

**KALIP ÇEKİRDEKLERİNİN 3 BOYUTLU İŞLENMESİNDE
BİLGİSAYAR DESTEKLİ OLUŞTURULAN TAKIM YOLLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Faruk MERT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2007
ANKARA**

**KALIP ÇEKİRDEKLERİNİN 3 BOYUTLU İŞLENMESİNDE
BİLGİSAYAR DESTEKLİ OLUŞTURULAN TAKIM YOLLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Faruk MERT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2007
ANKARA**

Faruk MERT tarafından hazırlanan KALIP ÇEKİRDEKLERİNİN 3 BOYUTLU İŞLENMESİNDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ OLUŞTURULAN TAKIM YOLLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR
Tez Yöneticisi

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

Başkan: : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

Üye : Doç. Dr. Zafer TEKİNER

Üye : Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ

Üye : Yrd.Doç. Dr. Çetin KARATAŞ

Üye : Yrd.Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

Tarih : 02/02/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Faruk MERT

**KALIP ÇEKİRDEKLERİNİN 3 BOYUTLU İŞLENMESİNDE BİLGİSAYAR
DESTEKLİ OLUŞTURULAN TAKIM YOLLARININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Faruk MERT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2007**

ÖZET

Bilgisayar Destekli Tasarım, Üretim ve Mühendislik (BDT/BDÜ/BDM) yazılımları, kalıp çekirdeklerinin işlenmesinde oldukça fazla tercih edilmektedir. Çalışmada, kalıp tasarım ve üretim sektöründe güncel olan 4 farklı BDT/BDÜ/BDM yazılımı (Catia, Cimatron, ProEngineer, Unigraphics) kullanılmıştır. Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün yüzü olarak hazırlanan yüzey geometrisinin erkek ve dişi kalıp çekirdekleri, toplam 6 farklı işleme yöntemi (Zigzag, Çevre Paralel, Parça Paralel, Trochoidal, Radyal, Spiral) seçilerek 3 tip (kaba, ara ve bitirme) işleme operasyonu ile işlenmiştir.

Teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen işleme süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılarak uygun takım yolu yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlar; işleme süresinin kısa olması açısından çevre paralel tip takım yolunun uygun olduğunu göstermiştir. Aynı tip takım yolu ince pasoların işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü azaltmasından dolayı önerilmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Bilgisayar Destekli Takım Yolu Üretimi, Kalıp Çekirdekleri, İşleme Süresi, Yüzey Pürüzlülüğü
Sayfa Adedi : 133
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE COMPUTER AIDED TOOL PATH
GENERATION FOR 3D MACHINING OF THE MOLD CORE AND CAVITY**

(M.S. Thesis)

Faruk MERT

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2007

ABSTRACT

Computer Aided Design, Manufacturing and Engineering (CAD/CAM/CAE) softwares are widely used in machining of the mold core and the mold cavity. Four different CAD/CAM softwares (Catia, Cimatron, ProEngineer and Unigraphics) that are conspicuous programs in mold design and manufacturing industry, are preferred in the scope of this study. In these CAD/CAM softwares, total six different machining methods (Zigzag, Contour Parallel, Part Parallel, Trochoidal, Radial and Spiral) are selected in three types of machining operations (rough, semi-finish, finish) for machining core and cavity plates which have the surface geometry of Gazi Mustafa Kemal Atatürk's face.

The theoretical and experimental surface roughness values and machining times were obtained and the suitable tool path strategy was experimentally evaluated. Results indicated that the contour parallel type was the acceptable tool path in respect of the minimum machining time. Also, same tool path strategy was recommended for the finish milling in which it reduced the surface roughness.

Science Code : 708.3.028

**Key Words : Computer Aided Toolpath Generation, Mold Core and Mold
Cavity, Machining Time, Surface Roughness**

Page Number: 133

Adviser : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında tecrübe ve desteklerini esirgemeyen saygı değer Danışmanım Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR’ e, kıymetli yardımları ile katkıda bulunan sevgili meslektaşlarım İbrahim YAVUZ, Mahir TOSUN, Mevlüt PEKMEZCİ ve Mustafa TURGUT ile bugünlere gelmemde büyük payı olan aileme ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan hayat arkadaşım Meryem MERT’ e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma süresince BDT/BDÜ yazılımlarının kullanılmasında ve teknik desteğinde yardımlarını eksik etmeyen Catia yazılım için “Cadem CAD/CAM Destek Merkezi” yetkililerine, Cimatron yazılımı için “Umtaş CAD/CAM” çalışanlarına, ProEngineer yazılımı için “İnformatik Bilgisayar Sistemleri” çalışanlarına ve Unigraphics yazılımı için “Üçgen Yazılım Danışmanlık” firması yetkililerine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tezin gerçekleştirilmesinde 07/2006-09 kodlu proje kapsamında destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
3. TALAŞ KALDIRMA PARAMETRELERİ.....	19
3.1. Kesme Hızı	19
3.2. Devir, İlerleme ve Paso Kalınlığı.....	20
3.3. Kesici Takımlar.....	22
3.3.1. Takım aşınması ve takım ömrü.....	25
3.4. BSD Takım Tezgâhı.....	27
3.5. Kesilen Malzeme.....	27
3.6. Takım Yolu Oluşturma Stratejileri.....	28
3.6.1. Kaba işleme.....	29
3.6.2. Ara işleme.....	30
3.6.3. Bitirme işleme.....	31
3.7. İşleme Yöntemleri.....	32
3.8. İşleme Süresi ve Maliyeti.....	38

Sayfa

3.9. Yüzey Pürüzlülüğü.....	41
3.10. İşlemede Boyutsal Kararlılık.....	44
4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM, ÜRETİM VE MÜHENDİSLİK.....	47
4.1. BDT/BDÜ/BDM Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi.....	47
4.2. BDT/BDÜ/BDM Sistemlerinin Kullanım Alanları.....	49
4.3. Tasarım ve Üretim Süreçlerinde BDT/BDÜ/BDM Sistemlerinin Yararları.....	49
4.4. Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT).....	50
4.4.1. BDT sisteminde olması gereken unsurlar.....	51
4.5. Bilgisayar Destekli Üretim (BDÜ).....	52
4.5.1. BDÜ sisteminin işlem basamakları.....	52
4.5.2. BDÜ sisteminde olması gereken unsurlar.....	54
4.6. Çalışmada Dikkate Alınan Yazılımlar.....	56
5. MATERYAL VE METOD.....	59
5.1. Model Tayini.....	59
5.2. Kesilen Malzemenin Seçimi ve Boyutlandırma.....	64
5.3. Kesici Takımların Seçimi.....	65
5.4. BSD Dik İşleme Merkezi'nin Belirlenmesi.....	68
5.5. Takım Tutucuların Seçimi.....	69
5.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazının Özellikleri.....	70
5.7. Deneylerin Planlanması ve Kodlama.....	72
5.8. İşleme Operasyonları ve Takım Yolu Stratejilerinin Belirlenmesi.....	73
5.9. İşleme Parametrelerinin Tayini.....	74

Sayfa

5.10. BDT/BDÜ Yazılımlarında Teorik İşlemelerin Yapılması.....	77
5.11. BSD Dik İşleme Merkezi'nde Deneysel İşlemelerin Yapılması.....	79
5.12. İşlenen Modellerin Yüzey Pürüzlülük Ölçümlerinin Yapılması.....	81
5.13. İşlenen Modellerin Ölçüsel Tamlığının Kontrolü.....	82
6. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	84
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR.....	101
EKLER.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	120

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kauppinen ve arkadaşlarının kullandığı kesme parametreleri ve takım ömürleri.....	8
Çizelge 2.2. İşleme zamanlarının kıyaslanması, (sn).....	15
Çizelge 2.3. Geleneksel işleme ile hızlı işlemenin zaman ve maliyet bakımından karşılaştırılması.....	17
Çizelge 3.1. Kesici kaplama malzemeleri ve işlenecek malzeme sertliği.....	23
Çizelge 3.2. Çeşitli malzemeler için kaba işleme parametreleri.....	28
Çizelge 3.3. İşleme hassasiyeti aralıkları.....	46
Çizelge 5.1. AISI P20 çeliğinin kimyasal özellikleri	64
Çizelge 5.2. Deckel Maho DMC 103V Dik İşleme Merkezi teknik özellikleri	69
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan kodlamalar	72
Çizelge 5.4. Deneyler ve operasyonlara verilen kodlama örnekleri.....	73
Çizelge 5.5. Deneysel işlemlerdeki operasyonlar ve işleme tipleri.....	74
Çizelge 5.6. Deneysel işlemlerde kullanılan sabit işleme parametreleri.....	76
Çizelge 6.1. Erkek modellerin teorik ve deneysel işleme süreleri, (dak).....	86
Çizelge 6.2. Erkek modellerin ölçüsel tamlik kontrolü, (mm).....	90
Çizelge 6.3. Dişi modellerin teorik ve deneysel işleme süreleri, (dak).....	91
Çizelge 6.4. Dişi modellerin ölçüsel tamlik kontrolü, (mm).....	96

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Eksenel ilerleme ve yanal ilerleme oranları.....	6
Şekil 2.2. Açılı yüzey işlemede kesme uzunluğu-yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	8
Şekil 2.3. Gelişmiş takım yolu stratejileri.....	9
Şekil 2.4. Geleneksel düzlem yüzey takım yolu stratejileri.....	10
Şekil 2.5. Çeşitli işleme açılarında elde edilen takım yolu uzunlukları	11
Şekil 2.6. Toh'un öne sürdüğü dört farklı işleme tekniği tipi	12
Şekil 2.7. Gelişmiş bir yüzey işlemede yatay ve dikey işleme tekniklerinin işleme hassasiyetine etkisi	12
Şekil 2.8. Geleneksel 3 tip paralel takım yolu ve çevre paralel takım yolu sistemi	13
Şekil 2.9. C tipi ve S tipi takım yolu yumuşatma yöntemleri	14
Şekil 2.10. Geleneksel ve yüksek hızda kesmede radyal kesme derinliğinin işleme maliyetine etkisi.....	16
Şekil 3.1. Paso kalınlığı.....	22
Şekil 3.2. Yekpare kesici takım çeşitleri.....	24
Şekil 3.3. Takma uçlu takım çeşitleri.....	25
Şekil 3.4. Taylor bağıntısı grafiği	26
Şekil 3.5. Kalıp işlemede işleme operasyonları talaş miktarları	29
Şekil 3.6. Ara işleme talaş miktarı.....	30
Şekil 3.7. Bitirme işlemede kaldırılan talaş payı.....	31
Şekil 3.8. Zigzag işleme.....	35
Şekil 3.9. Çevre paralel işleme.....	35

Şekil	Sayfa
Şekil 3.10. Parça paralel işleme.....	36
Şekil 3.11. Özel yay (Trochoidal) tipi işleme.....	37
Şekil 3.12. Spiral işleme	37
Şekil 3.13. Radyal işleme.....	38
Şekil 3.14. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, (Ra).....	42
Şekil 3.15. Profilin yüksekliği, (Rz).....	42
Şekil 3.16 Teorik kesme kenar yükseltisi.....	43
Şekil 3.17. Sapma toleransı.....	45
Şekil 5.1. Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün yüzey modeli ve görünüşleri	60
Şekil 5.2. Modelin işlenmesi açısından problemler.....	61
Şekil 5.3. Model üzerindeki yüzey açıklıklarının giderilmesi.....	62
Şekil 5.4. Ters açıların giderilmesi için modelin döndürülmesi.....	62
Şekil 5.5. Model tabanının düzlem bir yüzey ile kesilmesi.....	63
Şekil 5.6. Düzenlenen modelin nihai ölçüleri	63
Şekil 5.7. Deneysel işlenecek olan AISI P20 çelikleri.....	65
Şekil 5.8. Kaba operasyon takımı	66
Şekil 5.9. Ara operasyon takımı.....	67
Şekil 5.10. Bitirme operasyonu takımı.....	67
Şekil 5.11. Deneysel çalışmada kullanılan BSD Dik İşleme Merkezi.....	68
Şekil 5.12. Kaba işleme takım tutucusu.....	70
Şekil 5.13. Ara ve bitirme işleme takım tutucusu.....	70
Şekil 5.14. Time TR200 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	72
Şekil 5.15. Catia yazılımında işleme benzetimin yapılması	77

Şekil	Sayfa
Şekil 5.16. Cimatron yazılımında işleme benzetimin yapılması	78
Şekil 5.17. ProEngineer yazılımında işleme benzetiminin yapılması	78
Şekil 5.18. Unigraphics yazılımında işleme benzetimin yapılması	79
Şekil 5.19. BSD Dik İşleme Merkezi'nde işlemlerin yapılması.....	80
Şekil 5.20. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm düzeneği.....	81
Şekil 5.21. Yüzey pürüzlülük ölçümünün yapılması.....	82
Şekil 5.22. Modeller üzerinde ölçüsel kontrol yapılacak noktalar.....	83
Şekil 5.23. Ölçüsel kontrolün yapıldığı düzene ve ölçümün yapılması.....	83
Şekil 6.1. Erkek modellerin her yazılım için kaba işleme operasyonu süreleri.....	87
Şekil 6.2. Erkek modellerin her yazılım için ara işleme operasyonu süreleri.....	87
Şekil 6.3. Erkek modellerin her yazılım için bitirme işleme operasyonu süreleri.....	88
Şekil 6.4. Erkek modellerin her yazılım için elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.....	89
Şekil 6.5. Dişi modellerin her yazılım için kaba işleme operasyonu süreleri.....	92
Şekil 6.6. Dişi modellerin her yazılım için ara işleme operasyonu süreleri.....	93
Şekil 6.7. Dişi modellerin her yazılım için bitirme işleme operasyonu süreleri.....	94
Şekil 6.8. Dişi modellerin her yazılım için elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
a_d	Paso kalınlığı
a_e	Yanal adım
C	1 dakikalık takım ömrüne karşılık gelen kesme hızı
c	Teorik kesme kenar yükseltisi
D	Takımın çapı
D_{ef}	Takımın efektif çapı
F	İlerleme hızı
f	Devir başına ilerleme
f_z	Diş başına ilerleme
G	BSD tezgâh programlama kodu
l	Yüzey pürüzlülüğü ölçüm uzunluğu
k	Takım malzemesine bağlı olan bir sabite
L	İşlenen yüzeyin uzunluğu
M	BSD tezgâh programlama kodu
N	Devir sayısı
R	Takım ucunun yarıçapı
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
R_z	Profilin maksimum yüksekliği
R_{max}	Profilin toplam yüksekliği
T	Takım ömrü
t_h	Esas işleme zamanı
V	Kesme hızı
v	İşlenen talaş hacmi
z	Freze takımının kesme ağız sayısı
μm	Yüzey pürüzlülük ölçüm birimi

Kısaltmalar	Açıklama
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
APT	Otomatik Programlanmış Takımlar
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım
BDÜ	Bilgisayar Destekli Üretim
BDM	Bilgisayar Destekli Mühendislik
BSD	Bilgisayar Sayısal Denetimli
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CADD	Bilgisayar Destekli Tasarım-Çizim
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim
CBN	Kübik Bor Nitrid
CRT	Katot Işın Tüpü
EDM	Elektro Erozyonla İşleme
HRC	Rockwell C Sertliği
HSS	Yüksek Hız Çeliği
H13	Takım Çeliği (Amerikan Standardına göre)
NC	Sayısal Denetim
PCBN	Çok Kristalli Kübik Boron Nitrür
PCD	Polikristalin Elmas
PLM	Ürün Yaşam Çevrimi
P20	Takım Çeliği (Amerikan Standardına göre)
TiN	Titanyum Nitrür
TiCN	Titanyum Karbon Nitrür Kaplamalı Karbür
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür Kaplamalı Karbür

1.GİRİŞ

Gelişen teknolojiyi yakalayabilen birçok kalıp imalatçısı, kalıp işleme sürecini doğrudan talaş kaldırma işlemi (aynı tezgâhta ve minimum elektro erozyonla işleme (EDM) ve parlatma işlemi) ile bitirmeyi amaçlamaktadır. İşleme zamanının azaltılması, kalıp maliyetinin ciddi anlamda azalmasını sağlamaktadır. Bu nedenle kalıp üreticileri erozyon (EDM) ve parlatma işlemlerini en aza indiren ya da ortadan kaldıran işleme metotlarının kalıp işleme ve teslim zamanını oldukça azalttığına inanmaktadırlar.

Yakın zamana kadar kalıp imalatında doğrudan talaş kaldırma yöntemi kullanarak kaba ve hassas işlemlerde yeterli hassasiyeti elde etmek mümkün değildi. Elektronik ve bilgisayar teknolojisinde son çeyrek asırda görülen hızlı gelişim, Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (BDT/BDÜ) yazılımları ile Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (BSD) makine kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Günümüzde ise Bilgisayar Destekli Üretim yazılımları (BDÜ) ile Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (BSD) makine yeteneklerinin artması ve kesici takım ile kalıp malzemelerindeki ilerlemeler, kalıp imalatında erozyon ve parlatma işlemlerini azaltarak ya da tamamen ortadan kaldırarak yüksek kalitede ve hassasiyette üretim yapma imkânı sunmaktadır.

Geleneksel imalat yöntemleri ile tornalama, frezeleme, delik delme ile düz ve silindirik yüzeylerin işlenmesi mümkündür. Daha karmaşık profilleri işlemede ise BDT/BDÜ ve BSD tezgâh entegrasyonu ya da elektro erozyon tekniği kullanılmaktadır. Makine takım çeliklerinin işlenmesinde gerek tel elektro erozyon, gerekse dalma elektro erozyon yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle hassas bir şekilde dar ve derin yüzeyleri bağımsız olarak işlemek mümkündür. Dalma erozyonla en fazla $4,9 \text{ cm}^3/\text{dak}$ talaş hacmi kaldırılabilir [1]. Bu oran yüksek hassasiyet ve yüzey kalitesi gerektiren bitirme işlemlerinde daha da düşmektedir. Elektrot imalatı, toplam kalıp üretim zamanına ek bir süre ve ek bir maliyet getirmekle birlikte aynı zamanda iş parçası yüzeyinde çatlama ve gerilim problemlerini meydana getirmektedir. Bu olumsuzlukların neticesi olarak kalıpcılık

sektörü son yıllarda kalıp çekirdeklerinin daha kısa zamanda ve daha az maliyet ile istenilen ölçü tamlığı ve yüzey pürüzlülüğünde elde edilmesi için BDT/BDÜ ve BSD sistemleri ile hızlı ve verimli işleme tekniklerine yönelmiştir.

Kalıp imalat endüstrisinin, kalıp işlemede önemle üzerinde durduğu iki nokta vardır. Bunlar kalıp çekirdeklerinin kısa sürede ve hedeflenen bitmiş yüzey kalitesinde üretilmesidir. Kalıp imalat endüstrisi yaygın olarak aynı tezgâhta, en az sarfiyat ile kalıp işlemeyi hedeflemektedir. Ancak yapılan literatür araştırmaları ve deneyimler göstermiştir ki aynı anda hem iyi bir yüzey pürüzlülük değeri ve hem de kısa bir işleme süresi elde etmek pek mümkün görülmemektedir. Çünkü kısa sürede imalat için özellikle kaba boşaltmalarda dakikada kaldırılan talaş hacmi artacak, bu durum BSD tezgâhına ve kalıp işleme takımına aşırı yüklerin binmesine ve kısa sürede yıpranmalarına sebep olacaktır. Bunun sonucu olarak kalıp imalat sürecinde istenmeyen aksaklıklar meydana gelecektir. Diğer taraftan bitirme operasyonlarında kısa sürede imalat, kalıp işleme takımının büyük yanal kaymalar ve yüksek ilerleme değerlerinde çalışmasıyla kısa sürede aşınmasına ve işlenen kalıp yüzeyinin pürüzlülük değerinin, hedeflenen yüzey pürüzlülük değerinden uzak olmasına neden olacaktır. Bu durum kalıp imalat sürecinin en zor ve üzerinde oldukça düşünülmesi gereken noktasıdır.

Bu çalışmada karmaşık bir yüzey geometrisinin erkek ve dişi kalıp çekirdekleri (AISI P20) işlenmiştir. Çalışmada 4 farklı BDT/BDÜ yazılımı (Catia, Cimatron, Proengineer, Unigraphics) ve toplam 6 farklı işleme yöntemi (Zigzag, Çevre Paralel, Parça Paralel, Trochoidal, Radyal, Spiral) kullanılmıştır. Bununla beraber her çekirdekte 3 işleme operasyonu (kaba, ara ve bitirme) düzenlenerek, teorik ve deneysel olarak işlemler yapılmıştır. Deneysel işlemler Deckel Maho DMC 103V model BSD Dik İşleme Merkezi'nde yapılmıştır. Deneylerde sırası ile kaba operasyonlarda gösterimi D16R4 mm olan takma uçlu parmak freze, ara operasyonlarda gösterimi D10R1,6 mm olan takma uçlu parmak freze ve bitirme operasyonlarında ise gösterimi D6R3 mm olan yekpare küresel karbür parmak freze kullanılmıştır. Kullanılan işleme parametreleri, kesici takım ve malzeme tedarikçisinin ön gördüğü değerler göz önünde bulundurularak verilmiştir. Tüm

işleme parametreleri her bir yazılım için sabit kabul edilmiştir. Sabit bir yüzey geometrisinin aynı işleme parametreleri kullanılarak 4 farklı BDT/BDÜ yazılımları aracılığıyla hangi işleme yöntemi kullanılırsa, daha kısa sürede ve en az yüzey pürüzlülüğü ile elde edilebileceği araştırılmıştır. Elde edilebilen teorik ve deneysel işleme süreleri karşılaştırılmış ve hangi şartlarda en düşük işleme süresi ve en iyi yüzey kalitesinin elde edildiği araştırılmıştır.

Araştırmanın çarpıcı sonuçları olarak; kaldırılan talaş hacminin ve dolayısıyla işleme süresinin önemli olduğu kaba ve ara işleme operasyonlarında çevre paralel tipi takım yolu en uygun olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan ise öncelikle hedeflenen yüzey pürüzlülük değerinin ardından da işleme süresinin önemli olduğu bitirme operasyonlarında da çevre paralel tipi takım yolu en uygun olarak bulunmuştur. Ayrıca araştırmadan elde edilen bulgulara göre teorik ve deneysel işleme sürelerinin kaba ve ara operasyonlarda çevre paralel tipi takım yolunda, bitirme operasyonlarında erkek modellerde spiral takım yolunda, dişi modellerde ise çevre paralel takım yolunda birbirine yakın olduğu bulunmuştur. Bu tespitin bahsedilen takım yolu tiplerinin tezgâh ivmelenmelerini daha dikkate aldığı dolayısıyla BSD tezgâhının ve kalıp işleme takımının ömrünü uzattığı söylenebilir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada, BDT/BDÜ ve BSD tezgâh entegrasyonu kullanılarak, karmaşık bir yüzey geometrisinin erkek ve dişi kalıp çekirdekleri AISI P20 çeliğinden işlenmiştir. Çekirdekleri işlemede, toplam 6 farklı işleme yöntemi (Zigzag, Çevre Paralel, Parça Paralel, Trochoidal, Spiral, Radyal) kullanılarak, her çekirdekte 3 işleme operasyonu (kaba, ara, bitirme) düzenlenmiş, en kısa işleme süresi ve elde edilebilir en iyi yüzey pürüzlülüğü üzerine teorik ve deneysel olarak işlemler yapılmıştır.

Hızlı işleme üzerine yapılan ilk çalışmalar bundan 60 yıl kadar önce ortalama bir hızda en büyük değer ulaşan kesme sıcaklığının bu noktadan sonra artan kesme hızı ile azaldığını ifade eden Salomon ile başlamıştır [2]. Fakat o yıllarda bilgisayar ve elektronik konusunda yeterli bir gelişim olmadığı için eldeki veriler, kolayca ve esnek bir şekilde uygulanamadığından bir ilerleme kaydedilememiştir. Daha sonraki yıllarda ise metal ve metal olmayan birçok malzemenin işlenmesinde hızlı işleme teknolojisi kullanılmıştır. Havacılıkta kullanılan alüminyum alaşımları, elektro erozyonda elektrot olarak kullanılan bakır ve grafit, magnezyum alaşımları, dökme demir, titanyum alaşımlı türbin kanatları, nikel bazlı alaşımlar, pirinç, kompozit malzemeler ve mobilyacılıkta kullanılan ağaç malzemeler, hızlı işleme teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı malzemeler olmuştur [3].

Yapılan birçok araştırmada, hızlı işlemenin avantajlarından bahsedilmektedir. Bu alanda yapılmış araştırmalar genel olarak; yüksek talaş kaldırma oranları, düşük kesme kuvvetleri neticesinde en az iş parçası titreşimi, basit bağlama ekipmanları ile ince duvarlı kesitlerin işlenmesi, $0,1\mu\text{m}$ Ra değerine kadar ulaşan yüzey pürüzlülük değerleri, takım sayısının azaltılması, karmaşık formlu yüzeylerin işlenmesi ve talaş kontrolü konularında yapılmıştır. Aynı zamanda bu teknolojinin getirdiği pahalı takım gereksinimleri ve çabuk takım aşınması, balanslanabilir hassas takım tutucular ve konikleri, bilgisayarlı sayısal denetimli (BSD) makine ve kontrol sisteminin yanında, üstün yeteneklere sahip bilgisayar destekli tasarım ve üretim (BDT/BDÜ) yazılımlarının olması gibi olumsuzluklar da araştırmacılar tarafından incelenmiştir [4-13].

Nakagawa, yüksek hızda işlemede takım aşınması üzerine yaptığı çalışmada 36 HRC sertliğinde AISI H13 malzemesinin işlenmesinde çok kristalli kübik boron nitrür (PCBN- Polycrystal Cubic Boron Nitride) takım kullanmış, 5 000 ile 80 000 devir arasında farklı iş mili hızlarında benzer takım aşınması oranları ortaya çıkmıştır. Yağ ile soğutma sağlandığında takımın bir miktar daha az aşındığını gözlemlemiştir. Araştırmacı aynı zamanda tüm diğer kesme parametreleri sabitlendiğinde, 0,05 mm/ağız ilerleme miktarı ile 0,03 mm/ağız ilerleme hızından 2 kat daha fazla kesme uzunluğu elde edilebileceğini ifade etmektedir [14].

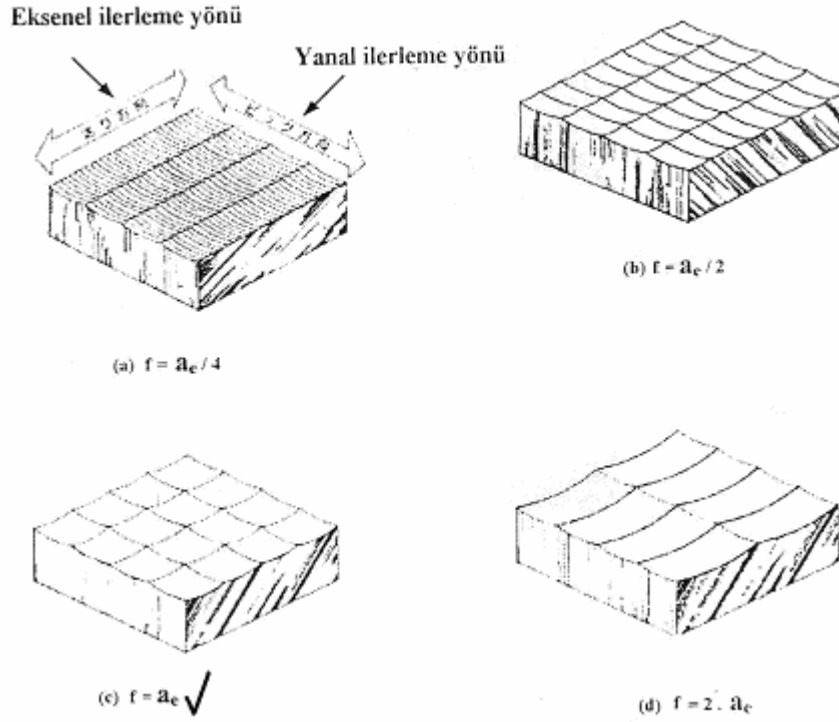
Bu çalışmada kesme sıvısının, talaş kaldırma işlemine yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 36 HRC sertliğindeki AISI H13 malzemesi için en iyi ağız başına ilerleme deneysel olarak bulunmuştur.

Gaida ve arkadaşları, 32 HRc sertliğinde AISI P20 plastik enjeksiyon kalıp çeliğinin 15^0 ve 60^0 eğim açılarıyla işlenmesini incelemiştir. Bu çalışmada, 23,1 mm çapında TiN kaplamalı tungsten karbür küresel uçlu parmak freze kullanılmış, 1,0 mm kesme derinliği 1,1 mm yanıl adımıyla 60 ile 80 m/min arasında kesme hızları kullanılarak aşınma kriteri olarak tayin edilen 0,3 mm'lik aşınma miktarına ulaşan kesme uzunluğunu incelemiştir. Sonuç olarak yüksek kesme hızlarında düşük takım aşınması ortaya çıkmış, 60 derecelik eğim açısındaki kesme uzunluğunun 15 dereceden daha kısa olduğu sonucuna ulaşılmıştır [15].

Bu çalışmada, küresel uçlu parmak frezenin ucunda çap olmadığı dolayısıyla kesme hızının sıfır olduğu ispat edilmiştir. Ayrıca farklı kesme açılarında en iyi kesme uzunluğunu 15^0 açıyla işlemede yakalanmıştır. Bunun yanı sıra yüksek kesme hızlarında, düşük talaş derinliklerinde takımın daha az aşındığı ve daha iyi yüzey kalitesi elde edildiği ortaya çıkmıştır.

Mangır, A. yaptığı araştırmada 52 HRC sertliğindeki 1.2767 çeliğini değişik işleme açılarında, yekpare karbür küresel parmak freze ile kesme parametrelerini değiştirerek işlemiş ve elde edilen yüzey özelliklerini araştırmıştır. Sonuç olarak 15^0

işleme açısında, aksenal ilerleme ile yanal ilerleme değerleri eşit tutulduğunda elde edilebilir en iyi yüzey kalitesini ($0,02\mu\text{m Ra}$) bulmuştur [1].



Şekil 2.1. Aksenal ilerleme ve yanal ilerleme oranları [1]

Mangır yaptığı çalışmada, Gaida ve arkadaşlarının çalışmasından çıkarılan en iyi işleme açısı sonucunu kullanarak, en iyi aksenal ve yanal ilerleme oranlamasını bulmaya çalışmıştır [15]. Bu çalışmada düzlemsel yüzeylerin en düşük yüzey pürüzlülüğünde işlenebilmesi için gerekli işleme şartları (eksenel ilerleme/yanal ilerleme) ortaya çıkarılmıştır.

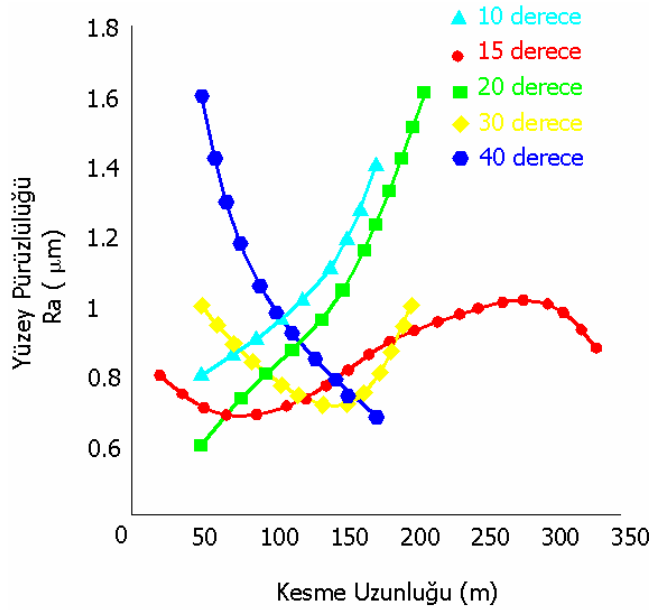
Hock, AISI P20 çeliği işlenirken $2\text{--}5\ \mu\text{m}$ aralığında bir R_z değeri elde etmiştir [16]. Takım ömrü azaldıkça yüzey pürüzlülüğü aynı oranda artacağından bu değer $20\ \mu\text{m}$ 'a kadar çıkmıştır. $6\ \text{mm}$ 'lik küresel uçlu parmak frezenin kullanıldığı diğer bir örnekte takım bağlama boyu $60\ \text{mm}$ 'den $30\ \text{mm}$ 'ye indirilmiş ve $R_z=1,8\text{--}7,5\ \mu\text{m}$ 'luk bir yüzey pürüzlülük değerine ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, artan takım boyunun doğru orantıyla artan yüzey pürüzlülük değerine yansıdığı ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla işlemlerde mümkün olduğunca kullanabileceğimiz en kısa takım boyu seçilmelidir.

Nakagawa, AISI H13 malzemesinin küresel uçlu parmak freze ile işlenmesiyle $Ra=0,18\mu m$, $Rz=1,3\mu m$ ve $R_{max}=1,48\mu m$ gibi oldukça iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde etmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinde kullandığı parametreler 5 000 devir, 5 000 mm/dakika ilerleme, 0,6 mm eksenel ve 0,1 mm radyal kesme derinliğidir. Bu uygulamada aynı yönlü kesme tipi kullanılmış ve kesme bölgesine yüksek basınçlı soğutma sıvısı ile soğutma sağlanmıştır [14].

Bu çalışmada, aynı yönlü kesmenin zıt yönlü kesmeye oranla daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağladığı ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda hızlı işleme araştırmalarının büyük kısmı Darmstadt Üniversitesi (Almanya) tarafından toplanmıştır. AISI P20 plastik enjeksiyon kalıp çeliği (32 HRC) üzerine yapılan araştırmada, 20 mm çapında tek ağızlı K05 karbür küresel parmak freze, 300 m/min kesme hızı, 0,2 mm/ağız ilerleme miktarı, 1,0 mm eksenel kesme derinliği, 0,7 mm radyal kesme derinliği (tırmanarak kesme yöntemiyle) 10, 15, 20, 30 ve 40 derecelik yüzeylere sahip iş parçası üzerinde kullanılmış, 28 m'lik kesme uzunluğu elde edilmiştir (Şekil 2.2). İki ağızlı sermet takımda bu uzunluk 10 kat daha fazla olabilmektedir. Eğimli yüzeylere sahip iş parçalarında kesme yönü iş parçasının tabanından yukarıya doğru yapıldığında takım ömrü daha uzun olmuştur. P40/50 karbür ile işlemede geleneksel kesme metodu ile 120 m olan kesme uzunluğu aynı yönlü kesme ile 150m'ye çıkmaktadır [16,17].



Şekil 2.2. Açılı yüzey işlemede kesme uzunluğu-yüzey pürüzlülüğü grafiği [17]

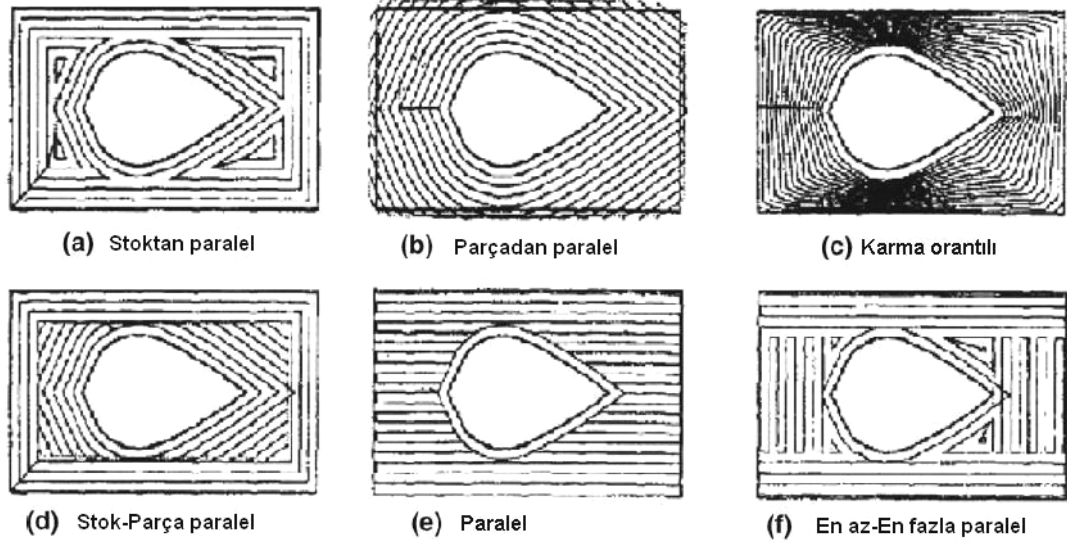
Finlandiya’da Kauppinen ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir araştırmada, 30 HRc sertliğindeki plastik enjeksiyon kalıp çeliği olan AISI P20 malzemesinin düz, kaplamalı karbür, sermet ve saçak takviyeli alümina kesicileri ile hem kuru kesme hem de soğutma yapılarak kesmede oluşturulan parametre verileri Çizelge 2.1’de görülmektedir [18].

Çizelge 2.1. Kauppinen ve arkadaşlarının kullandığı kesme parametreleri ve takım ömürleri [18]

Takım Malzemesi	Çap (mm)	Eksenel Kesme Derinliği (mm)	Radyal Kesme Derinliği (mm)	Kesme Hızı (m/dak)	Diş Başına İlerleme (mm/diş)	Kesme Sıvısı	Takım Ömrü (dak)
K10 Karbür	10	0,5	3,0	200	0,015	Var	43,5
TiN Kaplama	10	0,5	3	200	0,05	Var	19,6
	10	0,2	5,0	200	0,05	Var	7,7
	10	0,5	3,0	1000	0,015	Var	4,3
	10	0,5	3,0	1000	0,15	Var	5,1
Sermet 1	10	0,5	3,0	200	0,05	Yok	6,7
	10	0,5	3,0	800	0,019	Yok	12,9
	10	0,2	3,0	800	0,057	Yok	1,4
Sermet 2	12	0,5	3,0	800	0,019	Yok	7,5
Saçak Takviyeli Alümina	12	0,6	4,0	200	0,05	Yok	0,2
	12	0,6	4,0	800	0,015	Yok	11,3

Bu çalışmada, TiN kaplamalı karbür takımlarla diğer takımlara nazaran daha uzun takım ömrü sağlandığı ve daha çok talaş kaldırıldığı ortaya çıkmıştır.

C.K. Toh, sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin yüksek hızda işlenmesinde yüzey kalitesi/tamlığı geliştirme ve işleme zamanını indirmede kullanılan teknik ve takım yolu stratejileri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, karmaşık yüzeyleri işlerken yüzey profillerini takip eden takım yolu stratejisinin işleme zamanını düşürme ve malzeme kaldırma oranını geliştirme amaçlı işlemede ideal takım yolu tekniği olduğunu açıklamıştır [19].



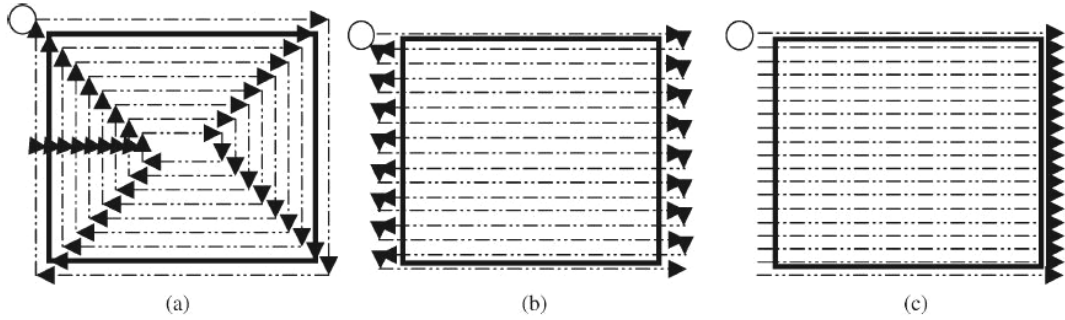
Şekil 2.3. Gelişmiş takım yolu stratejileri [19]

Ayrıca verimli işlemler için 3 aşamalı operasyonlar düzenlenmesi gerektiğini söylemiştir. Bunlar kaba işleme, ara işleme ve bitirme işleme. Yaptığı çalışmanın sonucu olarak şunları ortaya koymuştur:

1. Kaba işlemede ara işlemeye bırakılan talaş miktarı göz önüne alınarak, iş parçasından mümkün olduğunca hızlı bir şekilde talaş kaldırılmalıdır. Ara işlemede, bitirme işlemi için sürekli sabit malzeme kaldırma oranı sağlanacak şekilde işleme yapılmalıdır. Bitirme işlemede ise parçanın doğrusallığı ve bitirme yüzeyinin kalitesi önem taşır.

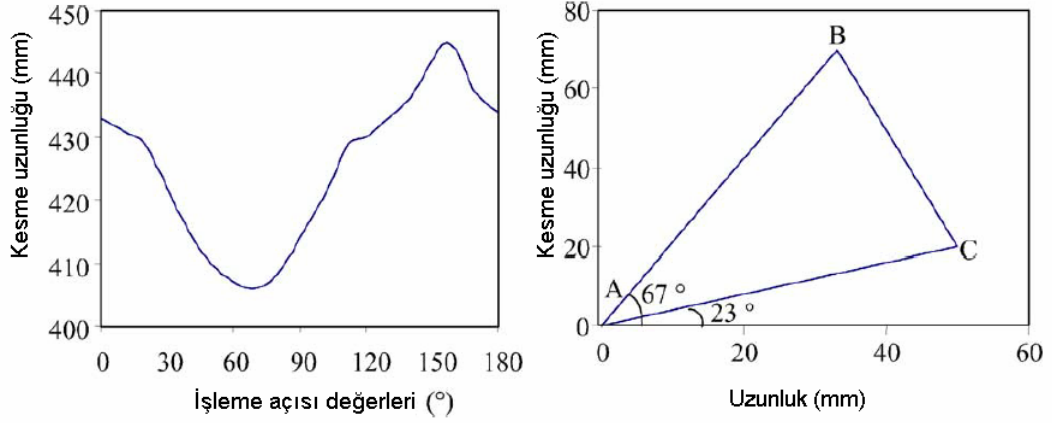
2. İşleme zamanında kesme düzeylerinin sayısı ve her seviyedeki takım yolu stratejisinin etkisinin olduğu kabul edilmiştir.
3. Bitirme işlemede; şekil, ölçü, en küçük kalıp kavisi, kesici geometrisi, radyal kesme oranı ve takım yolu stratejileri gibi faktörler göz önüne alınmalıdır.
4. Kaba ve bitirme işlemede sabit kesici yükleri elde edilerek, ilerlemeye uygun devir sayısı belirlenmesiyle önemli derecede zaman kazançları sağlanabilir.
5. Düz yüzeylerin işlenmesinde; düz parmak frezeler düşük yüzey pürüzlülüğü ve daha hızlı talaş kaldırma şartlarında yaygın olarak kullanılırken, karmaşık yüzeylerin işlenmesinde ise küresel parmak frezeler kullanılmaktadır [19].

C.K. Toh, yaptığı başka bir çalışmada, düzlem yüzey işlemede takım yolu stratejileri ve kesicinin giriş ve çıkış etkilerinin analitik analizi üzerine incelemeler ve tanımlamalar yapmıştır [20]. Çalışmada düzlem yüzey işlemede endüstride en yaygın olarak kullanılan 3 adet takım yolu stratejisini açıklamıştır (Şekil 2.4). Bunlar çevreden paralel, zigzag ve tek yönde paralel işlemedir.



Şekil 2.4. Geleneksel düzlem yüzey işlemede takım yolu stratejileri. (a)-Çevreden paralel, (b)-Zigzag, (c)-Tek yönde paralel [20]

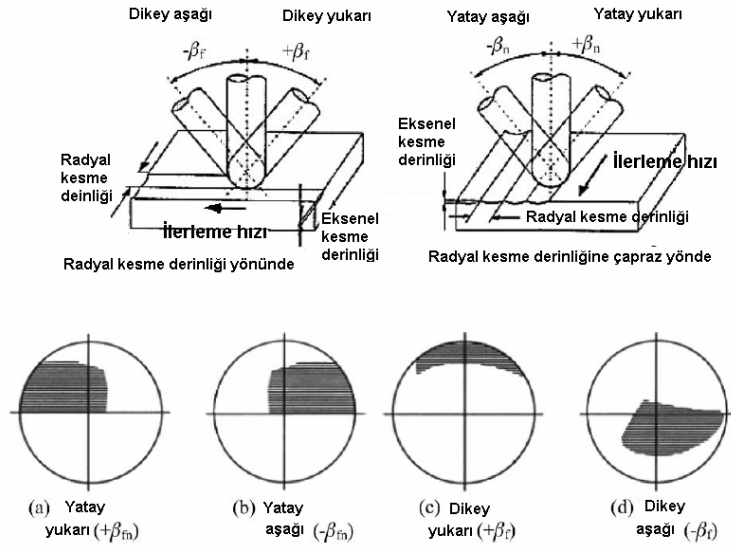
Şekil 2.5'te gösterildiği üzere her üç takım yolu stratejisinde de en kısa işleme zamanını elde etmede en önemli etkenin efektif işleme açısının olduğunu ortaya koymuştur.



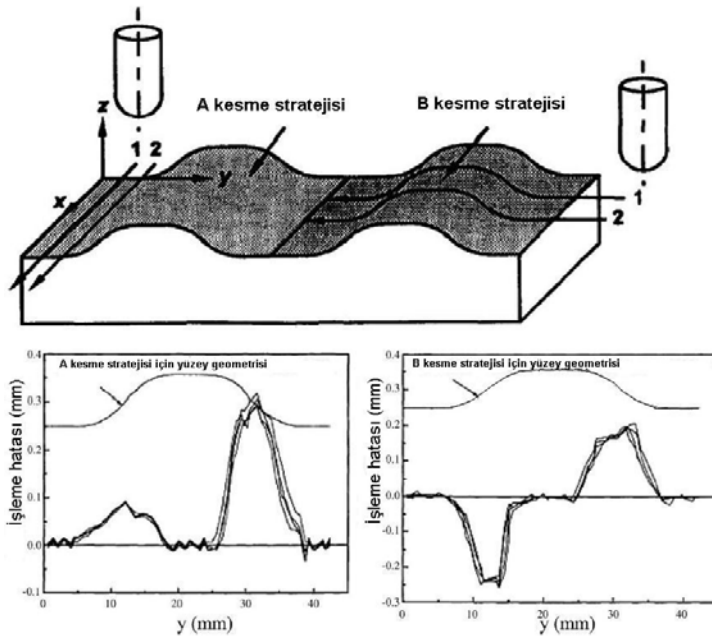
Şekil 2.5. Çeşitli işleme açılarında elde edilen takım yolu uzunlukları [20]

Toh yaptığı çalışmalardan şu sonuçları çıkarmıştır,

1. Takım ömrünün, işleme açısının 15^0 olduğu durumlarda ve dikey yukarı doğru yönelme yaparak işlemede optimum sağlandığı sonucuna varılabilir.
2. Büyük işleme açıları, kesici yüklerini artırarak takımın kısa zamanda deforme olmasına sebep olur. Dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur (Şekil 2.6).
3. İş parçası eğiminin 45^0 ve daha üzeri olduğu işlemlerde takım ömrünün daha uzun olması söz konusu olduğunda, yatay aşağı doğru yönelme yaparak işleme daha çok tercih edilir (Şekil 2.7).
4. Çevreden paralel işlemede başlama noktasının seçimi küçük farklılıkların olmasına rağmen kesme uzunluğuna etki etmemektedir.
5. Düzlem yüzey işlemede zigzag işleme çevreden paralel işlemeye nazaran daha kısa takım yolu ortaya koyar [20].



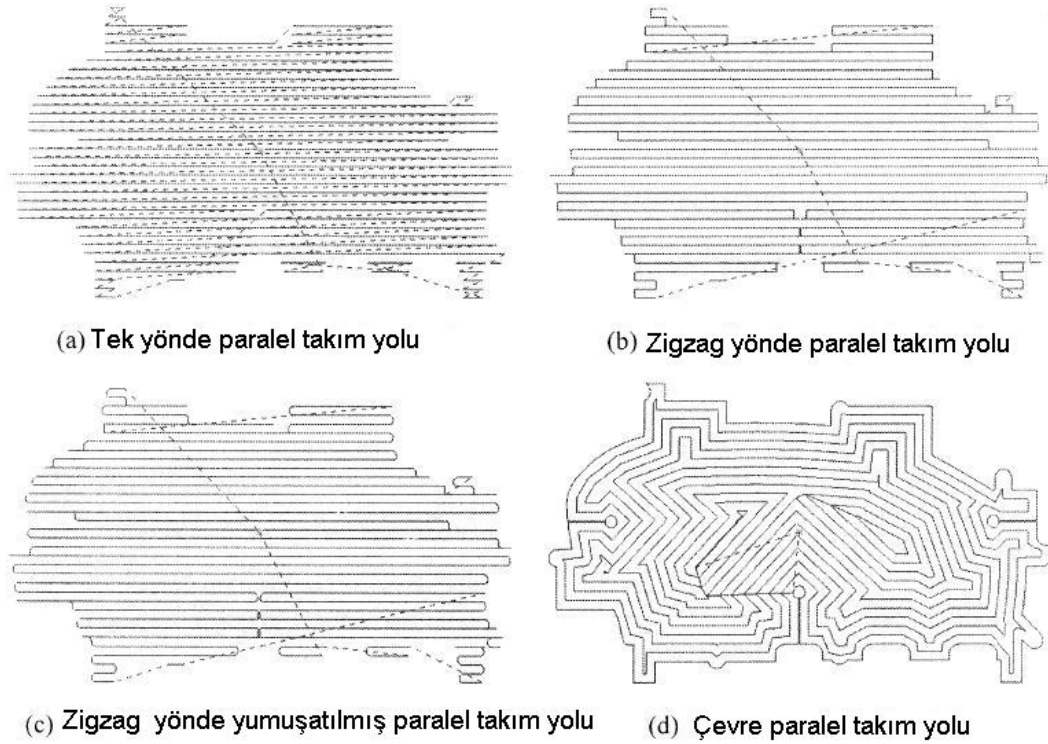
Şekil 2.6. Toh'un öne sürdüğü dört farklı işleme tekniği tipi [20]



Şekil 2.7. Gelişmiş bir yüzey işlemede yatay ve dikey işleme tekniklerinin işleme hassasiyetine etkisi [20]

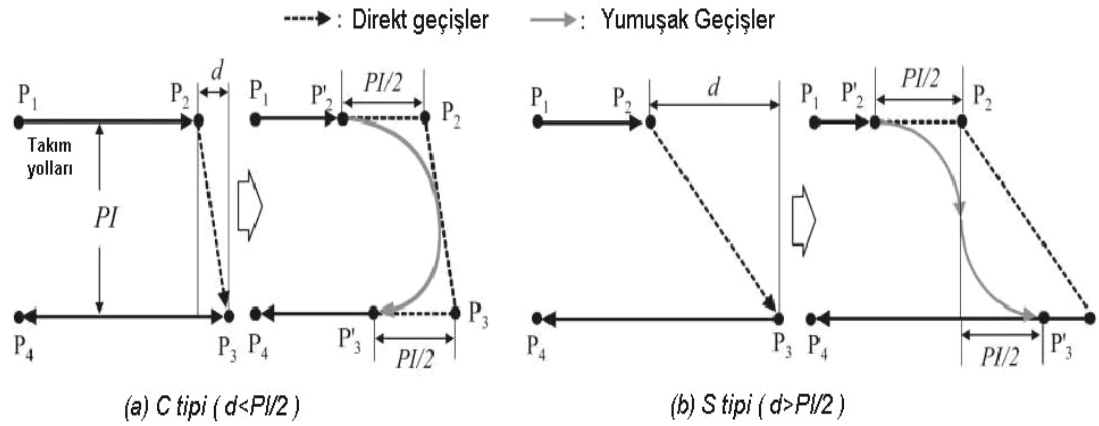
Bo H. Kim ve Byoung K. Choi, yaptıkları çalışmada BSD tezgâhlarının hızlanma ve yavaşlanma ivmelerini hesaba katan bir işleme zamanı modeli geliştirmişlerdir [21]. Geliştirilen bu modelin kullanılmasıyla kalıp üretiminde yaygın olarak kullanılan üç

tip direkt takım yolu (tek yönde, zigzag yönde ve yumuşatılmış zigzag yönde) ile çevre paralel takım yolunun işleme verimliliği karşılaştırılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Geleneksel 3 tip paralel takım yolu ve çevre paralel takım yolu sistemi [21]

Yapılan bu çalışmada yüksek hızda işlemede takım yolu oluşturulurken tezgâhın ani hızlanma ve yavaşlanma ivmelerine maruz kalmaması için keskin dönüşlü müteakip takım yollarının yumuşatılması gerektiği vurgulanmıştır. Böylelikle hem tezgâh hem de kesici takım, şok yüklerin etkisinden korunmuş ve dolayısıyla takım ve tezgâh ömrü uzatılmış olur. Keskin dönüşlü müteakip takım yolları iki şekilde yumuşatılır. Bunlar C tipi ve S tipi yumuşatma diye literatürde yerini almıştır. C tipi yumuşatma, müteakip takım yolları uzunluklarının, aralarındaki mesafeden küçük olması durumunda kullanılır. S tipi ise diğer durumda kullanılır.



Şekil 2.9. C tipi ve S tipi takım yolu yumuşatma yöntemleri [21]

Yapılan çalışmada kullanılan değerler ve işleme parametreleri aşağıda verilmiştir.

Hızlı ilerleme hareketi	:20 000 mm/dak
Kesme ilerlemesi değerleri	:1 000, 2 000, 3 000, 5 000, 7 000, 10 000 ve 20 000 mm/dak
Takım yolu aralığı (yanal kayma)	: 1, 2, 3, 5, 7 ve 10 mm
Güvenli Z mesafesi	:10 mm
İşleme alanı	:100 000 mm ² (100 mm x 1 000 mm)

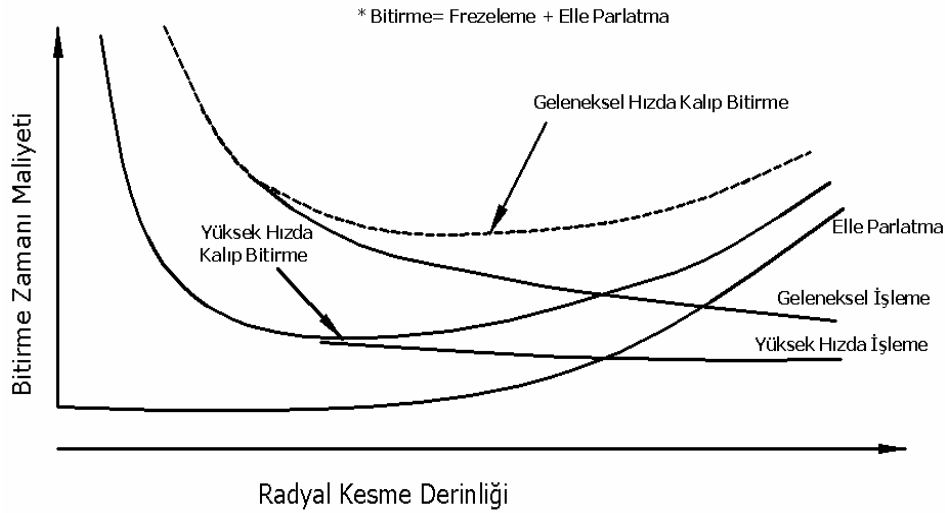
Deneyler sonucunda yumuşatılmış zigzag takım yolunun, takım yolu uzunluğu ve ilerlemeye bakılmaksızın en etkili takım yolu olduğu ispatlanmıştır. Ayrıca yumuşatılmış zigzag takım yolunun yüksek ilerlemelerde bile yavaşlanma ve hızlanma ivmelerini önemsediği görülmüştür. Çizelge 2.2’de deneysel sonuçların bir tablosu görülmektedir.

Çizelge 2.2. İşleme zamanlarının kıyaslanması, (sn) [21]

		İlerleme (mm/dak)						
		1 000	2 000	3 000	5 000	7 000	10 000	20 000
Adım 1 mm	Tek yön	6479,29	4062,80	3300,92	2467,52	2177,66	1954,19	1687,85
	Zigzag	5905,27	3153,06	2403,89	1563,91	1273,62	1053,57	798,98
	Yumuşatılmış zigzag	5490,12	2744,23	1840,07	1112,47	884,78	575,20	305,99
	Çevre paralel	5759,57	3035,46	2315,55	1422,05	1128,10	904,21	634,49
Adım 2 mm	Tek yön	3377,46	2033,20	1651,95	1234,93	1089,90	978,06	844,77
	Zigzag	2987,33	1616,11	1242,23	787,53	643,20	532,40	402,77
	Yumuşatılmış zigzag	2784,26	1417,24	935,15	563,48	447,13	292,26	157,64
	Çevre paralel	2915,05	1537,12	1176,21	720,46	569,65	455,84	319,39
Adım 3 mm	Tek yön	2254,84	1357,83	1103,46	825,17	728,38	653,77	564,83
	Zigzag	2014,52	1091,03	878,43	530,79	433,21	358,44	272,37
	Yumuşatılmış zigzag	1878,68	971,39	650,95	383,11	302,96	198,77	108,42
	Çevre paralel	1963,90	1034,83	790,98	485,55	385,31	306,12	213,66
Adım 5 mm	Tek yön	1354,57	815,93	663,18	496,09	437,96	393,15	339,75
	Zigzag	1232,01	667,88	539,91	336,15	279,33	219,68	166,32
	Yumuşatılmış zigzag	1149,92	596,05	402,59	246,29	203,53	124,14	68,42
	Çevre paralel	1213,03	639,86	489,65	301,53	240,08	192,50	133,91
Adım 7 mm	Tek yön	969,94	584,37	475,03	355,42	313,86	281,74	243,50
	Zigzag	897,65	486,96	392,52	245,65	203,11	169,86	120,99
	Yumuşatılmış zigzag	838,72	435,56	294,95	182,32	157,61	93,10	51,13
	Çevre paralel	882,89	465,73	355,83	219,21	174,37	140,36	98,37
Adım 10 mm	Tek yön	680,12	409,94	333,31	249,49	220,34	197,87	171,07
	Zigzag	645,57	350,25	282,30	176,74	146,61	122,37	87,21
	Yumuşatılmış zigzag	603,96	314,74	213,92	132,91	115,48	73,60	38,84
	Çevre paralel	644,13	339,74	259,17	159,76	127,23	102,96	71,38

Bagard, en kısa işleme süresi maliyetinin elde edilmesi için bir optimum radyal kesme derinliği seviyesi önermiştir [22]. Radyal kesme derinliği ne kadar az olursa, yüzey pürüzlülüğü de o kadar iyi olacaktır. Ancak gereksiz yere bu derinliği azaltmak işleme zamanını da aynı oranda artıracığından elle bitirme işlemini tamamen ortadan kaldırmak yerine radyal kesme derinliğini artırmak avantajlı

olacaktır. Çünkü bir seviyeden sonra istenilen yüzey kalitesi, elle bitirme işlemi ile sağlandığında, tezgâh üzerinde işlemeden daha kısa sürede tamamlanabilecektir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Geleneksel ve yüksek hızda kesmede radyal kesme derinliğinin işleme maliyetine etkisi [22]

Bagard aynı zamanda, değişik işleme stratejilerinin maliyetlerini de karşılaştırmıştır. Yüksek radyal kesme derinliklerinin kullanıldığı geleneksel kesme hızı ile hızlı işlemeyi karşılaştırmış, hızlı işlemede %52 daha düşük işleme maliyetinin olduğunu öne sürmüştür.

Aynı zamanda aynı yönde işleme ile daha iyi bir yüzey kalitesi elde edildiğinden daha düşük elle bitirme işleme zamanı kaldığını ancak iki yönlü işleme ile kesicinin boşta hareketinin daha az olduğu için daha düşük bir çalışma maliyetinin elde edilebileceğini belirtmiştir.

Aspinwall tarafından yapılan bir başka analizde bir sac kalıbı setinin üretim süreci geleneksel yöntemlerle ve hızlı ve verimli işleme tekniği ile karşılaştırılmıştır [23].

AISI H13 (48 HRC) sıcak iş çeliğinden 170 mm derinliğinde boşluğa sahip otomobil bağlantı rot kalıbı imalatındaki maliyet analizi Çizelge 2.3’de görülmektedir.

Çizelge 2.3. Geleneksel işleme ile hızlı işlemenin zaman ve maliyet bakımından karşılaştırılması [23]

Geleneksel İşleme			Hızlı ve Verimli İşleme		
İşlem	Zaman (Saat)	Maliyet (£)	İşlem	Zaman (Saat)	Maliyet (£)
1. Kaba ve hassa EDM elektrodunun işlenmesi					
-Grafit maliyeti		300			
-BDT/BDÜ Programlama	8	240			
-İşleme	32	960			
2. Kaba Frezeleme	1	30	1. Yüzeylerin kaba işlenmesi	1	30
3. Isıl İşlem			2. Isıl İşlem		
4. PCBN takım ile yüzey temizleme ya da taşlama	1	30	3. Hızlı işleme için BDT/BDÜ ile takım yolu çıkarma	10	300
5. Kaviterlerin EDM’de işlenmesi			4. Hızlı İşleme		
-Kaba	4	120	-Takımlama Maliyeti	0,5	125
-Hassas	6	180	-Yüzey İşleme	7	25
6. Elle Parlatma	6	120	-Kavite İşleme		350
Toplam Zaman ve Maliyet	58	1980	5. Elle Parlatma	0,5	10
			Toplam Zaman ve Maliyet	19	840

Özses, özel bir işletmedeki mevcut üretilen ürünlerin, BSD tezgâhındaki işleme parametrelerini değiştirerek bir zaman-yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu yakalamaya çalışmıştır. Bu inceleme sonunda üretimde %50 ‘ye varan bir iyileştirme yakalanmıştır [24].

Bu çalışmada takım katalogları ve el kılavuzlarındaki değerlerle yapılan işlemlerde bile optimizasyon yoluna gidilebileceği araştırılmıştır. Böylelikle maliyet ve ürün kalitesinde iyileştirmeler yapılacağı görülmüştür.

Çelikay yaptığı çalışmada, bir işletmeye BDT/BDÜ yazılımı alınırken dikkat edilmesi gereken hususları, bu konuda kimlerin rol alacağını, bir BDT/BDÜ yazılında olması gereken özellikleri, yazılım yatırımının işletmeye sağladığı faydaları ayrı ayrı ele almıştır [25].

Yakın, yaptığı araştırmada BDT/BDÜ yazılım sisteminin gereksinimini anlatmış, eldeki mevcut sistemin verimli kullanılması için yapılması gereken faaliyetleri incelemiştir [26]. Ayrıca dünya üzerindeki saygın firmaların bu konudaki araştırma çalışmalarını sonuçları ile birlikte sunarak çarpıcı örnekler vermiştir.

Literatürde yüksek hızda işleme teknolojisi ile kalıp işlemede değişik konular üzerine yapılmış araştırmalara ulaşmak mümkündür. Literatür araştırmasında belirtildiği gibi, yapılan çalışmaların birçoğu en iyi kesme şartlarının sağlanması üzerine olmuştur. Ancak bugüne kadar yapılan araştırmalarda günümüz BDT/BDÜ yazılımları kullanılarak, bu yazılımlardaki işleme yöntemlerinin işleme süresi ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin analizi üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, 3 boyutlu karmaşık yüzey geometrisine sahip kalıp çekirdeklerinin işlenmesinde üretilen takım yollarının performansı değerlendirilmiştir.

3. TALAŞ KALDIRMA PARAMETRELERİ

Talaş kaldırma teorisi, talaş kaldırma işleminin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu teorinin neticesinde parça malzemesine bağlı olarak talaş kaldırma koşulları (kesme hızı, ilerleme, paso kalınlığı ve genişliği), takım malzemesi ve geometrisi bilimsel olarak seçilir. Esasen talaş kaldırma olayı, birbirine bağlı olmakla beraber birçok açıdan incelenebilir. Bunlardan talaş kaldırma olayının fiziksel açıdan incelenmesi, talaş kaldırma teorisinin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle öncelikle talaş kaldırma olayına fiziksel açıdan etki eden etkenlerin anlatılmasında yarar vardır.

3.1. Kesme Hızı

Takımda herhangi bir yanma olmadan kesme kenarında ilerlenebilecek en yüksek hızdır. Kaldırılacak en yüksek talaş kaldırma miktarı ya da devir sayısı tecrübelerle dayanılarak ve takım imalatçılarının hazırladığı tablolar kullanılarak saptanır. Takım ömrü en çok kesicinin kesme hızından etkilenir. Kesme hızı da; kesme derinliği, ilerleme miktarı, devir sayısı ve ağız başına ilerleme faktörlerinin etkileşimi ile tayin edilir.

Genel olarak kesme hızı miktarı hazır tablolardan alınır ve iş mili hızının hesaplanmasında kullanılır. Kesme hızının hesaplanmasında Eş. 3.1 kullanılır.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad (3.1)$$

V= Kesme hızı (m/dak)

N= İş mili hızı/devri (dev/dak)

D= İşlemede kullanılan takım çapı (mm) 1 000= Sabit

3.2. Devir, İlerleme ve Paso Kalınlığı

İşleme koşulları gerekli olan tezgâh gücüne, iş mili hızına ve ilerleme miktarına göre tayin edilir. Uygun işleme şartlarının elde edilebilmesi için kesme hızları, ağız başına ilerleme ile dengelenmelidir. Aynı zamanda bu faktörler takım ömrüyle de yakından ilgilidir.

Talaş derinliğinin artırılması yerine ilerleme miktarının artırılması daha az güç gerektirdiğinden daha ekonomiktir. Çünkü;

-İlerleme miktarını iki katına çıkarmak için motor gücünü %50 artırmak gerekir,

-Eksenel yönde kesme derinliğinin iki katına çıkarmak için motor gücünü %90 artırmak gerekir,

-Radyal yönde kesme derinliğini iki katına çıkarmak için motor gücünü %200 artırmak gerekir [27].

Devir sayısı (N): Devir sayısı (iş mili hızı), iş milinin dakikadaki dönme sayısıdır (dev/dak). Gerek frezeleme olsun gerek tornalama olsun talaş kaldırma işlemlerinde kesme hızının bilindiği durumlarda devir sayısı Eş. 3.2 kullanılarak hesaplanır.

$$N = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (3.2)$$

V= Kesme hızı (m/dak)

N= İş mili hızı/devri (dev/dak)

D= İşlemede kullanılan takım çapı (mm) 1 000= Sabit

İlerleme (F): İlerleme birim zamanda alınan yolun ölçüsüdür (mm/dak). İş mili hızı, kesici takım özellikleri ve ağız başına ilerlemenin bilinmesi durumunda ilerleme hızı Eş. 3.3 ile hesaplanır:

$$F = N \cdot z \cdot f_z \quad (3.3)$$

F =İlerleme hızı (mm/dak)

N =İş mili hızı (dev/dak)

z =Kesici takımın ağız sayısı

f_z =Takımın tek ağzının kestiği talaş kalınlığı (mm/ağız)

İlerleme hızı anlatılırken bu kısımda kısaca ağız başına ilerleme ve devir başına ilerlemeyi de biraz açmak gerekmektedir.

Ağız başına ilerleme (f_z): Kesilen kenarda kesicinin tek ağzının her bir devirde kestiği talaş kalınlığıdır. Devir sayısının kesici ağız sayısının ve ilerleme miktarının bilindiği durumlarda ağız başına ilerleme miktarı Eş. 3.4 yardımıyla bulunmaktadır.

$$f_z = f/z \quad (3.4)$$

f_z =Ağız başına ilerleme (mm/ağız)

f =Devir başına ilerleme (mm/dev)

z =Kesici takımın ağız sayısı

Devir başına ilerleme(f): Eksenel ilerleme olarak da bilinen devir başına ilerleme kesicinin bir devirde kaldırdığı talaş kalınlığıdır. İlerleme hızı ve iş mili hızına bağlı olarak Eş. 3.5 ile hesaplanabilir:

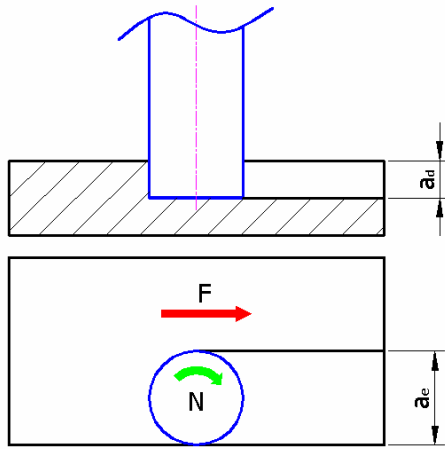
$$f = \frac{F}{N} \quad (3.5)$$

F =İlerleme hızı (mm/dak)

N =İş mili hızı (dev/dak)

f =Her bir devirde kaldırılan talaş kalınlığı (mm/devir)

Paso kalınlığı (a_d): Kesici takımın, iş mili ekseninde, kesilen malzemeye dalma miktarına denir. Kesici takım firmaları kataloglarında uygun paso kalınlığı ve genişliği hakkında test edilmiş örnekler bulunmaktadır. Aynı takımla işleme yaparken; yüksek hızda işlemede, geleneksel işlemeye nazaran 3-4 kat daha küçük paso kalınlıkları kullanılır [34].



Şekil 3.1. Paso kalınlığı [35]

3.3. Kesici Takımlar

Malzeme yapısı, kaplaması ve geometrisi farklı olan çeşitli takım tipleri mevcuttur. Bunlar takım ömrünü, takım rijitliğini ve işlenecek malzemenin hassasiyetini etkileyen önemli faktörlerdir.

Yüksek hızda işleme teknolojisindeki avantajlardan birisi de bitirme operasyonu için takım değiştirme zorunluluğunun ortadan kaldırılmasıdır. Takımın bu aşamada değiştirilmesi sonucu, referans almada ortaya çıkan farklılıklar iş parçasına taşınmış olur.

Yüksek hızda kalıp işlemede çok değişik tipte takımlar kullanılabilir fakat en iyi sonuç, karbür takımların kullanılması ile elde edilmektedir. Takımlar; yekpare veya takma uçlu olabileceğinden, yapılacak uygulamaya göre takım seçiminden bulunulabilir. Genel olarak yüksek hızda işleme mantığına göre ince talaş ve yüksek ilerleme hızı şartlarında çalışma için salgı hassasiyeti ve rijitlik göz önünde bulundurularak yekpare karbür takımların kullanımı tercih edilmektedir [28]. Fakat bunun yanında takım maliyetleri de göz ardı edilmeyip, yerine göre takma uçlu takımlar da tercih edilebilir. Kullanılan malzeme sertliğine göre değişik kaplama türleri de kullanılabilir.

Çizelge 3.1’de MAKINO firmasının hazırladığı malzeme sertliğine göre kaplama cinsi seçiminde kullanılan bir çizelge görülmektedir. Bu çizelge yüksek hızda sert malzeme işleme uygulamalarında referans alınabilecek niteliktedir. Kaplamanın cinsine göre takım maliyetleri de artmaktadır fakat aynı zamanda daha fazla takım ömrü elde edilebilmektedir [29].

Çizelge 3.1. Kesici kaplama malzemeleri ve işlenecek malzeme sertliği [29]

Sembol	Adı	Sertliği
HSS	Yüksek hız çeliği	30 HRC
WC	Karbür(Kaplamasız)	40 HRC
TiN	Titanyum nitrür kaplamalı karbür	40 HRC
TiCN	Titanyum karbon nitrür kaplamalı karbür	45 HRC
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür kaplamalı karbür	55 HRC

Yüksek hızda kesme uygulamalarında operasyon, iş parçası malzemesi ve iş parçası geometrisine göre değişik takım tipleri kullanılmaktadır.

Parmak frezeler kalıpcılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan takımlardır. Özellikle kalıpcılık endüstrisinde yüzeylerin karmaşık şekiller barındırması ve kavis içermesi küresel uçlu takımların bu alanda yaygın olarak kullanılmasına neden olmaktadır. Bazı durumlarda işlenen geometrideki en küçük kalıp kavisine uygun takım seçilmekte ve diğer hassas işlemler de bu takım ile yapılmaktadır.

Yekpare (solid) kesici takımlar: Yekpare takımlar genellikle karbür ve yüksek hız çeliği gibi tek malzemeden üretilirler (Şekil 3.2). Küçük kavis ya da parça detayı fazla olan geometrilerde çokça tercih edilirler. Bu takımların hızlı işlemede kullanılmasıyla;

-Yüksek hız ve ilerlemelerde çalışmak mümkündür. Takım gövdesi ve kesici uç birleşik olduğundan bu iki bağlantı arasında ortaya çıkabilecek hatalar asgari düzeye iner. Dolayısıyla daha rijit bir yapıda olduklarından yüksek hızda ilerlemelerde daha az problemlerle karşılaşılır.

-Yekpare tipli küçük çaplı takımlarla özellikle 40 HRC'nin üzerindeki takım çeliklerinin işlenmesinde, fazla talaş kaldırma hacimlerinde dahi işleme yapılması mümkündür [30].



Şekil 3.2. Yekpare kesici takım çeşitleri [30]

Takma uçlu (insert) takımlar: Takma uçlu takımlar, takım gövdesi ve değiştirilebilir kesici uçtan ibarettir (Şekil 3.3). Bu takımların yekpare takımlarla karşılaştırıldığında birçok avantajı vardır;

-Takım gövdesinde aşınma olmadığından, gövde için tek seferlik maliyet teşkil etmektedir. Yekpare takımlarda ise aşınan uçla birlikte takım gövdesinin de kullanımı kaybolmaktadır.

-Değişik malzeme, şekil, ebat ve geometrilerde imal edilmiş kesici uçlar vardır.

-Çoğu takma uç, düzgün geometrik (üçgen, dörtgen, altıgen, yuvarlak gibi) bir şekle sahiptir. Bu bakımdan aşınmadan sonra istenilen kenar değiştirilebilir.



Şekil 3.3. Takma uçlu takım çeşitleri [30]

Hızlı işleme uygulamalarında en etkili takma uç malzemesi karbürdür. Kaplamalı karbürlerle takım ömrü oldukça artmaktadır. Yüksek ve pozitif kesme açısı kullanılarak 40 HRC'nin altındaki takım çeliklerinin işlenmesinde tercih edilmektedirler [30].

3.3.1. Takım aşınması ve takım ömrü

Aşınma olayının gelişmesinde kesme hızının çok büyük etkisi vardır. Bu bakımdan denilebilir ki, kesme hızı takım ömrünü etkileyen en önemli faktördür. Takım ömrü, çeşitli aşınmalar tarafından sınırlanmaktadır. Bu aşınma çeşitleri, takım ömrünü tayin eden kriterleri oluşturmaktadır. Pratik bakımdan takım ömrünü tayin eden en önemli kriter serbest yüzeyinde meydana gelen aşınmadır. Serbest yüzeyde meydana gelen aşınma kesme ağzından başlayarak kabul edilen bir aşınma değerine erişinceye kadar sürekli ilerlemektedir. Bu bakımdan takım ömrü kabul edilen bir aşınma değerine bağlıdır.

Şimdiye kadar kabul edilen aşınma değeri ile ilgili bir standart yoktur. Bunun nedeni, kabul edilen aşınma değerinin birçok faktöre bağlı olarak farklı değerlendirilmesidir. Bu husus şimdiye kadar açık bir şekilde tayin edilmemiş ve farklı durumlarda çeşitli kriterler kullanılmıştır. Örneğin yüzey bozulması ele alınırsa, nihai talaş kaldırmada çok küçük aşınmalar dahi yüzey kalitesini bozabilir. Yüzey bozulma endişesi olmayan kaba talaşa; enerjinin artması, kesme ağzının talaş kontrol kabiliyetini yitirmesi, titreşimler veya takımın kırılması gibi kriterler kullanılabilir. Örneğin yüzey kalitesi önemli olmayan kaba talaş kaldırmada kabul edilen aşınma değeri

frezelemede 0,6–1 mm gibi çok yüksek olarak alınabilir. İnce talaş kaldırmada bu değer çok daha küçüktür; 0,25–0,4 mm olabilir [28].

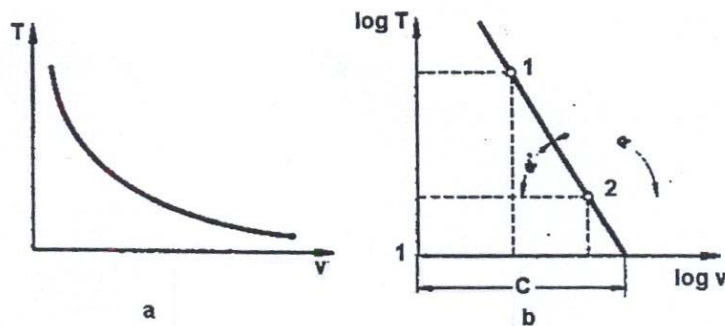
Takım ömrü ile ilgili ilk araştırma 1900-1908 yılları arasında Taylor tarafından yapılmıştır. Bir atelyede mühendis olarak çalışan Taylor, verimliliği artırmak amacıyla iş organizasyonu, işleme zamanları ile ilgili çalışmalarını yanı sıra talaş kaldırmada kesme hızlarını da deneysel olarak incelemiş, ilkin kesme hızını a paso kalınlığı ve s ilerlemeye bağlı olarak

$$V = \frac{C \cdot [1 - \frac{0,72}{r^2}]}{[0,0394 \cdot s]^{(0,4 + \frac{2,12}{5+1,2r})} \cdot [\frac{1,5a}{r}]^{[(0,13+0,675\sqrt{r}) \cdot \frac{r}{7,35 \cdot r + 1,88a}]}} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Daha sonra takım ömrünü de dikkate alarak kesme hızı ve takım ömrü arasında, kendi adını taşıyan

$$T \cdot V^k = C \quad (3.7)$$

Taylor bağıntısını bulmuştur (Şekil 3.4). Burada T -takım ömrü (dak), V -kesme hızı (m/dak), k -takım malzemesine bağlı olan bir sabite, C -yine takım ve parça malzemesine bağlı olan 1 dakikalık ömre karşılık gelen kesme hızıdır.



Şekil 3.4. Taylor bağıntısı grafiği [28]

3.4. BSD Takım Tezgâhı

Son yıllarda kesici takım, iş mili, kızaklar gibi BSD tezgâhların performansını etkileyen konulardaki hızlı gelişim, yeni işleme tekniklerinin uygulama alanlarının artmasını sağlamıştır. Kalıpçılık sektöründe dik işlemlerin popüler olması ve yaygınlaşması bunun bir sonucu olarak gösterilmektedir.

Standart BSD işleme merkezleri genelde en fazla 5 000 – 8 000 iş mili devrine sahip olmakla birlikte daha yüksek iş mili hızlarında çalışmak için donatılabilmektedir. İşleme merkezi üreticileri genellikle 10 000 dev/dak bir iş milini özel seçenek olarak müşteri kullanımına sunmaktadır. Ancak günümüzde 20 000 – 100 000 dev/dak iş mili hızına sahip BSD işleme merkezleri de standart olarak üretilmektedir. Yüksek iş mili hızı ile birlikte çoğu zaman yüksek ilerleme miktarları kullanılmaktadır. 4 kesici ağıza sahip bir takım ile 20 000 devir iş mili hızı ile çalışıldığında 0,6 mm/dev bir ilerleme (0,15 mm/ağız) için 12 m/dak ilerleme hızı elde edilebilmektedir. Yüksek hızda işleme kimi durumlarda 15 m/dak, hatta bazı özel uygulamalarda 60 m/dak ilerleme oranlarına çıkılabilmektedir [31]. Takım tezgâhlarının bu değerleri taşıyabilmesi için oldukça rijit bir gövde yapısı ve yüksek kontrol üniteleri kapasitesine sahip olmaları gerekmektedir.

3.5. Kesilen Malzeme

Kalıp imalat endüstrisinde yaygın olarak takım çelikleri kullanılmaktadır. Bu çelikler bileşimindeki alaşım malzemelerinin kattığı özelliklere göre yapılacak kalıplama işleminde tercih edilir. Örneğin enjeksiyon ve sıcak iş uygulamalarında sıcak iş takım çelikleri, soğuk şekil verme ve kesme işlemlerinde soğuk iş takım çelikleri kullanılmalıdır.

Kalıp imalatında ise kalıp çeliklerinin işlenmesi oldukça deneyim ve bilgi birikimi gerektiren bir konudur. Çünkü kalıp çelikleri özel alaşımlı çeliklerdir. Bu alaşım malzemeleri (molibden, silisyum, vanadyum gibi) çeliğe sertlik, tokluk, aşınma mukavemeti gibi özellikleri katar. Dolayısıyla bu çeliklerin işlenmesi, imalat çelikleri

ve diğer demir olmayan metallerin işlenmesine göre oldukça zordur.

Kalıp çeliğinin sertliği ve diğer dayanım özellikleri işleme sırasındaki parametreleri belirler. Takım üreticileri malzeme özelliklerine göre işleme esnasında kullanılacak olan kesme hızı, talaş derinliği ve ağız başına ilerleme değerlerini kullanıcılara önermektedirler. Bu değerler takım üreticisinin imalat şartlarında gerçekleştiği için referans alınıp, yapılan işlemede duruma göre hız iyileştirmeleri yapılabilir. Çizelge 3.2’de TaeguTec firmasının bazı malzemelerin kaba işlenmesinde önerdiği işleme parametreleri görülmektedir.

Çizelge 3.2. Çeşitli malzemeler için kaba işleme parametreleri [38]

Malzeme	Sertlik (Brinell)	Talaş Derinliği (mm)	Kesme Hızı (mm/dak)	Ağız başına ilerleme (mm/ağız)
Düşük Karbonlu Çelik	85-175	0,5-1,5	390-300	0,1-0,15
Orta Karbonlu Çelik	175-225	0,5-1,5	270-180	0,1-0,15
Yüksek Karbonlu Çelik	225-275	0,5-1,5	240-150	0,08-0,12
Takım Çeliği	275-325	0,5-1,5	140-90	0,05-0,1

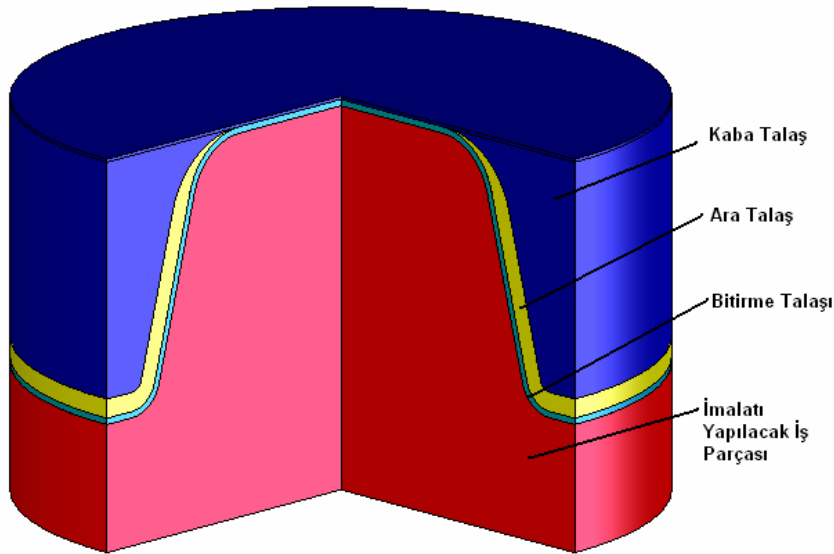
3.6. Takım Yolu Oluşturma Stratejileri

Endüstride yaygın olarak kullanılan BDÜ programlarında, ihtiyaç ve talepler doğrultusunda oluşan çok çeşitli takım yolu yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler BDÜ kullanıcısının üretimini yapacağı iş üzerinde bulunan gerekli yerlerin işlenmesinde tercihine göre kullanılır. Bu yöntemlerin birçoğu birbirine yakındır. Fakat hangisinin daha iyi olduğu, işleme şartları ve BDÜ kullanıcısının tecrübesine göre belirlenir.

Gelişmiş kalıp imalat teknolojisinde, enjeksiyon kalıbını oluşturan dişi ve erkek çekirdeklerin hızlı işlenmesinde genellikle aşağıda verilen 3 ana aşama izlenilir [33].

3.6.1. Kaba işleme

Ara işlemeye bırakılan talaş miktarı göz önüne alınarak, iş parçası üzerinden mümkün olduğunca en hızlı şekilde talaş kaldırılması gereken aşamadır. Bu aşamada, iş parçasının ölçüsel doğruluğu ve yüzey pürüzlülüğünün pek önemi yoktur. Genellikle uzun takım ömrü ve yüksek talaş kaldırma performansı sağladığı için takma uçlu parmak freze takımları bu aşamada seçilmelidir. Bununla birlikte sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde genellikle köşe kavisli veya küresel freze takımları kullanıldığı unutulmamalıdır. İstenen iş parçasını elde etmek için, kütük parçadan en fazla talaş miktarı kaba işlemede atılır (Şekil 3.5). Bu nedenle verimliliği geliştirmek ve işleme zamanını minimuma indirmek amacıyla iyi bir işleme stratejisini seçimi bu aşamada çok önemlidir. İşleme zamanını düşürmek, gereksiz takım kalkışları ve dönüşlerini engellemek amacıyla işlenecek alan birkaç alana bölünerek işleme yapılabilir. Çünkü çukur alanlardaki çeşitli adacıklar ve geometrik olmayan unsurlar işlenecek geometrinin çok karmaşık olmasına sebep olmaktadır. Bunun için farklı alanlarda farklı işleme stratejileri uygulanabilir.



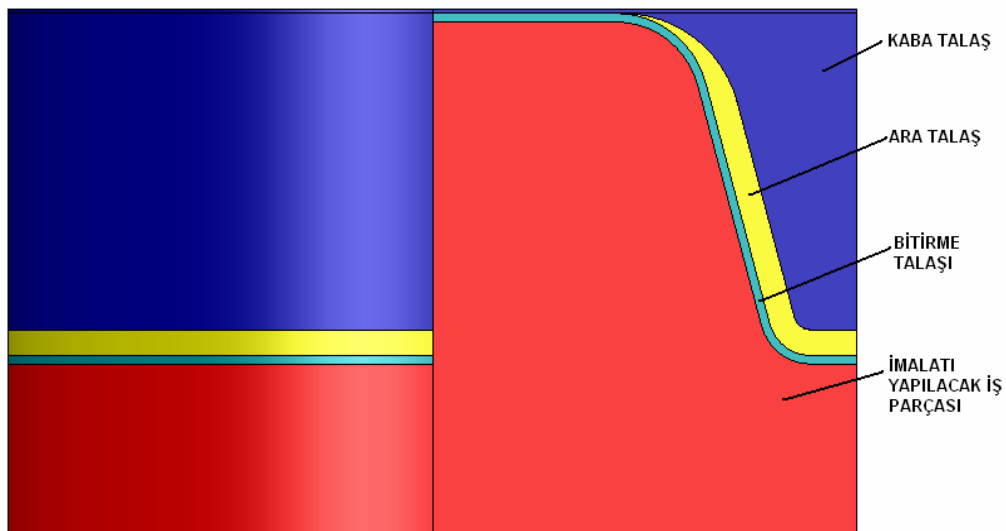
Şekil 3.5. Kalıp işlemede işleme operasyonları talaş miktarları [35]

Kaba işleme Şekil 3.5’de gösterildiği gibi iş parçasını elde etmek için en fazla talaşın atıldığı operasyondur. Araştırmalar göstermiştir ki kaba işlemede işleme zamanını

belirleyen en önemli faktör işleme derinliği ve katman sayısıdır. Ayrıca eğer kaba işlemede çok düzgün bir kesme derinliği dağılımı yapılarak her tarafta eşit şekilde kalan talaş bırakılabilirse ara işlemeye daha az iş düşebilir hatta ara işleme bertaraf edilebilir [33]. Böylelikle işleme zamanında çok iyi kazanç sağlanarak maliyetler aşağı çekilebilir.

3.6.2. Ara işleme

Ara işleme; bitirme işlem için gerekli paso miktarı bırakılması göz önüne alınarak, kaba işleme sonrası kaba işleme takımının giremediği yerlere girerek işlenecek parça üzerinde bitirme işleme için düzenli bir talaş dağılımı sağlamak amacıyla yapılan operasyondur (Şekil 3.6). Bu operasyon getirdiği ek maliyet gerekçesiyle günümüz endüstrisinde çoğu kez kullanılmamaktadır. Fakat kaba işleme sonrası eğer iş parçası üzerinde eşit bir talaş dağılımı bırakılmamışsa ve ara işleme operasyonu atlanarak bitirme işlemeye geçilirse, bitirme işleme takımına gelecek olan farklı kesme yükü dağılımları işlenecek parçanın yüzey kalitesinin kötü çıkmasına ve ölçüsel kararlılığın bozulmasına sebep olacaktır. Bunun yanı sıra takım üzerine gelen yükler dengeli dağılım göstermediğinden bitirme operasyonu takımı kısa ömürlü olacaktır.

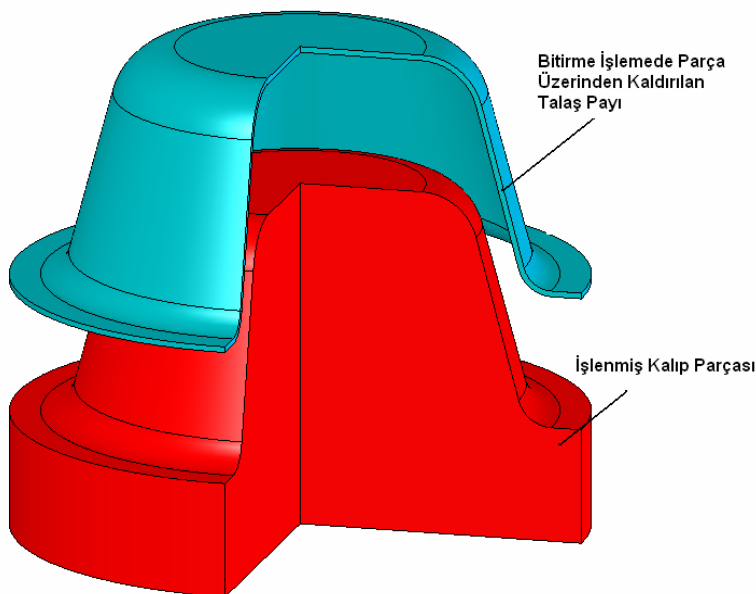


Şekil 3.6. Ara işleme talaş miktarı [35]

Şekil 3.6’da gösterildiği gibi ara işleme paso miktarı iş parçası üzerinde farklı değerler gösterebilir. Ara işlemede zaman ve bitirme işlemeye bırakılacak olan düzenli talaş miktarı önemli olduğu için takım aşınmalarından kaynaklanan ölçüsel kararlılığın pek önemi yoktur. Eğer kaba işleme sonrası bitirme işlemeye geçilirse, bitirme işlemede harcanan zaman ve takım maliyeti, ara işleme maliyetinin kaç katı olacağına aşıkardır.

3.6.3. Bitirme işleme

Genelde küresel parmak frezeler kullanılarak, kalıp çekirdeğinin son şeklinin verildiği aşamadır. Ölçüsel doğruluk ve iş parçası yüzey kalitesi bu aşamanın en önemli amaçlarındandır. Bunun sonucu olarak da bitirme işleme, düşük ilerleme ve kesme derinliklerinden dolayı en yüksek işleme zamanını teşkil etmektedir. Bazı durumlarda, ki bu genelde derin çukurlar ve küçük dip kavislerinin olduğu durumlarda, frezeleme yöntemi ile son şekli verme yapılamamaktadır. Bu nedenle freze çakısının giremediği kısımlara EDM yöntemi uygulanır. EDM işlemi sonrasında istenilen yüzey kalitesini elde etmek için parlatma işlemi uygulanır. Bu işlem genellikle el işçiliği ile yapılır.



Şekil 3.7. Bitirme işlemede kaldırılan talaş payı [35]

Bitirme işlemede takım yolu uzunluğu, işlenen yüzey geometrisine, kesici çapına ve istenilen yüzey kalitesine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 3.7). Bitirme işlemede bir yüzeyin işlenmesinde genelde iki parametre üzerine iyileştirme yapılır; takım yolu uzunluğu yani işleme süresi ve yüzey kalitesi. Takım yolunun kısa olması sonucunda işlenen yüzey kalitesi düşecektir. Bu durumda istenilen yüzey kalitesine erişebilmek için iş parçasına yüzeyine ek bir işlem (parlatma, kaplama) yapmak gerekecektir. Fakat diğer taraftan takım yolunun çok uzun olması durumunda ise işleme zamanı artacaktır. Burada önemli olan nokta istenilen yüzey kalitesini elde etmede minimum işleme zamanını dolayısıyla minimum maliyeti elde edebilmektir.

Şekil 3.7’de gösterildiği gibi ara işleme sonrası bitirme işlemeye bırakılan talaş miktarı iş parçası üzerinde her noktada aynı olması sağlanmalıdır. Bunun en önemli sebebi takım üzerine gelen yükleri her zaman sabitleyerek her noktada eşit yüzey pürüzlülüğünü gerçekleştirmektir.

3.7. İşleme Yöntemleri

BDÜ üretim programlarında işleme operasyonları düzenlenirken bir takım parametreler kesinlikle belirlenerek işlem yapılır. Eğer bu parametreler eksik yazılırsa bilgisayar takım yolu üretmeyeceğine dair uyarı verir. Diğer taraftan bu parametreler yanlış veya gerçeğe aykırı değerler ile belirlenirse son işlemcinin çıkardığı takım yolu tezgâha aktarıldığında istenmeyen sonuçlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle BDÜ programlarında işleme operasyonları düzenlenirken en azından aşağıda belirtilen parametreler eksiksiz ve gerçeğe uygun şekilde belirlenmelidir [33].

Part Geometry: İşlenecek parça geometrisini ifade eder.

Blank Geometry: İşlenecek parçanın hangi kütük malzemeden çıkacağını ifade eder.

Cut Area: İşlenecek parça üzerinde kesici takımın kesme yapacağı alanları belirlememizi ifade eder.

Check Geometry: Düzenlenen operasyonda iş parçası üzerinde veya dışında (bağlama ekipmanları gibi) takım yolu oluşturulmasını istemediğimiz alanları belirlememizi ifade eder.

Tool Diameter: Operasyon için kullanılacak takım ve çapını ifade eder.

Tool Length: Düzenlenen operasyonda kullanılan takımın boyunu belirler. Özellikle takım tutucularının çarpmaması için işlenecek model derinliğine göre mutlaka belirlenmelidir.

Tool Corner Radius: Operasyon için kullanılan takım köşe kavisli ise bu alanda belirtilir. Yüksek hızda kaba kesimler ve karmaşık formdaki yüzeylerin bitirme işlemlerinde genellikle köşe radyüslü takımlar kullanılmalıdır.

Tool Number: Düzenlenen operasyon için BSD tezgâhta işleme yaparken takım magazinindeki hangi takımın kullanılacağını ifade eder.

Tool Holder: Operasyon için kullanılacak takımın bağlandığı tutucuyu ifade eder.

Rough Milling: Kaba işleme operasyonunu ifade eder.

Semi-finish Milling: Ara işleme (yarı bitirme) operasyonunu ifade eder.

Finish Milling: Bitirme işleme operasyonunu ifade eder.

Stepover : Takımın X ve Y eksenlerinde yanal kayma pasosu miktarını ifade eder.

Cut Start Point: Takımın işlemeye başlayacağı noktayı ifade eder.

Cut Depth: Takımın Z ekseninde dalma pasosu miktarını ifade eder.

Engage Distance: Takımın, parçaya ilk girerken en yüksek hızdan, kesme hızına inerken parçaya ne kadar yaklaşacağını ifade eder.

Retract Distance: Takımın işlemeyi bitirirken, parçadan ne kadar dışarı çıkacağını ifade eder.

Ramping Angle: Özellikle kaba ve ara operasyonlarda takımın iş parçasına belli bir açıda talaşa girerek takıma gelen yükü azaltmayı sağlamada kullanılır.

Cut Strategy: Takımın Z ekseninde alacağı talaşları seviye seviye mi (level first) yoksa bir çukuru bitirip daha sonra çukura geçeceğini(depth first) ifade eder.

Cut Direction: Takımın parçadan talaşı, aynı (*climb milling*) ve ya ters yönlü (*conventional milling*) olarak talaş kaldırma yönünü belirlemeyi ifade eder.

Cut Angle: Paralel ve zigzag kesimlerde X eksenine göre oluşturulan takım yolu açısını ifade eder.

Outward: Takımın, işlenecek parçada talaşa girdikten sonra parça merkezinden dışarı doğru yönde kesme yapmasını ifade eder.

Inward: Takımın, işlenecek parçada talaşa girdikten sonra parça dışından parça merkezine doğru yönde kesme yapmasını ifade eder.

Stock: Oluşturulan işleme operasyonunun ardından bir sonraki operasyon için parça yüzeyinde esas ölçüden ne kadar miktarda talaş bırakılacağını ifade eder.

Cut Feedrate: Oluşturulan operasyonda tabla ilerleme hızını veya Z eksen ilerleme hızını (mm/dak) ifade eder.

Rapid Feedrate: Oluşturulan operasyonda tabla ilerleme veya Z eksen ilerleme hızının verilmediği yerlerdeki G0 hareketi hızını ifade eder.

Spindle Speed: Takımın çevresel dönme hızını (dev/dak) ifade eder.

Spindle Rotate Direction: Takımın saat yönü (clockwise) veya saatin tersi yönünde (counterclockwise) dönüşünü belirlemeyi ifade eder.

Clearence Plane: Takımın iş parçasına Z ekseninde güvenli yaklaşma mesafesini ifade eder.

Cut Method: İşleme metodunu yani işleme tipi stratejimizi belirlememizi ifade eder.

Transfer Method: Takımın Z eksenindeki talaştan talaşa ve kesilecek alanlar arasındaki geçişin nasıl olduğunu belirlememizi ifade eder.

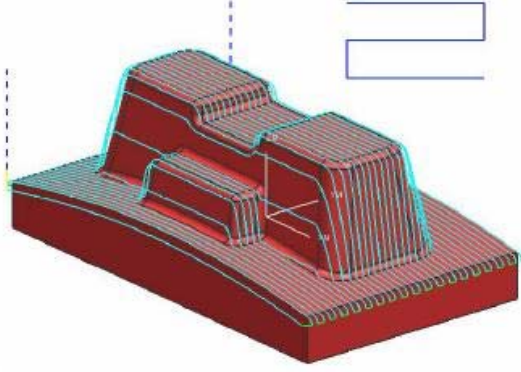
Machining Tolerances: Düzenlenen operasyonun işleme hassasiyetini belirlememizi sağlar.

Scallop Height: Bitirme işlemlerde takımın yana kayma miktarını bir başka deyişle parçadan elde edilmesi istenen yüzey pürüzlülüğünü ifade eder.

Coolant: Düzenlenen operasyonda kesme işlemini kolaylaştırmak için seçilen soğutma tipini (soğutma sıvısı, yağ, kuru hava vb.) belirlememizi ifade eder.

Yapılan çalışmanın da asıl amaçlarından biri olan işleme yöntemleri BDÜ programlarında kullanılan değişken işleme parametrelerinden biridir. İşleme metodu kullanılan kesici takım tipi, iş parçası geometrisi, iş parçası malzemesi, takım tezgâhı tipi ve seçilen amaca (en kısa işleme zamanı veya en iyi yüzey kalitesi) göre değişkenlik gösterir ve bu kriterler göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Aşağıda birçok BDÜ programında ve deneysel çalışmada kullanılan kesme metotları verilmiştir. Unutulmamalıdır ki işleme değerlerinin uygun seçiminin yanında işleme yönteminin de uygun seçimi kesici takım ve tezgâhı korumasının yanında işleme kalitesini artırır, işleme maliyetini de düşürür.

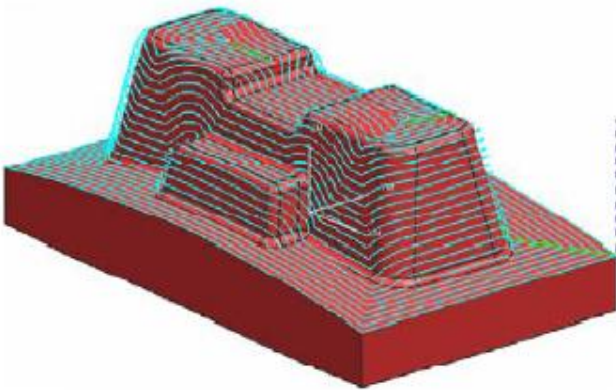
Zigzag işleme (Zigzag Cutting): Bu yöntemde takım iş parçasını dalıp kesmeye başladıktan sonra parçadan hiç çıkmadan verilen yanıl kayma miktarı kadar tekrar talaşa girer (Şekil 3.8). Bir önceki kesme yönüne paralel olarak kesmeye devam eder. İşlem böylece parça yüzeyi bitene kadar sürer.



Şekil 3.8. Zigzag işleme [37]

Yapılan deneysel çalışmalarda zigzag işleme metodu kaba, ara ve bitirme operasyonlarında kullanılmıştır.

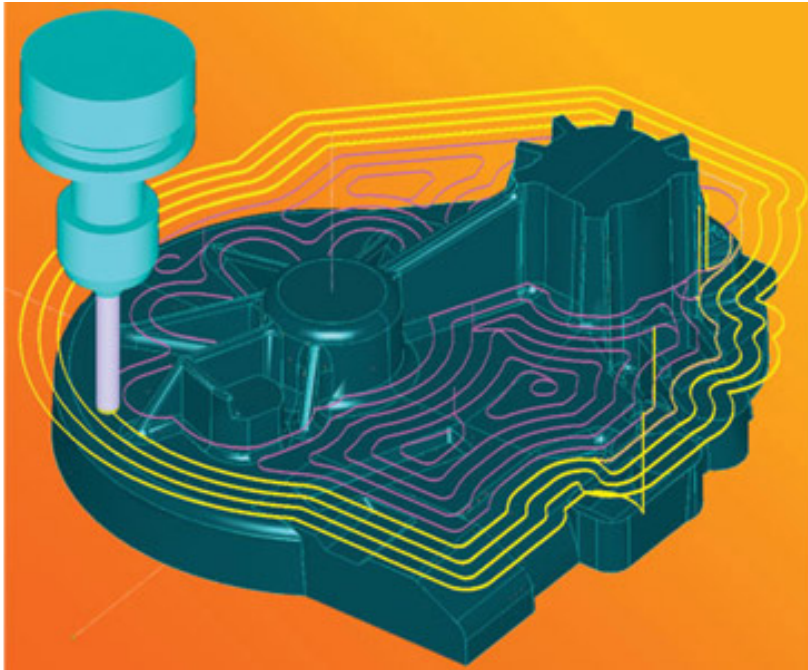
Çevre paralel işleme (Follow Periphery): Bu yöntemde takım parçaya merkezden veya parça dışından girerek işleme yapmaya başlar. Ham parçasının dış geometrisi ne şekilde ise takım o geometriye paralel olarak içerden dışarı ya da dışarıdan içeri doğru yanıl kaymalar yaparak sabit Z seviyesinde kesme yapar (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Çevre paralel işleme [37]

Yapılan deneysel çalışmalarda çevre paralel işleme metodu kaba, ara ve bitirme operasyonlarında kullanılmıştır.

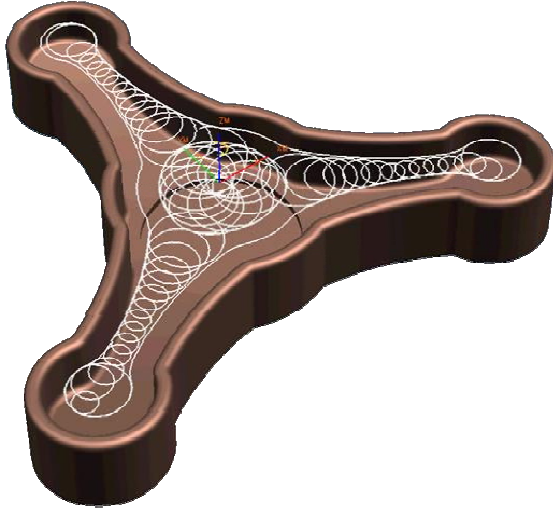
Parça paralel işleme (Follow Part): Bu yöntemde takım parçaya merkezden veya parça dışından girerek işleme yapmaya başlar. İşlenecek parçanın dış geometrisi ne şekilde ise takım, parça geometrisine paralel olarak içerden dışarı ya da dışarıdan içeri doğru yanal kaymalar yaparak sabit Z seviyesinde kesme yapar (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Parça paralel işleme [37]

Yapılan deneysel çalışmalarda parça paralel işleme metodu kaba ve ara operasyonlarda kullanılmıştır.

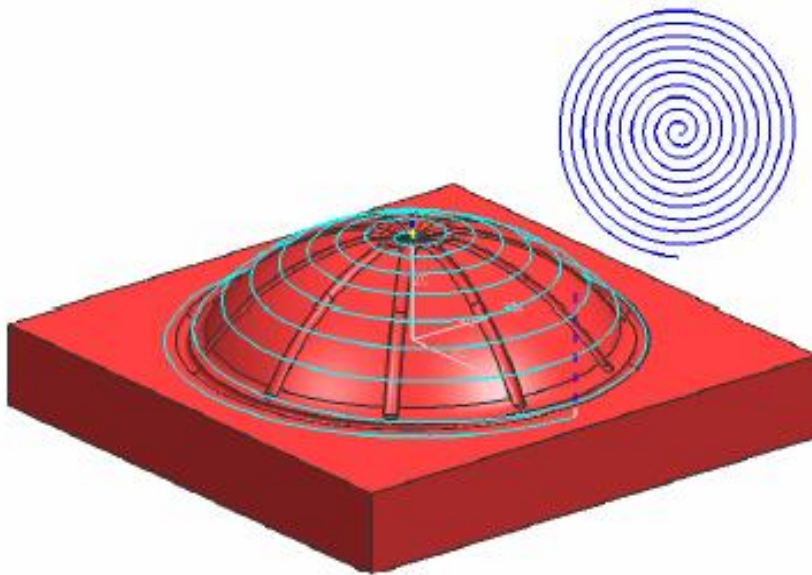
Özel yay tipi işleme (Trochoidal): Bu kesme yönteminde temel amaç takımın tamamının parçaya gireceği yerlerde ön boşaltma yapmasıdır (Şekil 3.11). Bu kesme yöntemiyle takım yükünün her zaman sabit olması sağlandığından diğer kaba sistem boşaltmalarının ilerlemesine göre 3 ile 4 kat daha hızlı kaba boşaltma yapılabilir ve takım ömrünün 2 kat artması sağlanır.



Şekil 3.11. Özel yay (Trochoidal) tipi işleme [37]

Yapılan deneysel çalışmalarda özel yay (Trochoidal) tipi işleme metodu kaba ve ara operasyonlarda kullanılmıştır.

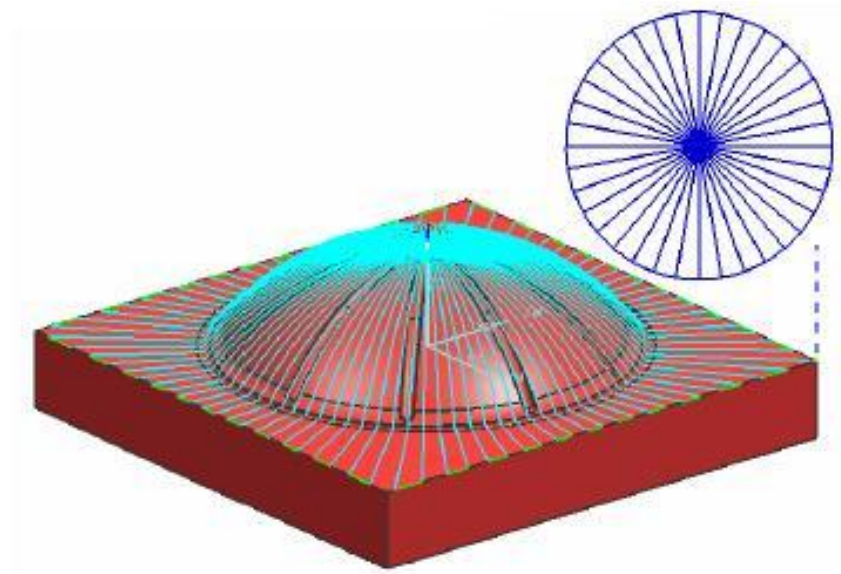
Spiral işleme (Spiral Cutting): Bu işlemede takım saatçi yayına benzer bir yol izler (Şekil 3.12). Saat yönü veya ters yönde dıştan içeri veya içerden dışarı doğru işleme yapılabilir.



Şekil 3.12. Spiral işleme [37]

Yapılan deneysel çalışmalarda spiral işleme metodu bitirme operasyonlarında kullanılmıştır.

Radyal işleme (Radial Cutting): Bu yöntemde takım belirtilen merkez etrafında açısal zigzag hareketlerle içerden dışarı veya dışarıdan içeri doğru belirtilen aralıklarla takım yolu oluşturur (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Radyal işleme [37]

Yapılan deneysel çalışmalarda radyal işleme metodu bitirme operasyonlarında kullanılmıştır.

3.8. İşleme Süresi ve Maliyeti

Talaş kaldırma alanı ele alınırsa işleme süresi, birim zamanda kaldırılan talaş hacmi veya işlenen parça sayısı olarak ifade edilir. Buna göre a_d -paso kalınlığı (mm); a_e -talaş genişliği (mm); F -ilerleme hızı (mm/dak) olarak ifade edilirse verimliliği temsil eden birim zamanda kaldırılan talaş hacmi Eş. 3.8 ile bulunur.

$$v = a_d \cdot a_e \cdot F \quad (\text{mm}^3/\text{dak}) \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir. Buradan görüldüğü gibi ilerleme hızı ne kadar daha büyük olursa, birim zamanda kaldırılan talaş hacmi, dolayısıyla verimlilik de o kadar yüksek olur.

Esas işleme zamanı parçadan efektif talaş kaldırma zamanıdır ve Eş. 3.9 ile tayin edilir.

$$t_h = \frac{L}{f \cdot N} = \frac{\pi \cdot D}{1000} \cdot \frac{L}{f \cdot V} \quad (3.9)$$

Burada L işlenen yüzeyin uzunluğu-yüzeyi işlemek için gerekli takım stroku, (mm); D takım çapı(mm), $f(f=F/N)$ ilerleme (mm/dev); N dönme hızı(dev/dak); V kesme hızı (m/dak) dır.

Parça imalat maliyetine gelince genelde bu maliyet; malzeme maliyeti, işleme maliyeti, takım maliyeti, tutturma tertibatları maliyeti, depo-taşıma-kontrol maliyeti gibi bileşenlerden meydana gelmektedir. Parça işleme maliyeti; işçilik, tezgâh, takım değiştirme ve ayarlama maliyetlerinden meydana gelmektedir.

Son yıllarda takım tezgâhı ve kesici takım alanındaki gelişmelerin sonucu olarak geleneksel işleme yöntemine göre çok daha kısa sürede işlemler yapılmaktadır. Geleneksel işlemede düşük devir ve ilerlemeler ile büyük paso kalınlıkları ve genişlikleri kullanılarak işleme yapılmaktadır. Oysa yüksek hızda işlemede ise bunun tam tersi bir durum söz konusudur. Yüksek hızda işlemede yüksek devir ve ilerleme ile düşük paso kalınlıkları ve genişliği kullanılmaktadır. Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi denklemi göz önüne alınırsa paso kalınlığı ve genişliği düşük olursa ilerlemenin de bunu dengeleyecek veya yükseltecek derecede büyük olması gerekir.

Takım tezgâhı ve kesici takım açısından düşünüldüğünde büyük paso kalınlığı ve genişliği olumsuz bir seçimdir. Çünkü takım tezgâhı ve kesici takıma gelen aşırı aksenal yüklerin fazla olması titreşime neden olur. Bu da kısa zamanda deformasyona sebep verir. Sonuç olarak takım tezgâhının ve kesici takımın

deformasyona uğramaması, işlenen malzemedan daha önemli olduğu için bu istenmeyen bir durumdur. Diğer taraftan düşük paso kalınlığı ve genişliği daha az aksenel yük oluşturduğu için takım tezgâhı ve kesici takımı korur ve ömrünü uzatır. İşte yüksek hızda işlemenin getirdiği olumlu etkenlerden birisi de budur.

Yüksek hızda işleme ile geleneksel işleme basit bir örnekle şöyle karşılaştırılabilir. $a_e=20$ mm genişliğinde ve $a_d=4$ mm derinliğinde 500 mm uzunluğunda düz bir kanal her iki metotla da işlensin. Geleneksel işleme metoduyla bu işlem 20 mm çapında takım ile tek pasoda bitirilebilir. Yüksek hızda işleme tekniğinde ise aynı çapta takım ile ortalama olarak sekiz pasoda bitirilebilir. Bu metotların işleme sürelerinin eşit çıktığı aşağıdaki denklemlerle ispatlanabilir. Toplam işlenecek hacim;

$$v_{top} = 4 \times 20 \times 500 = 40\,000 \text{ mm}^3 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Geleneksel İşleme

$$v_g = a_d \times a_e \times f$$

$$v_g = 4 \times 20 \times 400 = 32\,000 \text{ mm}^3/\text{dak}$$

$$t_g = \frac{v_{top}}{v_g} = \frac{40000}{32000}$$

$$t_g = \underline{1,25 \text{ dak}}$$

Yüksek Hızda İşleme

$$v_y = a_d \times a_e \times f$$

$$v_y = 0,5 \times 20 \times 3\,200 = 32\,000 \text{ mm}^3/\text{dak}$$

Tek pasoda kaldırılan hacim;

$$v_t = 0,5 \times 20 \times 500 = 5\,000 \text{ mm}^3$$

$$t_t = \frac{v_t}{v_y} = \frac{5000}{32000} = 0,15625 \text{ dak/tek paso}$$

Toplam işleme zamanı;

$$t_y = t_t \times \text{paso sayısı}$$

$$t_y = 0,15625 \times 8 = \underline{1,25 \text{ dak}}$$

Yukarıdaki hesaplamalardan da görüldüğü gibi toplama işleme süreleri eşit çıkmıştır. İşleme maliyeti sadece işleme süreleri baz alınarak hesaplanırsa her iki metodunda maliyetleri eşit çıkacaktır. Ancak tezgâh ve kesici takım yıpranma payları dikkate alınırsa yüksek hızda işlemede kesici takım başına düşen işlenen parça sayısı geleneksel işlemeye göre daha fazla olacağından yüksek hızda işlemenin daha karlı bir işleme metodu olduğu açıkça görülmektedir.

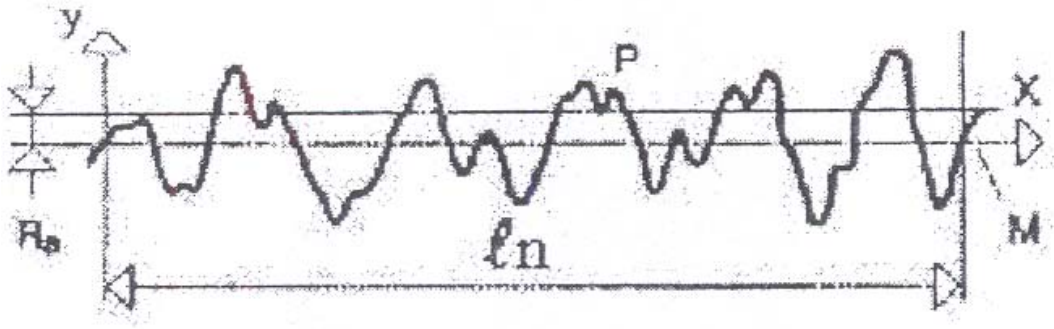
3.9. Yüzey Pürüzlülüğü

Pürüzlülük, tezgâhlardan ziyade işlemede seçilen metoda bağlıdır. İşleme sırasında pürüzlülüğü etkileyen faktörlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- İşleme sırasında malzeme üzerinde oluşan yırtılmalar,
- Kesici takımın ucunda bulunan talaş kırıcının yapısı,
- İşleme esnasında kesici takımın yapısından ötürü işlenmiş yüzey üzerinde oluşan takım izleri,
- Kesici takımın, işlenen parça yüzeyinde bıraktığı izlerin bazı işlemlerde düzenli, bazı işlemlerde ise düzensiz olması,
- İş parçasının tezgâha rijit olarak bağlanamaması,
- Kesici takımın tutucuya iyi bağlanamaması
- İş parçasının bağlandığı tablanın hareket ettiği kızaklarda olan doğrusallık hataları,
- Malzemenin veya iş parçasının yapısında bir önceki operasyondan ötürü oluşan iç gerilmeler olarak sıralanabilir.

Yüzey pürüzlülük parametrelerinin en önemli ve en çok kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

Ortalama yüzey pürüzlülüğü, (Ra): Belirli bir ölçüm uzunluğundaki (λ_n) ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), merkez çizgisinden ölçüm uzunluğuna kadar olan mesafede ölçülen yükseklik değişimlerinin (y_n) mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 3.14).

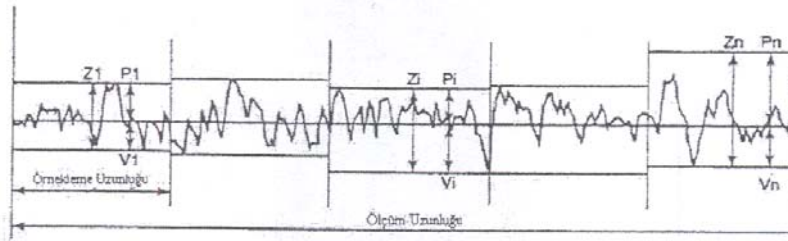


Şekil 3.14. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, (Ra) [24]

$$Ra = \frac{|y_1| + |y_2| + \dots + |y_n|}{n} \quad (3.10)$$

Bazı referanslarda Ra, merkez çizgisi ortalaması veya aritmetik ortalama olarak da belirtilmektedir.

Profilin maksimum yüksekliği, (Rz): Rz, Şekil 3.15’de ifade edilen profil tepe yüksekliği P_i olan ve vadi derinliği V_i olan Z_i ’lerin her örnekleme uzunluğu için değerlerinin toplamının, toplam örnekleme miktarına bölünmesi ile hesaplanır.

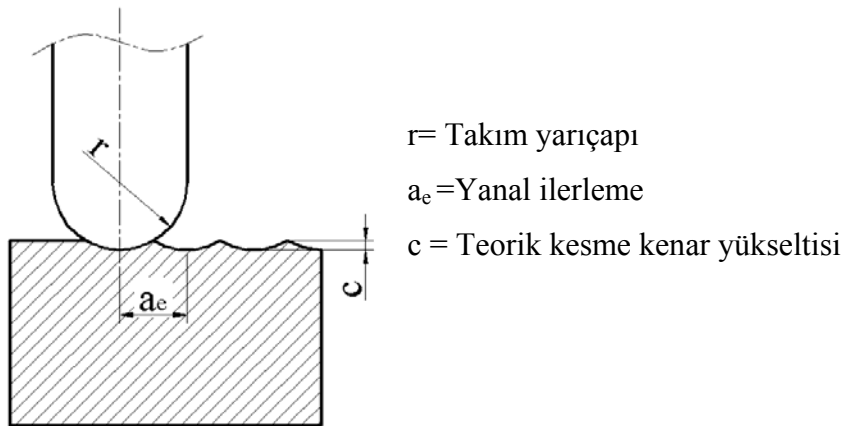


Şekil 3.15. Profilin yüksekliği, (Rz) [24]

$$Rz = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n}{n} \quad (3.11)$$

Profilin toplam yüksekliği, (R_{max}): R_{max} , ölçüm uzunluğu boyunca en yüksek tepe noktasının yüksekliği ile en dip noktasının yüksekliğinin toplamı olarak ifade edilmektedir.

İşleme parametreleri ile yüzey pürüzlülük değerleri açısından yakından bir ilişki vardır. İşleme esnasında kullanılan eksenel ve yanal ilerleme değerleri, işlenen yüzeylerdeki pürüzlülüğün hassasiyetini belirler. Yüksek hızda sertleştirilmiş kalıp işlemede hedef iyi yüzey pürüzlülüğü ve ölçüsel hassasiyet ile birlikte kısa sürede talaş kaldırma işlemini tamamlamaktır. Yüzey pürüzlülüğünün iyi olduğu aralık aynı zamanda işleme süresinin uzun olduğu aralığa denk gelmektedir. Yani daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü için daha uzun bir işleme zamanı kaçınılmazdır.



Şekil 3.16. Teorik kesme kenar yükseltisi [35]

Şekil 3.16’da yanal ilerleme değerinin yüzey kalitesini nasıl etkilediği görülmektedir. Küresel parmak freze kullanıldığı durumda, “r” takım yarıçapını ifade ederken, “ a_e ” yanal ilerleme miktarını ve “c” teorik kesme kenar yükseltisini ki bu değer aynı zamanda “ R_a ” cinsinden teorik yüzey pürüzlülüğünü ifade etmektedir. Teorik kesme kenar yükseltisi ;

$$c = \frac{a_e^2}{8r} \quad (3.12)$$

formülü ile bulunabilir.

Teorik kesme kenar yükseltisi önceden tespit edilmekte ise açılı işlemler için, “c” değerine bağlı olarak gereken yanal ilerleme değeri Eş. 3.13 ile hesaplanmaktadır;

$$a_e = \sqrt{8 \cdot r \cdot c} \cdot \sin \alpha \quad (3.13)$$

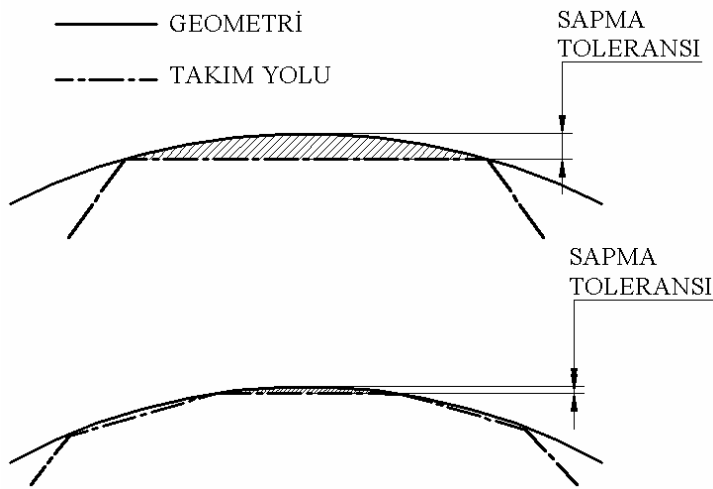
Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen “Teorik Kesme Kenar Yükseltisi”ni küçültmek için yanal ilerleme değerini azaltmak gerekir. Yanal ilerleme değerinin azaltılmasıyla yalnızca yanal doğrultudaki yüzey pürüzlülüğü iyileştirilebilir. Eksenel yöndeki yüzey pürüzlülüğü ise devir başına ilerleme (f) ile alakalıdır. Bu iki parametrenin farklı olması tek yöndeki yüzey pürüzlülük değerinin diğer yönden daha iyi olmasına neden olacaktır. Yanal ve eksenel ilerleme parametrelerinin birisinin sabit tutulup diğerinin azaltılmasıyla, azaltılan yönde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilir. Ancak aynı oranda işleme zamanı da uzayacaktır.

3.10. İşlemede Boyutsal Kararlılık

İşlemede boyutsal kararlılık bir başka deyişle ölçüsel tamlık, yapılan işlemin toleranslar içerisinde ölçüsel hedefe ulaştırılması anlamı taşımaktadır. Bilgisayar ortamında tasarlanan modellerin, işleme sonrası sanal modeller ile ölçüsel örtüşmesi de aynı anlamı taşımaktadır. BSD tezgâhlarla işleme yaparken kısa işleme süresi ve hedeflenen yüzey pürüzlülüğünün yakalanması bir tarafa bırakılsın eğer ki hedeflenen ölçüler için belirlenen toleranslar dışında iş yapılırsa hiçbir amaca ulaşamamış demektir. Eğer ki hedeflenen ölçüleri yakalamak için biraz daha talaş kaldırmak gerekiyorsa bu ana kadar yapılan işlemler kadar daha emek ve maliyet harcamak gerekebilecektir. Diğer taraftan hedeflenen ölçüleri aşan durumlarda ise hem harcanan emek hem de malzeme gereksiz harcanmış olunur. Bu nedenle bu husus işleminin gerçek amacına ulaşması açısından çok önemlidir.

Kalıp alanı ele alınırsa, kalıplanacak ürün önce verilen ölçülerde tasarlanır. Tasarlanan ürün basit geometriler (dikdörtgen, kare, yuvarlak) içeriyorsa hedeflenen ölçülerde ürün oldukça gerçekçi olarak tasarlanır. Eğer ürün karmaşık geometriler (3 boyutlu eğriler, yüzeyler) içeriyorsa tasarım aşamasında oluşturulan ölçüler, BDT

yazılımının önerdiği veya kullanıcının girdiği toleranslar içerisinde meydana gelir. Ürün tasarımı bittikten sonra erkek ve dişi kalıp çekirdekleri oluşturulur. Yine bu aşamada belirlenen toleranslar içerisinde bu işlem yapılır. BDÜ modülüne gönderilen erkek ve dişi kalıp çekirdekleri gerekli işleme operasyonları düzenlenerek işlenir. İşleme operasyonları düzenlenirken genel itibarıyla tüm BDÜ yazılımının diyalog pencerelerinde işleme toleransı/hassasiyeti adı altında bir kısım bulunur. Burada, yapacağımız işlemede elde edeceğimiz ölçülerin toleransını kısmen belirlemiş oluruz. BSD tezgâhta işleme esnasında takım tezgâhı, kesici takım, malzeme, işleme parametreleri gibi yöntemlerden kaynaklanan olumsuzluklar da işleme hassasiyetine direkt etki eder. Bu nedenle işlemenin teorik kısmında mümkün olduğunca elde edilmesi düşünülen ölçüler için verilen toleranslardan daha küçük değerler kullanılarak işleme yapılmalıdır.



Şekil 3.17. Sapma toleransı [35]

Çevre, dairesel yüzey, kavis, 3 boyutlu eğri işlemede, işlemeyi gerçekleştirmek için BSD makine eksenleri küçük doğrusal çizgi parçacıkları şeklinde hareket eder. Olması gereken şekilde ve doğrusal çizgi parçalarında meydana gelen değişikliklere sapma denilmektedir. Hassasiyet ve yüzey kalitesi sapma toleransının azaltılmasıyla iyileştirilebilir (Şekil 3.17).

BDÜ yazılımlarında kalıp çekirdeklerinin işlenmesi yapılırken işleme hassasiyetinin yüksek tutulması hem takım yolu hesaplama zamanını hem de BSD tezgâh üzerinde gerçekleşen işleme zamanını fazladan uzatır. Bu da hem zaman hem de maliyet yönünden ek bir durum meydana getirmektedir. Bu nedenle işleme operasyonunu özelliğine göre yeterli derecede tolerans kullanmak kazançları da beraberinde getirmektedir. Çizelge 3.3'te önerilen işleme toleransları görülmektedir.

Çizelge 3.3. İşleme hassasiyeti aralıkları [33]

İşleme Operasyonu	İşleme Toleransı Aralığı, (mm)
Kaba	0,03-0,05
Ara	0,01-0,03
Bitirme	0,005-0,01

4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM, ÜRETİM VE MÜHENDİSLİK

BDT, Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design-CAD); BDÜ, Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Aided Manufacturing-CAM) ve BDM, Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering-CAE) anlamına gelen İngilizce kelimelerin baş harflerinden oluşmuştur. Kısaca tasarım, üretim ve mühendislik analiz işlemlerinde bilgisayarların kullanılması olarak tanımlanmaktadır. BDT/BDÜ/BDM sistemleri, gelişimin ilk başlarında Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli Üretim olmak üzere aynı disiplinler olarak geliştirilmişlerdir. Günümüzde ise bu disiplinler, tümleşik bir sistem oluşturacak biçimde birleştirilmişlerdir ve tasarımdan üretime tüm ürün süreçleri tek bir sistem üzerinde yapılmaya başlanmıştır.

4.1. BDT/BDÜ/BDM Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Bilgisayar Destekli Tasarım: Bilgisayar ekranında çizimlerin oluşturulması ve değiştirilmesi esasına dayanmaktadır. Bilgisayarda grafik ilk olarak 1950 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde geliştirilen Whirlwind bir bilgisayarının ekranında elde edilmiştir. Çeşitli komutlar kullanılarak bu bilgisayarın ekranında bazı basit çizimler yapılabilmiştir. Bilgisayar grafiğindeki bu gelişmeden sonraki ilk önemli gelişme 1963 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nün Lincoln Laboratuvarı'nda Ivan Sutherland tarafından geliştirilen Sketchpad sistemi olmuştur. Bu sistem, TX2 bilgisayarına bağlı bir katot ışın tüpü (CRT), klavye ve ışıklı kalem (light pen) oluşmaktadır [25]. Bu sistem ile, ışıklı kalem ekran üzerinde hareket ettirilerek ekran üzerinde çizim yapılabilmekteydi. Tasarımcı, bu sistemi elektronik bir çizim masası olarak kullanmakta, birkaç tuş yardımıyla ekrandaki çizimi ölçeklemekte, taşımakta, döndürmekte ve hareket ettirmektedir. Geliştirilen bu sistemler, maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı sadece havacılık ve otomotiv gibi başlıca büyük sanayilerde kullanımına girebilmiştir. Daha sonra gelişmeler devam etmiş, iki boyutlu tasarım ortamından üç boyutlu tasarım ortamına tel kafes (wireframe) tabanlı modelleme sistemiyle geçilmiştir. Bu sistemle gelişmiş üç boyutlu tasarımlar yapılabilmesi mümkün hale gelmiştir. Ancak bu sistem, havacılık

ve otomotiv sanayinin ihtiyacı olan uçak ve otomobil yüzeylerini tasarlamaktan uzaktır. Çünkü tel kafes modelleme ortamında yüzey bilgisi gibi gelişmiş geometri bilgileri tanımlanamamaktaydı. Bu boşluğu kapatmak için ise 1970'li yılların başlarında yüzey tabanlı modelleme sistemi geliştirilmiştir. Bu gelişme ile havacılık ve otomotiv sanayinde tasarım sistemlerinin kullanımı büyük yaygınlık kazanmıştır. Tüm gelişmeler bununla kalmamıştır. 1970'li yılların ortalarında katı tabanlı tasarım sistemlerinin bazı tasarım alanlarında daha kullanışlı olabileceği düşüncesinden hareketle katı tabanlı tasarım sistemleri geliştirilmiştir [26]. Bu sistem ile katı veya kapalı hacimli nesneler tanımlanabilmektedir. Tasarım alanında ise katı tabanlı tasarım sistemlerinin kullanımı ve yaygınlığı gittikçe artmıştır.

Bilgisayar Destekli Üretim: Bilgisayar Destekli Üretim, 1940'lı yılların sonunda Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde John T. Parsons'un freze tezgâhı için sayısal denetim sistemini (Numerical Control-NC) bulmasıyla başlamıştır [32]. Parsons 'un geliştirdiği sistem ile koordinat bilgileri delikli karttan okunmakta ve freze tezgâhının işleme kafası okunan koordinatlara yönlendirilmekteydi. Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri bu sistemle yakından ilgilenmiş ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde çalışmaların sürdürülmesi için maddi destek sağlamıştır. 1952 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde sayısal denetimli ilk tezgâh prototip olarak üretilmiştir, 1950'lerin sonlarında bilgisayarların gelişmesiyle birlikte, bilgisayarların sayısal denetimli tezgâhlar için gerekli koordinat hesaplamalarını yapabileceği fark edilmiştir. Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri bu sistemle de yakından ilgilenmiş ve sayısal denetimli tezgâhlarda parça programlarının hazırlanabilmesi için bir programlama dili geliştirilmesine destek olmuştur. Bu çalışmalar sonucunda APT adı verilen (Otomatik Programlanmış Takımlar-Automatically Programmed Tools) dili geliştirilmiştir. Sürekli geliştirilen APT programlama diliyle çeşitli şekillerde takımlar, toleranslar, geometrik şekiller, takım hareketleri, yardımcı fonksiyonlar tanımlanabilmekte ve küre, silindir, parabolik ve formlu yüzeyler gibi üç boyutlu eğriler işlenebilmektedir. Bilgisayarların hız ve kapasite olarak gelişmesiyle birlikte, APT diline alternatif olarak ISO programlama dili geliştirilmiştir. Günümüzde ISO programlama dili en yaygın kullanılan sistem konumundadır.

4.2. BDT/BDÜ/BDM Sistemlerinin Kullanım Alanları

BDT/BDÜ/BDM sistemleri günümüzde tasarım ve üretim sürecinin olduğu tüm alanlarda kullanılmaktadır. Sistemlerin başlıca kullanıldığı alanlar;

1. Otomotiv
2. Havacılık
3. Beyaz eşya sektörü
4. Endüstriyel tasarım ve mühendislik
5. Makine ve imalat sanayi
6. Mimarlık
7. Elektronik
8. Haritacılık

4.3. Tasarım ve Üretim Süreçlerinde BDT/BDÜ/BDM Sistemlerinin Yararları

- 1) Tasarımcıların hızlı ve verimli çalışmalarını, kısa sürede ve basit olarak üretilen ürünler tasarlamalarını sağlar.
- 2) BDT/BDÜ sisteminde geniş bir veri tabanı oluşturularak tasarımcıların standart parçaları kullanması sağlanır. Bu şekilde tasarımcı her seferinde aynı parçayı farklı bir numara ile çizmek zorunda kalmaz. Ayrıca çeşitliliğin azalması stokta tutulan parçaların çeşidinin de azalmasını sağlar.
- 3) Ürünleri devreye alma sürecinin zamanını ve maliyetlerini düşürür, üretiminde ve fonksiyonlarında sorun olan parçaların üzerinde en kısa sürede değişiklik yapılmasını sağlar.
- 4) Tasarımın yetersizliğinden kaynaklanan atık malzeme miktarını düşürür.
- 5) Tasarımda artan kalite, hatalı tasarlanan ve üretilen parça miktarlarını azaltır.
- 6) Iskarta maliyetlerini düşürür. Malzeme, işçilik, enerji ve diğer masraflar belirli bir maliyete sahiptir ancak göz ardı edilen başka bir maliyet daha vardır; iskartaların düzeltilip yeniden kazanılmasının maliyeti. Bu maliyet kimi zaman üretim maliyetini katlayabilmektedir.
- 7) Yeni tasarımlar yapılması sırasında eski tasarımlardan faydalanılmasını sağlar.

Bu durum kalıp ve takım harcamalarını düşürür.

8) Tasarım süreci devam ederken üretim süreci de göz önünde bulundurulduğu için tasarımlardaki değişiklik sayısı da az olacaktır. Bu durum teknik resimlerin yayınlanması, dağıtımı ve devreye alınması için yapılan harcamaları da düşürür. Dolayısıyla değişikliklerin takibi de kolaylaştırılmış olur.

9) Değişikliklerin azaltılması üretilmiş bulunan kalıp ve takımlarda da az sayıda değişiklik yapılması anlamına gelir ki bu da kalıp ve takım ömrünü artıracaktır.

10) Dökümhanede imal edilen ürünlerde ürünün son şekli mutlaka klasik metotlarla gerçekleştirilmiş tasarımdakinden farklıdır. Çünkü modeli yapan tasarımcı iki boyutta çalışmanın zorluğundan dolayı döküm boşluklarını gerektiğinden daha fazla vermiş olabilir, bu yüzden parçanın ağırlığı olması gerektiğinden daha fazladır ki bu da malzeme, enerji ve işçilik harcamalarını artırır. Üç boyutlu ortamda tasarlanmış bir döküm model bu üç kalemde önemli tasarruflarda bulunacaktır.

11) BDT/BDÜ sisteminin en büyük yararı tasarlanan ürünlerin gerçek hayattaki fonksiyonlarının simüle edilerek sonucun görülmesidir. Montaj ve de montaj mümkün mü, çalışacak mı, yapılabilir mi, yapmak için ne gerekli gibi tasarımın her aşamasında karşılaşılan soruların cevapları kolaylıkla bulunabilir.

4.4. Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT)

Bilgisayar destekli tasarım, adından da anlaşıldığı gibi tasarım işlemlerinde bilgisayarların kullanılmasıdır. Ancak bilgisayar tasarım işlemlerinin temel kurallarını değiştirmez. Esasen tasarım mühendisi bilgisini ve yaratıcılığını ortaya koyar ve problemin tanımından uygulama aşamasına kadar tasarım sürecini yönetir. Bilgisayar, tasarım sürecinin üretken ve verimli olması için kolaylıkla değiştirilebilen hassas grafikleri sağlar, hesaplamaları yapar, karmaşık tasarım analizlerini kısa zamanda gerçekleştirir, bilgileri kaydeder ve gerektiği zaman tasarımcıya sunar. Bu yüzden gerçekte BDT sistemleri, insan tasarımcının ve makine bilgisayarın en gelişmiş niteliklerinin harmanlanarak mümkün olan en iyi tasarımların gerçekleştirilmesini ve ürünlerin üretilmesini sağlar.

BDTÇ, Bilgisayar Destekli Tasarım-Çizim (Computer Aided Design Drafting-CADD) teknik resimlerin ve diğer teknik dokümanların bilgisayarlar yardımıyla hazırlanmasıdır. Bilgisayar destekli tasarım sistemi; mühendislik tasarım ekibinin bir elemanı ve bir ortağı gibi düşünülmelidir.

4.4.1. BDT sisteminde olması gereken unsurlar

1. Katı modelleme, yüzey geliştirme, montaj, teknik resim, işleme, ürün yönetimi ve analiz modüllerine sahip olması,
2. Mekanik, ısı, gürültü analizleri, tesis tasarımı, kablolama, mekanizma tasarımı, elektronik devre tasarımı gibi daha sonradan eklenebilen gelişmiş uygulama modüllerine sahip olması,
3. Gelişmiş iki boyutlu tasarım ve teknik resim çizim olanaklarına sahip olması,
4. Güçlü yüzey düzenleme ve geliştirme komutlarına sahip olması,
5. Gelişmiş katı tabanlı 3 boyutlu tasarım olanaklarına sahip olması,
6. Parametrik ve varyasyonel tasarım yeteneklerine sahip olması, unsur desteği olması,
7. Katılar, yüzeyler ve eğriler gibi tüm tasarım elemanlarının aynı ortamda ve birbirleriyle etkileşimli olarak kullanılabilmesi (melez modelleme ortamı),
8. Kalıp elemanlarının montajlarının gerçekleştirilebilmesi,
9. Kalıp ve fiksürlerin montajı sırasında elemanların konum analizlerinin yapılabilmesi
10. Yüzeylerden, katı modellerden ve montajlardan iki boyutlu görünüşlerin, kesitlerin ve detayların otomatik alınabilmesi,
11. Herhangi bir modülde yapılan değişikliklerin diğer tüm modüllere anında ve otomatik aktarılabilmesi,
12. Gelecekte ihtiyaç duyulacak beş eksen işleme, lazer kesim, su jetiyle kesim için gelişmiş çözümlere sahip olması,
13. IGES, DXF, STL, DWG, ACIS, STEP gibi otomotiv sanayinde en çok kullanılan veri değişimi dosyalarını destekleyen diğer sistemlerle sorunsuz ve kayıpsız veri değişimi çözümlerine sahip olması,
14. Eş zamanlı mühendislik metodolojisine uygun olarak çok sayıda kullanıcının

aynı süreç üzerinde çalışabilmesi,

15. Kullanıcı dostu bir arabirime sahip olması [36].

4.5. Bilgisayar Destekli Üretim (BDÜ)

BDT ile modellenen parçanın, BDÜ yazılımları sayesinde NC kodların hızlı, emniyetli ve hassas olarak oluşturulmakta ve sayısal kontrollü freze, torna, tel erozyon, sac presi gibi tezgâhlara aktarılabilir. Modellenen parçanın üretimi için, parçanın hangi tezgâhta, hangi eksenlere göre kontrol edilerek işleneceğinin tayini yapılır. BDÜ yazılımında bu aşamaları gerçekleştirecek komutlar uygulandığında tezgâhın hareketlerini tanımlayan takım yolları elde edilir. Daha sonra, çıkarılan takım yolları, kullanılacak olan BSD tezgâhın kontrol ünitesine uygun kodlara dönüştürülür. Bu işlemi, BDÜ yazılımları bünyesinde bulunan "Post Processor" programları yapar. Ayrıca, benzetim programları ile üretilen parçanın çıkarılan takım yolu, işleme esnasında olması muhtemel dalma veya çarpmalara karşı takımın zarar görmesini engellemekte ve yüzey kalitesinin görülmesini sağlamaktadır. Bu modül sayesinde olabilecek hatalara karşı tedbir alınır, daha az zaman, çaba ve para harcanarak üretim yapılır.

4.5.1. BDÜ sisteminin işlem basamakları

1. Tasarım yüzeylerinin veya katı modelinin yaratılması veya IGES, DXF, STEP gibi bir grafik aktarım standardıyla BDÜ paketine aktarılması.
2. İşlenecek olan yüzeylerin bir iş planı dahilinde eğer gerekiyorsa dişi-erkek, sağ-sol gibi gruplanarak, özellikle kalıp veya model imalatı için gerekli çekme paylarının verilmesi ve yüzeylerin tezgâh üzerinde işlenebilecek konuma getirilerek (döndürme, ayna görüntü alma, vs.), gerekli referans noktalarının alınması.
3. İşlenecek olan hammaddenin boyutlarına göre bir işleme planı çıkarılarak, kaba, ara ve ince işleme programlarının ve kullanılacak kesici takımların seçilmesi.
4. Gerekli işleme toleranslarının verilerek, takım yollarının oluşturulması.

Yukarıda verilen 2, 3 ve 4. maddeleri önemi sebebiyle daha geniş olarak açıklamakta yarar vardır. Tasarımın modelleme işlemi tamamlandıktan sonra, işlenecek parçanın hangi tezgâhta ve hangi eksenlere göre kontrol edilerek işleneceğinin tayininin yapılması gerekir. Örneğin, bir telefon ahizesinin dış yüzey işlemleri freze tezgâhında ve üç eksen kontrole, bir dönel parçanın dış yüzeyinin işlenmesi tornada ve iki eksen kontrole girer. Bu aşamadan sonra, işleme sıralarının belirlenmesi gerekir. Parçanın hangi yüzeyleri işlenecek; kaba boşaltma hangi tekniklerle yapılacak, hangi takım kullanılacak, tezgâhın işleme esnasında takıma hareketleri nasıl verecek, ince işleme nasıl yapılacak ve hangi takım kullanılacak gibi sorulara cevap verildiğinde aşamalar belirlenmiş olur. BDÜ yazılımının da daha sonra bu aşamaları gerçekleştirecek komutlar uygulandığında, tezgâhın hareketlerini tanımlayan takım yolları elde edilir. Takım yollarında tezgâh kontrolü ile ilgili tüm bilgiler bulunmaktadır. Bu bilgiler sayesinde BSD tezgâh servo motorları, tezgâh kontrol ünitesi vasıtası ile gerekli kontrol bilgilerini alır.

5. Çıkarılan takım yollarını, kullanılacak olan BSD tezgâhın kontrol ünitesine uygun bir son işlemciden geçirilerek işleme programı elde edilir. Bu aşamaya "Post Processing" aşaması da denmektedir. Burada, BDÜ yazılımında elde edilen takım yolları tezgâh kontrol ünitesinin yorumlayabileceği G kodlarına çevrilir. Her kontrol ünitesinin G kod düzeni farklıdır ve BDÜ yazılımından elde edilen takım yollarının bu farklı G kod düzenine uyarlanması gerekmektedir. Bu işi BDÜ yazılımlarının bünyesinde bulunan "Post Processor" programları yapar. Oldukça önemli olan bu aşamada yapılabilecek en ufak hatayı, BDÜ yazılımı ne kadar esnek ve yetenekli olursa olsun telafi edemez.

6. İşleme programının kontrol edilmesi. Bu kontrol, takım yolları çıkarılırken ekran üzerinde gözle veya işleme programının bir paket program vasıtasıyla benzetimi ile yapılabilir. Benzetim yazılımı kullanmak, işleme programında olması muhtemel dalma veya çarpmalarla, yüzey kalitesinin görülmesi açısından oldukça faydalıdır.

7. Üretimin yapılması.

4.5.2. BDÜ sisteminde olması gereken unsurlar

- Bu işe yeni başlamış bir kullanıcıyı doğru parametrelere yönlendirebilmesi. (İş mili devrini, kesme hızını, kaldıracağı talaş miktarını ve malzemenin cinsine göre kesici takımın ömrünü uzatacak gerekli değerleri doğru olarak hesaplayabilmesi)
- Tek bir matematik model ya da aynı dosya üzerinde birden fazla koordinat eksen takımı atayabilmesi. Farklı formatlardaki modelleri tek bir dosya içine yükleyebilmesi.
- Tutucu çarpmalarına karşı kullanıcıyı uyarması.
- Her operasyondan sonra malzememin üzerinde kalan talaşı otomatik olarak hesaplayabilmesi ve kalan malzemeyi stok olarak tayin edip ara talaş kaldırma ve son işleme operasyonlarında işleme zamanı kazandırması.
- Kesici takımın malzemeye giriş yöntemini, (Rampalı, Helisel vb. kullanıcı tayin etmeyi unutsa dahi) program en uygun yerlerden yöntemi belirleyip hesaplayabilmesi.
- Tasarımdan ya da kullanılan BDT programından kaynaklanan yüzeyler arasındaki boşlukları ve üst üste binmiş yüzeyleri tespit edip, tolere edebilmesi.
- Takım yollarını oluştururken boşta gezinme zamanını minimuma indirebilmesi.
- En küçük eğri yarıçaplarını analiz edip bize uygun kesici takımını seçebilmemiz için imkân sağlaması.
- Takım yolunu hesaplarken ve NC post oluştururken sistemi az meşgul etmesi.
- Takım yolları tayin edilmiş iş parçamız üzerinde daha sonra yaptığımız değişiklikleri tespit edip otomatik olarak takım yollarını değiştirebilmesi
- Kesici takım kütüphanesine kullanıcı tarafından yeni takımlar ve tutucular eklenebilmesi
- İsteğe bağlı olarak, belirlediğimiz toleranslar içerisinde, takım yolu optimizasyonu yapabilmesi.
- Yaptığımız işe uygun işleme tekniklerini bünyesinde barındırması.
- Aynı çalışma dosyası üzerinde bütün operasyonları hazırlayabilmesi. (Delik delme, havuz açma, kaba talaş işleme, ara kaba talaş işleme ve çeşitli bitirme operasyonları, Z level, planar, 3D contur, pencil vb.)

- Takım yollarının simülasyonunu yapabilmesi. Simülasyon esnasında eş zamanlı olarak yakınlaştırma/uzaklaştırma, taşıma ve döndürme yapmamıza izin vermesi. Simülasyon sonrası oluşan modeli saklamamıza ve daha sonra bu model üzerinde tekrar işleme yapma olanağı vermesi.
- BDÜ programının kendi bünyesinde çeşitli formatlarda (CATIA, UG, Pro/ENGINEER, SolidWorks, IGES, VDA, STEP, STL vb.) sorunsuz olarak data transferi yapabilmesi
- Döküm modelleri işleme imkanı sağlaması.
- Kullanıcının kafasını karıştırmayan yani kullanıcı dostu bir ara yüze sahip olması.
- Oluşturulan takım yollarının (liste halinde ve grafik olarak) raporlarını, anlaşılır biçimde dökümünü verebilmesi. (Operasyon zamanı, kesici takım tanımları, iş parçası sıfırlama noktasının operatörün kafasında soru işareti bırakmayacak şekilde BDT modelin teknik resmi vb.)
- Modellerde kesici takımın girmesini istemediğimiz delikleri, ve özel sınırlara sahip budanmış yüzeyleri programın kendi içinde kapatabilmesi.
- Özel olarak işlenmesi ya da işlenmemesi gereken bölgelerin sınırlarını doğru olarak tespit edip, kesici takımın temas etmesini istemediğimiz yüzeylere yaklaşma mesafesini koruyabilmesi.
- Oluşturulan takım yollarını manuel olarak düzenlenebilmesi.
- Katı, yüzey ve iki boyutlu modelleri işleyebilmesi
- İşleme parametrelerini operasyonlar şeklinde kaydedebilmesi
- Yüzey pürüzlülüğüne göre işleme yapabilmesi (takım yolları arasındaki mesafeyi istenen yüzey pürüzlülüğüne göre hesaplayabilmesi)
- Takımın parçaya yaklaşma, gezme, çekilme mesafelerinin ayarlanabilmesi
- Bölgesel işleme yapabilmesi
- İşlenen malzemeler için ilerleme ve devirleri otomatik hesaplayabilmesi
- İşlenen malzemeler için kütüphane oluşturulabilmesi, malzeme özelliklerinin saklanabilmesi
- Yüksek hızla işleme için gerekli işleme metotlarına sahip olması
- Tel erozyon, lazer kesim, su jetiyle kesim ve pantograf uygulamaları için

çözümler sağlaması

- Hazırlanan takım yollarının için aynalama, kes, kopyala, yapıştır işlemlerinin yapılabilmesi.

4.6. Çalışmada Dikkate Alınan Yazılımlar

Kalıpcılık endüstrisi son çeyrek asırda geleneksel imalat metotlarından daha ziyade BDT/BDÜ yazılımı ve BSD tezgâh birleşimi kullanarak imalat yapmaya yönelmiştir. Bu seçim kalıp imalatını hızlandırmasının yanında işçilik, zaman ve malzeme giderlerini azaltarak daha az maliyete kalıp imalatı gerçekleştirmeyi sağlamıştır.

Kalıpcılık sektöründe basit geometriler haricinde çok karmaşık ve 3 boyutlu yüzeylerin tasarımı ve imalatı da gerçekleştirilmektedir. Bu geometrilerin tasarımını, BDT/BDÜ yazılımlarının tel kafes, yüzey ve katı tasarım teknikleri ile gerçekleştirmek mümkündür. Son yıllarda popüler olan hibrid modelleme bahsedilen üç tasarım tekniğinin aynı çalışma ortamında kullanılması ile gerçekleştirilir. İmalatı yapılacak ürünün hibrid modelleme tekniği kullanılarak doğru ve hızlı tasarlanması, kalıp çekirdeklerinin imalat aşamasına getirilmesini de hızlandırmaktadır.

İmalatı yapılacak ürünün tasarlanmasından sonra gerekli görünüş, detay ve ölçülendirmelerin yapılması amacı ile teknik resim modülüne aktarılır. Ürün tasarımının onayı alındıktan sonra kalıp çekirdekleri ve diğer kalıp plakaları, BDT/BDÜ yazılımının tasarım modülü veya özel paketleri kullanılarak oluşturulur. Bu aşamadan sonra kalıp sisteminin çalışması animasyon ve simülasyon yöntemleri ile analiz edilir. Kalıp tasarım onayı alındıktan sonra gerekli kalıp plakalarının işleme operasyonları BDÜ modülü aracılığıyla düzenlenir.

Buraya kadar bahsedilen ürün tasarımından kalıp plakalarının işleme operasyonlarının düzenlenmesine kadar olan aşamaları tek bir yazılım ile yapmak teorik olarak kalıp tasarım ve üretimini doğru ve hızlı bir şekilde yapmaya yardımcı olur. Diğer taraftan ürünün başka bir yazılımda tasarlanması, kalıp tasarımının başka bir yazılımda yapılması ve gerekli kalıp plakalarının başka bir yazılımda işlenmesi

hem zaman açısından bir kayıptır hem de teorik olarak hata yapmaya ve yazılımlar arası geçişte veri kayıplarının yaşanmasına neden olmaktadır.

Bu nedenle kalıpcılık sektörü son yıllarda ihtiyacı olan tüm modülleri içeren BDT/BDÜ/BDM yazılımlarını tercih etmektedir. Araştırmalar neticesinde Türkiye ve dünya kalıpcılık endüstrisinde saygın bir konuma sahip olan ve yaygın olarak kullanılan aşağıdaki dört yazılım yapılan çalışmada kullanılmıştır.

Catia: BDT/BDÜ/BDM alanlarındaki bir çok yenilik Catia tarafından gerçekleştirilmiştir. Spline komutu ve PLM (Product Lifecycle Management- Ürün Yaşam Çevrimi) kavramı Catia üreticileri tarafından geliştirilen uygulamalardan sadece birkaçıdır [37]. Program modüllere bölündüğünden komut karmaşası önlenmiştir. 120'den fazla modülü ile oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sahip olduğu bu modüllerin bu kadar geniş alana hitap etmesi nedeniyle Catia; özellikle otomotiv, uçak sanayi ve dayanıklı tüketim mallarının tasarımı, analizi ve imalat yöntemlerinin güvenilirliği ile bir çok üretici firma tarafından tercih edilmektedir. Catia bir ürünün üretilmesinde aşağıdaki çözümleri kullanıcıya sunmaktadır:

- Mekanik dizayn çözümleri
- Şekil dizaynı ve stil çözümleri
- Analiz ve simülasyon çözümleri
- İmalat çözümleri
- Takım donanım ve sistem mühendisliği çözümleri
- Mimarlık uygulamaları çözümleri
- Sanayi aletleri dizayn çözümleri
- Bilgi yönetimi çözümleri

Cimatron: 1982 yılında kurulan Cimatron firması otomotiv, plastik ve elektronik endüstrilerine, komple BDT/BDÜ/BDM çözümleri sunmaktadır. Hacim ve sac kalıpları için, imalat işlemlerini hızlandıran etkin çözümler geliştirmiştir. Cimatron yazılımı BDT/BDÜ çalışma ortamı kalıpcılık sanayinin ihtiyaçları göz önünde

bulundurularak geliştirilmiştir. Cimatron çeşitli 3 Boyutlu tasarım araçlarını içermektedir. Birleştirilmiş katı, yüzey, tel kafes tasarım ortamı kullanıcılara, dışarıdan alınmış dosyaları bile kendi parça tasarımı gibi kullanmasını sunmaktadır. Cimatron tasarım aşamasında parçanın erkek ve dişi olarak bölünmesini, mühendislik değişikliklerinin bulunmasını, elektrot ve maçaların çıkarılmasını, kalıp elemanlarının detaylı olarak oluşturulmasını sağlamaktadır.

ProEngineer: ProEngineer, tamamen parametrik ve unsur esaslı yapıya sahip olup, modülleri arasında tam birliktelik mevcuttur. Mekanik tasarım ve üretimin her aşamasında mühendise sağladığı gelişmiş yöntemler ile eş zamanlı mühendislik kavramını teorik ortamdan pratiğe aktarabilen yazılımlar arasındadır. ProEngineer, mekanik tasarım, fonksiyonel simülasyon, mühendislik analizleri, endüstriyel tasarım, üretim çözümleri ve üretim planlama yönetimi gibi endüstrinin temel ihtiyaçlarını bir araya getirerek, tek veri tabanı altında toplayan bir yapı ile komple bir çözüm olarak geliştirilmiştir.

Unigraphics: Unigraphics, BDT/BDÜ/BDM alanında çözüm sunan yazılımlardan biridir. Bir ürünün elle yapılmış eskiz çiziminden başlayarak, bilgisayar ekranında 3 boyutlu olarak modellenmesine, otomatik olarak teknik resminin çıkarılmasına, üzerinde mühendislik analizleri yapılmasına, kalıbının tasarımına ve BSD tezgâhlarda bu kalıbın imalatına kadar bulunan bütün süreçleri destekler. Unigraphics yazılımının bütün modüllerine giriş, aynı ara yüz içinde gerçekleşmektedir. Tüm modüller, birbirine bağlıdır ve BDT tasarımından sonra kalıp, analiz ve BDÜ çalışmaları yapıp herhangi bir nedenle BDT tasarımı değiştirildiğinde, sonraki çalışmalar da otomatik olarak değişimine imkan sunmaktadır. Aynı zamanda yapılan bu tüm değişikliklerin bir dosya içine kaydedilmesini sağlayan önemli bir farkı da kullanıcılara sunmuştur.

5. MATERYAL VE METOD

Karmaşık ve 3 boyutlu bir yüzey geometrisinin erkek ve dişi kalıp çekirdeklerinin işlenmesinin hedeflendiği bu çalışmada, kalıpcılık sektöründe yaygın olarak kullanılan 4 farklı BDT/BDÜ (Catia, Cimatron, Proengineer, Unigraphics) yazılımı seçilmiştir. Bu yazılımların son işlemciler aracılığıyla G/M kodlarının üretilmesinde toplam 6 farklı işleme yöntemi (Zigzag, Çevre Paralel, Parça Paralel, Trochoidal, Radyal, Spiral) ve kalıbın dişi ve erkek çekirdeklerinde 3 işleme operasyonu (kaba, ara ve bitirme) yapılması tercih edilmiştir. Deneyler AISI P20 plastik enjeksiyon çeliği kullanılarak Deckel Maho DMC 103V model BSD Dik İşleme Merkezi'nde yapılmıştır. Deneylerde sırası ile kaba operasyonlarda gösterimi D16R4 mm olan takma uçlu parmak freze, ara operasyonlarda gösterimi D10R1,6 mm olan takma uçlu parmak freze ve bitirme operasyonlarında ise 6 mm çaplı yekpare küresel uçlu karbür parmak freze kullanılmıştır. Kullanılan kesme parametreleri, kesici takım ve malzeme tedarikçisinin ön gördüğü değerler göz önünde bulundurularak verilmiştir. Tüm işleme parametreleri her bir yazılımda G/M kodları üretimi için sabit kabul edilmiştir. Sabit bir yüzey geometrisinin aynı işleme parametreleri kullanılarak 4 farklı BDT/BDÜ yazılımları aracılığıyla hangi işleme yöntemi kullanılırsa, daha kısa sürede ve en az yüzey pürüzlülüğü ile elde edilebileceği araştırılmıştır. Elde edilebilen teorik ve deneysel işleme zamanları karşılaştırılmış ve hangi şartlarda en düşük işleme zamanı ve en iyi yüzey kalitesinin elde edildiği araştırılmıştır.

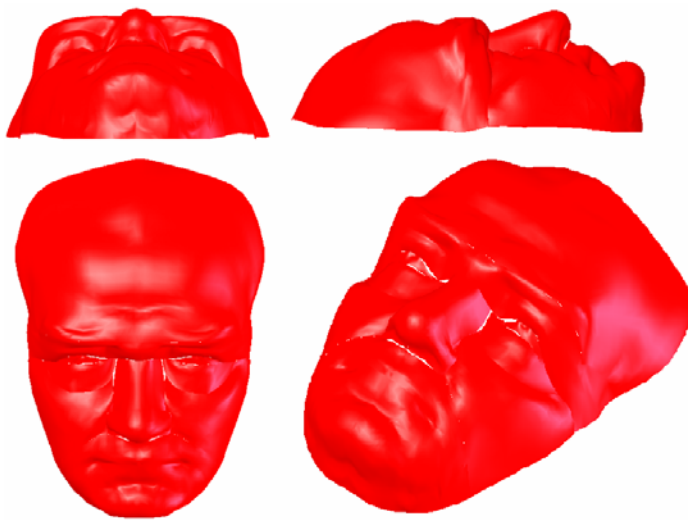
5.1. Model Tayini

Kalıpcılık sektörü standart veya basit geometrileri işlemesinin yanında çok karmaşık ve 3 boyutlu yüzeylerin tasarımı ve imalatını da gerçekleştirmektedir. Yapılan çalışmanın özellikle kalıpcılık sektörü açısından anlamlı olması için karmaşık yüzeyler içeren bir geometri olması kararlaştırılmıştır. Bu nedenle bir insan yüzü portresinin yüzey modelinin işlenmesi kararı alınmıştır. İnsan yüzü modelleri, işleme açısından 3 boyutlu ve geometrik zorluk düzeyi oldukça yüksek olan şekilleri barındırmaktadır. Bundan dolayı bir insan yüzü modeli tercih edilmiş, çalışmanın

daha anlamlı olması açısından Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün portresinin yüzey modeli uygun görülmüştür.

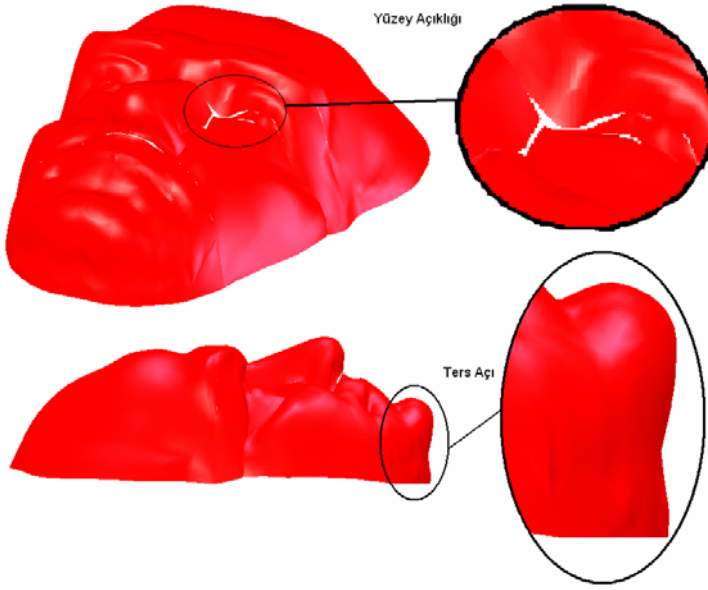
Model tespitinin ardından yapılan literatür araştırmaları neticesinde, böyle bir karmaşık yüzeyin kullanılan BDT/BDÜ yazılımlarının tasarım araçları ile modellenmesinin oldukça zor ve deneyim gerektirdiği tespit edilmiştir. Tasarım büroları ve mühendislik firma yetkililerinden edinilen bilgiler neticesinde bu tür karmaşık yüzeylerin modellenmesinde daha ziyade tersine mühendislik çalışmalarının kullanıldığı belirtilmiştir. Tersine mühendislik (Reverse Engineering) son yıllarda tasarım ve imalat alanında oldukça hız yakalayan bir çalışma sahası olmuştur. Bu yöntemde istenilen model tasarım araçları ile modellenerek değil, varolan bir nesnenin 3 boyutlu tarama cihazları ile taranıp, nokta bulutu örme yazılımları aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmasını kapsamaktadır.

Yapılan araştırmalarda, tersine mühendislik uygulamaları üzerine çalışan bir çok tasarım bürosu ve mühendislik firması ile görüşülmüştür. Bunların içerisinde NUMERİK KONTROL GRUP firması yetkilileri tarafından Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün portresinin taranmış ve nokta bulutundan örülmüş yüzey modeli temin edilmiştir (Şekil 5.1).



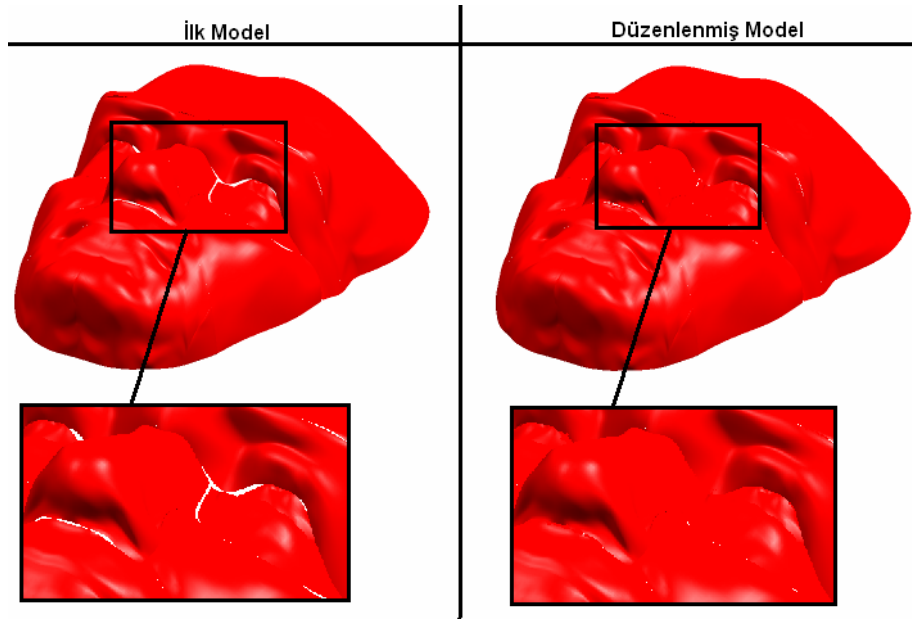
Şekil 5.1. Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün yüzey modeli ve görünüşleri [35]

Temin edilen yüzey model kullanılan BDT/BDÜ yazılımları aracılığıyla bilgisayar ortamında dikkatle incelenmiş ve model üzerinde işleme açısından sakınca oluşturacak kısımların olduğu tespit edilmiştir. Bu kısımlarda yüzey açıklıkları, ters açılar ve çok küçük kavisler gibi işlemeye engel teşkil edecek unsurların olduğu görülmüştür (Şekil 5.2).



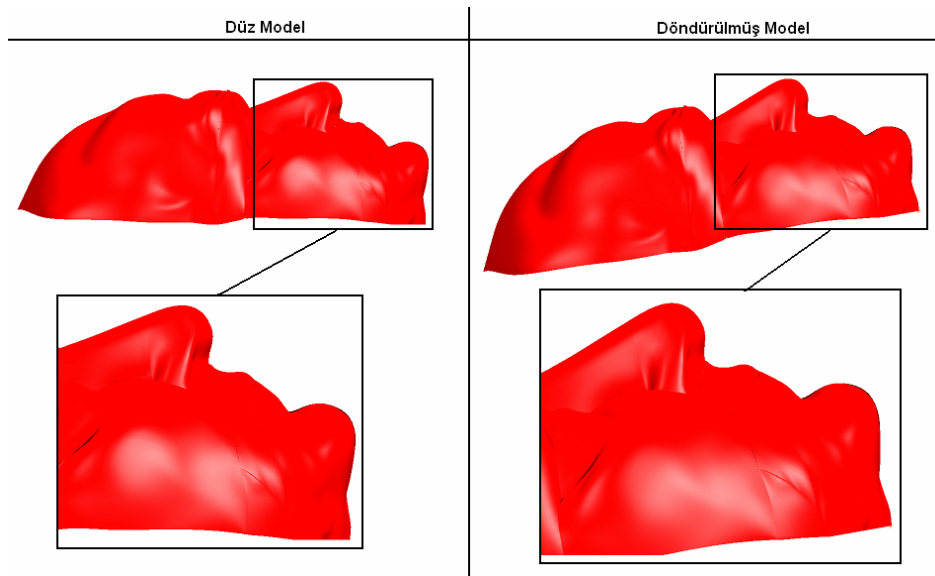
Şekil 5.2. Modelin işlenmesi açısından problemler [35]

Bu aşamada modeli 3 eksenli BSD dik işleme merkezinde işlenebilecek duruma getirmek için çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle model üzerindeki yüzey açıklıkları giderilmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan BDT/BDÜ yazılımları aracılığıyla yüzeyler dikilmeye çalışılmıştır. Ancak yüzeylerin çok karmaşık olması sebebiyle, yüzeylerin uzatılması ve budanması gibi işlemler neticesinde yüzey açıklıkları en aza indirilmiştir (Şekil 5.3).



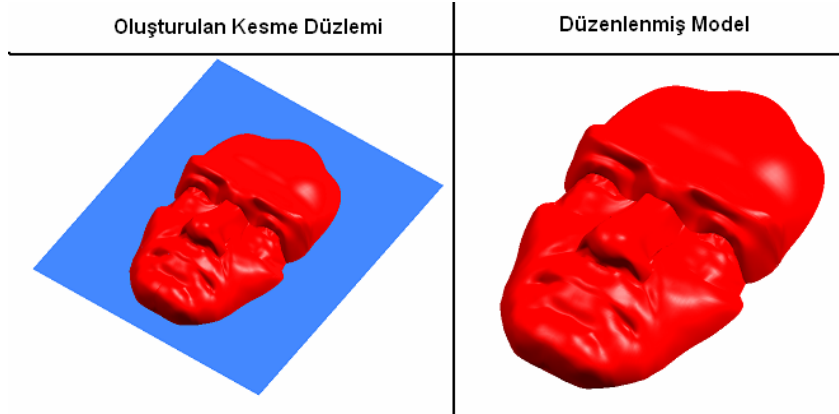
Şekil 5.3. Model üzerindeki yüzey açıklıklarının giderilmesi [35]

Model üzerindeki açıklıkların kapatılmasının ardından, modelin işlenmesi esnasında takımın girmeyeceği açılar ortadan kaldırmak amacıyla döndürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada modelin çene bölgesindeki ters açılar işleme uygun gelecek kadar (10^0) döndürülmüştür (Şekil 5.4).



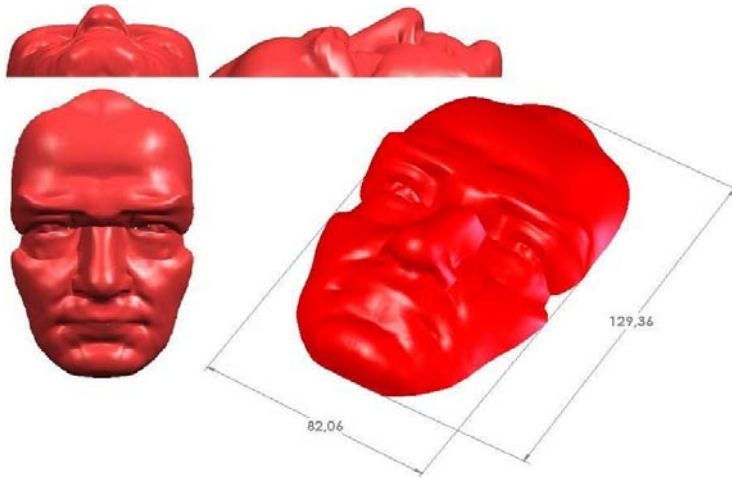
Şekil 5.4. Ters açıların giderilmesi için modelin döndürülmesi [35]

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi modelin döndürülmesinden sonra oluşan geometri, tabanının düz olmamasından dolayı işleme açısından uygun değildir. Bu aşamada model, düzgün bir taban oluşturacak şekilde düzlem bir yüzey ile kesilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Model tabanının düzlem bir yüzey ile kesilmesi [35]

Deneyisel işlemlerde amaçlanan hedeflere daha kısa ve daha ekonomik yöntemler ile ulaşmak amacıyla yukarıda belirtilen düzenlemeler yapılmıştır. Bir de buna ek olarak modelin, gerçek boyutlarda işlenmesinin deney sayıları baz alındığında çok uzun süreceği belirlenmiştir. Bu nedenle model %50 oranında eşit şekilde küçültülmüştür. Sonuç olarak deneysel işlemlerde kullanılacak olan model Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Düzenlenen modelin nihai ölçüleri [35]

Başka bir ayrıntı vermek gerekirse model üzerinde, burun ucundan tabana kadar olan derinlik mesafesi yaklaşık olarak 30 mm'dir.

5.2. Kesilen Malzemenin Seçimi ve Boyutlandırma

Kalıpcılık endüstrisinde farklı istek ve ihtiyaçları karşılayacak birçok malzeme çeşidi vardır. Bu malzemeler yapılan kalıplamanın tipine, kalıplamada kullanılacak malzeme cinsine göre değişiklik göstermektedir. Plastik enjeksiyon kalıpcılığı ele alınırsa, bu alanda kalıp çekirdeklerinin yapımında kullanılan malzemeler sıcak iş çeliği gurubuna girmektedir. Bu malzemelerden özellikle yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılığını koruması beklenmektedir. Bunun yanında bu malzemelerin işlenebilirlik, parlatma ve foto dağlamaya uygunluğu, termal iletkenlik, korozyon direnci, aşınma direnci, fiyat ve performans gibi kriterleri de taşıması gerekmektedir. Plastik kalıp üreticileri ile yapılan görüşmelerden ve endüstriyel deneyimlerden hareketle; sektörde en yaygın tüketime sahip, takım çeliklerinden AISI P20 (DIN 1.2738) kodlu genel kalıp çeliği bu çalışma kapsamında kullanılmak üzere tercih edilmiştir. Çizelge 5.1'de AISI P20 çeliğinin fiziksel ve ticari özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. AISI P20 çeliğinin kimyasal özellikleri, % ağırlık [38]

C	Mn	S	Cr	Mo	Ni	Si
0,4	1,50	≤0,005	2,0	0.25	1,00	0,3
Malzeme	: AISI P20 (DIN 1.2738)			Sertlik	: 30-33 HRC	
ISO/Tanımı	: 4957/40 Cr MnNiMo 8 6 4			Akma Dayanımı	: 950-1100 N/mm ²	
Üretici	: Dörrenberg Edelstahl GmbH			Açıklama	: Ön sertleştirilmiş	

Şekil 5.6'da belirtildiği üzere model ebatları yaklaşık olarak 130x83x30 mm'dir. Modelin kesici takıma, takım tezgâhına, bağlama ekipmanına zarar vermeden ve bir tehlike oluşturmadan rahatça bağlanıp işlenebilmesi için 140 mm çapında AISI P20 bir malzemeden işlenmesi uygun görülmüştür. Model yüksekliği ve bağlama kolaylığı da dikkate alındığında erkek kalıp çekirdeklerinin 16 adet Ø140x70 mm, dişi kalıp çekirdeklerinin ise 16 adet Ø140x45 mm ebatlarında malzemelerden işlenmesi kararlaştırılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Deneysel işlenecek olan AISI P20 çelikleri [35]

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi çelik malzemeler üzerine bir adet tespit pimi monte edilmiştir. Bu pimler, kütük malzemenin silindirik olmasından dolayı, malzemenin BSD tezgâha bağlanırken referans bir noktasının belirlenmesi amacıyla monte edilmiştir. Ayrıca operasyonlar arası birtakım ölçümler yapılacağından bu pimler ölçüm sonrası malzemelerin aynı referans noktasından BSD tezgâha bağlanmasına yardımcı olmuştur. Malzemelerin işlenmesi esnasında aşırı işleme sıcaklıklarının oluşmaması için kalıp blokları nispeten dolu ve kalın olarak tercih edilmiştir.

5.3. Kesici Takımların Seçimi

Son yıllarda takım tezgâhı ve kalıp malzemelerindeki gelişmeler kesici takım imalatçıları yüksek hızlarda işleme yapabilen, talaş kaldırma oranı yüksek hassas takımlar geliştirmeye yöneltmiştir. Yapılan literatür araştırmaları ve endüstriyel deneyimler neticesinde kaba operasyonlarda yüksek talaş kaldırma oranına sahip büyük uç radyüslü takımların kullanıldığı tespit edilmiştir. Ara işlemlerde ise kaba işleme takımından kalan küçük talaş payları kaldırıldığı için hem parmak frezelerin hem de küçük çaplı takma uçlu frezelerin kullanıldığı belirlenmiştir. Bitirme operasyonlarında ise kalıp çekirdeklerine ölçüsel ve yüzey kalitesi açısından son

şeklin verilmesinden dolayı çoğunlukla karbür küresel uçlu parmak frezelerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu sebeple hem literatür araştırmalarından elde edilen sonuçlar, hem de işlenecek model üzerinde yapılan incelemeler sonucunda aşağıda belirtilen takımlar tercih edilmiştir.

Kaba işleme takımının özellikleri

Deney modellerinin kaba operasyonlarında 16 mm çapında 2 ağızlı takma uçlu freze kullanılmıştır. Takım gövdesi 1 adet olup her deney için 2 adet uç kullanılmıştır. Deneysel işlemlerde her kaba operasyon için yeni uç kullanılmıştır. Kaba operasyon takımı ve ucunun özellikleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Üretici	: Innotool
Üretici Takım Kodu	: PR016004
Üretici Uç Kodu	: RHHT0802M0TN
Çap	: 16
Radyüs	: 4
Ağız Sayısı	: 2
Takım Boyu	: 109 mm
Şaft Boyu	: 69 mm
Aktif Kesme Derinliği	: 40 mm
Kaplama	: Yok
Çap Toleransı	: 0/-0.05 mm

Şekil 5.8. Kaba operasyon takımı [39]

Ara işleme takımının özellikleri

Deneysel işlemlerin ara operasyonlarında 10 mm çapında 2 ağızlı takma uçlu freze kullanılmıştır. Takım gövdesi 1 adet olup her deney için 2 adet uç kullanılmıştır. Deneysel işlemlerde her ara operasyon için yeni uç kullanılmıştır. Ara operasyon takımı ve ucunun özellikleri Şekil 5.9’da verilmiştir.



Üretici	: TaeguTec
Üretici Takım Kodu	: TE90AX2101006
Üretici Uç Kodu	: AXMT0602
Çap	: 10
Radyüs	: 1,6
Ağız Sayısı	: 2
Takım Boyu	: 80 mm
Şaft Boyu	: 55 mm
Aktif Kesme Derinliği	: 20 mm
Kaplama	: Yok
Çap Toleransı	: 0/-0.03 mm

Şekil 5.9. Ara operasyon takımı [39]

Bitirme işleme takımının özellikleri

Deney modellerinin bitirme operasyonlarında özellikle yüksek devirlerde, yüksek ilerleme hızlarında çalışabilen sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin işlenmesinde yaygın olarak kullanılan takım seçilmiştir. Bu takım 55 HRC sertliğe kadar olan kalıp çeliklerinin işlenmesinde rahatlıkla kullanılmaktadır. Her deney için 1 adet kullanılmıştır. Deneysel işlemlerde her bitirme operasyonu için yeni takım kullanılmıştır. Bitirme operasyonu takımının özellikleri Şekil 5.10'da verilmiştir.



Üretici	: Garryson
Üretici Takım Kodu	: 176 Rapide
Çap	: 6
Radyüs	: 3
Ağız Sayısı	: 2
Takım Boyu	: 80 mm
Şaft Boyu	: 55 mm
Aktif Kesme Derinliği	: 20 mm
Kaplama	: TiAlN
Çap Toleransı	: 0/-0.03 mm

Şekil 5.10. Bitirme operasyonu takımı [39]

5.4. BSD Dik İşleme Merkezi'nin Belirlenmesi

Son yıllarda kalıpcılık endüstrisi hem daha hızlı hem daha hassas işler yapabilmek için yüksek hızda işleme yapabilen takım tezgâhlarına yönelmiştir. Bu tezgâhların en önemli özellikleri; yüksek devir ve ilerlemelerde bile yüksek hızlanma ve yavaşlama ivmelerine sahip olması, tezgâh gövdelerinin rijit olması, iş mili motorlarının güçlü ve rijit olması, tezgâh kontrol ünitelerinin yüksek hızda veri okuması ve veri saklama kapasitelerinin büyük olması şeklinde sırlanabilir. Yapılan araştırmalar sonucunda kalıpcılık endüstrisinin son yıllarda tercih ettiği tezgâhların özellikleri tespit edilmiş ve bu çerçevede deneysel işlemlerin yapılacağı BSD Dik İşleme Merkezi Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na sunulan proje kapsamında hizmet alım yoluyla kiralanmıştır (Şekil 5.11). Çizelge 5.2'de BSD Dik İşleme Merkezi'nin özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.11. Deneysel çalışmada kullanılan BSD Dik İşleme Merkezi [35]

Çizelge 5.2. Deckel Maho DMC 103V Dik İşleme Merkezi teknik özellikleri [40]

Makine Türü	Deckel Maho DMC 103V	
Eksen hareketleri (X/Y/Z)	mm	1 000/600/600
İş mili devri	dev/dak	1 – 10 000
Kesme ilerlemesi sınırı	mm/dak.	30 000
Hızlanma/yavaşlama ivmesi	m/s ²	1g
Seri hareket	m/dak.	30
Takım magazini	kapasite	24
Takım normu		SK40
Kontrol paneli		Heidenhain iTNC 530
Veri okuma kapasitesi	blok	600
Veri saklama kapasitesi	MB	512
Tezgâh ölçüleri(UxGxY)	m	3,7 x 3,6 x 2,7
Tezgâhın ortalama ağırlığı	kg	6 500
Maksimum iş parçası ağırlığı	kg	800
İş mili motor gücü	kW	15
En büyük takım çapı	mm	80
En büyük takım boyu	mm	250
Konumlama hassasiyeti	µm	±3
Tekrarlanabilirlik hassasiyeti	µm	±2
Takım Değiştirme Zamanı	sn	7 (Takımdan takıma)

5.5. Takım Tutucuların Seçimi

Deneysel işlemlerde kullanılan takımların tutucuları, kaba işlemler için farklı ve ara ve bitirme işlemleri için farklı olmak üzere iki adet satın alma yoluyla tedarik edilmiştir.

Kaba işleme takım tutucusu

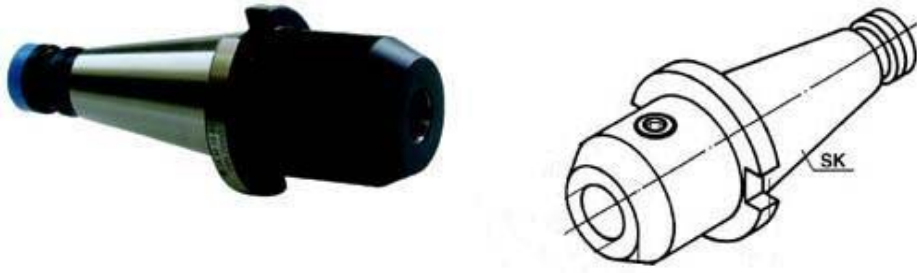
Kaba işlemede kullanılan takım tutucuya ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Takım tutucu normu : DIN 6359 Silindirik şaftlı

Üretici :Eroğlu Makina

Takım bağlama boyu :40 mm

Balans :+0.05 mm



Şekil 5.12. Kaba işleme takım tutucusu [36]

Ara ve bitirme işleme takım tutucusu

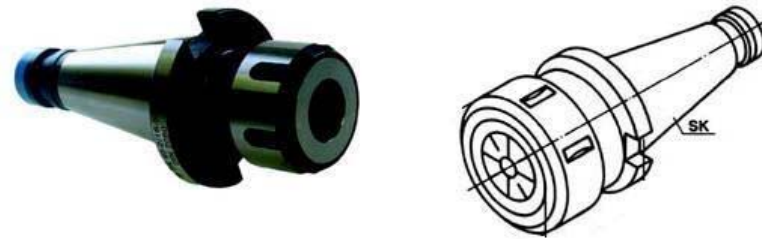
Ara ve bitirme işlemede aynı tip takım tutucusu kullanılacaktır. Takım tutucusu içerisinde sadece pens parçasının çapı farklı olacaktır. Bu takım tutucuya ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Takım tutucu normu : DIN 6391 E Tipi

Üretici :Eroğlu Makina

Takım bağlama boyu :35 mm

Balans :+0.01 mm



Şekil 5.13. Ara ve bitirme işleme takım tutucusu [36]

5.6. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazının Özellikleri

İşlemeler sonucu elde edilen yüzeylerin belirlenen noktalardan birkaç pürüzlülük ölçümü yapmak amacıyla yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı proje kapsamında tedarik edilmiştir. Kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Üretici Firma: Time
- Model: TR 200
- Ölçülen parametreler: Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rm, R3z, S, Sm, Sk, tp
- Profiller: Birincil profil(P), Pürüzlülük profili (R), tp eğrisi (Mr)
- Profil kayıt büyütmesi: Vv: 200x-20000x Vh: 20x50x200
- Standartlar: ISO/DIN/JIS/ANSI
- Birim: $\mu\text{m}/\mu\text{inch}$
- Ekran çözünürlüğü: 0,001 μm /0,04 μinch
- Ölçüm aralığı: Ra, Rq: 0,01-40 μm
- Rz, Ry, Rp, Rt, R3z, : 0,02-160 μm
- Sm , S: 2-4 000 μm
- tp: 1-100%(%Ry)
- Cut off uzunlukları: 0,25mm (Ra: 0,02- 0,32 μm) 0,8 mm (Ra: 0,32- 2,50 μm) 2,5 mm (Ra: 2,5- 15 μm)Değerlendirme boyu: 1-5 Cut Off
- Toplam hareket boyu: (1-5 Cut Off) + 2 cut off
- Toplam hareket boyu: (1-5 Cut Off) + 2 cut off
- Hareket hızı: 1.0mm/s
- Dedektör : TS100 Elmas, radyüs:5 μm
- Minimum ölçülebilir delik içi çapı ve derinliği: Çap:6mm, Derinlik: 15mm
- Çalışma sıcaklığı: 5-45°C
- Batarya kapasitesi: 1000mAh (>3000 ölçüm)
- Şarj cihazı: 220V/50Hz
- Ekran Boyutu: 50x30mm
- Gösterge dilleri: İngilizce, Almaca, Fransızca, İtalyanca, İspanyolca, Hollandaca
- RS-232 veri çıkışı PC veya Mini Printer TA-220'ye [41].



Şekil 5.14. Time TR200 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı [41]

5.7. Deneylerin Planlanması ve Kodlama

Deneysel işlemler yapılan bir liste dahilinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan 4 farklı BDT/BDÜ yazılımı, yapılan 3 tip operasyon, işlenen 2 farklı çekirdek tipine göre kodlamalar yapılmış ve bu kodlamalara da sıralı şekilde takım yolu tipleri tayin edilmiştir. Buna göre kullanılan kodlamalar Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan kodlamalar [35]

YAZILIMLAR		OPERASYONLAR		ÇEKİRDEK TİPİ	
Parametre	Kod	Parametre	Kod	Parametre	Kod
Catia	CAT	Kaba	K	Erkek	E
Cimatron	CIM	Ara	A	Dişi	D
ProEngineer	PRO	Bitirme	B		
Unigraphics	UGS				

Yapılan çalışmada 4 farklı BDT/BDÜ yazılımı, 2 farklı çekirdek tipi ve her operasyonda 4 farklı işleme tipi kullanılmıştır. Sonuç olarak yapılacak deney sayısı, $4 \times 2 \times 4 = 32$ adettir. Buna göre bu deneylerin 16 adedini erkek çekirdekler, 16 adedini de dişi çekirdekler oluşturmaktadır. Eldeki diğer değişkenler de kullanılarak yapılan deneylere verilen kodlamalara ait bir örnek Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Deneyler ve operasyonlara verilen kodlama örnekleri [35]

Deney No	Deney Adı	Operasyon Adı
1	CAT-01-E	CAT-01-E-K
		CAT-01-E-A
		CAT-01-E-B
2	CIM-02-E	CIM-02-E-K
		CIM-02-E-A
		CIM-02-E-B
3	PRO-03-D	PRO-03-D-K
		PRO-03-D-A
		PRO-03-D-B
4	UGS-04-D	UGS-04-D-K
		UGS-04-D-A
		UGS-04-D-B

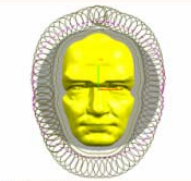
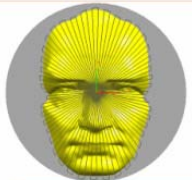
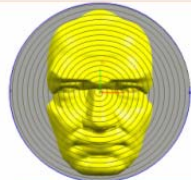
Yapılan 32 adet deneyin ve operasyonlarının kodlamalarının tamamının bulunduğu çizelge EKLER kısmında verilmiştir.

5.8. İşleme Operasyonları ve Takım Yolu Stratejilerinin Belirlenmesi

Günümüz kalıp imalat endüstrisi kalıp çekirdeklerinin işlenmesinde yaygın olarak 3 işleme operasyonu yapılmasını tercih etmektedir. Bunlar kaba, ara ve bitirme operasyonlarıdır. Kaba işleme operasyonları çekirdeklerin nihai geometrileri haricindeki kısımlarda bulunan talaşın hassas işleme payı bırakılarak hızlıca atılmasını sağlamaktadır. Ara işleme operasyonları ise çekirdeklerin nihai geometrisinin elde edilmesi için kaba işleme takımının girmediği kısımlardaki kalan talaş paylarının temizlenmesini üstlenmektedir. Bitirme işleme operasyonları ise çekirdeklerin nihai şeklinin ölçüsel ve yüzey kalitesi açısından verildiği aşamadır.

4 farklı BDT/BDÜ yazılımından elde edilen G/M kodlarının üretilmesinde kaba, ara ve bitirme operasyonları olmak üzere 3 farklı operasyon tipi dikkate alınmıştır. Her operasyon tipi için belirtilen yazılımlarla kullanıcıya sunulan toplam 6 farklı tip takım yolu stratejisi için yine ayrı ayrı takım yolu kodları üretilmiştir. Bunlar özet olarak Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Deneysel işlemlerdeki operasyonlar ve işleme tipleri [35]

Operasyon Tanımı	İşleme Yöntemi	Model üzerinde gösterimi
Kaba İşleme Operasyonları	01-Zigzag İşleme 02-Çevre Paralel İşleme 03-Parça Paralel İşleme 04-Trochoidal İşleme	 
Ara İşleme Operasyonları	01-Zigzag İşleme 02-Çevre Paralel İşleme 03-Parça Paralel İşleme 04-Trochoidal İşleme	 
Bitirme İşleme Operasyonları	01-Zigzag İşleme 02-Çevre Paralel İşleme 03-Radyal İşleme 04-Spiral İşleme	 

5.9. İşleme Parametrelerinin Tayini

Deneysel işlemler yapılırken, BSD takım tezgâhının programlanması için gerekli olan kesme ilerlemesi ve devir parametrelerinin hesaplamaları aşağıda verildiği gibi yapılmıştır. Bu parametreler hesaplanırken, kesici takım ve malzeme tedarikçisinin ön gördüğü kesme hızı (V) değerleri göz önüne alınmış ve ortalama kesme hızı değeri olarak kabul edilmiştir.

Kaba işlemede kullanılan sabit kesme parametreleri

Takım Çapı (D)	: 16 mm
Takım Radyüsü (R)	: 4 mm
Ağız Sayısı (z)	: 2 diş
Yanal Kayma (a _e)	: 0.5 x D = 0.5 x 16 = 8 mm
Diş başı İlerleme (f _z)	: 0.9 mm
Kesme Hızı (V)	: 140 m/dak
Devir Sayısı (N)	: $\frac{1000.V}{\pi.D} = \frac{1000.140}{\pi.16} = 2786 \text{ dev/dak}$

Tabla İlerlemesi (F)	: $N \times f_z \times z = 2786 \times 2 \times 0.9 = 5014 \text{ mm/dak}$
Talaş Derinliği (a_d)	: 0.5 mm
Bir sonraki operasyona bırakılan stok miktarı	: 0.5 mm
İşleme Yönü	: Aynı yönlü

Ara işlemede kullanılan sabit kesme parametreleri

Takım Çapı (D)	: 10 mm
Takım Radyüsü (R)	: 1.6 mm
Ağız Sayısı (z)	: 2 diş
Yanal Kayma (a_e)	: $0.25 \times D = 0.25 \times 10 = 2.5 \text{ mm}$
Diş başı İlerleme (f_z)	: 0.25 mm
Kesme Hızı (V)	: 160 m/dak
Devir Sayısı (N)	: $\frac{1000.V}{\pi.D} = \frac{1000.160}{\pi.10} = 5095 \text{ dev/dak}$
Tabla İlerlemesi (F)	: $N \times f_z \times Z = 5095 \times 2 \times 0.25 = 2547 \text{ mm/dak}$
Talaş Derinliği (a_d)	: 0.5 mm
Bir sonraki operasyona bırakılan stok miktarı	: 0.2 mm
İşleme Yönü	: Aynı yönlü

Bitirme işlemede kullanılan sabit kesme parametreleri

Takım Çapı (D)	: 6 mm
Efektif Çap (D_{ef})	: 2 mm
Takım Radyüsü (R)	: 3 mm
Ağız Sayısı (z)	: 2 diş
Yanal Kayma (a_e)	: 0,25 mm
Diş başı İlerleme (f_z)	: 0,14 mm
Kesme Hızı (V)	: 100 m/dak
Devir Sayısı (N)	: $\frac{1000.V}{\pi.D_{ef}} = \frac{1000.100}{\pi.2} = 12730 \text{ dev/dak}$
Tabla İlerlemesi (F)	: $N \times f_z \times Z = 12780 \times 2 \times 0.14 = 3564 \text{ mm/dak}$
Bir sonraki operasyona bırakılan stok miktarı	: 0
İşleme Yönü	: Aynı yönlü

Teorik yüzey pürüzlülüğü hesabı

$$\begin{aligned}
 \text{Takım Yarıçapı (R)} & : 3 \text{ mm} \\
 \text{Yanal Kayma (a}_e\text{)} & : 0,25 \text{ mm} \\
 \text{Teorik Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)} & : \frac{(a_e)^2}{8R} = \frac{0,25^2}{8 \cdot 3} = 0,002604 \text{ mm} = 2,604 \text{ }\mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Yukarıda hesaplanan kesme ilerlemesi ve devir sayısı hesaplarının yanında BDÜ yazılımında, işleme operasyonları düzenlenirken gerekli olan diğer işleme parametreleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

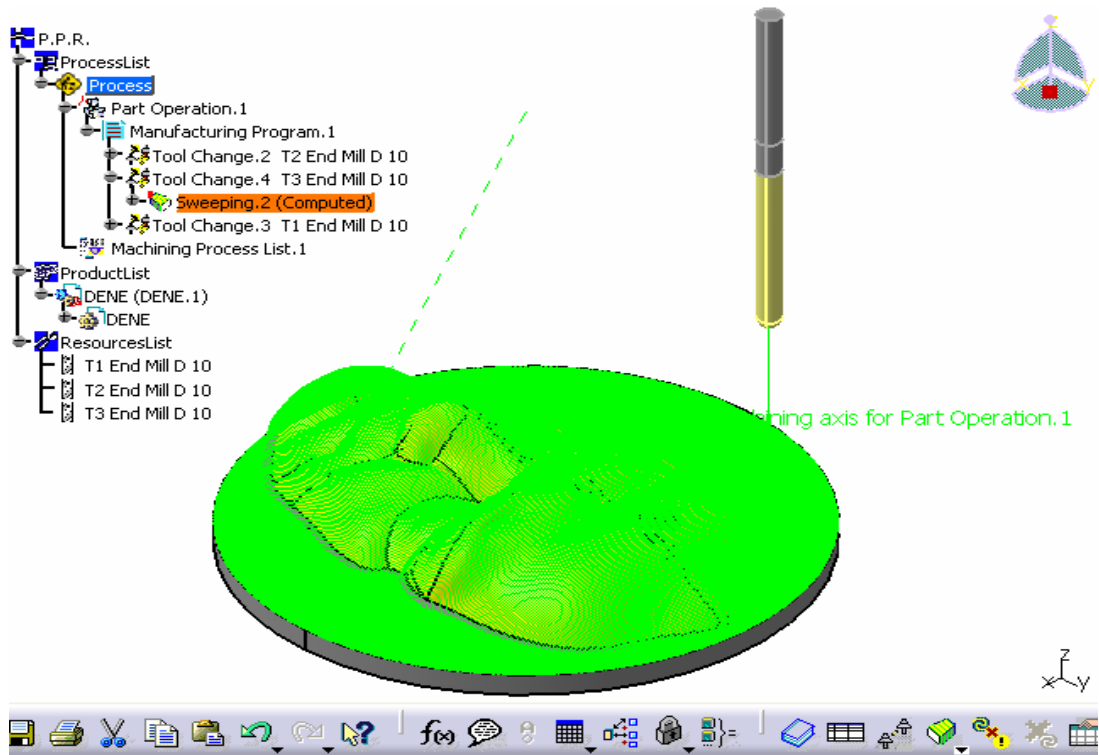
Çizelge 5.6. Deneysel işlemlerde kullanılan sabit işleme parametreleri [35]

	İŞLEME OPERASYONLARI		
İŞLEME PARAMETRELERİ	KABA İŞLEME	ARA İŞLEME	BİTİRME İŞLEME
Takım Çapı (D), mm	D16	D10	D6
Takım Uç Radyüsü (R), mm	R4	R1,6	R3
Kesici Ağız Sayısı (z)	2	2	2
Takım Boyu (L), mm	40	35	35
Devir Sayısı (N), dev/dak	2 800	5 000	10 000
Takım Dönüş Yönü	Saat Yönünde	Saat Yönünde	Saat Yönünde
İlerleme (F), mm/dak	5 000	2 500	3 500
Hızlı İlerleme (Fmax), mm/dak	10 000	10 000	10 000
Talaş Derinliği (a _d), mm	0,5	0,5	0,2
Yanal Kayma (a _e), mm	8	2,5	0,25
Talaşa Giriş Şekli (α)	3°	3°	-
Giriş Mesafesi (L _g), mm	8	5	3
Giriş İlerleme Hızı (F _g), mm/dak	2 500	1 250	1 750
Çıkış mesafesi (L _c), mm	8	5	3
Çıkış İlerleme Hızı (F _c), mm/dak	2 500	1 000	1 750
Yanal Kayma Şekli/Ölçüsü	Dairesel/R8	Dairesel/R5	Doğrusal
Güvenli Z Mesafesi, (Z), mm	10	10	10
Talaştan Talaşa Takım Kalkışı	Güvenli Z Düzlemi	Güvenli Z Düzlemi	Güvenli Z Düzlemi
İşleme Yönü	Aynı Yönlü	Aynı Yönlü	Aynı Yönlü
Soğutma Tipi	Yağlı Hava	Soğutma sıvısı	Soğutma sıvısı
Güvenli Yaklaşma Mesafesi, mm	3	3	3
Stok Miktarı, mm	0.5	0.2	-
İşleme Toleransı, mm	0,03	0,02	0,01

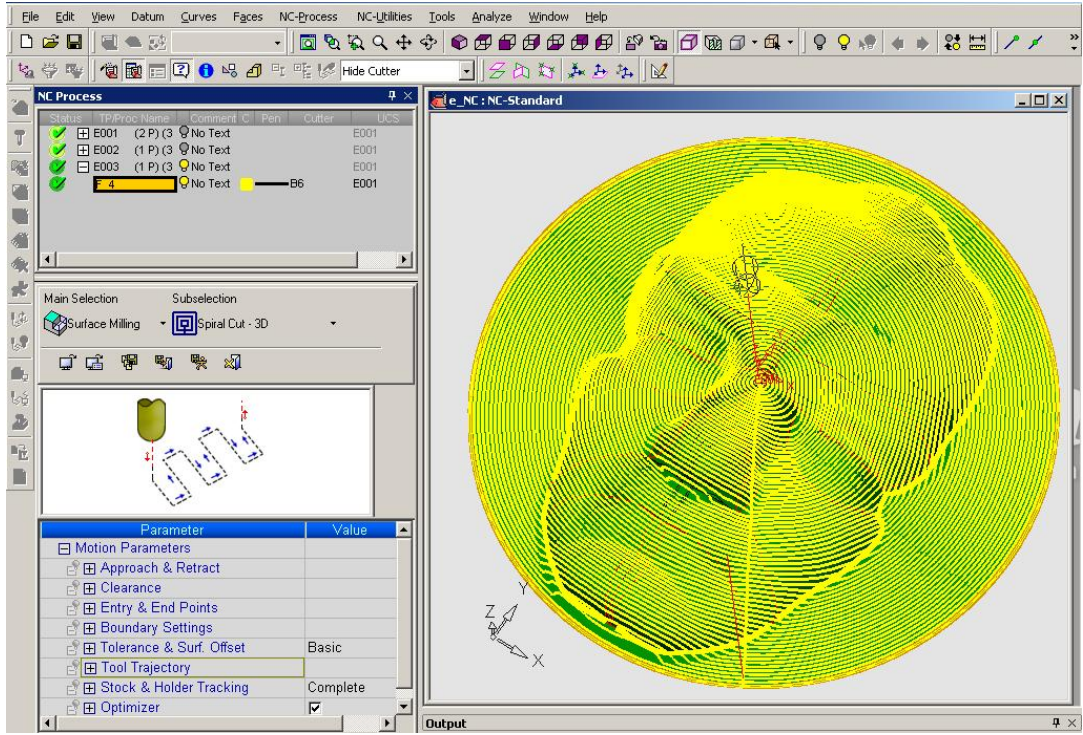
Çizelge 5.6’da verilen işleme parametreleri, BDÜ yazılımlarında kullanıcının karşısına çıkan diyalog pencerelerinde gerekli yerlere yazılarak yüzey modelin dişi ve erkek kalıp çekirdeklerinin işlenmesi için gerekli BSD takım yolu kodları elde edilmiştir.

5.10. BDT/BDÜ Yazılımlarında Teorik İşlemelerin Yapılması

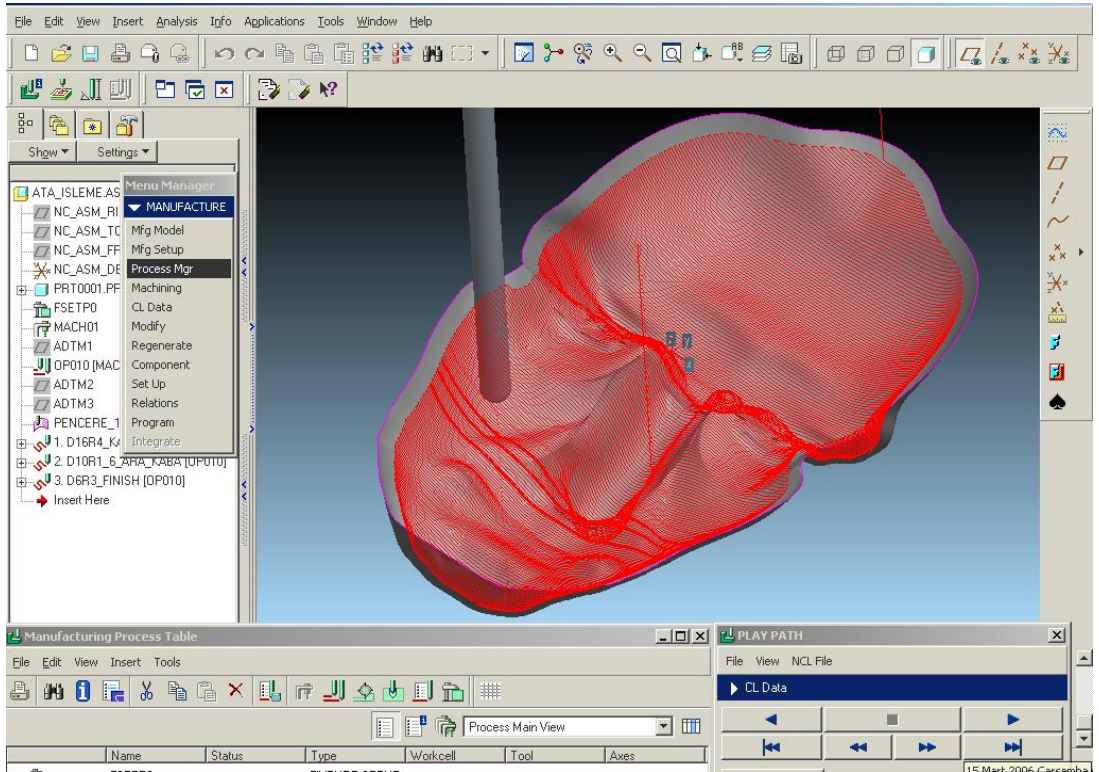
Deneysel işlemler için gerekli olan BSD tezgâhı programlama kodları BDÜ yazılımları aracılığıyla elde edilmektedir. Çizelge 5.6’da listelenen veriler, BDÜ programında gerekli yerlere yazılarak takım yollarının türetilmesi, simüle edilmesi ve doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra BDÜ programındaki yardımcı programlar aracılığıyla son işlemci (post) diye adlandırılan dosya içerisine BSD tezgâhı için gerekli programlama kodları hazır olarak elde edilmiştir. Yazılımların benzetim esnasındaki ekran görüntüleri Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de verilmiştir.



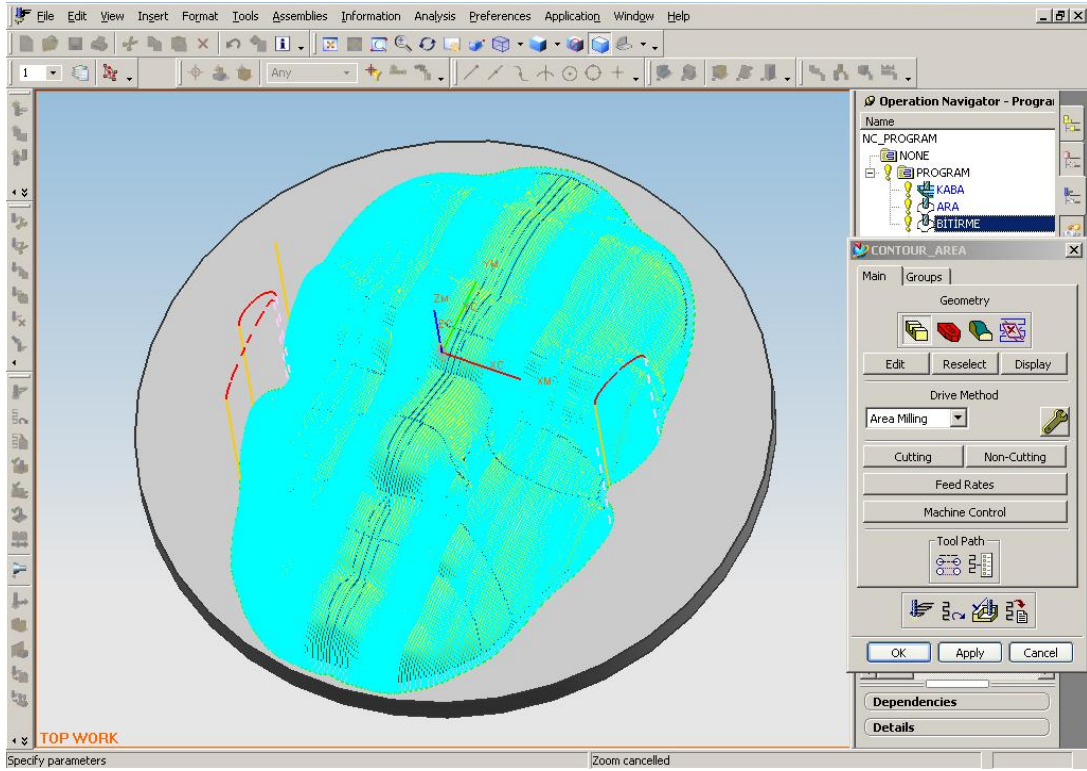
Şekil 5.15. Catia yazılımında işleme benzetimin yapılması [35]



Şekil 5.16. Cimatron yazılımında işleme benzetiminin yapılması [35]



Şekil 5.17. ProEngineer yazılımında işleme benzetiminin yapılması [35]



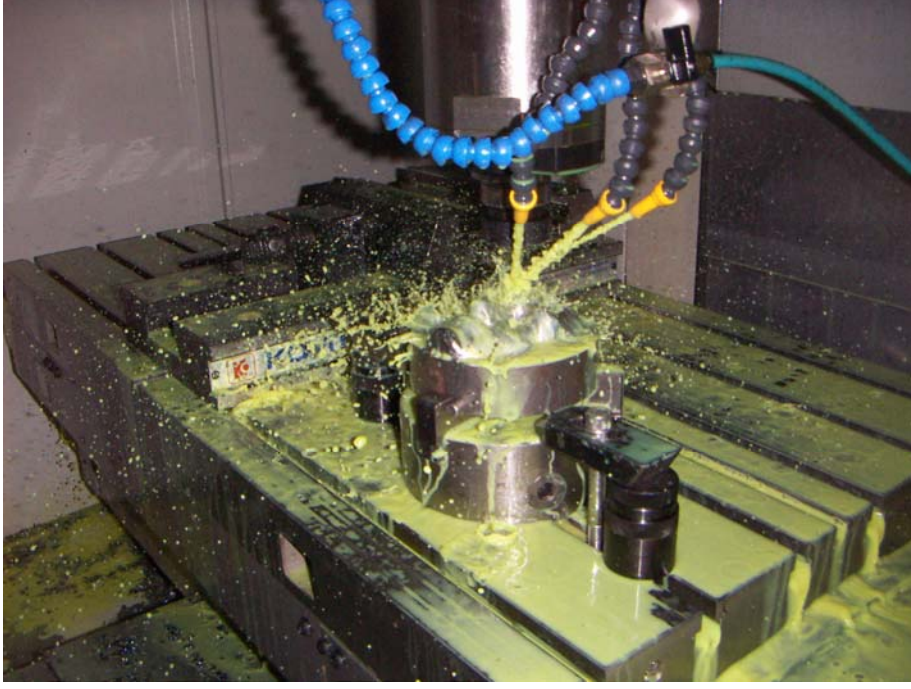
Şekil 5.18. Unigraphics yazılımında işleme benzetimin yapılması [35]

5.11. BSD Dik İşleme Merkezi'nde Deneysel İşlemelerin Yapılması

Teorik olarak BDÜ yazılımında işlenen, simüle edilen ve doğrulanan (takım çarpmalarının kontrolü için) deneysel modellerin son işlemci (Post Processor) aracılığıyla farklı takım yolları için G/M kodları dosyası elde edilmiştir. Bu dosya BSD tezgâhın bilgisayar ünitesine gönderilmiş, kontrollü bir şekilde çalıştırılarak modelin 3 adet prototip işlemleri yapılmıştır.

Prototip işlemlerin tümü alüminyum alaşımı üzerinde farklı bir takım ile gerçekleştirildikten sonra çalışmanın amacına uygun olarak AISI P20 kalıp çekirdeklerinin işlenmesine başlanmıştır (Şekil 5.19). İşlemler süresince her operasyon bitirildikten sonra kesici uçlar değiştirilmiş, ayrı ayrı kodlanarak paketlenmiştir. Ayrıca her operasyon sonrası ham malzeme üzerinden ne kadar talaş kaldırıldığı tartılmıştır. İşleme süresinin tayini için kronometre ve BSD tezgâh üzerindeki zaman sayacı aracılığıyla tüm işlemlerin süre kayıtları tutulmuştur.

İşleme esnasında takım kırılması, parçaya dalma, duraklama gibi olumsuzluklar yaşanmamıştır.



Şekil 5.19. BSD Dik İşleme Merkezi'nde işlemlerin yapılması [35]

İşlemlerin kaba operasyonlarında soğutucu olarak %5 oranında ticari adı “Cimcool Milpro” olan yağ zerrecikleri içeren yüksek basınçlı hava, ara ve bitirme operasyonlarında ise %4 oranında ticari adı “Cimcool Cimperial” olan kesme yağı içeren soğutma sıvısı kullanılmıştır.

Deneyisel işlemler sırasında her modelin kaba işleme operasyonu öncesi ve sonrasında malzemenin ağırlık ölçümü yapılmıştır. Ağırlık değerlerinin farkı kaba işleme operasyonu sırasında kaldırılan talaş ağırlığını vermektedir. Kaldırılan talaş ağırlığının tespitinin ardından, özkütle formülü yardımıyla kaldırılan talaş hacmi bulunmuştur. EKLER kısmında her deney modeli ve her operasyon için kaldırılan talaş hacimlerinin tablosu verilmiştir. Kaldırılan talaş hacminin, kaba işleme operasyonu süresine bölünmesiyle dakikadaki kaldırılan talaş hacmi bulunmuştur. EKLER kısmında yer alan Ek-10'daki çizelgede bulunan UGS_02_D deneyinin kaba operasyonu dikkate alındığında kaldırılan talaş hacmi $108,205 \text{ cm}^3$ olarak tespit

edilmiştir. Çizelge 6.3'te UGS_02_D deneyinin kaba işleme operasyonu süresi 20,96 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Kaldırılan talaş hacmi oranı;

$$v = \frac{\text{Talaş hacmi}}{\text{Operasyon süresi}} = \frac{108,205}{20,96} = 5,2 \text{ cm}^3/\text{dak olarak bulunmuştur.}$$

5.12. İşlenen Modellerin Yüzey Pürüzlülük Ölçümlerinin Yapılması

İşlenen modeller temizlenip, işleme yüzeyinde ince bir yağ filmi oluşturacak şekilde yağlanarak muhafaza edilmiştir. Daha sonra G.Ü.T.E.F Kalıpcılık Eğitimi Anabilim Dalı Reoloji Laboratuvarında bulunan ölçüm donanımına taşınan deneysel modeller, yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği kurularak sırası ile ölçülmüştür (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm düzeneği [35]

Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneğinin teraziye alma işlemi ve sistem rijitliği sağlanmıştır. Ölçümler, ölçüm düzeneğinde her model için işleme yüzeyine ve

işleme izlerine dik olacak şekilde yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı konumlandırılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde, mutlak ölçüm uzunluğu olarak 0,8 mm kullanılmıştır. Aynı düzlemde ardışık beş tekrarlı ölçüm uzunluğunun toplamında 4 mm'lik bir uzunlukta ölçümlerin kayıtları alınmıştır. İşlenen modellerin alın bölgesinde daha temiz, daha düz ve daha geniş bir alan bulunduğu için bu bölgeden ölçüm alınması kararlaştırılmıştır (Şekil 5.21). Bu bölgeden 3 kez ölçüm yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. Ölçüm parametresi olarak Ra, Rz ve Rmax dikkate alınmıştır.



(A)



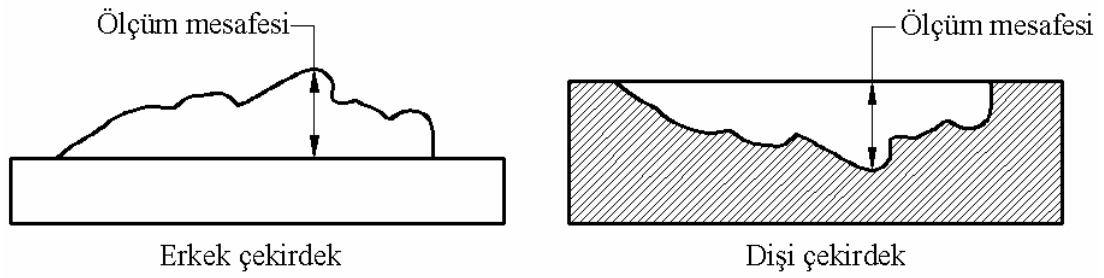
(B)

Şekil 5.21. Yüzey pürüzlülük ölçümü yapılması; A)Erkek model, B)Dişi model [35]

5.13. İşlenen Modellerin Ölçüsel Tamlığının Kontrolü

İşlenen modellerin kısa sürede, hedeflenen yüzey kalitesinde çıkmasının yanında ölçüsel olarak da toleranslar içerisinde olması gerekmektedir. Unutulmamalıdır ki tolerans içerisinde ölçüsel tamlığın elde edilmediği bir işlemede neticeye

ulaşılamamış demektir. Bu nedenledir ki işlenen erkek çekirdeklerde burun ucu ile işleme yüzeyi tabanı arası, dişi çekirdeklerde ise yine burun ucu ile ham malzeme üst yüzeyi arasında ölçüsel kontrol yapmaya gerek duyulmuştur (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Modeller üzerinde ölçüsel kontrol yapılacak noktalar [35]

Ölçümler; yüzey pürüzlülüğü ölçüm düzeneğine dijital derinlik kompratörü bağlanarak yapılmıştır (Şekil 5.23). Modeller üzerinden 3 ölçüm yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır.



Şekil 5.23. Ölçüsel kontrolün yapıldığı düzenek ve ölçümün yapılması [35]

6. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada bir yüz modeli, 4 farklı BDT/BDÜ yazılımında (Catia, Cimatron, Proengineer, Unigraphics) toplam 6 farklı işleme yöntemi (Zigzag, Çevre Paralel, Parça Paralel, Trochoidal, Radyal, Spiral) kullanılarak dişi ve erkek plastik enjeksiyon kalıp çekirdeği (AISI P20) olarak işlenmiştir. Her çekirdekte 3 tip (kaba, ara ve bitirme) işleme operasyonu uygulanmıştır. Deneysel işlemler Deckel Maho DMC 103V model BSD Dik İşleme Merkezi'nde yapılmış ve her operasyon için 16 mm, 10 mm ve 6 mm çaplarında parmak frezeler kullanılmıştır. Teorik ve deneysel işlemlerden elde edilen işleme süreleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve analiz edilmiştir.

Araştırma sonucunda, kullanılan BDT/BDÜ yazılımlarında aynı işleme yönteminin verdiği işleme süreleri yakın olmakla beraber, ihmal edilebilir derecede farklılıklar vardır. Bu farkın sebebi, BDT/BDÜ yazılımlarının dışardan aldığı IGES uzantılı dosya aktarımında yaptıkları analizin değişim göstermesi ve BDT/BDÜ yazılımlarının matematiksel takım yolu hesaplamalarının altında yatan farklılıklar olarak düşünülmektedir.

Bu duruma paralel olarak kullanılan BDT/BDÜ yazılımlarında aynı işleme yönteminin verdiği yüzey pürüzlülük değerleri arasında kabul edilebilecek derecede farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu değişim nedenlerine ortam sıcaklığı, soğutma sıvısının kalite düzeyi, BSD tezgâhına malzeme bağlama sırasındaki sıkma torkunun değişimi ve BSD tezgâhın performansı gibi etkenler eklenebilir. Bu sonuç ise hassas kalıp yüzeyleri işlemede, iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde etmede birçok faktörün etken olduğunu ve işlemedeki rijitlik ve gerekli şartların sağlanmasına rağmen değişim gösterebileceğini ortaya koymuştur.

Diğer taraftan BDT/BDÜ programlarının da aracılığı ile aynı modeli, aynı kesme şartlarında fakat farklı işleme yöntemiyle işlemede hem işleme süresi açısından hem de yüzey pürüzlülüğü açısından farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit kullanıcıya tercihinin ne doğrultuda olması (en kısa işleme süresi veya elde

edilebilen en iyi yüzey pürüzlülüğü) ve hangi stratejiye karar vermesi gerektiğine kılavuzluk etmektedir.

Deneysel işlemlerde kullanılan işleme parametreleri (talaş derinliği, yanal paso), takım ve BSD tezgâhı zorlamayacak ve takım ömrünü uzun tutacak değerler olarak takım ve malzeme çiftine ve tedarikçisinin önerisine uygun değerlerde seçilmiştir. Bu değerler artırılarak daha kısa sürede işlemler yapılabilir fakat bu durum takımın kısa zamanda aşınmasına, BSD tezgâhın zorlanmasına ve malzemenin ısınmasına sebep olduğu için yüksek hızda talaş kaldırma teorisine ters düşmektedir.

Çizelge 6.1’ de erkek modellerin teorik ve deneysel işlemlerde her operasyon için gerçekleşen işleme süreleri görülmektedir. Çizelgede 6.1’de görüldüğü gibi deneysel ve teorik işleme sürelerinde farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılık işleme yönteminin takım hızlanma/yavaşlanma ivmelerinden ne derece etkilendiğini de göstermektedir.

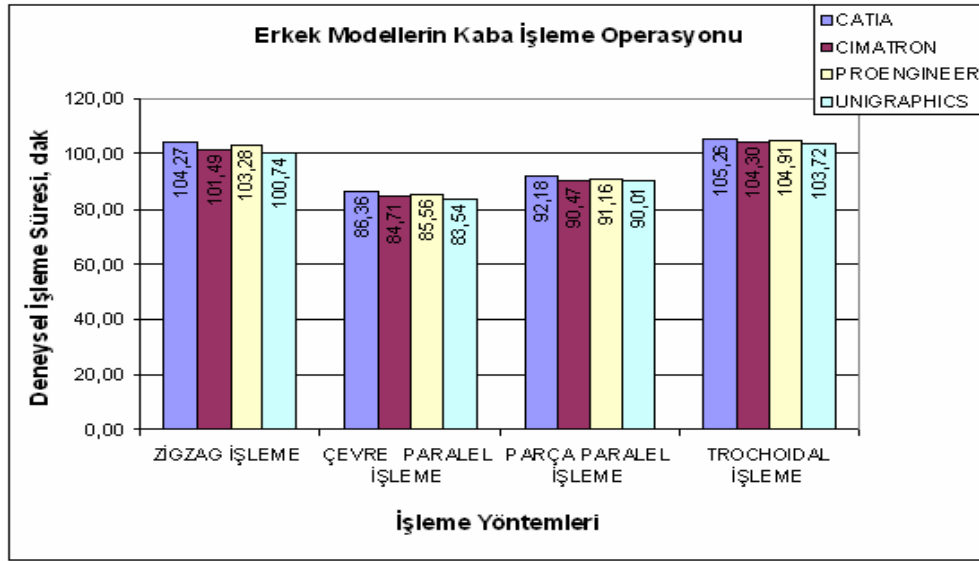
Çevre paralel takım yolu tipinin gerçekleşen teorik ve deneysel işleme süreleri birbirine yakın çıkmıştır. Bunun nedeni modelin işlenmesinde takım yolu işleme mantığının yumuşak geçişlere elverişli olması ve BSD takım tezgâhına da bu geçişlerde kolaylık sağlamasıdır.

Halbuki diğer taraftan zigzag takım yolu tipinde gerçekleşen teorik ve deneysel işleme süreleri diğerlerine nazaran çok farklı çıkmıştır. Bunun nedeni de yukarıda belirtildiği gibi takım yolu mantığıdır. Zigzag işleme tipi belirtilen açıda birbirine paralel yollar içeren bir takım yolu olduğu için geometrik olarak dönüşlerin fazla ve keskin olmasından dolayı bu fark görülmüştür.

Ayrıca bitirme işleme operasyonunda, teorik ve deneysel işleme sürelerinin farkı açısından radyal işleme tipinin zigzag işleme tipine benzer bir sonuç verdiği görülmektedir. Yine bu durumun nedeni olarak radyal işleme tipinin, zigzag işleme tipi ile benzer bir takım yolu mantığı göstermesi düşünülmektedir.

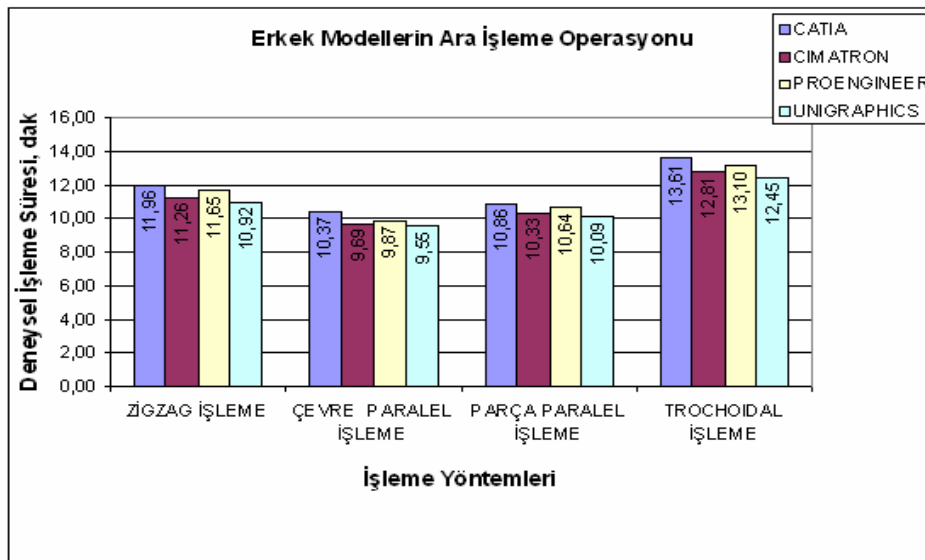
Çizelge 6.1. Erkek modellerin teorik ve deneysel işleme süreleri, (dak) [35]

Erkek Modellerin Teorik İşleme Süreleri, dak											Erkek Modellerin Gerçekleşen İşleme Süreleri, dak				
	G0			G1			Toplam								
	Kaba	Ara	Bitirme	Kaba	Ara	Bitirme	Kaba	Ara	Bitirme	Operasyon					
CAT-01-E	18,18	2,08	1,03	77,48	8,89	24,66	95,66	10,97	25,69	132,32	CAT-01-E	104,27	11,96	28,00	144,23
CIM-01-E	17,69	1,96	0,99	75,42	8,37	23,73	93,11	10,33	24,72	128,16	CIM-01-E	101,49	11,26	26,94	139,69
PRO-01-E	18,00	2,03	1,01	76,75	8,66	24,17	94,75	10,69	25,18	130,62	PRO-01-E	103,28	11,65	27,45	142,38
UGS-01-E	17,56	1,90	0,97	74,86	8,12	23,19	92,42	10,02	24,16	126,6	UGS-01-E	100,74	10,92	26,33	137,99
CAT-02-E	9,22	1,11	0,41	74,62	8,96	20,03	83,84	10,07	20,44	114,35	CAT-02-E	86,36	10,37	21,67	118,39
CIM-02-E	9,05	1,04	0,39	73,19	8,37	19,25	82,24	9,41	19,64	111,29	CIM-02-E	84,71	9,69	20,82	115,22
PRO-02-E	9,14	1,05	0,40	73,93	8,53	19,72	83,07	9,58	20,12	112,77	PRO-02-E	85,56	9,87	21,33	116,76
UGS-02-E	8,92	1,02	0,38	72,19	8,25	18,83	81,11	9,27	19,21	109,59	UGS-02-E	83,54	9,55	20,36	113,45
CAT-03-E	14,05	1,65	0,44	73,74	8,69	43,39	87,79	10,34	43,83	141,96	CAT-03-E	92,18	10,86	48,65	151,69
CIM-03-E	13,79	1,57	0,43	72,37	8,27	42,51	86,16	9,84	42,94	138,94	CIM-03-E	90,47	10,33	47,66	148,46
PRO-03-E	13,89	1,62	0,43	72,93	8,51	42,83	86,82	10,13	43,26	140,21	PRO-03-E	91,16	10,64	48,02	149,82
UGS-03-E	13,72	1,54	0,42	72,00	8,07	41,79	85,72	9,61	42,21	137,54	UGS-03-E	90,01	10,09	46,85	146,95
CAT-04-E	12,79	1,65	0,31	85,58	11,07	30,32	98,37	12,72	30,63	141,72	CAT-04-E	105,26	13,61	31,55	150,42
CIM-04-E	12,67	1,56	0,30	84,81	10,41	29,56	97,48	11,97	29,86	139,31	CIM-04-E	104,30	12,81	30,76	147,87
PRO-04-E	12,75	1,59	0,30	85,30	10,65	30,07	98,05	12,24	30,37	140,66	PRO-04-E	104,91	13,10	31,28	149,29
UGS-04-E	12,60	1,51	0,30	84,33	10,13	29,21	96,93	11,64	29,50	138,07	UGS-04-E	103,72	12,45	30,39	146,55



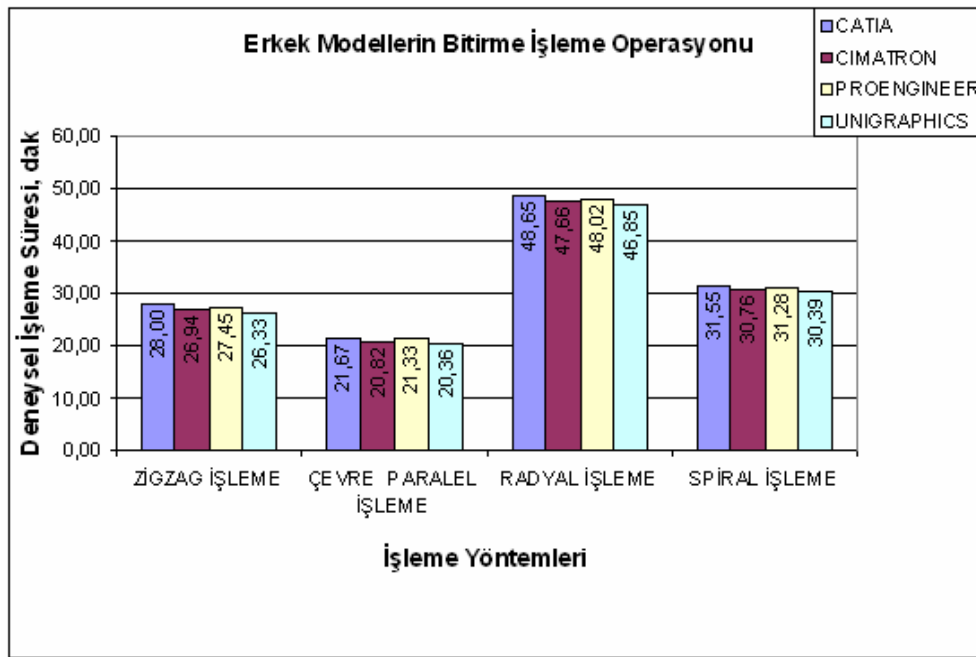
Şekil 6.1. Erkek modellerin her yazılım için kaba işleme operasyonu süreleri [35]

Şekil 6.1’de gösterildiği gibi, kaba işleme operasyonlarında çevre paralel takım yolu tipinin en kısa işleme süresi verdiği dört yazılım tarafından da desteklenmiştir. Ayrıca bu desteğe paralel olarak trochoidal işleme yönteminin de en uzun işleme süresi verdiği görülmektedir. Takım yolu tiplerini kaba pasolar için süre olarak kısıdan uzuna yazmak gerekirse; çevre paralel, parça paralel, zigzag ve trochoidal şeklinde sıralanabilir.



Şekil 6.2. Erkek modellerin her yazılım için ara işleme operasyonu süreleri [35]

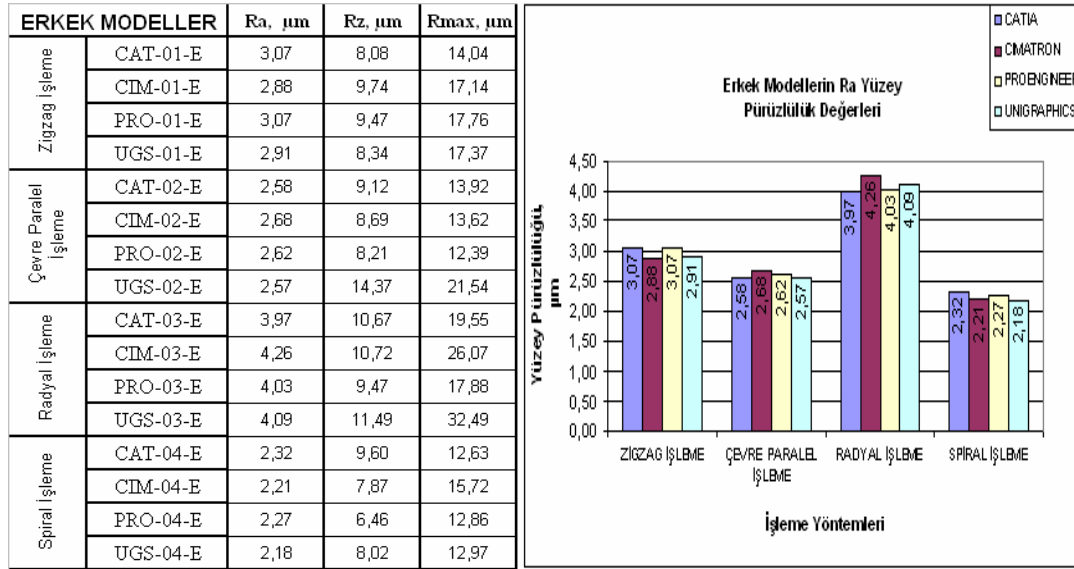
Ara işleme operasyonlarında Şekil 6.2’de gösterildiği gibi çevre paralel takım yolu tipinin yine en kısa işleme süresi verdiği dört yazılım tarafından da desteklenmiştir ve yine bu desteğe paralel olarak trochoidal tipi işlemenin de en uzun işleme süresi verdiği görülmektedir. Ara işleme operasyonu endüstride pek yaygın olarak kullanılmamasına rağmen ne kadar kısa sürdüğü ve bitirme işleme operasyonundaki takıma ne kadar faydalı olduğu bu çalışma ile vurgulanmıştır. Ayrıca ara operasyonlarda işleme zamanının bu derece kısa ve işleme tipleri arasındaki süre farkının bu derece yakın olması, kullanıcıya rahat bir takım yolu tipi seçme imkanı ve kolaylığı sağlamaktadır. Takım yolu tiplerini ara pasolar için süre olarak kısıdan uzuna yazmak gerekirse; çevre paralel, parça paralel, zigzag ve trochoidal şeklinde sıralanabilir.



Şekil 6.3. Erkek modellerin her yazılım için bitirme işleme operasyonu süreleri [35]

Şekil 6.3’te gösterildiği üzere erkek modellerin bitirme işlemedeki operasyon süreleri gösterilmektedir. Grafikten anlaşıldığı gibi radyal işleme yönteminin en uzun işleme süresi verdiği görülmektedir. Tabi burada öncelikle, bitirme işlemede hedeflenen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesinin, işleme zamanından daha öncelikli olduğu akıldan çıkartılmamalıdır. O nedenle bitirme işlemede hangi işleme yönteminin daha

olumlu olduğu, önce yüzey pürüzlülük değerlerine bakılarak yorumlanmalıdır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Erkek modellerin her yazılım için elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri [35]

Şekil 6.4'teki çizelgeye bakıldığında radyal işleme yönteminin hedeflenen yüzey pürüzlülük değerinden daha uzak değerde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra Şekil 6.3'te de radyal işleme yönteminin en uzun bitirme işleme operasyonu süresi verdiği de görülmektedir. Ayrıca yine her iki şekle bakıldığında bitirme işleme operasyonlarında yüzey pürüzlülük değerleri açısından spiral işleme yönteminin, işleme süresi açısından ise çevre paralel takım yolu yönteminin daha olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu durumda şu sıralamalar yapılabilir:

Yüzey pürüzlülük değerleri açısından olumludan olumsuz olana doğru; spiral, çevre paralel, zigzag, radyal takım yolları kullanarak işleme şeklinde bir sıralama yapılabilir. İşleme süresi değerleri açısından kısıdan uzuna doğru; çevre paralel, zigzag, spiral, radyal takım yolları kullanarak işleme şeklinde bir sıralama yapılabilir. Bitirme işlemedeki belirlenen hedefler açısından erkek modeller üzerinde çevre paralel tipi takım yolu en uygun ve amacına yönelik bir takım yolu tipi olduğu görülmüştür.

Ayrıca EKLER kısmında erkek modellerin her deney ve operasyon için detaylı işleme süresi, işleme uzunluğu ve yüzey pürüzlülük değerlerinin bulunduğu çizelge ve grafikler verilmiştir.

İşleme süreleri ve yüzey pürüzlülük değerleri yanı sıra işlenen erkek modellerin ölçüsel kontrolü yapılmış, kontrol edilen ölçünün BDT/BDÜ yazılımındaki model üzerinden alınan ölçüden ne kadar farklı olduğu Çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelge 6.2 dikkatle incelendiğinde deneysel işlemler neticesinde model üzerinden ölçülen değerler arasında kabul edilebilir derecede farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu farkın, takım sıfırlamaları sırasında meydana gelen değişimden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 6.2. Erkek modellerin ölçüsel tamlik kontrolü, (mm) [35]

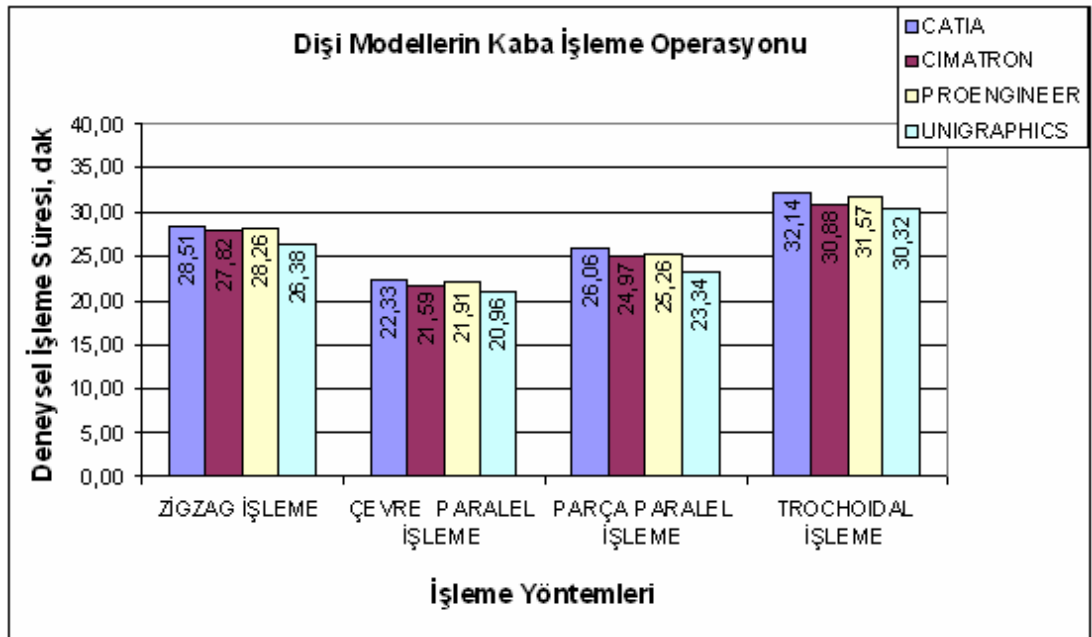
Birim: mm	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama	Fark
CAT-01-E	30,349	30,376	30,373	30,366	-0,484
CTM-01-E	30,333	30,361	30,358	30,351	-0,499
PRO-01-E	30,337	30,364	30,361	30,354	-0,496
UGS-01-E	30,330	30,358	30,355	30,348	-0,502
CAT-02-E	30,340	30,367	30,364	30,357	-0,493
CTM-02-E	30,327	30,355	30,352	30,345	-0,505
PRO-02-E	30,343	30,370	30,367	30,360	-0,490
UGS-02-E	30,324	30,352	30,349	30,342	-0,508
CAT-03-E	30,347	30,374	30,371	30,364	-0,486
CTM-03-E	30,333	30,360	30,357	30,350	-0,500
PRO-03-E	30,338	30,365	30,362	30,355	-0,495
UGS-03-E	30,332	30,359	30,356	30,349	-0,501
CAT-04-E	30,341	30,368	30,365	30,358	-0,492
CTM-04-E	30,327	30,354	30,351	30,344	-0,506
PRO-04-E	30,344	30,371	30,368	30,361	-0,489
UGS-04-E	30,324	30,351	30,348	30,341	-0,509
BDT/BDÜ yazılımında model üzerinden alınan ölçü 30,85 mm'dir					

Çizelge 6.2’ye bakıldığında BDT/BDÜ modelin ölçüsü ile deneysel işlenen modelin ölçüsü arasında yaklaşık 0,5 mm bir fark görülmektedir. Bu fark kaba işleme takımı hariç diğer takımların modelin tabanı üzerinde talaş kaldırmamasından ve kaba operasyon ile bitirme operasyonu arasında 0,5 mm’lik bir talaş payı bırakılmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6.3. Dişi modellerin teorik ve deneysel işleme süreleri, (dak) [35]

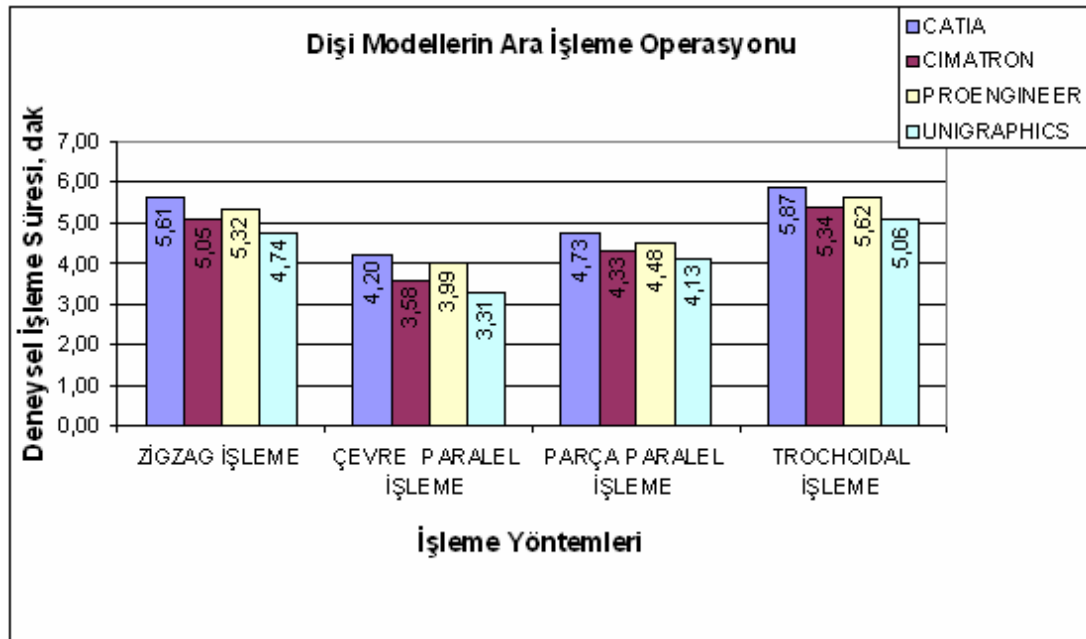
Dişi Modellerin Teorik İşleme Süreleri, dak											Dişi Modellerin Gerçekleşen İşleme Süreleri, dak				
	G0			G1			Toplam					Kaba	Ara	Bitirme	Toplam
	Kaba	Ara	Bitirme	Kaba	Ara	Bitirme	Kaba	Ara	Bitirme	Operasyon		Kaba	Ara	Bitirme	Toplam
CAT-01-D	4,71	0,93	1,05	21,45	4,22	25,22	26,16	5,15	26,27	57,58	CAT-01-D	28,51	5,61	28,63	62,76
CIM-01-D	4,59	0,83	1,02	20,93	3,80	24,60	25,52	4,63	25,62	55,77	CIM-01-D	27,82	5,05	27,93	60,79
PRO-01-D	4,67	0,88	1,04	21,26	4,00	24,86	25,93	4,88	25,90	56,71	PRO-01-D	28,26	5,32	28,23	61,81
UGS-01-D	4,36	0,78	1,00	19,84	3,57	24,02	24,20	4,35	25,02	53,57	UGS-01-D	26,38	4,74	27,27	58,39
CAT-02-D	1,95	0,37	0,44	19,73	3,71	21,64	21,68	4,08	22,08	47,84	CAT-02-D	22,33	4,20	22,74	49,28
CIM-02-D	1,89	0,31	0,43	19,07	3,17	20,96	20,96	3,48	21,39	45,83	CIM-02-D	21,59	3,58	22,03	47,20
PRO-02-D	1,91	0,35	0,44	19,36	3,52	21,49	21,27	3,87	21,93	47,07	PRO-02-D	21,91	3,99	22,59	48,48
UGS-02-D	1,83	0,29	0,42	18,52	2,92	20,45	20,35	3,21	20,87	44,43	UGS-02-D	20,96	3,31	21,50	45,76
CAT-03-D	2,98	0,54	0,40	21,84	3,96	39,34	24,82	4,50	39,74	69,06	CAT-03-D	26,06	4,73	44,11	74,90
CIM-03-D	2,85	0,49	0,39	20,93	3,63	38,54	23,78	4,12	38,93	66,83	CIM-03-D	24,97	4,33	43,21	72,51
PRO-03-D	2,89	0,51	0,39	21,17	3,76	38,83	24,06	4,27	39,22	67,55	PRO-03-D	25,26	4,48	43,53	73,28
UGS-03-D	2,67	0,47	0,38	19,56	3,46	37,87	22,23	3,93	38,25	64,41	UGS-03-D	23,34	4,13	42,46	69,93
CAT-04-D	4,81	0,88	0,29	25,23	4,61	28,95	30,04	5,49	29,24	64,77	CAT-04-D	32,14	5,87	31,29	69,30
CIM-04-D	4,62	0,80	0,29	24,24	4,19	28,22	28,86	4,99	28,51	62,36	CIM-04-D	30,88	5,34	30,51	66,73
PRO-04-D	4,72	0,84	0,29	24,78	4,41	28,67	29,50	5,25	28,96	63,71	PRO-04-D	31,57	5,62	30,99	68,17
UGS-04-D	4,53	0,76	0,28	23,81	3,97	27,87	28,34	4,73	28,15	61,22	UGS-04-D	30,32	5,06	30,12	65,51

Çizelge 6.3’ de görüldüğü üzere dişi modellerin işlenmesinde, kaba ve ara işleme operasyonlarına bakılarak erkek modellerin işlenmesine paralel bir durum sergilendiği söylenebilir. Yine burada çevre paralel takım yolu yönteminin işleme süresi olarak en kısa süren işleme yöntemi olduğu görülmektedir. Ayrıca Çizelge 6.3’e bakıldığında teorik ve deneysel işleme süreleri açısından farkın en az olduğu yöntemin çevre paralel takım yolu tipi, radyal işleme yönteminin ise bu fark açısından en olumsuz takım yolu tipi olduğu görülmektedir.



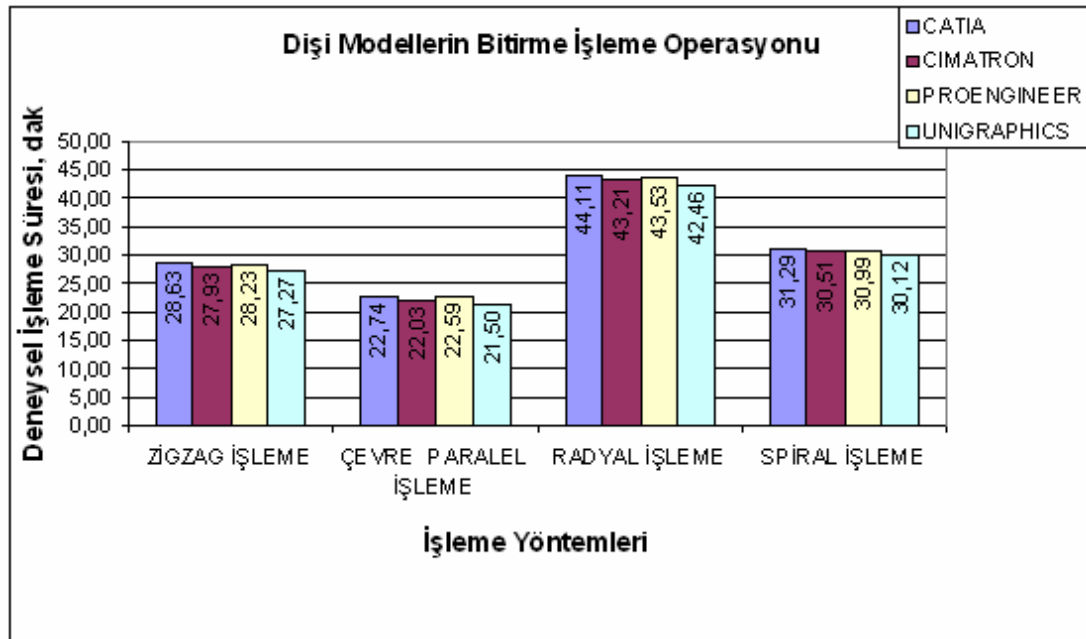
Şekil 6.5. Dişi modellerin her yazılım için kaba işleme operasyonu süreleri [35]

Şekil 6.5’te görüldüğü gibi dişi modellerin kaba işleme operasyonunda, işleme sürelerinin erkek modellerin kaba işleme operasyonuna paralel bir durum gösterdiği görülmüştür. Bu aynı zamanda farklı bir geometrik model yapısı da olsa çevre paralel takım yolu tipinin kaba işleme operasyonunda en kısa işleme süresini verdiğini desteklemektedir. Ayrıca takım yolu tiplerini kaba pasolar için süre olarak kıstadan uzuna yazmak gerekirse; çevre paralel, parça paralel, zigzag ve trochoidal şeklinde sıralanabilir.



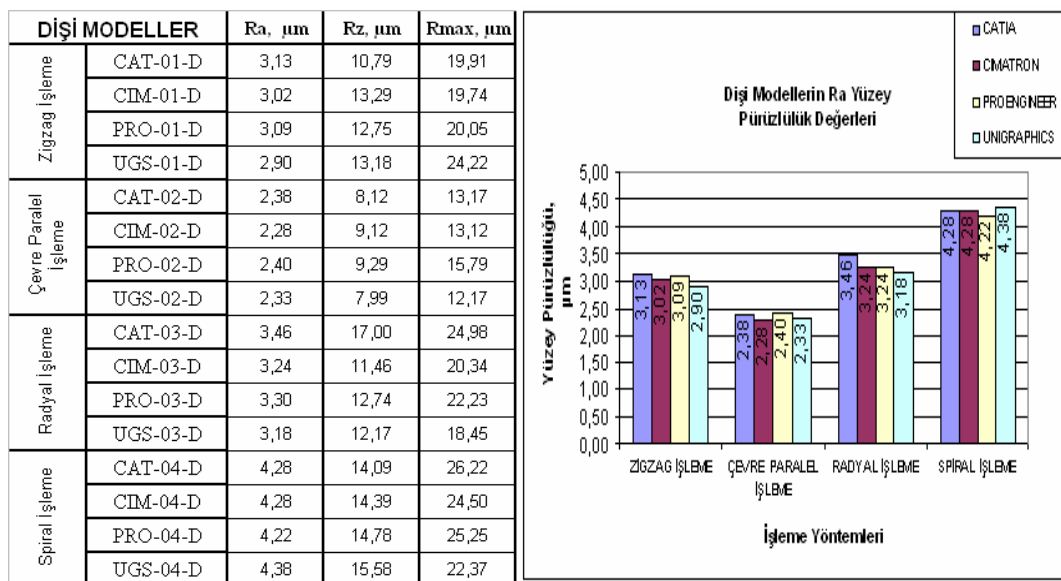
şekil 6.6. Dişi modellerin her yazılım için ara işleme operasyonu süreleri [35]

şekil 6.6'da gösterildiği gibi dişi modellerin ara işleme operasyonlarında erkek modellerdekine paralel olarak çevre paralel takım yolu tipinin yine en kısa işleme süresi verdiği dört yazılım tarafından da desteklenmiştir. Ayrıca yine trochoidal işleme yönteminin de en uzun işleme zamanı verdiği görölmektedir. Takım yolu yöntemlerini ara pasolar için süre bazında kısıdan uzuna yazmak gerekirse; çevre paralel, parça paralel, zigzag ve trochoidal şeklinde yazılabilir.



Şekil 6.7. Dişi modellerin her yazılım için bitirme işleme operasyonu süreleri [35]

Şekil 6.7’de gösterildiği gibi dişi modellerin bitirme işleme operasyonlarında, erkek modellerinkine benzer bir işleme süresi grafiği elde edilmiştir. Bu durumda hangi işleme yönteminin daha olumlu sonuç verdiğine karar vermek için tekrar yüzey pürüzlülük değeri grafiğine bakmaya ihtiyaç vardır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8. Dişi modellerin her yazılım için elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri [35]

Şekil 6.8'deki çizelgeye bakıldığında dişi modellerin yüzey pürüzlülük değerlerinde, diğer grafiklere göre ters bir durum yaşandığı tespit edilmiştir. Burada spiral işleme tipinin yüzey pürüzlülüğü açısından en olumsuz olduğu saptanmıştır. Oysa ki aynı modelin erkek çekirdeklerinin işlenmesinde spiral tipi takım yolu en iyi yüzey pürüzlülük değeri verdiği bulunmuştu. Spiral işleme tipinin dişi modellerde bu olumsuz duruma neden olması, takım yolu işleme mantığından kaynaklanan takım giriş ve çıkışlarının dişi model üzerinde fazla olması ve bu durumun kesici takım ağzının kısa sürede aşınmasına sebep olması şeklinde düşünülmektedir. Bununla beraber yine diğer taraftan çevre paralel işleme yönteminin hem kısa bir işleme zamanı hem de hedeflenen yüzey pürüzlülük değerine yakın bir değer verdiği gözlenmiştir. Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 dikkate alındığında şöyle bir sıralama yapılabilir:

Yüzey pürüzlülük değerleri açısından olumludan olumsuz olana doğru; çevre paralel, zigzag, radyal, spiral takım yolu kullanarak işleme şeklinde bir sıralama yapılabilir.

İşleme süresi değerleri açısından kısıdan uzuna doğru; çevre paralel, zigzag, spiral, radyal takım yolu kullanarak işleme şeklinde bir sıralama yapılabilir.

Bitirme işlemedeki belirlenen hedefler açısından dişi modeller üzerinde çevre paralel tipi takım yolu en uygun ve amacına yönelik bir takım yolu tipi olduğu söylenebilir.

Ayrıca EKLER kısmında dişi modellerin her deney ve operasyon için detaylı işleme süresi, işleme uzunluğu ve yüzey pürüzlülük değerlerinin bulunduğu çizelge ve grafikler verilmiştir.

İşlenen dişi modellerin de ölçüsel kontrolü yapılmış, kontrol edilen ölçü ile BDT/BDÜ yazılımındaki model üzerinden alınan ölçü arasında ne kadar fark olduğu Çizelge 6.4'te verilmiştir. Çizelge 6.4'e bakıldığında deneysel işlemler neticesinde model üzerinden ölçülen değerler arasında ufak farklılıkların olduğu görülmektedir. Bu farkın yine takım sıfırlamaları sırasında meydana gelen değişimlerden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 6.4. Dişi modellerin ölçüsel tamlık kontrolü, (mm) [35]

Birim: mm	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama	Fark
CAT-01-D	30,871	30,899	30,896	30,889	0,039
CIM-01-D	30,856	30,884	30,880	30,873	0,023
PRO-01-D	30,859	30,887	30,884	30,876	0,026
UGS-01-D	30,853	30,880	30,877	30,870	0,020
CAT-02-D	30,862	30,890	30,887	30,879	0,029
CIM-02-D	30,850	30,877	30,874	30,867	0,017
PRO-02-D	30,865	30,893	30,890	30,883	0,033
UGS-02-D	30,846	30,874	30,871	30,864	0,014
CAT-03-D	30,869	30,897	30,894	30,887	0,037
CIM-03-D	30,854	30,882	30,879	30,872	0,022
PRO-03-D	30,856	30,884	30,881	30,874	0,024
UGS-03-D	30,862	30,890	30,887	30,880	0,030
CAT-04-D	30,863	30,891	30,888	30,881	0,031
CIM-04-D	30,847	30,875	30,872	30,865	0,015
PRO-04-D	30,867	30,895	30,892	30,885	0,035
UGS-04-D	30,844	30,872	30,869	30,862	0,012
BDT/BDÜ yazılımında model üzerinden alınan ölçü 30,85 mm'dir					

Çizelge 6.4'e bakıldığında BDT/BDÜ modelin ölçüsü ile deneysel işlenen modelin ölçüsü arasında yaklaşık 0,03 mm bir fark görülmektedir. Bu farkın model üzerinden alınan ölçüm sırasındaki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir.

C.K. Toh, sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin yüksek hızda işlenmesinde karmaşık yüzeyleri işlerken 6 tip takım yolu (çevreden paralel, parçadan paralel, karma orantılı, stok-parça paralel, paralel, en az-en fazla paralel) yüzey profillerini takip eden takım yolu stratejisinin (çevre paralel) işleme zamanını düşürme ve yüzey kalitesini geliştirme amaçlı işlemede ideal takım yolu tekniği olduğunu açıklamıştır [19]. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen bulguların, Toh'un yaptığı çalışma sonucuna paralel olduğu gözlenmiş ve bu sonuç 3 tip operasyon, 6 farklı işleme yöntemi ve 4 farklı BDT/BDÜ yazılımları kullanılarak genişletilmiş ve desteklenmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada karmaşık bir yüzey geometrisinin erkek ve dişi kalıp çekirdekleri (AISI P20), 4 farklı BDT/BDÜ yazılımı (Catia, Cimatron, Proengineer, Unigraphics) ve toplam 6 farklı işleme yöntemi (Zigzag, Çevre Paralel, Parça Paralel, Trochoidal, Radyal, Spiral) ile her çekirdekte 3 işleme operasyonu (kaba, ara ve bitirme) düzenlenerek teorik ve deneysel olarak işlenmiştir. Deneysel işlemler Deckel Maho DMC 103V model BSD Dik İşleme Merkezi'nde yapılmıştır. Deneylerde sırası ile kaba operasyonlarda gösterimi D16R4 mm olan takma uçlu parmak freze, ara operasyonlarda gösterimi D10R1,6 mm olan takma uçlu parmak freze ve bitirme operasyonlarında ise gösterimi D6R3 mm olan yekpare küresel uçlu karbür parmak freze kullanılmıştır. Kullanılan işleme parametreleri, kesici takım ve malzeme tedarikçisinin ön gördüğü değerler göz önünde bulundurularak verilmiştir. Tüm işleme parametreleri her bir yazılım için sabit kabul edilmiştir. Çalışmanın amacına uygun olarak BDT/BDÜ yazılımları aracılığıyla Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün 3 boyutlu yüzey modelinin işlenmesinde, aynı işleme parametreleri kullanılarak hangi işleme metodu kullanılırsa daha kısa sürede ve en düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilebilir üzerine teorik ve deneysel testler yapılmıştır. Teorik ve deneysel yüzey pürüzlülükleri ve işleme zamanları karşılaştırılmış ve hangi şartlarda en kısa işleme süresi ve mümkün olan en iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği araştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ön sertleştirilmiş kalıp malzemelerinin yüksek hızda BSD tezgâhlarda işlenmesinde BDT/BDÜ yazılımlarında takım yolu belirleme çalışmalarına referans olabilecek niteliktedir.

-Deneysel işlemlerde kaba boşaltmalarda yaklaşık $5,2 \text{ cm}^3/\text{dak}$ gibi yüksek bir talaş boşaltma hacmi yakalanmıştır. Bu değer dalma elektro erozyon kaba işleme hızına ($4,9 \text{ cm}^3/\text{dak}$) yakındır [1]. Fakat yüksek hızda talaş kaldırma sisteminin, dalma erozyon işlemeye göre elektrot hazırlama gibi bir maliyet gerektirmediği için daha olumlu ve daha karlı olduğu görülmektedir.

-Plastik enjeksiyon kalıp çekirdeklerinin BSD tezgâh ve BDT/BDÜ yazılımı entegrasyonu kullanılarak daha kısa sürede ve daha az işçilik ile işlenebildiği görülmüştür. Bunun sonucu olarak kalıp imalat maliyetleri önemli oranda azaltılmıştır.

-Plastik enjeksiyon kalıp çekirdeklerinin işlenmesinde düzenlenen kaba ve ara işleme operasyonlarında bitirme işlemeye nazaran daha fazla talaş hacminin kaldırıldığı görülmüştür. Dolayısıyla işleme zamanının önemli olduğu kaba ve ara işleme operasyonlarında çevre paralel takım yolu tipi en uygun olarak tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre kaba ve ara işleme operasyonlarında işleme süreleri açısından öncelik sırasına göre takım yolu tipi seçim konusunda çevre paralel, parça paralel, zigzag ve trochoidal sıralaması yapılabilir.

-Deneysel işlemler sonucunda erkek modellerin işlenmesinde spiral tipi takım yolu, dişi modellerde ise çevre paralel takım yolu tipi hedeflenen yüzey pürüzlülük değerine yakın sonuçlar vermiştir. Fakat bu duruma ters olarak erkek modellerin bitirme işleminde en uzun işleme süresini, dişi modellerin ise bitirme işleminde yüzey pürüzlülüğü açısından en olumsuz sonucu spiral takım yolu tipi vermiştir.

-Bu sonuçlar doğrultusunda kaba ve ara operasyonlara nazaran öncelikle hedeflenen yüzey kalitesinin elde edilmesi ardından da işleme zamanının önemli olduğu bitirme operasyonlarında da çevre paralel takım yolu tipi en uygun olarak tespit edilmiştir.

-Araştırmadan elde edilen bulgulara göre teorik ve deneysel işleme sürelerinin kaba ve ara operasyonlarda çevre paralel tipi takım yolunda, bitirme operasyonlarında ise spiral tipi takım yolunda birbirine yakın olduğu bulunmuştur. Bu tespit takım tezgâhının hızlanma ve yavaşlanma ivmelerinin dikkate alınması ve kullanılan takım ömrünün de uzun olması açısından dikkate alınmaya değer bir sonuçtur.

-Kalıp imalatındaki hassas ölçü toleransları ve yüzey pürüzlülük değerleri önemli olduğundan, geleneksel metodlarla kalıp imalatını tek tezgâhta tamamlamak mümkün değilken, yüksek hızda işleme teknolojisinde ise kalıp formu son şekle en

yakın seviyede işlenerek parlatma ve alıştırma işlemleri büyük ölçüde ortadan kaldırılabilmektedir.

-Deneysel işlemlerde, dişi ve erkek modeller üzerinden kaldırılan talaş hacimleri ve ağırlıkları her operasyon sonucu ölçülmüş ve EKLER kısmında çizelge halinde sunulmuştur. Buna göre tüm yazılımlarda ve her işleme operasyonu için kaldırılan talaş hacimleri birbirine yakın olmakla beraber ihmal edilebilir derecede farklılıklar olduğu görülmüştür.

-Yüksek hızda işlemede kaldırılan talaş miktarları düşük olduğundan takım fazla yük gelmeden yüksek hızlarda işleme yapılabilir. Talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan ısı geleneksel yöntemlere göre çok daha az olduğundan takım ömrü artmakta ve ısıdan dolayı malzemede oluşabilecek genleşmeler engellenmektedir.

-Kullanılan BDT/BDÜ yazılımlarında teorik takım yolu hesaplamalarında bilgisayar üzerinde geçen süre, deneysel işlemlerde tezgâh üzerinde geçen sürelerle paralellik göstermiştir. Bölüm 6'da verilen Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.3'e dayanarak kaba ve ara işleme operasyonlarında elde edilen işleme sürelerine göre çevre paralel takım yolu hesaplamalarını bilgisayarın daha kısa sürede sonuçlandığı görülmüştür. Aynı şekilde bitirme işlemede en uzun zamanı veren radyal işleme takım yolu hesaplarını bilgisayarın daha uzun sürede hesapladığı görülmüştür.

-Elde edilen bulgulara göre kalıp tasarım ve imalat endüstrisi için önemli olan kalıp işlemede, kısa işleme süresi ve iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmesi için işlenen kalıp geometrisi izin verdiği sürece çevre paralel tipi takım yolu öncelikli olarak seçilmelidir.

-İşlenecek model BDT/BDÜ yazılımlarına farklı uzantıda gelmiş, model dosyası üzerinde yüzey açıklıkları ve form bozuklukları tespit edilmiş ve bunlar giderilmeye çalışılmıştır. Ancak deneyim ve bilgi birikimi gerektiren yüzey modelleme tekniğinde bu sorunlar tam olarak istenen şekilde giderilememiştir. Bunun sonucu olarak modelin dişi çekirdeklerinin işlenmesinde yüzey açıklıkların olduğu

bölgelerde sivri adacıklar ve ters açılar oluşmuştur. Bu durum enjeksiyon kalıbının ölçüsel olarak üretiminde yanlışlığa ve kalıp alıştırmada zorluklara sebebiyet vermektedir.

-Araştırmaya göre bilgisayar destekli kalıp tasarımında, kalıp yüzeylerinin kusurlu (dalgalı, düzgün olmayan formlar, keskin dönüşler) olmasından kaynaklanan sebepler, kalıp imalat aşamasına direkt olarak yansımakta ve sonuç olarak istenilen son kalıp yüzeyleri düzgün elde edilememektedir.

Bu çalışmaya ek olarak tezgâhtan elde edilen yüzey pürüzlülüğünün parlatma ile ne kadar sürede elde edilebileceğine yönelik bir çalışma yapılabilir. Bu şekilde hangi yüzey pürüzlülüğü ile parlatma işlemine geçileceği teorik olarak tespit edilip kayıp zamanlar giderilebilir. Bunun yanı sıra kalıp çekirdeklerinin işlenmesinde günümüz işleme teknolojisinde popüler olan NC takım yolu optimizasyon ve NURBS eğrileri ile işleme stratejisi kullanılarak işleme süreleri ve yüzey kalitesi açısından ne kadar bir kazanç sağlandığı hakkında bir deneysel araştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Mangır, A., “DIN 1.2767 çeliğinin yüksek hızda işleme teknolojisiyle işlenmesinde elde edilen yüzey özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-20 (2004).
2. Salomon, C., “Process for metal machining of metals of similarly acting materials when being worked by cutting tools”, **German Patent No: 523594**, (1931).
3. Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., “A review of ultra high sped milling of hardened steels”, **Journal of Materials Processing Technology**, Birmingham, UK, 69: 1-17 (1996).
4. Destombes, Y., “Very high speed machining of ferrous and Solid composite materials”, **The Winter Annual Meeting of ASME**, New Orleans, USA, 263-286, (1984).
5. Chaplin, J., Miller, J.A., and King, R.I., “Summary of recent Lockheed research in high speed machining”, **9th North America Manufacturing Research Conference**, Pennsylvania, USA, 311-317, (1981).
6. Schulz, H., and Moriwaki, T., “High speed machining” **Annual CIRP**, 41(2): 637-643, (1992).
7. Smith, G.T., “Ultra high Speed Machining-the problems associated with Spindle designs, tooling and machined parts when milling”, **2nd International Conference Flexible Automation and Information Management (FAIM)**, USA, 947-961, (1992).
8. Erdim, H., Lazoğlu, İ., Öztürk, B., “Feedrate scheduling strategies for free fom surfaces”, **International Journal of Machine Tools&Manufacture**, 46: 747-757 (2005).
9. Flutter, A., Todd, J., “A machining strategy for toolmaking”, **Computer Aided Design**, 33: 1009-1022 (2001).
10. Chen-Ming, C., Hong-Tzong, Y., “A new approach to Z-level Contour Machining of triangulated surface models using fillet endmills”, **Computer Aided Design**, 37: 1039-1051 (2005).
11. Toh, C.K., “Surface topography analysis in high speed milling inclined hardened steel” , **Process Engineering**, 33: 308-321 (2004).
12. Toh, C.K., “Cutter path strategies in high speed rough milling of hardened steel” , **Materials and Design**, 27: 107-114 (2006).

13. Toh, C.K., "Comparision of chip surface temprature between up and down milling orientations in high speed rough milling of hardened steel" , *Journal of Material Processing Technology*, 167: 110-118 (2005).
14. Nakagawa, T., "Emerging new Technologies in milling", *7th International Conference of Tool, Die and Mold Industry International Special Tooling Association*, Bergamo, Italy, 85, (1992).
15. Gaida, W.R., Rodriguez, C.A., Atlan, T., and Altintas, Y., "Preliminary experiments for adaptive finish milling of Surface on Cutting conditions", *Journal of Mechanical Working Technology*, 20: 105-119, (1995).
16. Hock, S., "Hockgeschwindigketisfrasen im werkzeug und formenbau, Tagugsband zum Darmstadter Bifahrungsforum Werkzeug und Formenbau" *Kortengustigern Formen in Kurzerer Zeit*, 1-20, (1995).
17. Schulz, H., "High speed machining- some of the latest developments", *Metalworking World(Sandvik Coromant)*, Metalcutting technical guide, 32-34, (1994).
18. Kauppinen, V., Paro, J., Nieminen, I., "High speed milling in tooling production", *Journal of Materials Processing Technology*, 52(1): 27-34, (1995).
19. Toh, C.K., "Design, evulation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials" , *Materials & Design*, 26: 517-533 (2005).
20. Toh, C.K., "A study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling" , *Journal of Material Processing Technology*, 152: 346-356 (2004).
21. Bo, H.Kim., Byoung, K.Choi., "Machining efficiency comparision direction parallel tool path with contour-parallel tool path" , *Computer Aided Design*, 34: 89-95 (2002).
22. Bagard, P., "Bilans technico-economiques entre usinage a grande vitesse et using convectionnel", *Process Conference Journals Information CETIM*, Senlis, France, 85-96, (1994).
23. Aspinwall, D.K., Dwes, R.C., "Ultra high Speed Machining of hardened ferrous alloys", *EPSRC Case of Support*, School of manufacturing and mechanical enginnering, University of Birmingham, 50-65, (1994).
24. Özses, B., "Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 9-15 (2002).

25. Çelikay, G., “CAD/CAM sistemlerinin seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 2-10 (2000).
26. Yakın, M., “Mekanik endüstride CAD/CAM sistemlerinin seçimi ve etkin kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 23-25 (1998).
27. Gamsız, E., “CNC takım tezgâhlarında hızlı talaş kaldırma prosesinin teorik ve deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 11-35 (2000).
28. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgâhları”, **Birsan Yayınevi** İstanbul, 34-73 (1992).
29. Makino die/mold division support manual, “Die/Mold Process High Speed Machining for Milling Machines”, Publication No:1262_3, **Makino Inc.**, USA, 20-75, (1998).
30. Oral, A., Gerger, N., “CNC frezeleme işlemleri için işlenebilirlik veri tabanı yazılımı”, **XII. Uluslararası Yapay Zeka ve Sinir Ağları Sempozyumu**, Balıkesir, 2-6 (2003).
31. Varlık, F., “Kalıp Üretiminde Yüksek Hızda İşleme Teknikleri Seminer Notları”, **Makino-CNC İleri Teknoloji Paz. Ltd. Şti. Kalıpcılık Semineri**, İstanbul, 50-64, (2002).
32. Akkurt, M., “Bilgisayar destekli takım tezgâhları (CNC) ve bilgisayar destekli tasarım ve imalat (CAD/CAM) sistemleri”, **Birsan Yayınevi**, İstanbul, 49-103 (1997).
33. Ersoyoğlu, A.S., Ünüvar, A., “CAD/CAM sistemlerinde takım yolu oluşturma teknikleri”, **Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi MATİT 2001**, Konya, 294-310, (2001)
34. “High Productive Milling”, Sandvik-Coromat, **Metalworking World**, 4-30, (2004)
35. Faruk MERT Arşivinden, (2007).
36. Eroğlu Takım Tutucu Kataloğu, Eroğlu Makine Sanayi, Bursa, **Eroğlu Ajans**, 78-83, (2006).
37. Catia, Cimatron, Pro/Engineer, Unigraphics yazılımlarının tanıtım katalogları, İstanbul, **Ajansmilk**, 102-108, (2006).
38. Sağlam Metal Takım Çelikleri Kataloğu, Sağlam Metal Çelik Ticaret ve Sanayi A.Ş., İstanbul, **Yonca Ajans**, 98-99, (2006).

39. Garryson, TaeguTec, Innotool frezeleme takım katalogları, Korea, **TaeguTec Group Presses**, 24-43, (2006).
40. Deckel Maho DMC 103V tezgâh kataloğu, DMG Group, Germany, **DMG Presses**, 12-13 (2005).
41. Time TR200 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Ürün Broşürü, Labomar teknolojik Çözümler, İstanbul, **Prestij Yayıncılık**, 4, (2005).

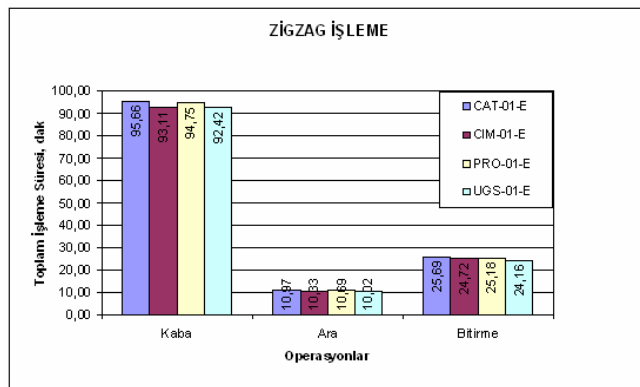
EKLER

EK-1 Zigzag işleme yönteminin dört yazılım ve üç operasyon için ayrıntılı işleme uzunluğu ve süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri

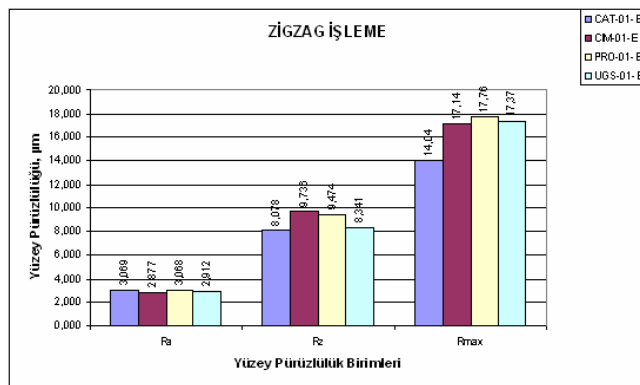
Çizelge 1.1. Zigzag işleme yönteminin boşta ve kesme yapan işleme uzunlukları ve işleme süreleri [35]

G0		Kaba			Ara			Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-01-E	ZIGZAG	181754	18,18	ZIGZAG	20843	2,08	ZIGZAG	10276	1,03
CIM-01-E		176909	17,69		19627	1,96		9888	0,99
PRO-01-E		180025	18,00		20311	2,03		10072	1,01
UGS-01-E		175598	17,56		19038	1,90		9664	0,97

G1		Kaba			Ara			Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-01-E	ZIGZAG	387423	77,48	ZIGZAG	17771	8,89	ZIGZAG	86318	24,66
CIM-01-E		377096	75,42		16735	8,37		83059	23,73
PRO-01-E		383738	76,75		17318	8,66		84605	24,17
UGS-01-E		374301	74,86		16232	8,12		81178	23,19



Şekil 1.1. Zigzag işleme yönteminin toplam işleme süreleri [35]



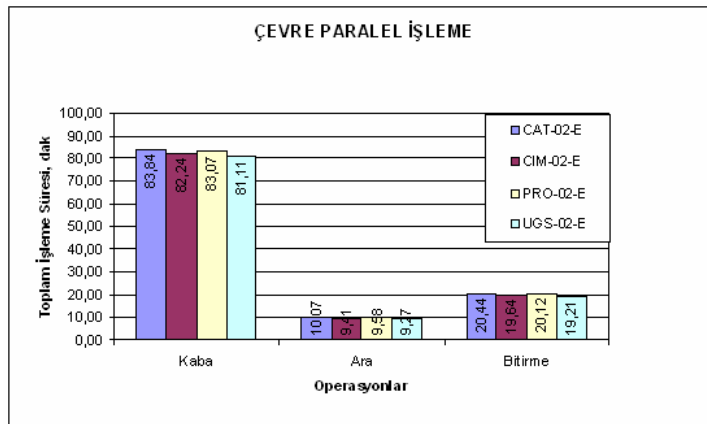
Şekil 1.2. Zigzag işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

EK-2 Çevre paralel işleme yönteminin dört yazılım ve üç operasyon için ayrıntılı işleme uzunluğu ve süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri

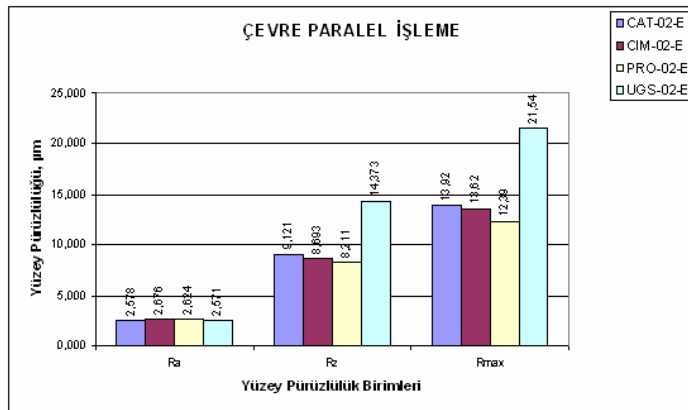
Çizelge 2.1. Çevre paralel işleme yönteminin boşta ve kesme yapan işleme uzunlukları ve işleme süreleri [35]

G0		Kaba			Ara			Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-02-E	ÇEVRE PARALEL	92224	9,22	ÇEVRE PARALEL	11077	1,11	ÇEVRE PARALEL	4088	0,41
CIM-02-E		90464	9,05		10351	1,04		3928	0,39
PRO-02-E		91377	9,14		10538	1,05		4024	0,40
UGS-02-E		89221	8,92		10197	1,02		3842	0,38

G1		Kaba			Ara			Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-02-E	ÇEVRE PARALEL	373088	74,62	ÇEVRE PARALEL	17925	8,96	ÇEVRE PARALEL	70109	20,03
CIM-02-E		365968	73,19		16750	8,37		67365	19,25
PRO-02-E		369662	73,93		17052	8,53		69012	19,72
UGS-02-E		360940	72,19		16501	8,25		65890	18,83



Şekil 2.1. Çevre paralel işleme yönteminin toplam işleme süreleri [35]



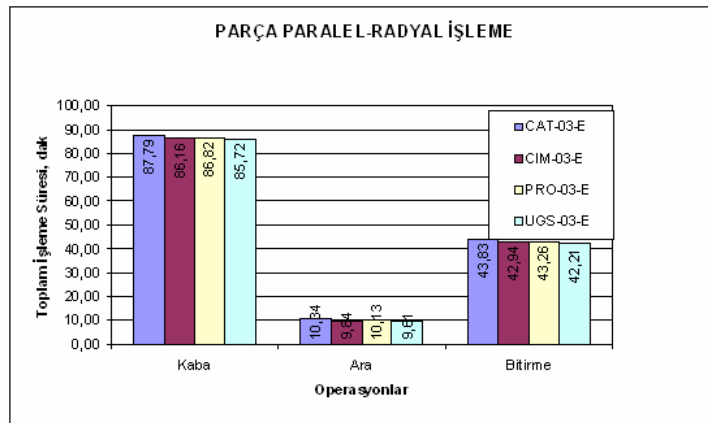
Şekil 2.2. Çevre paralel işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

EK-3 Parça paralel-radyal işleme yönteminin dört yazılım ve üç operasyon için ayrıntılı işleme uzunluğu ve süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri

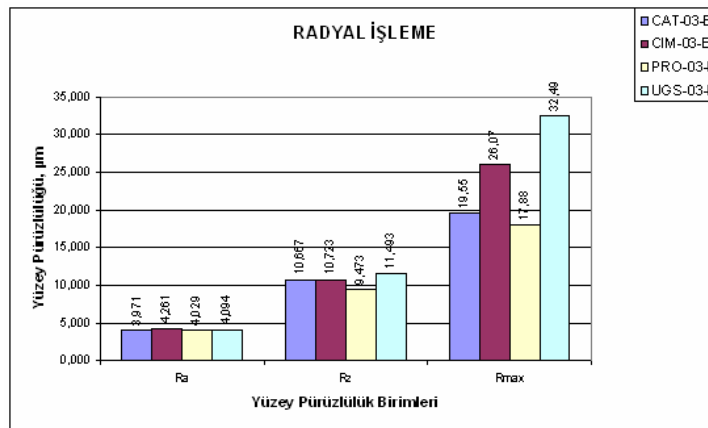
Çizelge 3.1. Parça paralel-radyal işleme yönteminin boşta ve kesme yapan işleme uzunlukları ve işleme süreleri [35]

60		Kaba			Ara			Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-03-E	PARÇA PARALEL	140464	14,05	PARÇA PARALEL	16544	1,65	RADYAL	4383	0,44
CIM-03-E		137856	13,79		15744	1,57		4294	0,43
PRO-03-E		138912	13,89		16208	1,62		4326	0,43
UGS-03-E		137152	13,72		15376	1,54		4221	0,42

61		Kaba			Ara			Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-03-E	PARÇA PARALEL	368718	73,74	PARÇA PARALEL	17371	8,69	RADYAL	151871	43,39
CIM-03-E		361872	72,37		16531	8,27		148787	42,51
PRO-03-E		364644	72,93		17018	8,51		149896	42,83
UGS-03-E		360024	72,00		16145	8,07		146258	41,79



Şekil 3.1. Parça paralel-radyal işleme yönteminin toplam işleme süreleri [35]



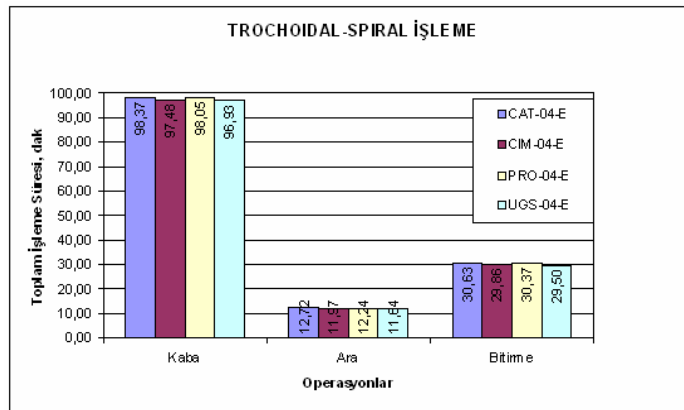
Şekil 3.2. Radyal işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

EK-4 Trochoidal-spiral işleme yönteminin dört yazılım ve üç operasyon için ayrıntılı işleme uzunluğu ve süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri

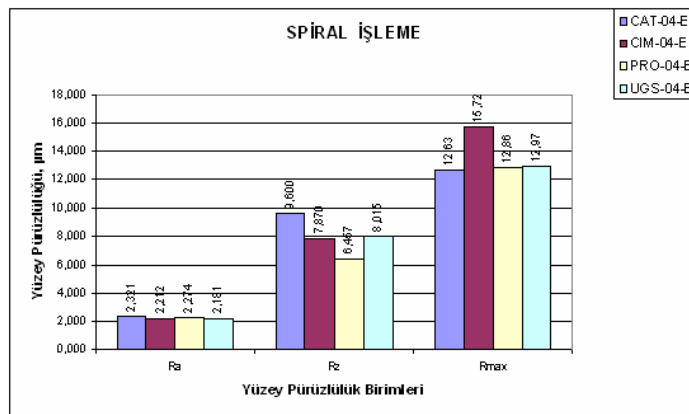
Çizelge 4.1. Trochoidal-spiral işleme yönteminin boşa ve kesme yapan işleme uzunlukları ve işleme süreleri [35]

G0		Kaba		Ara		Bitirme			
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-04-E	TROCHOIDAL	127881	12,79	TROCHOIDAL	16536	1,65	SİRAL	3063	0,31
CIM-04-E		126724	12,67		15561	1,56		2986	0,30
PRO-04-E		127465	12,75		15912	1,59		3037	0,30
UGS-04-E		126009	12,60		15132	1,51		2950	0,30

G1		Kaba		Ara		Bitirme			
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-04-E	TROCHOIDAL	427910	85,58	TROCHOIDAL	22133	11,07	SİRAL	106133	30,32
CIM-04-E		424038	84,81		20828	10,41		103465	29,56
PRO-04-E		426518	85,30		21298	10,65		105232	30,07
UGS-04-E		421646	84,33		20254	10,13		102218	29,21



Şekil 4.1. Trochoidal-spiral işleme yönteminin toplam işleme süreleri [35]



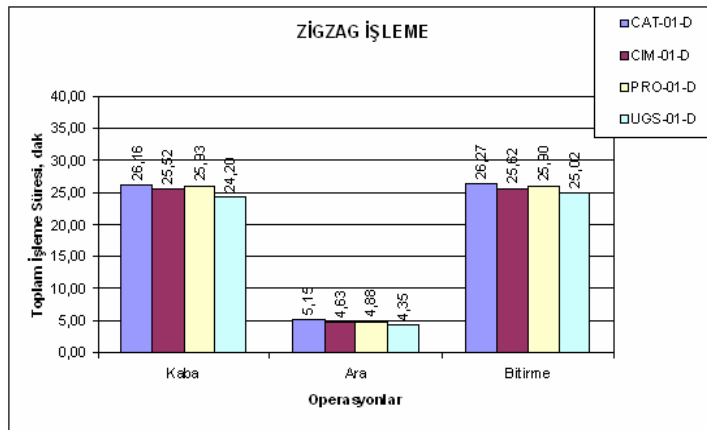
Şekil 4.2. Spiral işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

EK-5 Zigzag işleme yönteminin dört yazılım ve üç operasyon için ayrıntılı işleme uzunluğu ve süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri

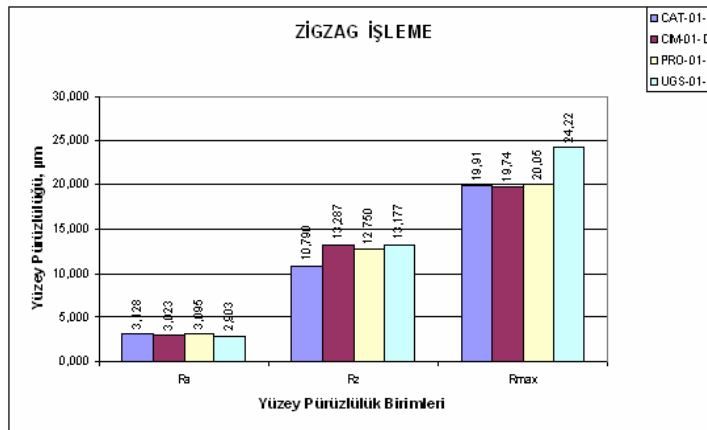
Çizelge 5.1. Zigzag işleme yönteminin boşta ve kesme yapan işleme uzunlukları ve işleme süreleri [35]

G0		Kaba		ZİGZAG	Ara		ZİGZAG	Bitirme	
CAT-01-D	ZİGZAG	Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
		47088	4,71	ZİGZAG	9270	0,93	ZİGZAG	10508	1,05
		45936	4,59		8334	0,83		10248	1,02
		46674	4,67		8784	0,88		10360	1,04
		43560	4,36		7830	0,78		10008	1,00

G1		Kaba		ZİGZAG	Ara		ZİGZAG	Bitirme	
CAT-01-D	ZİGZAG	Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
		107256	21,45	ZİGZAG	8446	4,22	ZİGZAG	88267	25,22
		104632	20,93		7593	3,80		86083	24,60
		106313	21,26		8003	4,00		87024	24,86
		99220	19,84		7134	3,57		84067	24,02



Şekil 5.1. Zigzag işleme yönteminin toplam işleme süreleri [35]



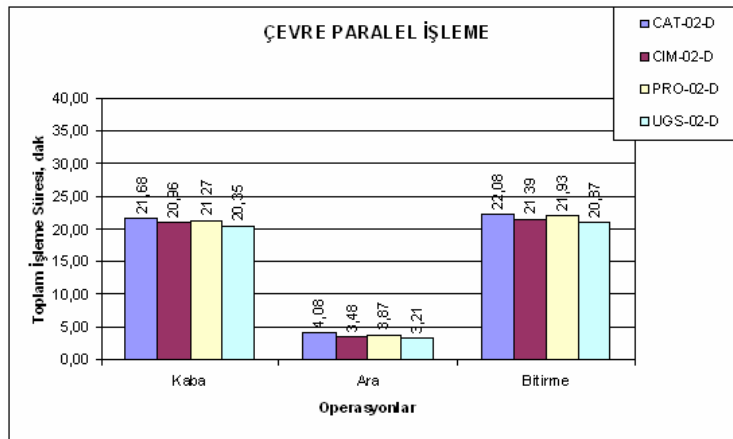
Şekil 5.2. Zigzag işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

EK-6 Çevre paralel işleme yönteminin dört yazılım ve üç operasyon için ayrıntılı işleme uzunluğu ve süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri

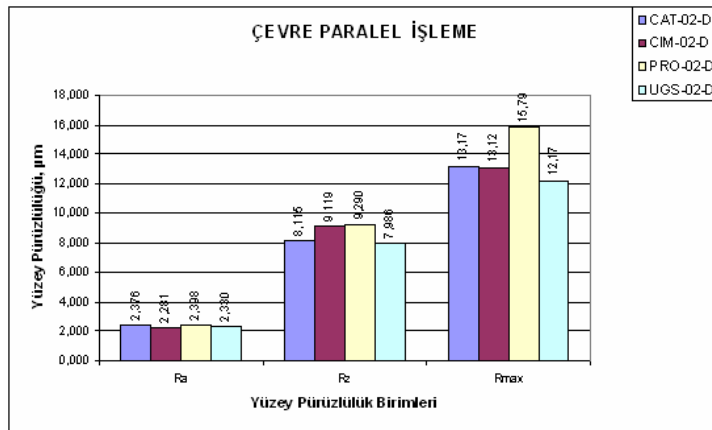
Çizelge 6.1. Çevre paralel işleme yönteminin boşta ve kesme yapan işleme uzunlukları ve işleme süreleri [35]

G0		Kaba		Ara		Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)	Uzunluk (mm)	Zaman (dak)	Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-02-D	ÇEVRE PARALEL	19512	1,95	3672	0,37	4416	0,44
CIM-02-D		18864	1,89	3132	0,31	4278	0,43
PRO-02-D		19143	1,91	3483	0,35	4386	0,44
UGS-02-D		18315	1,83	2889	0,29	4174	0,42

G1		Kaba		Ara		Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)	Uzunluk (mm)	Zaman (dak)	Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-02-D	ÇEVRE PARALEL	98644	19,73	7426	3,71	75734	21,64
CIM-02-D		95368	19,07	6334	3,17	73368	20,96
PRO-02-D		96779	19,36	7043	3,52	75220	21,49
UGS-02-D		92593	18,52	5842	2,92	71584	20,45



Şekil 6.1. Çevre paralel işleme yönteminin toplam işleme süreleri [35]



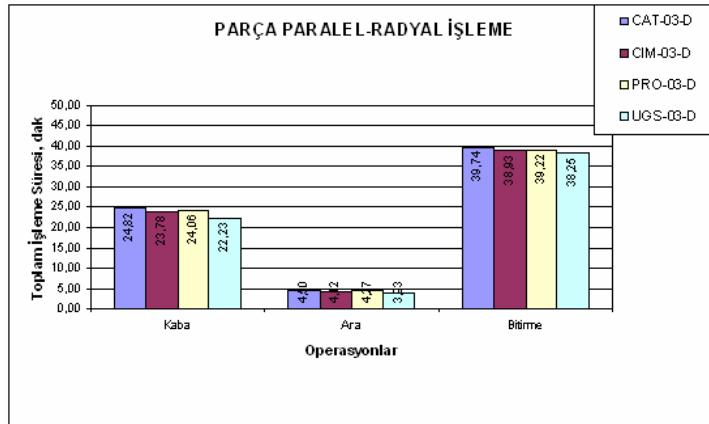
Şekil 6.2. Çevre paralel işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

EK-7 Parça paralel-radyal işleme yönteminin dört yazılım ve üç operasyon için ayrıntılı işleme uzunluğu ve süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri

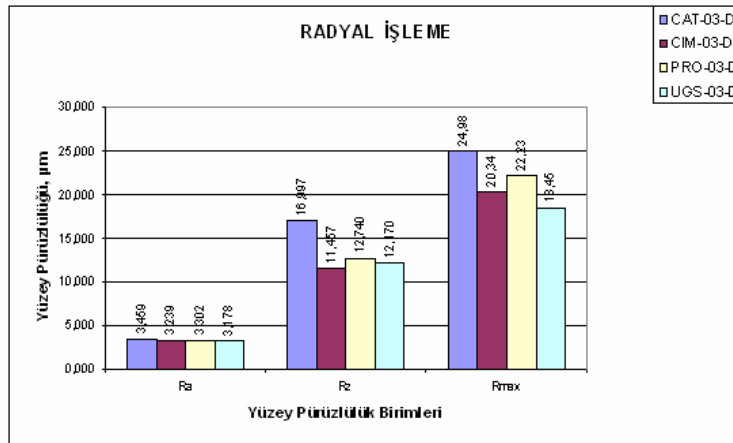
Çizelge 7.1. Parça paralel-radyal işleme yönteminin boşta ve kesme yapan işleme uzunlukları ve işleme süreleri [35]

G0		Kaba				Ara				Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)			Uzunluk (mm)	Zaman (dak)			Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-03-D	PARÇA PARALEL	29784	2,98	PARÇA PARALEL		5400	0,54	RADYAL		3974	0,40
CIM-03-D		28536	2,85			4944	0,49			3893	0,39
PRO-03-D		28872	2,89			5124	0,51			3922	0,39
UGS-03-D		26676	2,67			4716	0,47			3825	0,38

G1		Kaba				Ara				Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)			Uzunluk (mm)	Zaman (dak)			Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-03-D	PARÇA PARALEL	109208	21,84	PARÇA PARALEL		7920	3,96	RADYAL		137699	39,34
CIM-03-D		104632	20,93			7251	3,63			134892	38,54
PRO-03-D		105864	21,17			7515	3,76			135897	38,83
UGS-03-D		97812	19,56			6917	3,46			132536	37,87



Şekil 7.1. Parça paralel-radyal işleme yönteminin toplam işleme süreleri [35]



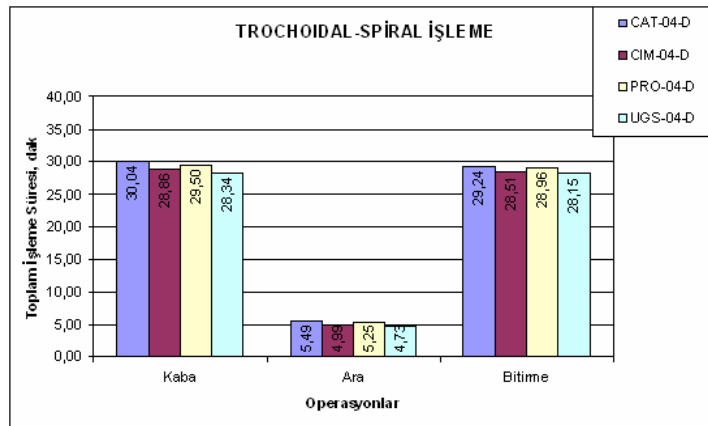
Şekil 7.2. Radyal işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

EK-8 Trochoidal-spiral işleme yönteminin dört yazılım ve üç operasyon için ayrıntılı işleme uzunluğu ve süresi ve yüzey pürüzlülük değerleri

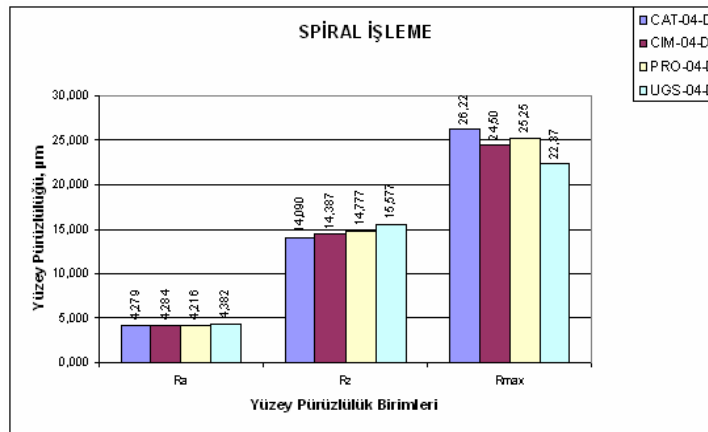
Çizelge 8.1. Trochoidal-spiral işleme yönteminin boşa ve kesme yapan işleme uzunlukları ve işleme süreleri [35]

G0		Kaba			Ara			Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-04-D	TROCHOIDAL	42056	4,81	TROCHOIDAL	7686	0,88	SİRAL	2924	0,29
CIM-04-D		40404	4,62		6986	0,80		2851	0,29
PRO-04-D		41300	4,72		7350	0,84		2896	0,29
UGS-04-D		39676	4,53		6622	0,76		2815	0,28

G1		Kaba			Ara			Bitirme	
		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)		Uzunluk (mm)	Zaman (dak)
CAT-04-D	TROCHOIDAL	129172	25,23	TROCHOIDAL	9443	4,61	SİRAL	101317	28,95
CIM-04-D		124098	24,24		8583	4,19		98787	28,22
PRO-04-D		126850	24,78		9030	4,41		100346	28,67
UGS-04-D		121862	23,81		8136	3,97		97540	27,87



Şekil 8.1. Trochoidal-spiral işleme yönteminin toplam işleme süreleri [35]

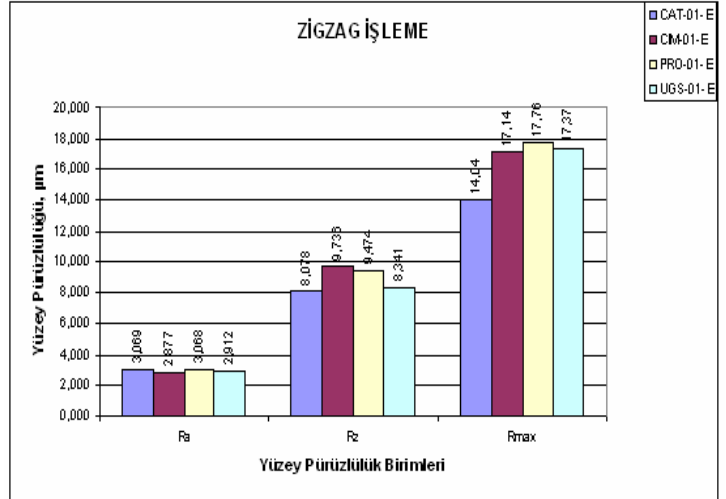


Şekil 8.2. Spiral işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

EK-9 Erkek ve dişi modellerin her bir deney için detaylı yüzey pürüzlülük ölçümleri

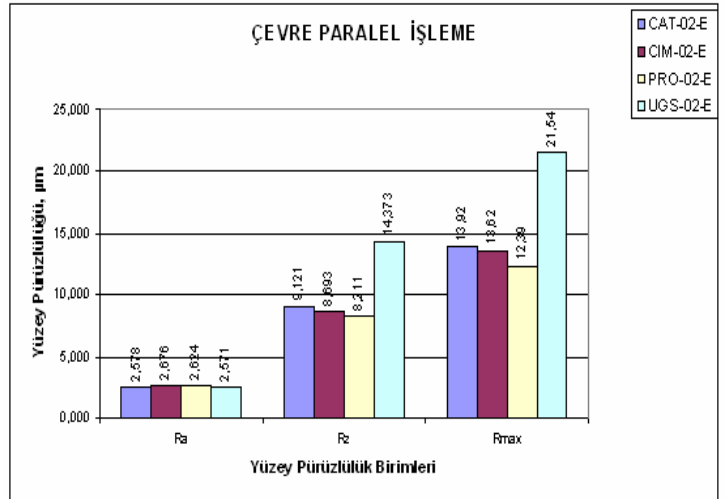
Çizelge 9.1. Zigzag işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

		ZİGZAG İŞLEME		
		Ra, µm	Rz, µm	Rmax, µm
CAT-01-E	1. ÖLÇÜM	3,113	8,19	14,41
	2. ÖLÇÜM	3,088	7,982	13,78
	3. ÖLÇÜM	3,006	8,063	13,92
	ORTALAMA	3,069	8,078	14,04
CIM-01-E	1. ÖLÇÜM	2,871	9,708	17,08
	2. ÖLÇÜM	2,878	9,736	17,13
	3. ÖLÇÜM	2,881	9,763	17,22
	ORTALAMA	2,877	9,736	17,14
PRO-01-E	1. ÖLÇÜM	3,035	9,519	17,26
	2. ÖLÇÜM	3,094	9,51	17,98
	3. ÖLÇÜM	3,075	9,392	18,03
	ORTALAMA	3,068	9,474	17,76
UGS-01-E	1. ÖLÇÜM	2,911	8,343	17,26
	2. ÖLÇÜM	2,899	8,352	17,26
	3. ÖLÇÜM	2,925	8,329	17,59
	ORTALAMA	2,912	8,341	17,37



Çizelge 9.2. Çevre paralel işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

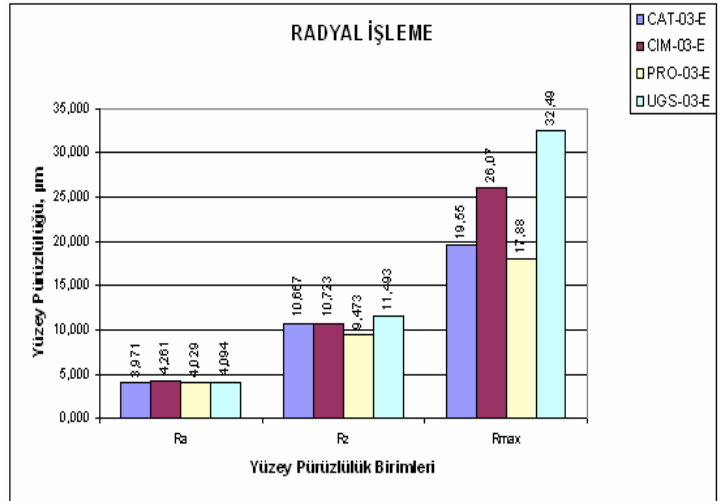
		ÇEVRE PARALEL İŞLEME		
		Ra, µm	Rz, µm	Rmax, µm
CAT-02-E	1. ÖLÇÜM	2,647	9,211	14,19
	2. ÖLÇÜM	2,609	9,238	14,23
	3. ÖLÇÜM	2,477	8,913	13,33
	ORTALAMA	2,578	9,121	13,92
CIM-02-E	1. ÖLÇÜM	2,667	8,615	13,51
	2. ÖLÇÜM	2,683	8,741	13,69
	3. ÖLÇÜM	2,679	8,723	13,65
	ORTALAMA	2,676	8,693	13,62
PRO-02-E	1. ÖLÇÜM	2,613	8,163	12,33
	2. ÖLÇÜM	2,628	8,226	12,38
	3. ÖLÇÜM	2,631	8,244	12,47
	ORTALAMA	2,624	8,211	12,39
UGS-02-E	1. ÖLÇÜM	2,567	14,15	20,06
	2. ÖLÇÜM	2,564	14,38	21,83
	3. ÖLÇÜM	2,582	14,59	22,73
	ORTALAMA	2,571	14,373	21,54



EK-9 (Devam) Erkek ve dişi modellerin her bir deney için detaylı yüzey pürüzlülük ölçümleri

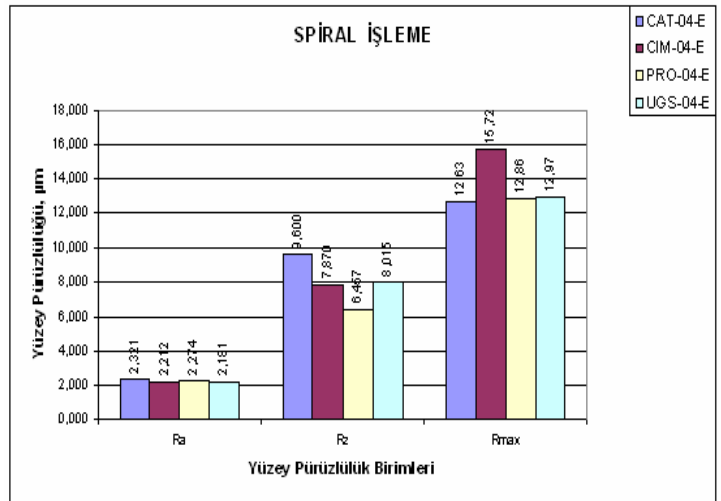
Çizelge 9.3. Radyal işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

		RADYAL İŞLEME		
		Ra, µm	Rz, µm	Rmax, µm
CAT-03-E	1. Ölçüm	4,011	10,78	19,71
	2. Ölçüm	3,942	10,44	18,98
	3. Ölçüm	3,96	10,78	19,97
	ORTALAMA	3,971	10,667	19,55
CIM-03-E	1. Ölçüm	4,267	10,79	26,03
	2. Ölçüm	4,255	10,67	26,08
	3. Ölçüm	4,262	10,71	26,09
	ORTALAMA	4,261	10,723	26,07
PRO-03-E	1. Ölçüm	4,026	9,453	17,80
	2. Ölçüm	4,017	9,428	17,85
	3. Ölçüm	4,043	9,537	17,98
	ORTALAMA	4,029	9,473	17,88
UGS-03-E	1. Ölçüm	4,106	11,45	32,31
	2. Ölçüm	4,184	11,71	33,26
	3. Ölçüm	3,992	11,32	31,91
	ORTALAMA	4,094	11,493	32,49



Çizelge 9.4. Spiral işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

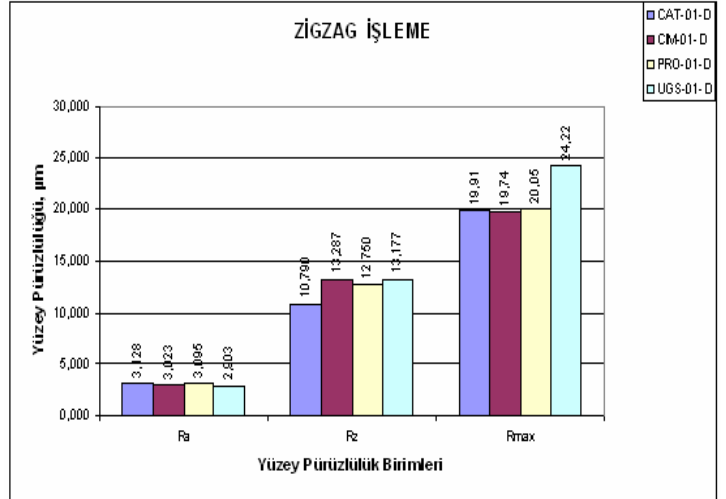
		SİRAL İŞLEME		
		Ra, µm	Rz, µm	Rmax, µm
CAT-04-E	1. Ölçüm	2,334	9,519	12,38
	2. Ölçüm	2,319	9,636	12,71
	3. Ölçüm	2,31	9,645	12,79
	ORTALAMA	2,321	9,600	12,63
CIM-04-E	1. Ölçüm	2,206	7,882	15,68
	2. Ölçüm	2,209	7,891	15,77
	3. Ölçüm	2,222	7,837	15,72
	ORTALAMA	2,212	7,870	15,72
PRO-04-E	1. Ölçüm	2,275	6,635	12,79
	2. Ölçüm	2,31	6,698	13,06
	3. Ölçüm	2,237	6,038	12,74
	ORTALAMA	2,274	6,457	12,86
UGS-04-E	1. Ölçüm	2,194	8,036	12,92
	2. Ölçüm	2,177	7,982	13,01
	3. Ölçüm	2,173	8,027	12,97
	ORTALAMA	2,181	8,015	12,97



EK-9 (Devam) Erkek ve dişi modellerin her bir deney için detaylı yüzey pürüzlülük ölçümleri

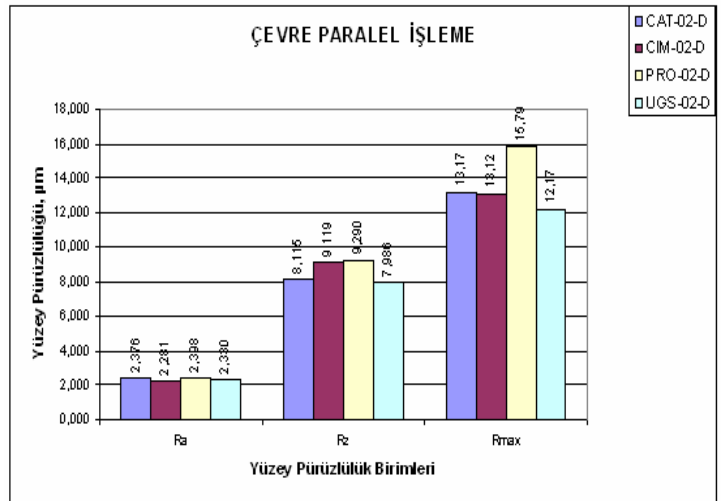
Çizelge 9.5. Zıg Zag işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

		ZİGZAG İŞLEME		
		Ra, μm	Rz, μm	Rmax, μm
CAT-01-D	1. ÖLÇÜM	3,107	10,71	19,63
	2. ÖLÇÜM	3,114	10,88	19,82
	3. ÖLÇÜM	3,162	10,78	20,29
	ORTALAMA	3,128	10,790	19,91
CIM-01-D	1. ÖLÇÜM	3,015	13,31	19,72
	2. ÖLÇÜM	3,018	13,24	19,63
	3. ÖLÇÜM	3,037	13,31	19,87
	ORTALAMA	3,023	13,287	19,74
PRO-01-D	1. ÖLÇÜM	3,088	12,78	20,02
	2. ÖLÇÜM	3,095	12,45	20,04
	3. ÖLÇÜM	3,101	13,02	20,10
	ORTALAMA	3,095	12,750	20,05
UGS-01-D	1. ÖLÇÜM	2,889	13,01	24,45
	2. ÖLÇÜM	2,917	13,19	24,18
	3. ÖLÇÜM	2,902	13,33	24,04
	ORTALAMA	2,903	13,177	24,22



Çizelge 9.6. Çevre paralel işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri

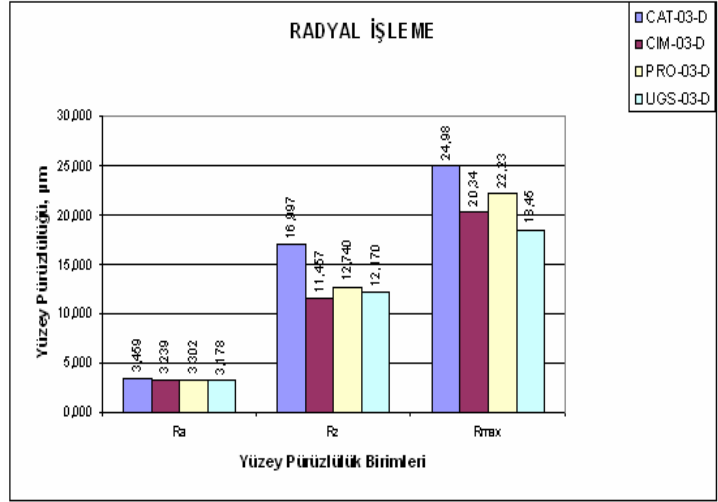
		ÇEVRE PARALEL İŞLEME		
		Ra, μm	Rz, μm	Rmax, μm
CAT-02-D	1. ÖLÇÜM	2,368	8,123	13,12
	2. ÖLÇÜM	2,379	8,114	13,23
	3. ÖLÇÜM	2,38	8,108	13,15
	ORTALAMA	2,376	8,115	13,17
CIM-02-D	1. ÖLÇÜM	2,252	9,1	13,12
	2. ÖLÇÜM	2,297	9,137	13,12
	3. ÖLÇÜM	2,295	9,119	13,12
	ORTALAMA	2,281	9,119	13,12
PRO-02-D	1. ÖLÇÜM	2,409	9,374	16,01
	2. ÖLÇÜM	2,395	9,329	15,81
	3. ÖLÇÜM	2,39	9,166	15,54
	ORTALAMA	2,398	9,290	15,79
UGS-02-D	1. ÖLÇÜM	2,322	8,052	12,46
	2. ÖLÇÜM	2,336	7,967	12,08
	3. ÖLÇÜM	2,331	7,939	11,98
	ORTALAMA	2,330	7,986	12,17



EK-9 (Devam) Erkek ve dişi modellerin her bir deney için detaylı yüzey pürüzlülük ölçümleri

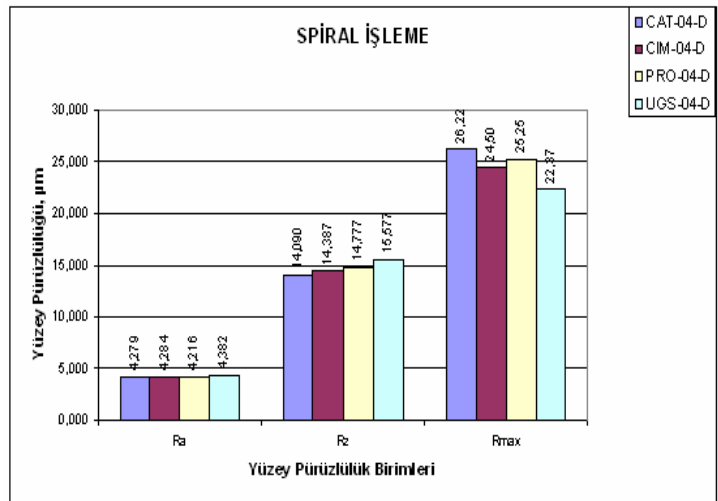
Çizelge 9.7. Radyal işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

		RADYAL İŞLEME		
		Ra, µm	Rz, µm	Rmax, µm
CAT-03-D	1. Ölçüm	3,458	17,01	24,99
	2. Ölçüm	3,453	17,03	24,95
	3. Ölçüm	3,467	16,95	24,99
	ORTALAMA	3,459	16,997	24,98
CTM-03-D	1. Ölçüm	3,274	11,49	20,29
	2. Ölçüm	3,234	11,47	20,29
	3. Ölçüm	3,209	11,41	20,43
	ORTALAMA	3,239	11,457	20,34
PRO-03-D	1. Ölçüm	3,302	12,73	22,24
	2. Ölçüm	3,294	12,67	22,16
	3. Ölçüm	3,309	12,82	22,30
	ORTALAMA	3,302	12,740	22,23
UGS-03-D	1. Ölçüm	3,201	12,25	18,54
	2. Ölçüm	3,22	12,14	18,31
	3. Ölçüm	3,113	12,12	18,30
	ORTALAMA	3,178	12,170	18,45



Çizelge 9.8. Spiral işleme yönteminin yüzey pürüzlülük değerleri [35]

		SİRAL İŞLEME		
		Ra, µm	Rz, µm	Rmax, µm
CAT-04-D	1. Ölçüm	4,324	14,11	26,71
	2. Ölçüm	4,267	14,08	26,14
	3. Ölçüm	4,246	14,08	25,81
	ORTALAMA	4,279	14,090	26,22
CTM-04-D	1. Ölçüm	4,288	14,39	24,47
	2. Ölçüm	4,273	14,34	24,55
	3. Ölçüm	4,291	14,43	24,48
	ORTALAMA	4,284	14,387	24,50
PRO-04-D	1. Ölçüm	4,203	14,86	25,35
	2. Ölçüm	4,243	14,63	25,04
	3. Ölçüm	4,201	14,84	25,36
	ORTALAMA	4,216	14,777	25,25
UGS-04-D	1. Ölçüm	4,408	15,55	22,56
	2. Ölçüm	4,374	15,67	22,37
	3. Ölçüm	4,363	15,51	22,18
	ORTALAMA	4,382	15,577	22,37



EK-10 Erkek ve dişi modellerin işlemelerinde her bir deney ve operasyonda kaldırılan talaş ağırlıkları ve hacimleri

Çizelge 10.1. Erkek modellerin işlenmesinde kaldırılan talaş ağırlığı ve hacimleri[35]

Erkek Modellerin İşleme Operasyonlarında Kaldırılan Talaş Ağırlıkları ve Hacimleri								
Ham Malzeme 8300 gr	Kaba		Ara		Bitirme		Toplam	
	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)
CAT-01-E	2734	350,513	56	7,179	45	5,769	2835	363,462
CIM-01-E	2735	350,641	55	7,051	44	5,641	2834	363,333
PRO-01-E	2729	349,872	60	7,692	46	5,897	2835	363,462
UGS-01-E	2737	350,897	59	7,564	44	5,641	2840	364,103
CAT-02-E	2731	350,128	62	7,949	45	5,769	2838	363,846
CIM-02-E	2739	351,154	57	7,308	42	5,385	2838	363,846
PRO-02-E	2732	350,256	67	8,590	46	5,897	2845	364,744
UGS-02-E	2735	350,641	68	8,718	42	5,385	2845	364,744
CAT-03-E	2745	351,923	55	7,051	40	5,128	2840	364,103
CIM-03-E	2731	350,128	58	7,436	43	5,513	2832	363,077
PRO-03-E	2741	351,410	59	7,564	40	5,128	2840	364,103
UGS-03-E	2735	350,641	64	8,205	44	5,641	2843	364,487
CAT-04-E	2730	350,000	59	7,564	43	5,513	2832	363,077
CIM-04-E	2731	350,128	59	7,564	43	5,513	2833	363,205
PRO-04-E	2732	350,256	62	7,949	40	5,128	2834	363,333
UGS-04-E	2729	349,872	65	8,333	41	5,256	2835	363,462

Çizelge 10.2. Dişi modellerin işlenmesinde kaldırılan talaş ağırlığı ve hacimleri [35]

Dişi Modellerin İşleme Operasyonlarında Kaldırılan Talaş Ağırlıkları ve Hacimleri								
Ham Malzeme 5300 gr	Kaba		Ara		Bitirme		Toplam	
	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)
CAT-01-D	851	109,103	55	7,051	45	5,769	951	121,923
CIM-01-D	848	108,718	55	7,051	44	5,641	947	121,410
PRO-01-D	849	108,846	49	6,282	46	5,897	944	121,026
UGS-01-D	853	109,359	52	6,667	44	5,641	949	121,667
CAT-02-D	855	109,615	53	6,795	45	5,769	953	122,179
CIM-02-D	846	108,462	58	7,436	42	5,385	946	121,282
PRO-02-D	853	109,359	48	6,154	46	5,897	947	121,410
UGS-02-D	844	108,205	55	7,051	42	5,385	941	120,641
CAT-03-D	849	108,846	53	6,795	40	5,128	942	120,769
CIM-03-D	851	109,103	49	6,282	43	5,513	943	120,897
PRO-03-D	847	108,590	54	6,923	40	5,128	941	120,641
UGS-03-D	849	108,846	54	6,923	44	5,641	947	121,410
CAT-04-D	843	108,077	52	6,667	42	5,385	937	120,128
CIM-04-D	846	108,462	48	6,154	43	5,513	937	120,128
PRO-04-D	845	108,333	53	6,795	40	5,128	938	120,256
UGS-04-D	843	108,077	47	6,026	41	5,256	931	119,359

EK-11 Deneylerin yapılmasında izlenen şema

Çizelge 11.1. Deneylerin planlanması ve kodlamasının gösterimi [35]

Erkek Modeller				Dişi Modeller			
Deney No	Deney Kodu	Operasyon Adı	Operasyon Kodu	Deney No	Deney Kodu	Operasyon Adı	Operasyon Kodu
1	CAT-01-E	Kaba	CAT-01-E-K	17	CAT-01-D	Kaba	CAT-01-D-K
		Ara	CAT-01-E-A			Ara	CAT-01-D-A
		Bitirme	CAT-01-E-B			Bitirme	CAT-01-D-B
2	CAT-02-E	Kaba	CAT-02-E-K	18	CAT-02-D	Kaba	CAT-02-D-K
		Ara	CAT-02-E-A			Ara	CAT-02-D-A
		Bitirme	CAT-02-E-B			Bitirme	CAT-02-D-B
3	CAT-03-E	Kaba	CAT-03-E-K	19	CAT-03-D	Kaba	CAT-03-D-K
		Ara	CAT-03-E-A			Ara	CAT-03-D-A
		Bitirme	CAT-03-E-B			Bitirme	CAT-03-D-B
4	CAT-04-E	Kaba	CAT-04-E-K	20	CAT-04-D	Kaba	CAT-04-D-K
		Ara	CAT-04-E-A			Ara	CAT-04-D-A
		Bitirme	CAT-04-E-B			Bitirme	CAT-04-D-B
5	CIM-01-E	Kaba	CIM-01-E-K	21	CIM-01-D	Kaba	CIM-01-D-K
		Ara	CIM-01-E-A			Ara	CIM-01-D-A
		Bitirme	CIM-01-E-B			Bitirme	CIM-01-D-B
6	CIM-02-E	Kaba	CIM-02-E-K	22	CIM-02-D	Kaba	CIM-02-D-K
		Ara	CIM-02-E-A			Ara	CIM-02-D-A
		Bitirme	CIM-02-E-B			Bitirme	CIM-02-D-B
7	CIM-03-E	Kaba	CIM-03-E-K	23	CIM-03-D	Kaba	CIM-03-D-K
		Ara	CIM-03-E-A			Ara	CIM-03-D-A
		Bitirme	CIM-03-E-B			Bitirme	CIM-03-D-B
8	CIM-04-E	Kaba	CIM-04-E-K	24	CIM-04-E	Kaba	CIM-04-D-K
		Ara	CIM-04-E-A			Ara	CIM-04-D-A
		Bitirme	CIM-04-E-B			Bitirme	CIM-04-D-B
9	PRO-01-E	Kaba	PRO-01-E-K	25	PRO-01-D	Kaba	PRO-01-D-K
		Ara	PRO-01-E-A			Ara	PRO-01-D-A
		Bitirme	PRO-01-E-B			Bitirme	PRO-01-D-B
10	PRO-02-E	Kaba	PRO-02-E-K	26	PRO-02-D	Kaba	PRO-02-D-K
		Ara	PRO-02-E-A			Ara	PRO-02-D-A
		Bitirme	PRO-02-E-B			Bitirme	PRO-02-D-B
11	PRO-03-E	Kaba	PRO-03-E-K	27	PRO-03-D	Kaba	PRO-03-D-K
		Ara	PRO-03-E-A			Ara	PRO-03-D-A
		Bitirme	PRO-03-E-B			Bitirme	PRO-03-D-B
12	PRO-04-E	Kaba	PRO-04-E-K	28	PRO-04-D	Kaba	PRO-04-D-K
		Ara	PRO-04-E-A			Ara	PRO-04-D-A
		Bitirme	PRO-04-E-B			Bitirme	PRO-04-D-B
13	UGS-01-E	Kaba	UGS-01-E-K	29	UGS-01-D	Kaba	UGS-01-D-K
		Ara	UGS-01-E-A			Ara	UGS-01-D-A
		Bitirme	UGS-01-E-B			Bitirme	UGS-01-D-B
14	UGS-02-E	Kaba	UGS-02-E-K	30	UGS-02-D	Kaba	UGS-02-D-K
		Ara	UGS-02-E-A			Ara	UGS-02-D-A
		Bitirme	UGS-02-E-B			Bitirme	UGS-02-D-B
15	UGS-03-E	Kaba	UGS-03-E-K	31	UGS-03-D	Kaba	UGS-03-D-K
		Ara	UGS-03-E-A			Ara	UGS-03-D-A
		Bitirme	UGS-03-E-B			Bitirme	UGS-03-D-B
16	UGS-04-E	Kaba	UGS-04-E-K	32	UGS-04-D	Kaba	UGS-04-D-K
		Ara	UGS-04-E-A			Ara	UGS-04-D-A
		Bitirme	UGS-04-E-B			Bitirme	UGS-04-D-B

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MERT, Faruk
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.09.1982 / Kars
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 255 14 88
 Mobile : 0 (505) 341 0793
 e-mail : 36faruk@mynet.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniv./ Kalıpcılık Öğretmenliği	2004
Lise	İzmir Çınarlı Teknik Lisesi/Kalıp Bölümü	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2006	Mikropor A.Ş./ANKARA	Kalıphane Şefi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- *Mert, F., Tosun, M., Karataş, Ç., “Hızlı Prototip ve Hızlı Kalıp Üretim Teknolojileri”, *MetalMakina*, Ocak-Şubat 2005, Sf. 354-358

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Mesleki Fuar ve Organizasyonlar, Internet, Futbol, Seyahat