13690	239	0.03711
54	0.32515	116	0.18231	178	0.13690	240	0.04881
55	0.24125	117	0.05956	179	0.17724	241	0.04068
56	0.36254	118	0.08039	180	0.17137	242	0.12148
57	0.41236	119	0.06986	181	0.16236	243	0.09530
58	0.20079	120	0.05964	182	0.26324	244	0.02584
59	0.21297	121	0.15640	183	0.25633	245	0.01254
60	0.24428	122	0.08532	184	0.20326	246	0.00089
61	0.28654	123	0.09633	185	0.19236		
62	0.32636	124	0.10232	186	0.14527		

Frezeleme ilk olarak takımın tırmanış hareketi ile başlamaktadır (Şekil 5.14). Bu sebeple takım, parçanın tepe noktasındaki kısmen düz yüzeye gelene kadar artarak sehimi yapmaktadır. Tepe noktasındaki düz yüzeyde takım sehimi azalmakta ve iniş kısmına yaklaştıkça artmaktadır. Eğim çizgisi incelendiğinde iniş kısmında, tırmanışa göre ortalama sehimin daha az gerçekleştiği görülmektedir.

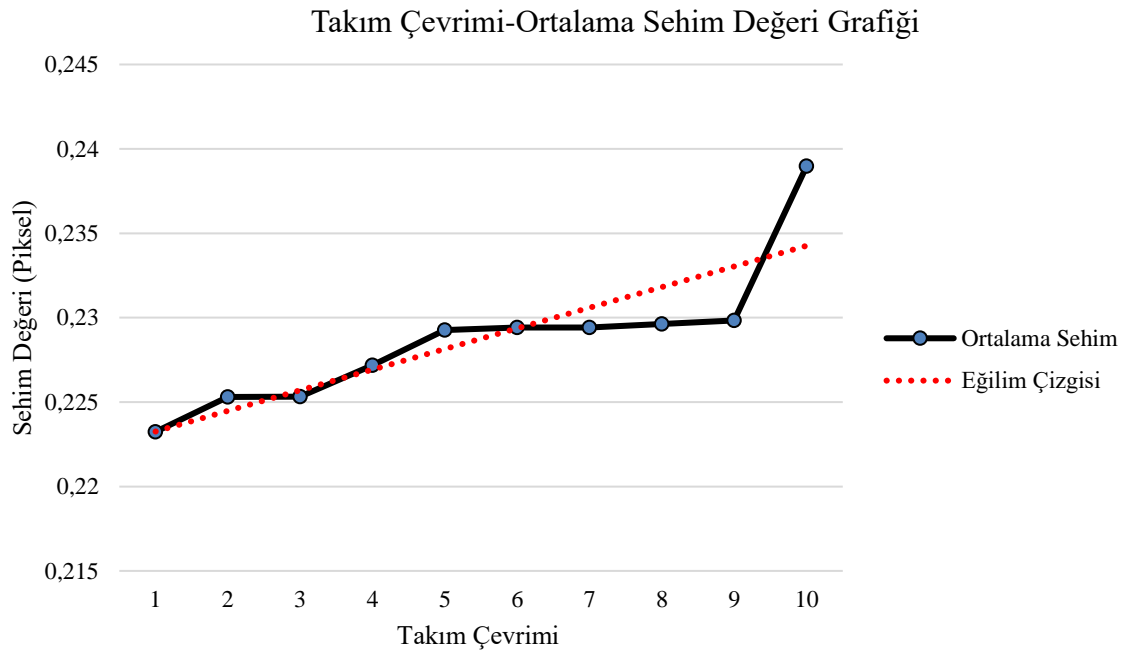
Takımın, parçanın x eksenindeki başlangıç noktasından başlayıp tekrar aynı noktaya gelmesi ile biten bir çevrimindeki ortalama sehimi değeri 0.20608 piksel olarak hesaplanmıştır. Tırmanış bölgesinde ortalama sehimi 0.28195 piksel, düz yüzey bölgesinde 0.17084 piksel, iniş bölgesinde ise 0.17858 piksel olarak gerçekleşmiştir. Her bir bölge için tepe sehimi değerleri sırasıyla 0.41236, 0.29327 ve 0.36150 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.14 : Femur frezelemede takım tırmanış, tepe nokta ve iniş sehimi grafiği.

Alüminyum frezelemede olduğu gibi femur işleme sırasında bölgeler içerisinde sehimde ani yükselme ve alçalma hareketleri görülmektedir. Bu durum malzemenin iç yapısındaki tane

sınırlarının homojen olmamasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, CoCrMo' nin sert bir malzeme olması sebebiyle takımın termal durumu ve aşınması gibi faktörlerde hızlı değişim görülmektedir (Bordin ve diğ., 2014). Özellikle aşınmanın hızla artması ile aynı talaş kesitinde takıma etkiyen kuvvetlerin arttığı, aşınmanın fazla olduğu noktaya geldiğinde ise takımın kesme yeteneğinin azalması ile birlikte daha az kesit kaldırması sonucu kesme kuvvetlerinin azaldığı bilinmektedir (Bruschi ve diğ., 2013). Takım çevrim sayısının artması ve y ekseninde ilerlemesi ile takımın gerçekleşen bu etki kesme kuvvetini artırmış ve bununla birlikte ortalama sehim artmıştır. Şekil 5.15'de ilk 10 çevrimin ortalama sehim değerlerindeki artış görülmektedir. 2 ve 10. çevrim arasında ortalama sehim yaklaşık %7 artış göstermiştir. Çevrim 2-10 arasındaki sehim değerleri EK A'da verilmiştir.

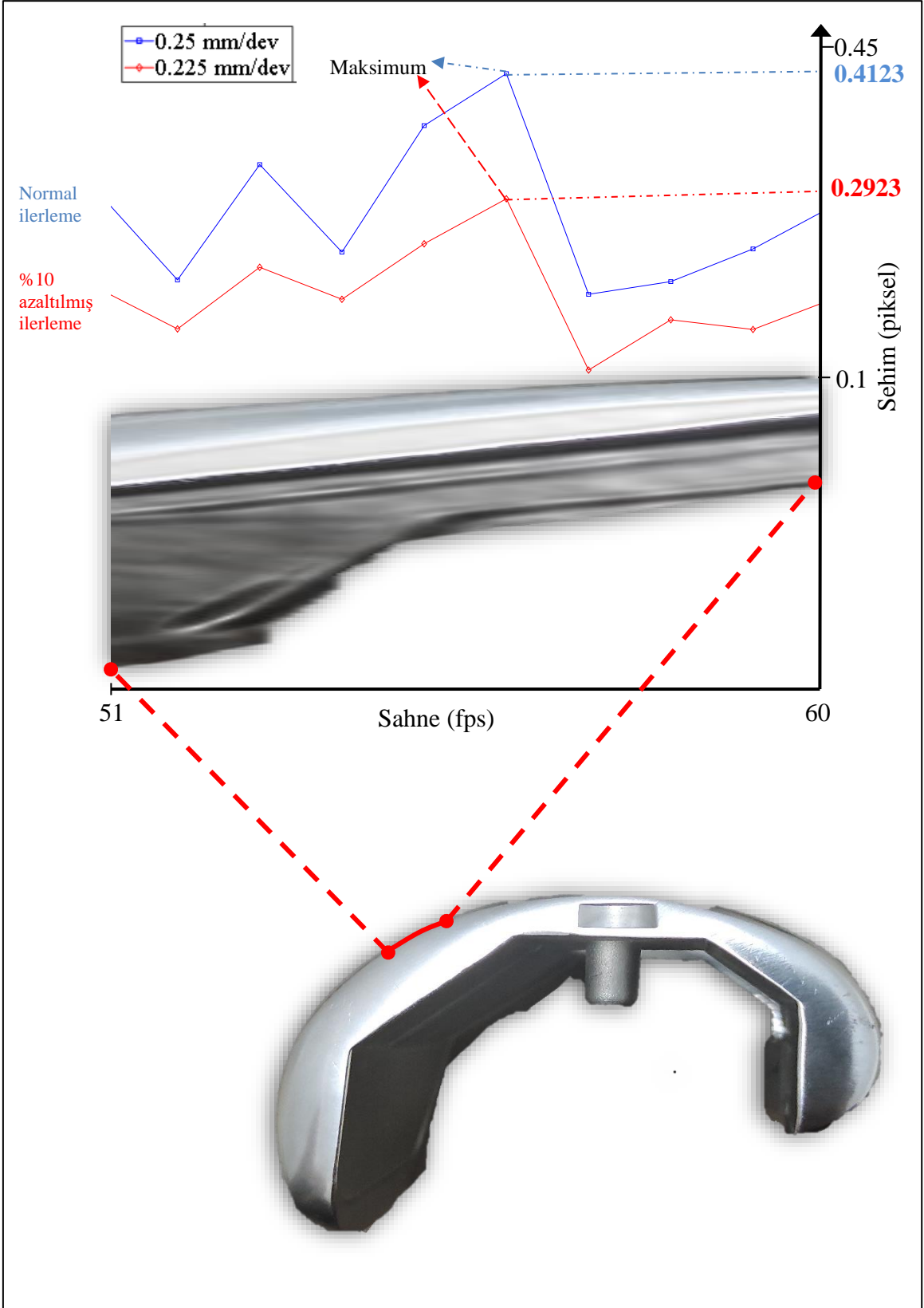


Şekil 5.15 : Femur frezelemede takım çevrimine göre ortalama sehim değişim grafiği.

Femur bileşenin frezelenmesinde en yüksek sehimin görüldüğü 57. sahne de sehim değeri 0.41236 piksel olarak gerçekleşmiştir. En yüksek değerinde içinde bulunduğu 10 sahnelik (51-60 arası) görüntünün takım sehimini ortalaması 0.29187 pikseldir. İkinci bir deneyde takım bu bölgeye geldiğinde ilerleme manuel olarak %10 oranında düşürülmüştür. Bu şekilde görüntü işleme ile ölçülen ortalama takım sehim değeri 0.20086 piksel olarak gerçekleşmiştir. Yine aynı 10 sahnelik görüntü içerisinde en yüksek takım sehim değeri 0,29236 piksel olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.16).

Frezelemede takım devrinin sabit kalıp ilerlemenin azalması, takımın birim ilerleme başına daha fazla devir yapmasını ve her bir devirde kesilen talaş boyutunun daha az olmasını sağlamaktadır (Markopoulos ve diğ., 2018). Talaş boyutunun azalması, takımın maruz kaldığı kesme kuvvetlerinin ve dolayısı ile takım sehiminin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum yüzey kalitesi açısından önemli bir kazanımdır. Talaşlı imalatta, değişken işleme koşulları ve malzeme özelliklerinin takım sehimine etkisi görüntü işleme metodu ile anlık tespit edilip, işleme parametrelerine müdahale edilerek, ürün kalitesine önemli ölçüde katkı sağlanmıştır.





Şekil 5.16 : Femur frezelemede ilerleme değerinin %10 azaltılmasının takım sehimindeki etkisi.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan CNC freze tezgahında delme ve frezeleme işlemlerinde, takımın maruz kaldığı zıt kuvvetler sonucu ortaya çıkan sehim, görüntü işleme metodu ile analiz edilmiştir. Tez ile ilgili İnönü Üniversitesi BAP birimi üzerinden araştırma projesi yazılmış ve kabul almıştır. Geliştirilen model tüm frezeleme ve delme işlemlerine uygulanabilir niteliktedir. Bununla birlikte model, medikal alanda kullanılan ve hassas imalat gerektiren diz protezi frezeleme işlemine uygulanmıştır. Son yıllarda, imalat sanayisinde kalite kontrol uygulamalarının üretim süreci içerisinde başlamasını ön gören proaktif yaklaşımın artması, CNC tezgahların anlık kontrolünü gerektirmektedir. Yapılan çalışma, imalattaki yeni kalite anlayışına katkı sunacak çözümler içermektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar imalat süreçlerinin otonom kontrolü açısından umut vericidir.

Çalışmada ilk olarak talaş kaldırma modeli geometrik ve matematiksel olarak tanımlanmıştır. Delme ve frezeleme işlemleri için takıma etki eden kesme kuvvetleri tanımlanmıştır. Her iki işlem için, kesme kuvvetlerinin neden olduğu takım sehimi denklemleri çıkarılmıştır.

Görüntülemeye kullanılan kamera, takımın en net şekilde görece ve takımla birlikte hareket edecek şekilde konumlandırılmıştır. Deney ortamı yansıma, parlama ve gölge yapmayacak şekilde aydınlatılmıştır. Delme ve frezeleme işlemlerinde takım sehimi, takımın çalışma yönü ve kuvvet bileşenleri farklı olması nedeni ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Delme işleminde takım kendi ekseni etrafında dönerek talaş kaldırmakta ve parçaya z ekseni doğrultusunda ilerlemektedir. Parçayla ilk temasından itibaren takım zıt kuvvetlerin etkisi ile malzemenin en gevşek olduğu yöne doğru sehim yapmakta ve bir süre sonra sehim azalmaktadır. Takım parçanın içerisine girerek görüntüden kaybolduğu için her zaman, takımın parçanın üzerindeki son noktası ile takım tutucu arasındaki eğim hesaplanmaktadır.

Frezeleme işleminde takım kendi ekseni etrafında dönerek ve x-y ekseni üzerinde talaş kaldırarak ilerlemektedir. Bu süreçte takım sehimi yine x-y ekseni üzerinde gerçekleşmektedir. Aynı ilerleme ve devirde sehimi etkileyen en önemli faktör serbest şekilli yüzeylerdeki iniş ve çıkışlardır. Kamera, takım ile birlikte hareket ettiği için iş parçasının profili doğrultusunda iniş ve çıkışları net olarak görüntüleyebilmektedir.

Takım sehimi görüntü işleme algoritmaları kullanılarak belirlenmiştir. Görüntü, dengeleme, kesme, griye çevirme, siyah beyaz yapma gibi bazı temel süreçlerde işlenmiştir. İşlenmiş görüntü üzerinden cisimlerin ve temelde takımın kenar sınırları belirlenerek, kenar sınırlarındaki sapma hesaplanmıştır. Takımın çalışmadığı konumdaki referans görüntüsü ile işleme sırasındaki her bir sahne karşılaştırılarak sehim belirlenmiştir.

Görüntü işleme modelinin uygulanması sonucunda elde edilen verileri karşılaştırmak için frezeleme sırasında eş zamanlı olarak kuvvet ölçümü yapılmış ve kuvvet sonuçları sonlu elemanlar analizi ile simüle edilmiştir. Bu şekilde takımdaki gerilme ve sehim değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın gerçek bir ürün üzerinde test edilmesi amacıyla, medikal alanda kullanılan ve CoCrMo malzemesinden üretilen diz protezi femur bileşeninin finish işleme aşamalarında görüntü işleme modeli ile takım sehimi ölçümü yapılmıştır. Kullanıldığı yer nedeni ile yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluğun önem arzettiği femur bileşeninin imalatında takım sehimini azaltacak öneriler sunulmuştur.

6.1 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Görüntü işleme ile takım sehimi ölçüm modeli, CNC freze tezgahında delik delme ve frezeleme üzerinde deneysel çalışma yapılarak oluşturulmuştur. Deneyler sırasında dinamometre ile kuvvet ölçülerek, talaş kaldırma işlemi sonlu elemanlar analizi ile modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizi sonuçları ile görüntü işleme sonuçları karşılaştırılarak önerilen özgün modelin verileri karşılaştırılmıştır. Model, diz protezi femur bileşeninin finish işleme aşamasına uygulanmıştır. Gerçekleştirilen tüm deneysel çalışmaların sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir:

- Delme deneyi farklı parametreler kullanılarak 9 defa uygulanmıştır. Her bir delik için 209 sahnelik görüntü incelenmiş ve takım sehimi hesaplanmıştır. Takım malzemeye ilk giriş yaptığı andan itibaren sehim başlamış, belli bir noktada maksimuma ulaşmış ve daha sonra düşüğe geçmiştir. Sehimin en yüksek olduğu nokta geometrik ve yüzey hatalarının en fazla görüldüğü yer olarak tespit edilmiştir. İlerlemenin artması ile takım sehiminin arttığı (Luo ve diğ., 2016), devrin artması ile azaldığı görülmüştür (Karimi ve diğ., 2015). İlerleme ve devrin sehim üzerindeki etkisi matematiksel olarak modellenmiş ve $R^2=86.9\%$ doğrulukla sehim değeri tahmin edilmiştir. Delinen parça çap doğrultusunda kesilerek delik iç yüzeyi incelenmiştir. İç yüzeyde

ilerlemenin artışıyla yüzeydeki hatalı bölgenin arttığı ve daha derin matkap izleri görüldüğü tespit edilmiştir.

- Serbest şekilli bir yüzeyin frezelenmesi görüntülenmiş ve 189 sahne incelenerek takım sehimi hesaplanmıştır. Takımın iş parçası şekline göre iniş ve çıkış konumlarında sağa veya sola sehim yaptığı görülmüştür. Tırmanışlardaki sehim değeri iniş ve düz yüzeydeki sehim değerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Takımın bir çevriminde ortalama tırmanış sehim değeri 0.12277 piksel, ortalama tepe noktası sehim değeri 0.05087 piksel ve ortalama iniş sehim değeri 0.10610 piksel olarak gerçekleşmiştir. Genel sehim değeri ortalaması 0.11325 piksel olarak hesaplanmıştır.
- Modelin karşılaştırılması için frezeleme ile birlikte ölçülen kuvvet değerleri ile sonlu elemanlar analizi (SEA) uygulamıştır. Her bir sahne için 265 kuvvet sinyalinin ortalaması alınarak görüntü işlemede sehimin en fazla ve en az çıktığı değerler ve ara değerler için sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Görüntü işleme sonuçları ile sonlu elemanlar analizi sonuçları varyans analizine tabi tutulmuş ve iki değer arasındaki ilişkinin düzeyi $R^2 = \%95.44$ olarak hesaplanmıştır. Bu kuvvetli ilişki düzeyi görüntü işleme modelinin ölçüm doğruluğunun yüksek olduğunu göstermektedir.
- Model diz protez femur bileşenine uygulanarak takım sehimi sonuçları elde edilmiştir. Femur bileşenin eğimli formu boyunca tırmanış bölgelerinde takım sehiminin arttığı, tepe noktasındaki düz yüzeyde azaldığı ve inişe geçtiğinde yeniden arttığı tespit edilmiştir. İş parçası malzemesinin sert olması nedeni ile takım sehim değerlerinin alüminyum malzeme frezelemeye göre arttığı görülmüştür. Takımın bir çevrimindeki ortalama sehim değeri 0.20608 piksel olarak hesaplanmıştır. Tırmanış bölgesinde ortalama sehim 0.28195 piksel, düz yüzey bölgesinde 0.17084 piksel, iniş bölgesinde ise 0.17858 piksel olarak gerçekleşmiştir. Frezeleme sırasında gerçekleşen termal ve takım aşınması koşulları nedeni ile takımın çevrimi arttıkça ortalama sehim değerinin arttığı tespit edilmiştir. 1 ve 10. çevrim arasında %7'lik ortalama sehim artışı hesaplanmıştır. Deney tekrarlanarak, en yüksek takım sehimin görüldüğü 51-60. sahneler arasında ilerleme değeri manuel olarak %10 azaltıldı ve görüntü işleme ile takım sehimi ölçülmüştür. Bu müdahale ile en yüksek takım sehimi değerinin 0.41236 pikselden, 0.29236 piksele düştüğü tespit edilmiştir.

6.2 Öneriler

Tez çalışması, CNC tezgahlarda uygulanan delme ve frezeleme işlemleri sırasında takımda oluşan sehimin görüntü işleme metodu ile tespitine yönelik uygulamalar içermektedir. Bu uygulamalar kendi içerisinde değerlendirildiğinde aşağıda belirtilen gelecekteki çalışmalara ışık tutabilir;

- Önerilen yöntem talaşlı imalat sürecinde temassız ölçüm yöntemi ihtiyacını giderecek niteliktedir. Özellikle ölçüsel veya oransal değişimlere bağlı gözlemlere ölçümler görüntü işleme metodu ile yapılabilecektir.
- Çalışma CNC tezgahlarda otonom kontrol sistemlerinin gelişmesine önemli bir destek sağlayacaktır. İşleme sırasında anlık veri alınarak tezgah ve takım dinamik koşullarının optimum seviyede tutulmasını sağlayacak parametrelerin uygulanması kolaylaşacaktır. Model sezgisel takım yolu belirleme süreçleri ile birleştirilerek, iş parçasının işlenmesinde kaliteyi ve zamanı etkileyen en uygun parametrelerin anlık olarak belirlenebilmesini sağlayan sistemler üzerinde çalışılacaktır.
- Talaşlı imalat ve diğer mühendislik uygulamalarında elde edilen karmaşık dinamik görüntüler üzerinden bazı ayırt edici veriler alınarak birçok değişken hakkında yorum yapılabilecektir. Bu yorumlar kısmen veya tamamen dinamik sistem koşullarındaki değişimi ortaya koyabilecektir.

KAYNAKLAR

- Aamir, M., Giasin, K., Tolouei-Rad, M., & Vafadar, A.** (2020). *A review: drilling performance and hole quality of aluminium alloys for aerospace applications | Elsevier Enhanced Reader*. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 12484-12500.
- Afazov, S. M., Ratchev, S. M., & Segal, J.** (2010). Modelling and simulation of micro-milling cutting forces. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(15), 2154–2162.
- Agrawal, V., Kumar, A., Kumar, N., & Jain, P. K.** (2019). An image-based approach of generating automatic toolpath for profile milling. *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (ss. 415–422). Pleiades Publishing.
- Akyer, Ş. P.** (2009). *Total diz artroplastisi uygulamalarında kemik ve implant arasındaki uyumun artırılmasına yönelik diz eklemine oluşturan kemik yapıların morfolojik ve morfometrik tanımlanması*. <http://acikerisim.deu.edu.tr:8080/xmlui/handle/20.500.12397/10351>
- Altintas, Y., Rev., A. B.-A. M., & 2001, U.** (2001). Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design. *Appl. Mech. Rev.*, 54(5), B84–B84.
- Bagci, E.-Y., Eyup Bagci * -Ercüment, E. U., & Yüncüoğlu, U.** (2017). The Effects of Milling Strategies on Forces, Material Removal Rate, Tool Deflection, and Surface Errors for the Rough Machining of Complex Surfaces. *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 63, 643–656.
- Bordin, A., Ghiotti, A., Bruschi, S., Facchini, L., & Bucciotti, F.** (2014). Machinability characteristics of wrought and EBM CoCrMo alloys. *Procedia CIRP*, 14, 89–94.
- Bruschi, S., Ghiotti, A., Materials, A. B.-K. E.** (2013). Effect of the process parameters on the machinability characteristics of a CoCrMo alloy. *Trans Tech Publ*. <https://www.scientific.net/KEM.554-557.1976>
- Burger, W., & Burge, M. J.** (2013). *Principles of Digital Image Processing*. Springer London.

- Çakır, M. C.** (2000). *Modern talaşlı imalat yöntemleri*. Vipaş A.Ş., Bursa, 219-346.
- Chaves-Jacob, J., Linares, J. M., & Sprauel, J. M.** (2011). Increasing of surface quality in friction free-form surfaces of knee prosthesis. *CIRP Annals Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.059>
- Chen, C. H., Chen, C. Y., Chen, C. H., & Chen, J. R.** (2011). Real-time video stabilization based on vibration compensation by using feature block. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 7(9), 5285–5298.
- Chen, C. H., Kuo, Y. L., Chen, T. Y., & Chen, J. R.** (2009). Real-time video stabilization based on motion compensation. *2009 4th International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC 2009*, 1495–1498.
- Demigny, D.** (2002). On optimal linear filtering for edge detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 11(7), 728–737.
- Demircioğlu, P., Bögrekci, İ., Çerçi, Y., & Durakbaşı, M. N.** (2013). Kesici Takım Endüstrisinde Mühendislik Uygulamaları ile Mikro/Nanoteknolojinin Termal ve Görüntü İşleme ile Analizi. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/95db6151c06bc78_ek.pdf
- Denkena, B., & Boujnah, H.** (2018). Feeling machines for online detection and compensation of tool deflection in milling. *CIRP Annals*, 67(1), 423–426.
- Denkena, B., Litwinski, K. M., & Boujnah, H.** (2016). Detection of tool deflection in milling by a sensory axis slide for machine tools. *Mechatronics*, 34, 95–99.
- Dépincé, P., & Hascoët, J.-Y.** (2005). *Active integration of tool deflection effects in end milling. Part 1. Prediction of milled surfaces*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.08.005>
- Dépincé, P., & Hascoët, J. Y.** (2006). Active integration of tool deflection effects in end milling. Part 2. Compensation of tool deflection. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(9), 945–956.
- Desai, M. S., & Rao, D. A. P.** (2017). Seed Quality Analysis Using Image Processing and ANN. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development, Volume-1* (Issue-4), 705–709.

- Dorj, U. O., Lee, M., & Yun, S. seok.** (2017). An yield estimation in citrus orchards via fruit detection and counting using image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, *140*, 103–112.
- Dunand, M., & Mohr, D.** (2010). Hybrid experimental-numerical analysis of basic ductile fracture experiments for sheet metals. *International Journal of Solids and Structures*, *47*(9), 1130–1143.
- El-Hofy, H.** (2018). *Fundamentals of machining processes: conventional and nonconventional processes*. CRC press.
- Emir, E.** (2019). *Diz protezi aşınma simülasyonu tasarım ve imalatı* (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya
- Ganesan, P., & Sajiv, G.** (2018). A comprehensive study of edge detection for image processing applications. *Proceedings of 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems, ICIIECS 2017, 2018-January*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICIIECS.2017.8275968>
- Ghasemi, A. H., Mahyar Khorasani, A., & Gibson, I.** (2018). materials Investigation on the Effect of a Pre-Center Drill Hole and Tool Material on Thrust Force, Surface Roughness, and Cylindricity in the Drilling of Al7075. *Materials*, *11*(1), 140.
- Gök, A., Demirci, H., & Gök, K.** (2016). Determination of experimental, analytical, and numerical values of tool deflection at ball end milling of inclined surfaces. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, *230*(2), 111–119.
- Gok, A., Gologlu, C., & Demirci, H. I.** (2013). Cutting parameter and tool path style effects on cutting force and tool deflection in machining of convex and concave inclined surfaces. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *69*(5–8), 1063–1078.
- Gökçe, H.** (2021). Al 1050-H14 Alaşımının Delinmesi Sürecinde Yüzey Pürüzlülüğü, Çapak Oluşumu, Takım Aşınması, Çaptan ve Silindiriklikten Sapmanın Modellenmesi ve Tahmini. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, *2*(1), 2717–7475.
- Groover, M.** (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.

- Gye, H.-R., Song, B.-U., Lim, Y.-S., Shin, Y.-W., Jang, S.-H., & Seo, T.-I.** (2013). Prediction of Cutting Force and Tool Deflection in Micro Flat End Milling. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 13–16.
- Habibi, M., Tuysuz, O., & Altintas, Y.** (2019). Modification of Tool Orientation and Position to Compensate Tool and Part Deflections in Five-Axis Ball End Milling Operations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 141(3). <https://doi.org/10.1115/1.4042019>
- Hamade, R. F., Seif, C. Y., & Ismail, F.** (2005). *Extracting cutting force coefficients from drilling experiments*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.05.016>
- Huo, D., Chen, W., Teng, X., Lin, C., & Yang, K.** (2017). Modeling the Influence of Tool Deflection on Cutting Force and Surface Generation in Micro-Milling. *Micromachines*, 8(6), 188.
- Iftikhar, F.** (2011). Algorithm for Image Processing Using Improved. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)* (Sayı 1).
- Jalili Saffar, R., Razfar, M. R., Zarei, O., & Ghassemieh, E.** (2008). Simulation of three-dimension cutting force and tool deflection in the end milling operation based on finite element method. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16(10), 1677–1688.
- Jia, Z., Lu, X., Gu, H., Ruan, F., & Liang, S. Y.** (2021). Deflection prediction of micro-milling Inconel 718 thin-walled parts. *Journal of Materials Processing Technology*, 291, 117003.
- Kannan, A., & Kumar, S.** (2021). *Fault Detection of Mechanical Components Using Image Processing*.
- Kar, T., Mandal, N. K., & Singh, N. K.** (2020). Multi-response Optimization and Surface Texture Characterization for CNC Milling of Inconel 718 Alloy. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(2), 1265–1277.
- Karimi, N. Z., Minak, G., Kianfar, P., Di Torino, P., & Heidary, H.** (2015). The effect of chisel edge on drilling-induced delamination. *researchgate.net*.
- Ken-Yi Lee, Yung-Yu Chuang, Bing-Yu Chen, & Ming Ouhyoung.** (2010). *Video stabilization using robust feature trajectories*. 1397–1404.

- Kesemen, O., Tezel, O., Ozkul, E., & Kesim, M.** (2017, Haziran 27). Dinamik Görüntülerde Mikro Değişimlerin Gerçek Zamanlı Ölçülmesi. *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2017*. <https://doi.org/10.1109/SIU.2017.7960548>
- Khorasani, A. M., Gibson, I., Godarzvand Chegini, N., Goldberg, M., Ghasemi, A. H., & Littlefair, G.** (2016). An improved static model for tool deflection in machining of Ti-6Al-4V acetabular shell produced by selective laser melting. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 92, 534–544.
- Khorasani, A. M., Saadatkia, P., & Kootsookos, A.** (2012). Tool vibration prediction and optimisation in face milling of Al 7075 and St 52 by using neural networks and genetic algorithm. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 12(1–2), 142–153.
- Kim, G. M., Kim, B. H., & Chu, C. N.** (2003). Estimation of cutter deflection and form error in ball-end milling processes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(9), 917–924.
- Klocke, F.** (2013). *Manufacturing Processes 4*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36772-4>
- Lamikiz, A., Ló Pez De Lacalle, L. N., Sánchez, J. A., & Salgado, M. A.** (2004). Cutting force estimation in sculptured surface milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44, 1511–1526.
- Li, S.-J., Zhou, Y.-F., Jin, R.-C., & Ji, Z.** (2001). Dynamic Force Modelling for a Ball-End Milling Cutter Based on the Merchant Oblique Cutting Theory. *Int J Adv Manuf Technol* (C. 17).
- Lins, R. G., Guerreiro, B., Marques De Araujo, P. R., & Schmitt, R.** (2020). In-process tool wear measurement system based on image analysis for CNC drilling machines. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(8), 5579–5588.
- Londoño Lopera, J. C., Goetz Mora, J. E., & Rico Mesa, E. M.** (2018). Positioning of the cutting tool of a CNC type milling machine by means of digital image processing. *Communications in Computer and Information Science*, 885, 312–325.

- López De Lacalle, L. N., Lamikiz, A., Sánchez, J. A., & Salgado, M. A.** (2004). Effects of tool deflection in the high-speed milling of inclined surfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24(9), 621–631.
- Lotfi, S., Wassila, B., & Gilles, D.** (2018). Cutter workpiece engagement region and surface topography prediction in five-axis ball-end milling. *Machining Science and Technology*, 22(2). <https://doi.org/10.1080/10910344.2017.1337131>
- Luo, B., Li, Y., Zhang, K., Cheng, H., & Liu, S.** (2016). Effect of workpiece stiffness on thrust force and delamination in drilling thin composite laminates. *Journal of Composite Materials*, 50(5), 617–625.
- Ma, W., He, G., Zhu, L., & Guo, L.** (2016). Tool deflection error compensation in five-axis ball-end milling of sculptured surface. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(5–8), 1421–1430
- Markopoulos, A. P., Galanis, N. I., Karkalos, N. E., & Manolakos, D. E.** (2018a). Precision CNC machining of femoral component of knee implant: A case study. *Machines*, 6(1), 10.
- Markopoulos, A. P., Galanis, N. I., Karkalos, N. E., & Manolakos, D. E.** (2018b). Precision CNC machining of femoral component of knee implant: A case study. *Machines*, 6(1), 10. <https://doi.org/10.3390/MACHINES6010010>
- Momin, M. A., Rahman, M. T., Sultana, M. S., Igathinathane, C., Ziauddin, A. T. M., & Grift, T. E.** (2017). Geometry-based mass grading of mango fruits using image processing. *Information Processing in Agriculture*, 4(2), 150–160.
- Nadernejad, E., Sharifzadeh, S., & Hassanpour, H.** (2008). Edge Detection Techniques: Evaluations and Comparisons. İçinde *Applied Mathematical Sciences* (C. 2, Sayı 31).
- Ong, P., Lee, W. K., & Lau, R. J. H.** (2019). Tool condition monitoring in CNC end milling using wavelet neural network based on machine vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(1–4), 1369–1379.
- Pandey, C., Sethy, P. K., Biswas, P., Behera, S. K., & Khan, M. R.** (2020). Quality Evaluation of Pomegranate Fruit using Image Processing Techniques. *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2020*, 38–40.

- Peng, Y., Wu, T., Wang, S., & Peng, Z.** (2017). Wear state identification using dynamic features of wear debris for on-line purpose. *Wear*, 376–377, 1885–1891.
- Qin, A., Guo, L., You, Z., Gao, H., Wu, X., & Xiang, S.** (2020). Research on automatic monitoring method of face milling cutter wear based on dynamic image sequence. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 110(11–12), 3365–3376.
- Rao, V. S., & Rao, P. V. M.** (2006). Tool deflection compensation in peripheral milling of curved geometries. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(15), 2036–2043.
- Sahoo, P., Patra, K., Singh, V. K., Mittal, R. K., & Singh, R. K.** (2020). Modeling Dynamic Stability and Cutting Forces in Micro Milling of Ti6Al4V Using Intermittent Oblique Cutting Finite Element Method Simulation-Based Force Coefficients. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 142(9). <https://doi.org/10.1115/1.4047432>
- Sahu, D., & Dewangan, C.** (2017). Identification and Classification of Mango Fruits Using Image Processing. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology* © 2016 IJSRCSEIT, 2(2), 203–210.
- Shaw, M. C.** (2005). *METAL CUTTING PRINCIPLES Second Edition*. www.oup.com
- Smaoui, M., Bouaziz, Z., Zghal, A., Desein, G., & Baili, M.** (2012). *Simulation of the deflected cutting tool trajectory in complex surface milling*. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3213-x>
- Smith, G.** (2008). *Cutting tool technology: industrial handbook*. Springer Science & Business Media.
- Soori, M.** (2017). *Virtual Prediction of Tool Deflection Error by the Finite Element Method (FEM)*.
- Soori, Mohsen, Arezoo, B., & Habibi, M.** (2017). Accuracy analysis of tool deflection error modelling in prediction of milled surfaces by a virtual machining system. *Int. J. Computer Applications in Technology* (C. 55, Sayı 4).

- Sredanovic, B., & Lakic, G. G. (2017).** Experimental study on micro-machinability of hardened tool steel in profile micro-milling. *Solid State Phenomena, 261 SSP*, 85–92.
- Thakur, A., Singh, G., Minhas, N., Sharma, V., & Bansal, A. (2021).** 3D modeling and experimental investigation for tool deflection in end mill cutting of AISI 1045. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.731>
- Thusty, J. (2000).** *Manufacturing Processes and Equipment*. Prentice Hall.
- Uslu, B. (2001).** *ISO tolerans sistemleri*. <http://dSPACE.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/9821>
- Vahebi Nojehdeh, M., Habibi, M., & Arezoo, B. (2011).** Tool path accuracy enhancement through geometrical error compensation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture, 51(6)*, 471–482.
- Vamsi Krishna Reddy, L., Srinivasa Prasad, B., & Rajasekhar, M. (2021).** Analysis of vibration assisted dry end milling using 3D FE simulation – An investigational approach. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.063>
- Vargas Vargas, H., & Camacho Bello, C. J. (2018).** Complex moments for the analysis of metal-mechanical parts. İçinde A. G. Tescher (Ed.), *Applications of Digital Image Processing XLI* (C. 10752, s. 107). SPIE.
- Wan, M., Yuan, H., Feng, J., Zhang, W. H., & Yin, W. (2017).** Industry-oriented method for measuring the cutting forces based on the deflections of tool shank. *International Journal of Mechanical Sciences, 130*, 315–323.
- Wang, B., & Liu, Z. (2016).** Investigations on deformation and fracture behavior of workpiece material during high speed machining of 7050-T7451 aluminum alloy. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 14*, 43–54.
- Wells, P. N. T. (2001).** Handbook of Image and Video Processing. *Physiological Measurement, 22(1)*, 263–264.
- Wojciechowski, S., Wiackiewicz, M., & Krolczyk, G. M. (2018).** Study on metrological relations between instant tool displacements and surface roughness during precise ball end milling. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 129*, 686–694.

- Xu, L. M., Fan, F., Zhang, Z., Chen, Y., Hu, D. J., & Shi, L.** (2019). Methodology and implementation of a vision-oriented open CNC system for profile grinding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *100*(5–8), 2123–2131.
- Yitzhaky, Y.** (2000). Restoration of an image degraded by vibrations using only a single frame. *Optical Engineering*, *39*(8), 2083. <https://doi.org/10.1117/1.1305319>
- Zhang, Q. B., & Zhao, J.** (2013). Determination of mechanical properties and full-field strain measurements of rock material under dynamic loads. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, *60*, 423–439.
- Zhang, X., Yu, T., & Wang, W.** (2018). Prediction of cutting forces and instantaneous tool deflection in micro end milling by considering tool run-out. *International Journal of Mechanical Sciences*, *136*, 124–133.
- Zhou, L., Yang, C., Peng, F., Yan, R., Deng, B., & Liu, M.** (2018). Prediction of flexible cutting forces and tool deflections for general micro end mill considering tool run-out and deflection feedback. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *96*(1–4), 1415–1428.
- Zhu, S., Xia, X., Zhang, Q., & Belloulata, K.** (2007). An image segmentation algorithm in image processing based on threshold segmentation. *Proceedings - International Conference on Signal Image Technologies and Internet Based Systems, SITIS 2007*, 673–678.
- Zietz, C., Bergschmidt, P., Fritsche, A., Kluess, D., Mittelmeier, W., & Bader, R.** (2012). Comparison of cross-sections of different femoral components for revision total knee replacement. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)*, *20*(1), 32–36.
- Zou, Y., & Chen, T.** (2018). Laser vision seam tracking system based on image processing and continuous convolution operator tracker. *Optics and Lasers in Engineering*, *105*, 141–149.

EKLER

EK A: Femur frezeleme çevrim 2-10 arasındaki sehım değerleri

Çizelge A.1 : Çevrim 2-10 arasında ölçülen sehım değerleri

Sahne No	Çevrim No								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.273152	0.275675	0.275697	0.277969	0.280533	0.280715	0.280716	0.280967	0.281215
3	0.132965	0.134193	0.134203	0.13531	0.136558	0.136646	0.136646	0.136769	0.136889
4	0.269705	0.272195	0.272217	0.274461	0.276992	0.277172	0.277173	0.277421	0.277666
5	0.191653	0.193422	0.193438	0.195032	0.196831	0.196959	0.196959	0.197135	0.197309
6	0.333261	0.336338	0.336365	0.339137	0.342265	0.342487	0.342488	0.342795	0.343097
7	0.190159	0.191914	0.19193	0.193512	0.195297	0.195423	0.195424	0.195599	0.195771
8	0.381918	0.385445	0.385476	0.388653	0.392238	0.392492	0.392493	0.392845	0.393191
9	0.31805	0.320987	0.321013	0.323659	0.326644	0.326856	0.326857	0.327149	0.327438
10	0.31805	0.320987	0.321013	0.323659	0.326644	0.326856	0.326857	0.327149	0.327438
11	0.310165	0.313029	0.313054	0.315635	0.318546	0.318752	0.318753	0.319039	0.31932
12	0.342585	0.345748	0.345776	0.348626	0.351842	0.35207	0.352071	0.352386	0.352697
13	0.28746	0.290114	0.290138	0.292529	0.295227	0.295419	0.295419	0.295684	0.295945
14	0.382016	0.385543	0.385574	0.388752	0.392338	0.392592	0.392593	0.392945	0.393291
15	0.257782	0.260162	0.260183	0.262328	0.264747	0.264919	0.264919	0.265157	0.26539
16	0.278548	0.28112	0.281143	0.28346	0.286074	0.28626	0.28626	0.286517	0.286769
17	0.208596	0.210522	0.210539	0.212275	0.214233	0.214371	0.214372	0.214564	0.214753
18	0.392721	0.396347	0.396379	0.399646	0.403332	0.403593	0.403594	0.403956	0.404312
19	0.256261	0.258627	0.258648	0.26078	0.263185	0.263356	0.263356	0.263592	0.263825
20	0.350605	0.353842	0.35387	0.356787	0.360078	0.360311	0.360312	0.360635	0.360953
21	0.266112	0.268569	0.268591	0.270805	0.273303	0.27348	0.27348	0.273725	0.273967
22	0.285612	0.288249	0.288272	0.290649	0.293329	0.293519	0.29352	0.293783	0.294042
23	0.370862	0.374286	0.374317	0.377402	0.380883	0.38113	0.381131	0.381472	0.381808
24	0.414419	0.418245	0.418279	0.421726	0.425616	0.425892	0.425893	0.426274	0.42665
25	0.425351	0.429278	0.429313	0.432851	0.436843	0.437127	0.437128	0.437519	0.437905
26	0.318107	0.321044	0.32107	0.323716	0.326702	0.326914	0.326914	0.327207	0.327496
27	0.406901	0.410658	0.410692	0.414077	0.417896	0.418167	0.418168	0.418542	0.418911
28	0.310859	0.313729	0.313754	0.31634	0.319258	0.319465	0.319466	0.319752	0.320034
29	0.285176	0.287809	0.287832	0.290205	0.292881	0.293071	0.293072	0.293335	0.293593
30	0.230231	0.232357	0.232376	0.234291	0.236452	0.236605	0.236606	0.236818	0.237027
31	0.386037	0.389601	0.389633	0.392844	0.396468	0.396725	0.396726	0.397081	0.397431
32	0.310087	0.31295	0.312976	0.315555	0.318466	0.318672	0.318673	0.318958	0.31924
33	0.386289	0.389856	0.389888	0.393101	0.396727	0.396984	0.396985	0.397341	0.397691
34	0.350606	0.353843	0.353871	0.356788	0.360079	0.360312	0.360313	0.360636	0.360954
35	0.371189	0.374616	0.374646	0.377734	0.381218	0.381465	0.381466	0.381808	0.382145
36	0.418749	0.422616	0.42265	0.426134	0.430064	0.430343	0.430344	0.430729	0.431109
37	0.395678	0.399332	0.399364	0.402655	0.406369	0.406633	0.406634	0.406998	0.407357
38	0.370863	0.374287	0.374317	0.377402	0.380883	0.38113	0.381131	0.381472	0.381809
39	0.39253	0.396154	0.396186	0.399452	0.403136	0.403397	0.403398	0.40376	0.404116
40	0.336067	0.33917	0.339198	0.341993	0.345148	0.345371	0.345372	0.345682	0.345986

Çizelge A.1 : (devam) Çevrim 2-10 arasında ölçülen sehim değerleri

Sahne No	Çevrim No								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	0.327726	0.330752	0.330778	0.333505	0.336581	0.336799	0.3368	0.337101	0.337399
42	0.370862	0.374286	0.374317	0.377402	0.380883	0.38113	0.381131	0.381472	0.381808
43	0.34169	0.344845	0.344873	0.347715	0.350922	0.35115	0.351151	0.351465	0.351775
44	0.233428	0.235583	0.235602	0.237544	0.239735	0.239891	0.239891	0.240106	0.240318
45	0.23488	0.237049	0.237068	0.239022	0.241226	0.241383	0.241383	0.2416	0.241813
46	0.232814	0.234963	0.234982	0.236919	0.239104	0.239259	0.23926	0.239474	0.239685
47	0.4024	0.406115	0.406148	0.409495	0.413272	0.41354	0.413541	0.413912	0.414277
48	0.403242	0.406966	0.406998	0.410353	0.414138	0.414406	0.414407	0.414778	0.415144
49	0.256257	0.258623	0.258644	0.260776	0.263181	0.263351	0.263352	0.263588	0.26382
50	0.392527	0.396151	0.396183	0.399449	0.403133	0.403394	0.403395	0.403756	0.404112
51	0.293619	0.29633	0.296354	0.298796	0.301552	0.301748	0.301749	0.302019	0.302285
52	0.326728	0.329745	0.329772	0.33249	0.335557	0.335774	0.335775	0.336076	0.336372
53	0.232412	0.234558	0.234577	0.23651	0.238692	0.238846	0.238847	0.239061	0.239272
54	0.352225	0.355477	0.355506	0.358436	0.361742	0.361977	0.361978	0.362302	0.362621
55	0.26134	0.263754	0.263775	0.265949	0.268402	0.268576	0.268576	0.268817	0.269054
56	0.392721	0.396347	0.396379	0.399646	0.403332	0.403593	0.403594	0.403956	0.404312
57	0.446691	0.450815	0.450851	0.454567	0.45876	0.459057	0.459059	0.45947	0.459875
58	0.217508	0.219517	0.219534	0.221344	0.223385	0.22353	0.223531	0.223731	0.223928
59	0.230697	0.232827	0.232846	0.234765	0.236931	0.237084	0.237085	0.237297	0.237506
60	0.264619	0.267062	0.267084	0.269285	0.271769	0.271945	0.271946	0.272189	0.272429
61	0.310394	0.31326	0.313285	0.315867	0.318781	0.318987	0.318988	0.319274	0.319555
62	0.353535	0.356799	0.356828	0.359769	0.363087	0.363323	0.363324	0.363649	0.36397
63	0.33708	0.340192	0.340219	0.343024	0.346187	0.346412	0.346413	0.346723	0.347029
64	0.33708	0.340192	0.340219	0.343024	0.346187	0.346412	0.346413	0.346723	0.347029
65	0.309484	0.312342	0.312367	0.314941	0.317846	0.318052	0.318053	0.318338	0.318618
66	0.266757	0.26922	0.269242	0.271461	0.273964	0.274142	0.274143	0.274388	0.27463
67	0.231413	0.23355	0.233569	0.235494	0.237666	0.23782	0.237821	0.238034	0.238243
68	0.26352	0.265953	0.265975	0.268167	0.27064	0.270816	0.270816	0.271059	0.271298
69	0.273205	0.275728	0.27575	0.278023	0.280587	0.280769	0.28077	0.281021	0.281269
70	0.295214	0.29794	0.297964	0.30042	0.30319	0.303387	0.303388	0.303659	0.303927
71	0.363075	0.366428	0.366457	0.369478	0.372885	0.373127	0.373128	0.373462	0.373792
72	0.328627	0.331661	0.331688	0.334422	0.337506	0.337725	0.337726	0.338029	0.338327
73	0.266153	0.268611	0.268633	0.270847	0.273345	0.273522	0.273523	0.273768	0.274009
74	0.256265	0.258632	0.258652	0.260784	0.26319	0.26336	0.263361	0.263597	0.263829
75	0.305876	0.308701	0.308725	0.31127	0.314141	0.314345	0.314345	0.314627	0.314904
76	0.306839	0.309672	0.309697	0.312249	0.315129	0.315334	0.315334	0.315617	0.315895
77	0.296441	0.299179	0.299203	0.301669	0.304451	0.304649	0.304649	0.304922	0.305191
78	0.327722	0.330748	0.330774	0.333501	0.336577	0.336795	0.336796	0.337097	0.337395
79	0.303317	0.306118	0.306142	0.308666	0.311512	0.311714	0.311715	0.311994	0.312269
80	0.336066	0.339169	0.339197	0.341992	0.345147	0.34537	0.345371	0.34568	0.345985

Çizelge A.1 : (devam) Çevrim 2-10 arasında ölçülen sehim değerleri

Sahne No	Çevrim No								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
81	0.305866	0.30869	0.308715	0.311259	0.31413	0.314334	0.314335	0.314616	0.314894
82	0.233176	0.235329	0.235348	0.237287	0.239476	0.239631	0.239632	0.239846	0.240058
83	0.338558	0.341684	0.341712	0.344528	0.347706	0.347931	0.347932	0.348244	0.348551
84	0.353418	0.356681	0.35671	0.35965	0.362967	0.363202	0.363203	0.363529	0.363849
85	0.262545	0.264969	0.264991	0.267175	0.269639	0.269814	0.269814	0.270056	0.270294
86	0.231012	0.233145	0.233164	0.235086	0.237254	0.237408	0.237409	0.237621	0.237831
87	0.291979	0.294675	0.294699	0.297128	0.299868	0.300062	0.300063	0.300332	0.300597
88	0.299369	0.302134	0.302158	0.304649	0.307458	0.307658	0.307658	0.307934	0.308206
89	0.266143	0.2686	0.268622	0.270836	0.273334	0.273511	0.273512	0.273757	0.273998
90	0.265569	0.268021	0.268042	0.270252	0.272744	0.272921	0.272922	0.273166	0.273407
91	0.269644	0.272134	0.272156	0.274399	0.27693	0.277109	0.27711	0.277358	0.277603
92	0.30685	0.309684	0.309709	0.312262	0.315142	0.315346	0.315347	0.315629	0.315907
93	0.230047	0.232172	0.23219	0.234104	0.236263	0.236416	0.236417	0.236629	0.236837
94	0.220189	0.222223	0.22224	0.224072	0.226139	0.226285	0.226286	0.226489	0.226688
95	0.208599	0.210525	0.210542	0.212277	0.214235	0.214374	0.214374	0.214566	0.214755
96	0.230038	0.232162	0.232181	0.234094	0.236254	0.236407	0.236407	0.236619	0.236828
97	0.218324	0.220339	0.220357	0.222173	0.224223	0.224368	0.224369	0.224569	0.224767
98	0.090854	0.091693	0.091701	0.092456	0.093309	0.09337	0.09337	0.093453	0.093536
99	0.091282	0.092125	0.092132	0.092891	0.093748	0.093809	0.093809	0.093893	0.093976
100	0.211923	0.213879	0.213897	0.21566	0.217649	0.21779	0.21779	0.217985	0.218178
101	0.187682	0.189415	0.18943	0.190991	0.192753	0.192878	0.192878	0.193051	0.193221
102	0.100241	0.101166	0.101175	0.102008	0.102949	0.103016	0.103016	0.103109	0.103199
103	0.089213	0.090037	0.090044	0.090786	0.091624	0.091683	0.091683	0.091765	0.091846
104	0.10677	0.107756	0.107764	0.108652	0.109655	0.109726	0.109726	0.109824	0.109921
105	0.092765	0.093622	0.093629	0.094401	0.095272	0.095333	0.095334	0.095419	0.095503
106	0.163371	0.16488	0.164893	0.166252	0.167786	0.167894	0.167895	0.168045	0.168193
107	0.043698	0.044101	0.044105	0.044468	0.044878	0.044907	0.044908	0.044948	0.044987
108	0.049427	0.049883	0.049887	0.050298	0.050762	0.050795	0.050795	0.050841	0.050885
109	0.159971	0.161448	0.161461	0.162792	0.164293	0.1644	0.1644	0.164547	0.164692
110	0.115813	0.116883	0.116892	0.117856	0.118943	0.11902	0.11902	0.119127	0.119232
111	0.000301	0.000304	0.000304	0.000306	0.000309	0.000309	0.000309	0.000309	0.00031
112	0.039369	0.039732	0.039735	0.040063	0.040432	0.040459	0.040459	0.040495	0.040531
113	0.073425	0.074103	0.074109	0.07472	0.075409	0.075458	0.075458	0.075526	0.075593
114	0.073425	0.074103	0.074109	0.07472	0.075409	0.075458	0.075458	0.075526	0.075593
115	0.208372	0.210296	0.210313	0.212047	0.214002	0.214141	0.214142	0.214333	0.214522
116	0.197492	0.199316	0.199332	0.200975	0.202828	0.20296	0.20296	0.203142	0.203321
117	0.064524	0.06512	0.065125	0.065662	0.066267	0.06631	0.06631	0.06637	0.066428
118	0.08708	0.087884	0.087891	0.088615	0.089432	0.08949	0.089491	0.089571	0.08965
119	0.075676	0.076374	0.07638	0.07701	0.07772	0.077771	0.077771	0.07784	0.077909
120	0.064609	0.065205	0.065211	0.065748	0.066355	0.066398	0.066398	0.066457	0.066516

Çizelge A.1 : (devam) Çevrim 2-10 arasında ölçülen sehim değerleri

Sahne No	Çevrim No								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
121	0.169421	0.170985	0.170999	0.172408	0.173999	0.174111	0.174112	0.174268	0.174421
122	0.208593	0.210519	0.210536	0.212271	0.214229	0.214368	0.214369	0.214561	0.21475
123	0.19754	0.199363	0.19938	0.201023	0.202877	0.203008	0.203009	0.203191	0.20337
124	0.186913	0.188639	0.188654	0.190209	0.191963	0.192087	0.192088	0.19226	0.19243
125	0.220189	0.222223	0.22224	0.224072	0.226139	0.226285	0.226286	0.226489	0.226688
126	0.304312	0.307122	0.307147	0.309679	0.312535	0.312738	0.312738	0.313018	0.313294
127	0.263845	0.266281	0.266303	0.268498	0.270974	0.27115	0.27115	0.271393	0.271632
128	0.231022	0.233155	0.233174	0.235096	0.237264	0.237418	0.237419	0.237631	0.237841
129	0.220157	0.22219	0.222208	0.224039	0.226106	0.226252	0.226253	0.226455	0.226655
130	0.208599	0.210525	0.210542	0.212277	0.214235	0.214374	0.214374	0.214566	0.214755
131	0.262535	0.264959	0.264981	0.267165	0.269629	0.269804	0.269804	0.270046	0.270284
132	0.220189	0.222223	0.22224	0.224072	0.226139	0.226285	0.226286	0.226489	0.226688
133	0.287811	0.290469	0.290492	0.292886	0.295588	0.295779	0.29578	0.296045	0.296306
134	0.310393	0.313259	0.313284	0.315866	0.31878	0.318986	0.318987	0.319273	0.319554
135	0.317683	0.320616	0.320642	0.323285	0.326267	0.326478	0.326479	0.326772	0.32706
136	0.30685	0.309684	0.309709	0.312262	0.315142	0.315346	0.315347	0.315629	0.315907
137	0.297426	0.300172	0.300197	0.302671	0.305463	0.30566	0.305661	0.305935	0.306205
138	0.251703	0.254027	0.254047	0.256141	0.258504	0.258671	0.258672	0.258904	0.259132
139	0.26134	0.263754	0.263775	0.265949	0.268402	0.268576	0.268576	0.268817	0.269054
140	0.208578	0.210504	0.210521	0.212256	0.214214	0.214353	0.214353	0.214545	0.214734
141	0.285185	0.287818	0.287842	0.290214	0.292891	0.293081	0.293081	0.293344	0.293603
142	0.316698	0.319623	0.319648	0.322283	0.325256	0.325466	0.325467	0.325759	0.326046
143	0.266074	0.268531	0.268553	0.270766	0.273264	0.273441	0.273441	0.273686	0.273928
144	0.231019	0.233152	0.233171	0.235093	0.237261	0.237415	0.237415	0.237628	0.237837
145	0.265753	0.268206	0.268228	0.270439	0.272933	0.27311	0.273111	0.273355	0.273596
146	0.310069	0.312932	0.312957	0.315537	0.318447	0.318653	0.318654	0.318939	0.319221
147	0.208372	0.210296	0.210313	0.212047	0.214002	0.214141	0.214142	0.214333	0.214522
148	0.197745	0.199571	0.199587	0.201232	0.203088	0.20322	0.203221	0.203403	0.203582
149	0.154435	0.155861	0.155874	0.157159	0.158608	0.158711	0.158711	0.158854	0.158994
150	0.104552	0.105517	0.105526	0.106395	0.107377	0.107446	0.107446	0.107543	0.107638
151	0.234797	0.236965	0.236984	0.238938	0.241142	0.241298	0.241298	0.241515	0.241728
152	0.253297	0.255635	0.255656	0.257763	0.260141	0.260309	0.26031	0.260543	0.260773
153	0.278382	0.280953	0.280975	0.283291	0.285904	0.286089	0.28609	0.286346	0.286599
154	0.308044	0.310889	0.310914	0.313476	0.316368	0.316573	0.316573	0.316857	0.317136
155	0.171233	0.172814	0.172828	0.174252	0.175859	0.175973	0.175974	0.176131	0.176287
156	0.160846	0.162331	0.162344	0.163682	0.165192	0.165299	0.165299	0.165448	0.165593
157	0.157234	0.158685	0.158698	0.160006	0.161482	0.161587	0.161587	0.161732	0.161874
158	0.166443	0.16798	0.167993	0.169378	0.17094	0.171051	0.171052	0.171205	0.171356
159	0.182307	0.183991	0.184006	0.185522	0.187233	0.187355	0.187355	0.187523	0.187688
160	0.184306	0.186008	0.186023	0.187556	0.189286	0.189409	0.189409	0.189579	0.189746

Çizelge A.1 : (devam) Çevrim 2-10 arasında ölçülen sehim değerleri

Sahne No	Çevrim No								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
161	0.311	0.313871	0.313897	0.316484	0.319403	0.31961	0.319611	0.319897	0.320179
162	0.311	0.313871	0.313897	0.316484	0.319403	0.31961	0.319611	0.319897	0.320179
163	0.389354	0.392949	0.392981	0.39622	0.399874	0.400133	0.400134	0.400493	0.400846
164	0.365377	0.368751	0.368781	0.37182	0.37525	0.375493	0.375494	0.37583	0.376162
165	0.391598	0.395214	0.395246	0.398504	0.402179	0.40244	0.402441	0.402802	0.403157
166	0.391598	0.395214	0.395246	0.398504	0.402179	0.40244	0.402441	0.402802	0.403157
167	0.262695	0.265121	0.265142	0.267328	0.269793	0.269968	0.269969	0.270211	0.270449
168	0.3308	0.333855	0.333882	0.336634	0.339739	0.339959	0.33996	0.340264	0.340564
169	0.133515	0.134748	0.134759	0.13587	0.137123	0.137212	0.137212	0.137335	0.137456
170	0.110888	0.111912	0.111921	0.112844	0.113884	0.113958	0.113959	0.114061	0.114161
171	0.121678	0.122801	0.122811	0.123823	0.124965	0.125046	0.125047	0.125159	0.125269
172	0.143343	0.144667	0.144679	0.145871	0.147217	0.147312	0.147312	0.147444	0.147574
173	0.154209	0.155633	0.155645	0.156928	0.158376	0.158478	0.158479	0.158621	0.158761
174	0.23621	0.238391	0.23841	0.240375	0.242592	0.24275	0.24275	0.242968	0.243182
175	0.101415	0.102351	0.10236	0.103203	0.104155	0.104223	0.104223	0.104316	0.104408
176	0.101021	0.101954	0.101962	0.102803	0.103751	0.103818	0.103818	0.103911	0.104003
177	0.148298	0.149668	0.14968	0.150914	0.152305	0.152404	0.152405	0.152541	0.152676
178	0.148298	0.149668	0.14968	0.150914	0.152305	0.152404	0.152405	0.152541	0.152676
179	0.191992	0.193765	0.193781	0.195378	0.19718	0.197308	0.197308	0.197485	0.197659
180	0.185644	0.187358	0.187373	0.188917	0.19066	0.190783	0.190784	0.190955	0.191123
181	0.098437	0.099346	0.099354	0.100172	0.101096	0.101162	0.101162	0.101253	0.101342
182	0.098437	0.099346	0.099354	0.100172	0.101096	0.101162	0.101162	0.101253	0.101342
183	0.00043	0.000434	0.000434	0.000437	0.000441	0.000442	0.000442	0.000442	0.000443
184	0.017033	0.01719	0.017192	0.017334	0.017493	0.017505	0.017505	0.01752	0.017536
185	0.106849	0.107836	0.107844	0.108733	0.109736	0.109807	0.109808	0.109906	0.110003
186	0.106849	0.107836	0.107844	0.108733	0.109736	0.109807	0.109808	0.109906	0.110003
187	0.220145	0.222178	0.222196	0.224027	0.226094	0.22624	0.226241	0.226443	0.226643
188	0.090192	0.091025	0.091033	0.091783	0.092629	0.092689	0.09269	0.092773	0.092855
189	0.101448	0.102384	0.102393	0.103237	0.104189	0.104256	0.104256	0.10435	0.104442
190	0.144843	0.146181	0.146193	0.147398	0.148757	0.148853	0.148854	0.148987	0.149119
191	0.15351	0.154928	0.15494	0.156217	0.157658	0.15776	0.157761	0.157902	0.158041
192	0.173437	0.175038	0.175052	0.176495	0.178123	0.178238	0.178239	0.178398	0.178556
193	0.308475	0.311324	0.311349	0.313915	0.31681	0.317016	0.317016	0.3173	0.31758
194	0.28551	0.288146	0.28817	0.290545	0.293225	0.293415	0.293415	0.293678	0.293937
195	0.328516	0.331549	0.331576	0.334309	0.337392	0.337611	0.337612	0.337914	0.338212
196	0.239115	0.241323	0.241343	0.243332	0.245576	0.245735	0.245736	0.245956	0.246173
197	0.272683	0.275201	0.275223	0.277492	0.280051	0.280233	0.280233	0.280484	0.280732
198	0.166018	0.167551	0.167564	0.168945	0.170503	0.170614	0.170614	0.170767	0.170918
199	0.166018	0.167551	0.167564	0.168945	0.170503	0.170614	0.170614	0.170767	0.170918
200	0.039908	0.040277	0.04028	0.040612	0.040987	0.041013	0.041013	0.04105	0.041086
201	0.039908	0.040277	0.04028	0.040612	0.040987	0.041013	0.041013	0.04105	0.041086
202	0.105478	0.106451	0.10646	0.107338	0.108327	0.108398	0.108398	0.108495	0.108591
203	0.105478	0.106451	0.10646	0.107338	0.108327	0.108398	0.108398	0.108495	0.108591

Çizelge A.1 : (devam) Çevrim 2-10 arasında ölçülen sehim değerleri

Sahne No	Çevrim No								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
204	0.211708	0.213662	0.21368	0.215441	0.217428	0.217569	0.217569	0.217764	0.217956
205	0.211708	0.213662	0.21368	0.215441	0.217428	0.217569	0.217569	0.217764	0.217956
206	0.09839	0.099298	0.099306	0.100125	0.101048	0.101114	0.101114	0.101205	0.101294
207	0.098674	0.099585	0.099593	0.100414	0.10134	0.101405	0.101406	0.101497	0.101586
208	0.03696	0.037301	0.037304	0.037612	0.037958	0.037983	0.037983	0.038017	0.038051
209	0.041319	0.041701	0.041704	0.042048	0.042436	0.042463	0.042464	0.042502	0.042539
210	0.054352	0.054854	0.054858	0.05531	0.055821	0.055857	0.055857	0.055907	0.055956
211	0.045297	0.045715	0.045719	0.046095	0.046521	0.046551	0.046551	0.046593	0.046634
212	0.135269	0.136518	0.136529	0.137654	0.138924	0.139014	0.139014	0.139139	0.139261
213	0.158222	0.159683	0.159696	0.161012	0.162497	0.162603	0.162603	0.162749	0.162892
214	0.267463	0.269932	0.269954	0.272179	0.274689	0.274867	0.274868	0.275114	0.275357
215	0.274057	0.276587	0.276609	0.278889	0.281462	0.281644	0.281645	0.281897	0.282146
216	0.175329	0.176948	0.176962	0.178421	0.180066	0.180183	0.180183	0.180345	0.180504
217	0.192002	0.193775	0.193791	0.195388	0.19719	0.197318	0.197319	0.197495	0.19767
218	0.15086	0.152253	0.152265	0.15352	0.154936	0.155036	0.155037	0.155176	0.155313
219	0.152127	0.153531	0.153544	0.154809	0.156237	0.156338	0.156339	0.156479	0.156617
220	0.369017	0.372424	0.372454	0.375524	0.378987	0.379233	0.379234	0.379574	0.379908
221	0.334005	0.337089	0.337116	0.339894	0.343029	0.343252	0.343253	0.34356	0.343863
222	0.092341	0.093194	0.093201	0.093969	0.094836	0.094898	0.094898	0.094983	0.095067
223	0.092776	0.093632	0.09364	0.094412	0.095282	0.095344	0.095344	0.09543	0.095514
224	0.215391	0.217379	0.217397	0.219189	0.22121	0.221354	0.221354	0.221553	0.221748
225	0.372936	0.376379	0.37641	0.379512	0.383012	0.383261	0.383262	0.383605	0.383943
226	0.232629	0.234777	0.234796	0.236731	0.238915	0.239069	0.23907	0.239284	0.239495
227	0.265287	0.267736	0.267758	0.269965	0.272455	0.272631	0.272632	0.272876	0.273117
228	0.161514	0.163006	0.163019	0.164362	0.165878	0.165986	0.165986	0.166135	0.166281
229	0.161514	0.163006	0.163019	0.164362	0.165878	0.165986	0.165986	0.166135	0.166281
230	0.038826	0.039184	0.039187	0.03951	0.039875	0.039901	0.039901	0.039936	0.039972
231	0.038826	0.039184	0.039187	0.03951	0.039875	0.039901	0.039901	0.039936	0.039972
232	0.102616	0.103564	0.103572	0.104426	0.105389	0.105457	0.105458	0.105552	0.105645
233	0.102616	0.103564	0.103572	0.104426	0.105389	0.105457	0.105458	0.105552	0.105645
234	0.205965	0.207867	0.207883	0.209597	0.21153	0.211667	0.211668	0.211857	0.212044
235	0.205965	0.207867	0.207883	0.209597	0.21153	0.211667	0.211668	0.211857	0.212044
236	0.095721	0.096605	0.096612	0.097409	0.098307	0.098371	0.098371	0.098459	0.098546
237	0.095997	0.096883	0.096891	0.09769	0.098591	0.098655	0.098655	0.098743	0.09883
238	0.035957	0.036289	0.036292	0.036591	0.036929	0.036953	0.036953	0.036986	0.037019
239	0.040199	0.04057	0.040573	0.040908	0.041285	0.041312	0.041312	0.041349	0.041385
240	0.052878	0.053366	0.05337	0.05381	0.054306	0.054342	0.054342	0.05439	0.054438
241	0.044068	0.044475	0.044478	0.044845	0.045259	0.045288	0.045288	0.045329	0.045369
242	0.1316	0.132815	0.132825	0.13392	0.135155	0.135243	0.135243	0.135364	0.135484
243	0.103235	0.104188	0.104197	0.105055	0.106024	0.106093	0.106093	0.106188	0.106282
244	0.027992	0.02825	0.028252	0.028485	0.028748	0.028766	0.028767	0.028792	0.028818
245	0.01358	0.013705	0.013706	0.013819	0.013947	0.013956	0.013956	0.013968	0.013981
246	0.000964	0.000973	0.000973	0.000981	0.00099	0.000991	0.000991	0.000992	0.000993
247	0.22324	0.225302	0.22532	0.227177	0.229272	0.229421	0.229421	0.229627	0.229829

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Burak ÖZDEMİR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2007, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2015, İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı
- **Doktora** : Mezuniyet yılı, İnönü Üniversite, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2007-2008 TAHA Tekstil A. Ş' de çalıştı
- 2009-2012 Asya Endüstri Ltd. Şti' de çalıştı.
- 2013-2018 İnönü Üniversitesinde çalıştı.
- 2018'den beri Malatya Turgut Özal Üniversitesinde çalışıyor.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR:

Uluslararası SCI Dergilerde Yayınlanan Makaleler

- **Bahçe, E., & Özdemir, B. (2019).** Determination of tool deflection in drilling by image processing. *IET Image Processing*, 13(13), 2487-2494.

Uluslararası Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler

- **Özdemir B., Bahçe E., (2021, Nisan).** Kompozit malzemelerin delinmesinde oluşan takım sehiminin görüntü işleme yöntemi ile tespiti. 5.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi (pp. 428-434).
- **Özdemir B., Bahçe E., (2021, Nisan).** Eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş parçalarda geometrik hataların görüntü işleme metodu ile tespiti. 5.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi (pp. 435-441).

Projeler

- **BAP, Araştırmacı,** CNC Freze Tezgahında Takım Sehiminin Görüntü İşleme Metodu ile Tespit Edilmesi, Proje Kodu: FDK-2020-2046, İnönü Üniversitesi BAP Birimi, 2021