

# Dişi ve Erkek Kalıp Çeliklerinin İşlenmesinde Bilgisayar Destekli Takım Yolu Oluşturma Yöntemlerinin İşleme Süresine ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Faruk MERT, Onuralp ULUER, Abdulmecit GÜLDAŞ, Ahmet ÖZDEMİR

## ÖZET

Bilgisayar Destekli Tasarım, Bilgisayar Destekli Üretim ve Bilgisayar Destekli Mühendislik yazılımları, kalıp çekirdeklerinin işlenmesinde vazgeçilemez unsurlardır. Bu çalışmada, kalıp tasarım ve üretimi için endüstride yaygın olarak kullanılan Catia, Cimatron, Pro-Engineer ve Unigraphics olmak üzere 4 farklı yazılımdan faydalanılmıştır. Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün yüz geometrisinin 3 boyutlu yüzey modeli, AISI P20 kalıp çeliğine erkek ve dişi kalıp çekirdekleri olarak işlenmiştir. Kalıp çekirdekleri kaba, ara ve bitirme pasoları dikkate alınarak kalıp çekirdekleri işlenmiştir. Zig zag, Çevre Paralel, Parça Paralel, Trochoidal<sup>1</sup>, Radyal ve Spiral olmak üzere 6 farklı işleme yöntemi seçilmiştir. Belirlenen 6 farklı işleme tipi hem uygulanmış hem de benzetim olarak gerçekleştirilmiştir. Benzetim ve uygulamadan elde edilen işleme süreleri ve yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde; en uygun takım yolunun çevre paralel tipi işleme yöntemiyle elde edildiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Bilgisayar destekli takım yolu oluşturma, Takım yolu stratejisi, Erkek ve dişi kalıp çekirdekleri, İşleme süresi, Yüzey pürüzlülüğü.

## The Effects of Computer Aided Tool Path Generation Methods on the Machining Times and the Surface Roughness in Machining of a Mold Core and a Mold Cavity

### ABSTRACT

Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing and Computer Aided Engineering softwares are very important tools for designing and manufacturing of the cores and the cavities. In this study, four softwares such as Catia, Cimatron, Pro-Engineer and Unigraphics which are well known in the industrial applications were used. The 3D face geometry of Gazi Mustafa Kemal Atatürk is manufactured as a core and a cavity taking into consideration of the first roughing, second roughing and finishing steps respectively. The cores and the cavities were manufactured using the six different tool path strategies such as zig zag, contour parallel, part parallel, trochoidal, radial and spiral. According to simulated and applied machining times and the surface roughness values, it is determined that the most appropriate tool path is contour parallel.

**Keywords :** Computer aided tool path generation, tool path strategy, core and cavity, machining time, surface roughness.

### 1 GİRİŞ

Kalıp tasarımı ve imalatında bilgisayar destekli yazılımların kullanılması kalıbın kalitesi, maliyeti ve tasarım/üretim süresini etkileyen en önemli etkidir. Gelişen teknolojiyi yakalayabilen birçok kalıp imalat-

çısı, kalıp işlemeyi doğrudan talaş kaldırma yöntemiyle bitirmeyi amaçlamaktadır. İşleme süresinin azaltılması, kalıp maliyetini ciddi anlamda düşürmektedir. İşlemeyi izleyen kalıp parlatma süreci ve maliyeti, kalıbın işleme sürecinden ve elde edilen yüzey pürüzlülüğünden doğrudan etkilenmektedir.

Makale 12.12.2007 tarihinde geldi, 07.06.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

F. MERT, \*G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 36faruk@gmail.com  
O. ULUER, A. GÜLDAŞ, A. ÖZDEMİR, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Ankara  
uluer@gazi.edu.tr, aguldass@gazi.edu.tr, ahmetoz@gazi.edu.tr  
Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.3.215-227

Geleneksel imalat yöntemlerinin yetersiz kaldığı karmaşık profil işlemede; Bilgisayar Destekli Tasarım, Üretim (BDT/BDÜ) ve Bilgisayarlı Sayısal Denetim (BSD) yazılım-donanım entegrasyonu veya Elektro Erozyonla İşleme (EDM) yöntemi kullanılmaktadır. EDM' de dar ve derin yüzeyleri istenilen yüzey pürüzlülüğü kalitesinde işlemek mümkündür. Fakat, bu yön-

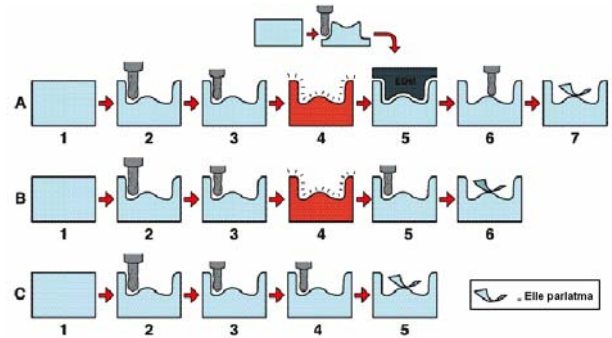
<sup>1</sup> Trochoidal işleme tipi, yüksek hızla işleme teknolojisinin kullanıldığı kaba işlemlerde, bir hat boyunca kesicinin sabit yarıçaplı dairesel hareketlerle talaş kaldırmasıdır [http://www.mmsonline.com/articles/020004.html].

tem ile en fazla  $5,0 \text{ cm}^3/\text{min}$  talaş kaldırılabilir [1]. Bu talaş miktarı, yüksek hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü gerektiren bitirme işlemlerinde daha da düşmektedir. Ayrıca, elektrot imalatı toplam kalıp üretim zamanına ek bir süre ve ek bir maliyet getirdiği gibi aynı zamanda iş parçası yüzeyinde çatlama ve gerilim problemlerini de 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 işlenebilmesi için BDT/BDÜ ve BSD sistemlerine dayalı hızlı işleme yöntemlerine yönelmiştir.

Kalıp imalat endüstrisinin, kalıp işlemede önemle üzerinde durduğu iki nokta vardır. Bunlar; kalıp çekirdeklerinin kısa sürede ve en iyi yüzey kalitesinde üretilmesidir. Kalıp üreticileri aynı makinada, en az maliyet ile kalıp işlemini hedeflemektedirler. Ancak, yapılan literatür araştırmaları ve endüstriyel deneyimler, aynı anda hem iyi yüzey pürüzlülüğü ve hem de kısa işleme süresi elde etmenin mümkün olamayacağını göstermiştir. Çünkü kısa sürede imalat için özellikle kaba boşaltmalarda birim zamanda kaldırılan talaş hacmi artacaktır. Birim zamanda kaldırılan talaşın artmasıyla bsd makina ve kesici takım üzerinde aşırı yüklerin oluşması kaçınılmazdır. Diğer taraftan son işleme operasyonlarının daha kısa sürede bitirilmesi, kalıp işleme takımının büyük yanıl kayma ve yüksek ilerleme değerlerinde çalışmasını gerektirmektedir. Bu da takımın kısa sürede aşınmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak işlenen kalıp çekirdeklerinin yüzey pürüzlülük değerleri, kalıp parlatma süresini ve kalıp maliyetini artırmaktadır. Bu durum kalıp imalat sürecinin en zor ve üzerinde en çok düşünülmesi gereken noktadır.

Yakın zamana kadar kalıp imalatında doğrudan talaş kaldırma yöntemi kullanarak kaba ve hassas işlemlerde yeterli hassasiyeti elde etmek mümkün olmamaktaydı. Elektronik ve bilgisayar teknolojisinde son çeyrek asırda görülen hızlı gelişim, BDT ve BDÜ yazılımları ile BSD makina kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. BDÜ yazılım çeşitlerinin artması, BSD makina yeteneklerinin artması, kesici takım ve kalıp malzemelerindeki ilerlemeler kalıp imalatında elektro erozyon

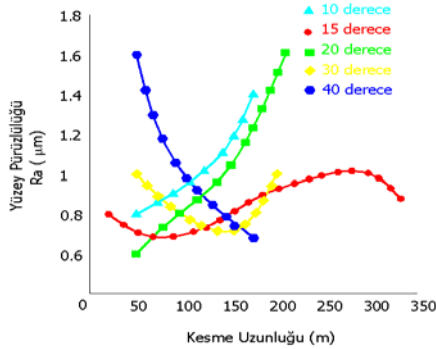
kullanma ve parlatma işlemlerini en aza indirmiştir. Şekil 1’ de görüldüğü gibi, kalıp parçaları üretilirken geleneksel işleme yöntemlerinde üretim süreci kaba işleme, ara işleme, ısıl işlem, EDM ile işleme, bitirme işleme ve parlatma aşamalarından oluşmaktadır [2]. Yüksek hızda işleme teknolojisinin kullanıldığı kalıp üretim süreci ise, Kaba işleme, ara işleme, bitirme işleme ve parlatma aşamalarından oluşmaktadır. Yüksek hızda işleme yöntemi ile üretilen kalıp çekirdekleri geleneksel yöntemle göre %30-50 oranında daha kısa sürede üretilmektedir [2]. Yüksek hızda işleme yönteminin bir diğer avantajı da kalıp yüzeylerinin yüksek kalitede olması ve malzeme iç yapısının daha kararlı olmasıdır. Bu nedenle, kalıpcılık endüstrisi son yıllarda geleneksel işleme yöntemleri ve EDM yöntemi ile kalıp imalat sürecini bırakarak yüksek hızda işleme yöntemleri ile üretim yapmayı tercih etmeye başlamıştır.



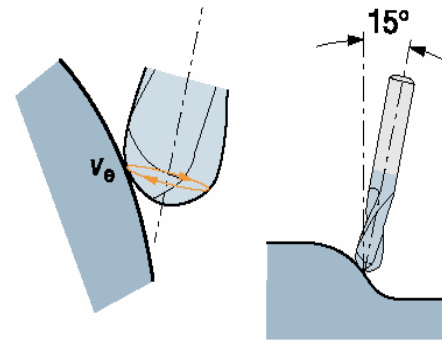
Şekil 1. Kalıp çekirdeklerinin işleme basamakları [2] (1: Ham malzeme, 2: Kaba işleme, 3: Ara işleme, 4: Isıl işlem, 5: EDM, 6: Bitirme işleme, 7: Parlatma).

## 2. HIZLI TALAŞ KALDIRMA SİSTEMİ

Yüksek hızda talaş kaldırma terimi, genellikle küçük çaplı takımlarla ( $d \leq 10 \text{ mm}$ ), yüksek devirde ( $n \geq 10.000 \text{ dev/dak}$ ) ve yüksek ilerlemede ( $f \geq 2000 \text{ mm/dak}$ ) frezeleme işlemi olarak bilinir [3]. Bu teknoloji, günümüzde popüler hale gelmiş olan sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin kullanıldığı enjeksiyon kalıpcılığında yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak kesici takıma ait işlenebilirlik verilerinin, işleme yapılan makinanın ve hızlı işleme operasyonunun doğru olarak seçilmesi, takım yolu parça geometrisine göre değerlendirilmesinin yapılmasını gerektirmektedir.



a)

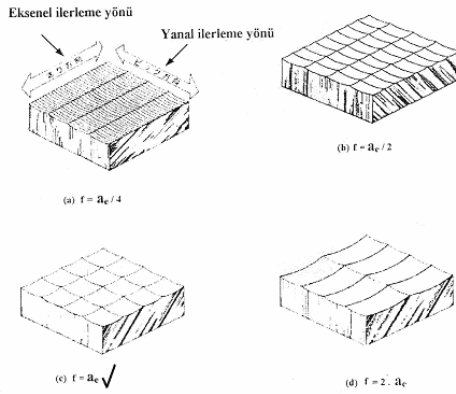


b)

Şekil 2. Açılı yüzey işlemede kesme uzunluğu-yüzey pürüzlülüğü grafiği [4]

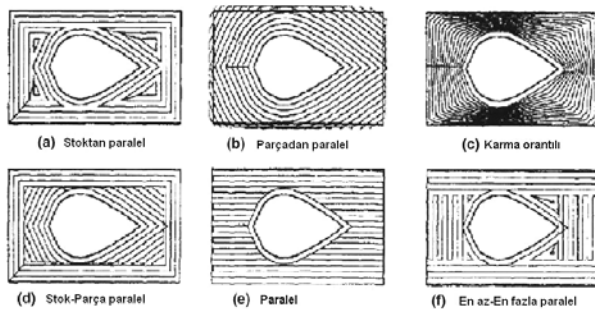
Yüksek hızlı işlemede, yüzey kalitesi üzerine yapılan ilk çalışmalar, küresel uçlu frezelerin etkili kullanımına yönelik olmuştur. Gaida ve arkadaşları [4], 32 HRc sertliğinde AISI P20 plastik enjeksiyon kalıp çeliğinin  $10^0$ ,  $15^0$ ,  $20^0$ ,  $30^0$  ve  $40^0$  eğim açılarıyla işlenmesini incelemiştir (Şekil 2). Bu çalışmaya göre, farklı işleme açılarında en iyi kesme uzunluğu  $15^0$  açıyla işlemede olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra yüksek kesme hızlarında ve düşük talaş derinliklerinde takımın daha az aşındığı ve daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiği ortaya çıkmıştır.

Benzer şekilde Mangır, A. [5], yaptığı araştırmada, 52 HRc sertliğindeki 1.2767 çeliğini karbür küresel parmak freze çakısı kullanarak değişik işleme açılarında, aynı kesme parametreleri ile işlemiştir (Şekil 3).  $15^0$  işleme açısında, ekstenel ilerleme ile yanıl ilerleme değerlerinin eşit tutulduğu durumda, iyi bir yüzey kalitesinin ( $0,02\mu\text{m Ra}$ ) elde edilebildiği belirtilmiştir.



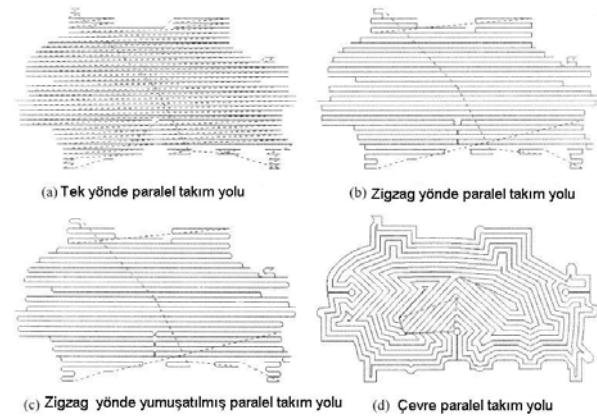
Şekil 3. Çeşitli ekstenel ilerleme-yanıl ilerleme oranlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [5]

Kalıp çekirdeklerinin işlenmesinde, iyi bir yüzey kalitesi kadar kısa işleme süresi de hedeflerdendir. İşleme sürelerine yönelik yapılan araştırmalar, takım aşınmadan dakikada kaldırılan talaş hacimlerinin artırılmasına yöneliktir. C. K. Toh [6], sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin yüksek hızlı işlenmesinde işleme zamanını düşürmede kullanılan yöntem ve takım yolu yöntemleri üzerine bir çalışma yapmıştır (Şekil 4). Bir düzlem üzerindeki karmaşık geometriler işlendiğinde, yüzey profilini takip eden takım yolu yönteminin, işleme zamanını düşürme ve talaş kaldırma oranını geliştirme amaçlı işlemede ideal takım yolu tekniği olduğu açıklanmıştır.



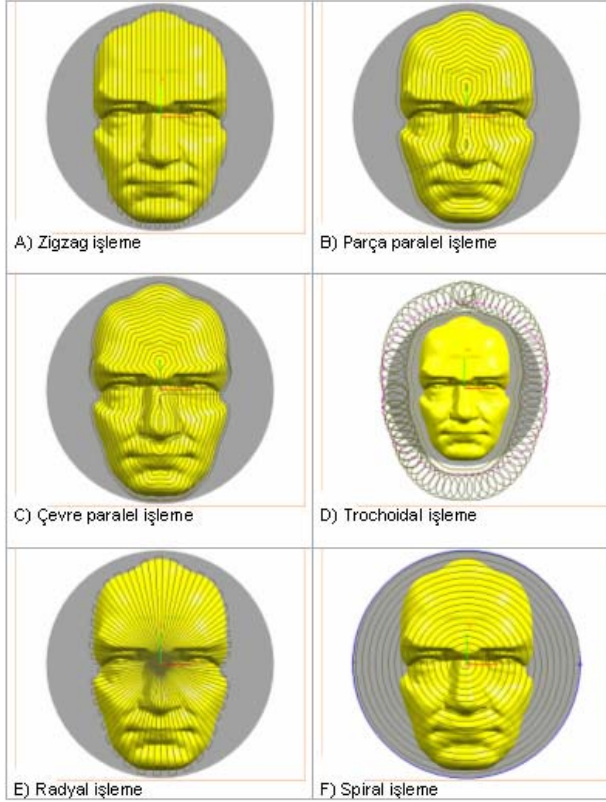
Şekil 4. Gelişmiş takım yolu stratejileri [6].

İşleme süresi, kalıp işleme maliyetinde büyük bir öneme sahiptir. İşleme süresinin azaltılması ile kalıp maliyetleri azaltılabilir. Teorik olarak hesaplanan işleme süreleri ile uygulamadaki işleme süreleri büyük farklılıklar göstermektedir. Bu farkın büyük olması, işleme maliyetinin yanlış hesaplanmasına neden olmaktadır. BDÜ yazılımlarıyla elde edilen süreleri ile BSD makina üzerinde geçen işleme sürelerinin farkına neden olan etkenler araştırmacıların incelediği konular arasında olmuştur. Bo H. Kim ve Byoung K. Choi [7], yaptıkları çalışmada, BSD tezgâhlarının hızlanma ve yavaşlama ivmelerini dikkate alan bir işleme zamanı modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modelin kullanılmasıyla kalıp üretiminde yaygın olarak kullanılan üç tip direkt takım yolu (tek yönde, zig zag yönde ve yumuşatılmış zig zag yönde) ile çevre paralel takım yolunun işleme verimliliği karşılaştırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Geleneksel 3 tip paralel takım yolu ile çevre paralel takım yolu [7]

Yapılan bu çalışmada, yüksek hızlı işlemede takım yolu oluşturulurken tezgâhın ani hızlanma ve yavaşlama 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. Deneyler sonucunda, yumuşatılmış zig zag takım yolunun, takım yolu uzunluğu ve ilerlemeye bakılmaksızın en etkili takım yolu olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, yumuşatılmış zig zag takım yolunun yüksek ilerlemelerde bile yavaşlama ve hızlanma ivmelerini dikkate aldığı görülmüştür. Çalışmada, Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün yüz geometrisini işlemek için zigzag, parça paralel, çevre paralel, trochoidal, radyal ve spiral olmak üzere 6 farklı takım yolu dikkate alınmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Takım yolu tiplerinin Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün yüz geometrisinin yüzey modeli üzerinde gösterilmesi.

### 3. TALAS KALDIRMA İŞLEMLERİ

Endüstride yaygın olarak kullanılan BDÜ programlarında, ihtiyaç ve talepler doğrultusunda oluşan çok çeşitli takım yolu oluşturma yöntemleri bulunmaktadır. Şekil 6'da verilen bu yöntemler, üretim yapılacak iş üzerindeki bulunan gerekli yerlerin işlenmesinde BDÜ yazılımı kullanıcısının tercihine göre belirlenmektedir. Bu yöntemlerin birçoğu birbirine yakın olmakla birlikte en uygun yöntem, işleme şartlarının seçimi BDÜ kullanıcısının tecrübesine göre yapılmaktadır.

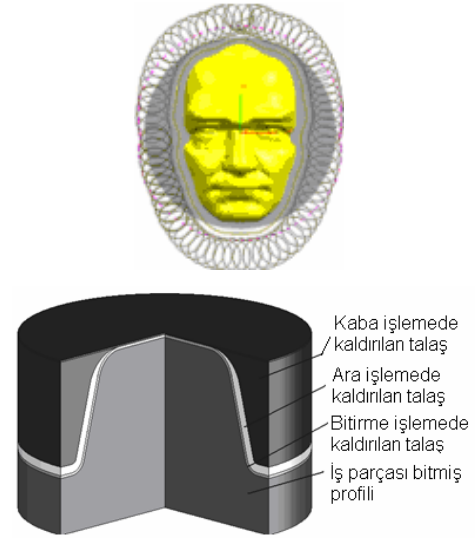
Kalıp imalat endüstrisinde, kalıp dişi ve erkek çekirdeklerin yüksek hızlı işlenmesinde genellikle 3 aşama izlenmektedir. Bu aşamalar kaba, ara ve bitirme operasyonları olarak adlandırılmaktadır.

**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 doğruluğunun ve yüzey pürüzlülüğünün önemi yoktur. Uzun takım ömrü ve yüksek talaş kaldırma performansı sağladığı için takma uçlu parmak freze takımları seçilmektedir. Bununla birlikte sertleştirilmiş çeliklerin kaba işlenmesinde kenarı yuvarlatılmış veya küresel uçlu freze çakıları da kullanılmaktadır.

Araştırmalar, kaba işlemede, işleme zamanını belirleyen en önemli faktörün işleme derinliği ve buna bağlı paso sayısı olduğunu göstermiştir. [8]. Kaba işlemede çok düzgün bir kesme derinliği dağılımı sağlan-

arak kalan talaş homojen bırakılabilirse ara işleme yükü azalmakta ve hatta ara işleme göz ardı edilebilmektedir.

İstenen iş parçasının elde edilmesinde ham parçadan en fazla talaş, kaba işlemede atılır (Şekil 7). Bu nedenle verimliliği artırmak ve işleme zamanını en aza indirmek amacıyla iyi bir işleme yöntemi seçimi bu aşamada çok önemlidir. İşleme zamanını azaltmak ve gereksiz takım hareketlerini engellemek amacıyla işlenecek geometri birkaç alt geometriye bölünmelidir.



Şekil 7. Kalıp işlemede işleme operasyonları talaş miktarları.

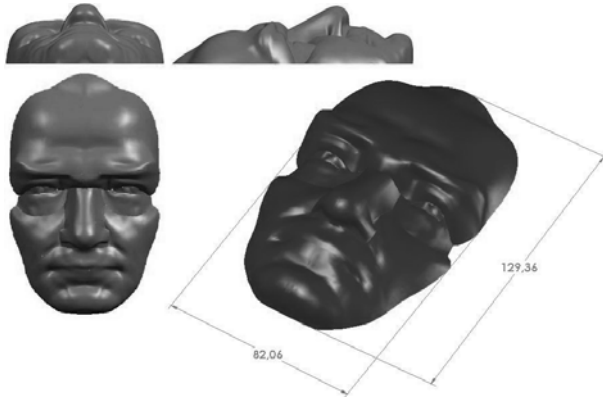
**Ara işleme :** Bitirme işlem için bırakılan talaş payı göz önüne alınarak daha küçük çaplı bir takım, kaba işleme sırasında talaş kaldırılamayan bölgelerden talaş kaldırma aşamasıdır. Ara işleme, bitirme işlemi için homojen talaş payı dağılımı sağlamak için yapılır. Bu operasyon getirdiği ek maliyet nedeniyle günümüz kalıp imalat endüstrisinde çoğu kez kullanılmamaktadır [9]. Her zaman kaba işleme sonrası iş parçası üzerinde bitirme işlemi için eşit bir talaş dağılımı bırakılması mümkün olmayabilir. Bu durumda bitirme işleminde kullanılacak takıma gelecek olan farklı kesme yükü dağılımları, işlenecek parçanın yüzey kalitesinin kötü çıkmasına sebep olarak ölçüsel kararlılığın bozulmasına yol açacaktır. Bunun yanı sıra takım üzerine gelen yükler dengeli dağılım göstermediğinden takım ömrü bitirme operasyonunda kısa olacaktır.

**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 bitirme işleme, düşük ilerleme ve kesme derinliklerinden dolayı en yüksek işleme zamanını kapsamaktadır. Bitirme işlemede genellikle ara işleme sonrası parça yüzeyinde eşit dağılmış halde bırakılmış olan talaş payı temizlenir. Derin çukurlar ve çok sayıda küçük dip kavislerinin yer aldığı geometrilerde, frezeleme yöntemi ile son şekli verme yapılamamaktadır. Bu nedenle freze çakısının giremediği kısımlar EDM yöntemi ile işlenir [10]. EDM işlemi sonrasında istenilen yüzey kalitesini

elde etmek için genellikle elle yapılan ilave parlatma işlemleri uygulanır.

Bitirme işlemede takım yolu uzunluğu, işlenen yüzey geometrisine, kesici çapına ve istenilen yüzey kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Bitirme işlemede bir yüzeyin işlenmesinde genelde iki parametre üzerine iyileştirme yapılır; takım yolu uzunluğu ve yüzey kalitesi. Takım yolunun kısa olması sonucunda işlenen yüzey pürüzlülüğü artacaktır. Bu durumda istenilen yüzey pürüzlülüğüne erişebilmek için iş parçası yüzeyine ek bir işlem (parlatma, kaplama) yapmak gerekecektir. Fakat takım yolunun çok uzun olması durumunda da işleme zamanı artacaktır. Burada önemli olan nokta, istenilen yüzey kalitesini en kısa işleme zamanında elde etmek ve dolayısıyla en düşük maliyeti azaltmaktır.

Ara işleme sonrası bitirme işlemeye bırakılan talaş payının iş parçası üzerinde her noktada aynı olması sağlanmalıdır. Bunun en önemli sebebi bitirme operasyonunda takım üzerine gelen yükleri her zaman sabitleyerek her noktada eşit yüzey pürüzlülüğünü sağlayabilmektir[11]. Farklı takım yolu yöntemlerinin işleme süresi ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemek amacıyla Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün yüz geometrisinin yüzey modeli işlenmiştir. Dört farklı BDÜ programı kullanılarak bilgisayar ortamında işleme benzetimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, benzetimi yapılan takım yolları BSD tezgâhında üretilerek elde edilen işleme süreleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 8. Gazi Mustafa Kemal Atatürk portresinin yüzey modeli.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

**İşlenecek model tayini :** Kalıpcılık sektöründe, alışlagelmiş veya basit geometrilerden ziyade karmaşık ve 3 boyutlu yüzeylerin tasarım ve imalatı ile karşılaşmaktadır. Yapılan çalışmanın özellikle kalıpcılık sektörü açısından anlamlı olması için karmaşık unsurlara sahip bir geometri olması kararlaştırılmıştır. İnsan yüzü modelleri, işleme açısından 3 boyutlu ve geometrik zorluk düzeyi oldukça yüksek olan unsurlardan oluşur. Bu nedenle, Gazi Mustafa Kemal Atatürk'e ait portrenin yüzey modelinin erkek ve dişi kalıp çekirdekleri olarak işlenmesi kararlaştırılmıştır (Şekil 8).

**İşlenecek malzeme :** İşlenecek modelin hazırlanmasından sonra, işlenecek malzeme belirlenmiştir. Sıcak iş çeliği grubu malzemeler, özellikle yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılıklarını koruyabilmektedir. Bu malzemeler işlenebilirlik, parlatılabilirlik, termal iletkenlik, korozyon direnci, aşınma direnci ve maliyet gibi ölçütler açısından da değerlendirilmektedir [12].

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere kimyasal içeriği Çizelge 1'de verilen AISI P20 (DIN 1.2738) malzemesi tercih edilmiştir.

Çizelge 1. AISI P20 çeliğinin kimyasal içeriği [12].

% C	% Mn	% Cr	% Mo	% Ni	% Si
0,4	1,5	2	0,25	1	0,3



Şekil 9. Deneysel işlenecek olan AISI P20 çelikleri (150 mm çapında).

Ham malzeme, modelin en büyük ölçüsünden (Şekil 8) 20mm büyük ve silindirik geometride hazırlanmıştır (Şekil 9). Şekil 9'da görüldüğü gibi, çelik malzemelerin üzerine bir adet tespit pimi monte edilmiştir. Bu pimler, ham malzemenin silindirik olmasından dolayı, BSD Dik İşleme Merkezine bağlanmasında referans olarak alınmıştır. Ayrıca operasyonlar arası ağırlık ölçümleri yapıldığında, bu pimler ölçüm sonrası malzemelerin aynı konumda bağlanmasına yardımcı olmuştur. Çeliklerin işlenmesi esnasında aşırı işleme sıcaklıklarının oluşmaması için kalıp blokları nispeten dolu ve kalın olarak tercih edilmiştir.

**Kullanılan kesici takımlar :** Son yıllarda işleme donanımları ve kalıp malzemelerindeki gelişmeler, kesici takım imalatçılarına, yüksek hızlı işleme yapabilen ve talaş kaldırma miktarı yüksek takımlar geliştirmeye yöneltmiştir. Kaba operasyonlarda büyük uç yarıçapına sahip takımlar, ara işlemlerde ise küçük çaplı parmak frezelerin kullanıldığı görülmektedir. Bitirme operasyonlarında, kalıp çekirdeklerine ölçü tamlığı ve yüzey kalitesi açısından son şeklin verilmesinde, çoğunlukla sert metal küresel uçlu parmak frezeler tercih edilmektedir [13]. Şekil 10'da özellikleri verilen kesici takımlar [14], kaba, ara ve bitirme operasyonları için seçilmiştir.

		
<b>Kaba İşleme Takımı</b> Üretici : Innotool Çap : 16 Yarıçap : 4 Ağız Sayısı : 2	<b>Ara İşleme Takımı</b> Üretici : TaeguTec Çap : 10 Yarıçap : 1,6 Ağız Sayısı : 2	<b>Bitirme İşleme Takımı</b> Üretici : Garryson Çap : 6 Yarıçap : 3 Ağız Sayısı : 2 Kaplama : TiAlN

Şekil 10. Deneysel işlemede kullanılan kesici takımlar [14]

**BSD Dik işleme merkezi:** Kalıpcılık endüstrisi seri ve hassas işler yapabilmek için yüksek hızlı işleme yapabilen işleme makinalarına yönelmiştir. Bu makinaların en önemli özellikleri; yüksek devir ve ilerlemelerde yüksek hızlanma ve yavaşlama ivmelerine sahip olması, makina gövdelerinin rijit olması, iş mili motorlarının güçlü ve rijit olması, makina kontrol ünitelerinin yüksek hızda veri okuması ve veri saklama kapasitelerinin büyük olması şeklinde sıralanabilir [15]. Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde faydalanılan BSD Dik İşleme merkezinin özellikleri Ek 1'de verilmiştir.

**İşleme Yöntemlerinin Planlanması :** Dişi ve erkek kalıp çekirdeklerini Şekil 10'da verilen takımlarla kaba, ara ve bitirme operasyonlarıyla işlemek için planlanan takım yolu tipleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel işlemlerdeki operasyonlar ve işleme yöntemleri

	01 Zig zag İşleme	02 Çevre Paralel İşleme	03 Parça Paralel İşleme	04 Trochooidal İşleme	05 Radyal İşleme	06 Spiral İşleme
Kaba İşleme Operasyonları	✓ <input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ara İşleme Operasyonları	✓ <input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bitirme İşleme Operasyonları	✓ <input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>	✓ <input type="checkbox"/>

**İşleme parametreleri:** Deneysel işlemler yapılırken, BSD Dik İşleme Merkezinin programlanması için gerekli olan kesme ilerlemesi ve devir parametrelerinin hesaplamaları yapılmıştır. Bu parametreler hesaplanırken, kesici takım ve malzeme için önerilen kesme hızları ortalama kesme hızı değeri olarak kabul edilmiştir. Belirlenen kesme hızı değerine göre Çizelge 3'te verilen parametreler dikkate alınmıştır

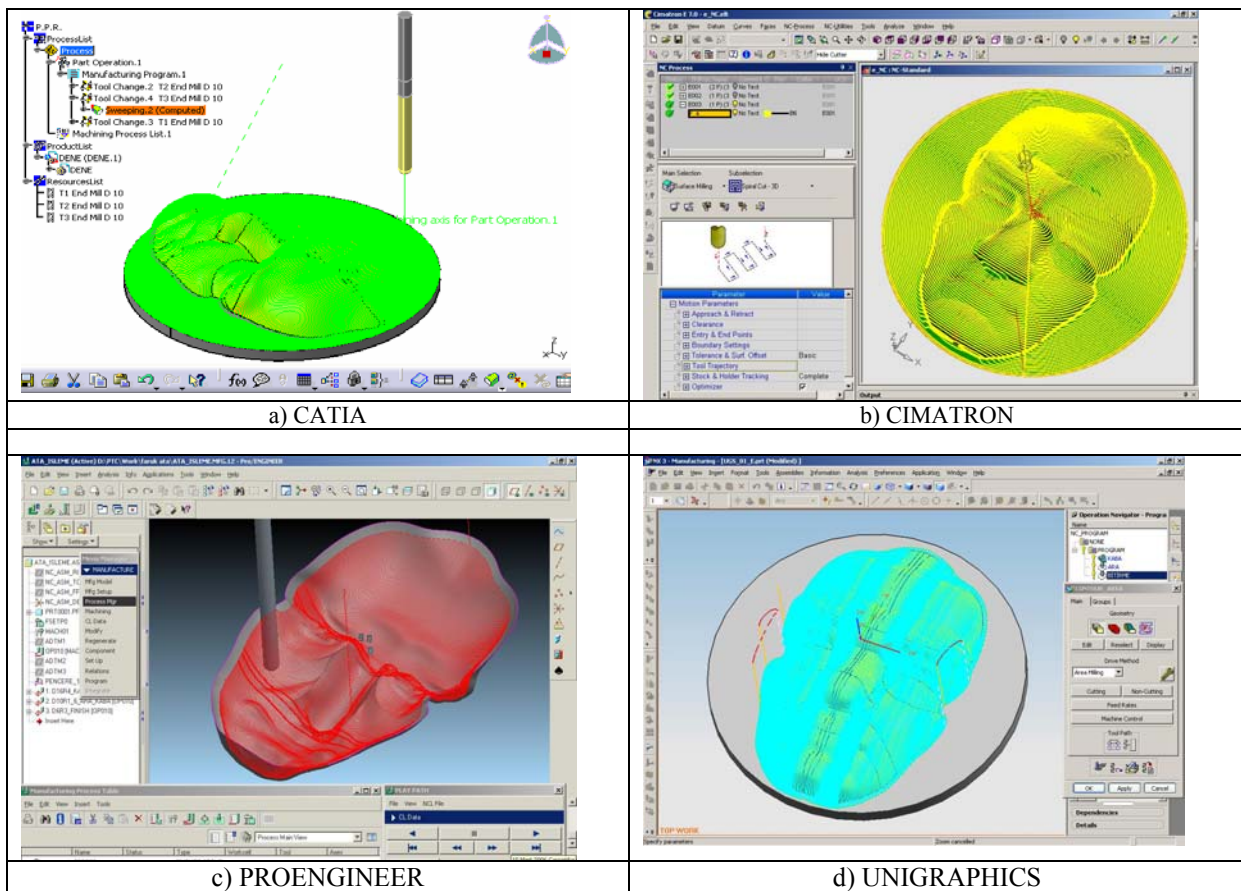
Çizelge 3. Deneysel işlemlerde kullanılan sabit işleme parametreleri

PARAMETRELER	İŞLEME OPERASYONLARI		
	KABA	ARA	BİTİRME
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 <sub>d</sub> ), mm	0,5	0,5	0,2
Yanal Kayma (a <sub>e</sub> ), mm	8	2,5	0,25
Talaşa Giriş Şekli (α)	3°	3°	-
Giriş Mesafesi (L <sub>g</sub> ), mm	8	5	3
Giriş İlerleme Hızı (F <sub>g</sub> ), mm/dak	2 500	1 250	1 750
Çıkış mesafesi (L <sub>c</sub> ), mm	8	5	3
Çıkış İlerleme Hızı (F <sub>c</sub> ), 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

Deneysel işlemlerde kullanılan bazı işleme parametreleri (talaş derinliği, yanal paso), kesici takımı ve BSD Dik İşleme Merkezini zorlamayacak ve takım ömrünün uzun olmasını sağlayacak değerlerde seçilmiştir. Bu değerler artırılarak daha kısa sürede işlemler yapılabilir. Fakat bu durum takımın kısa zamanda aşınmasına, enerji tüketiminin artmasına, malzemede ısıl olumsuzluklara ve büyük kalıcı gerilmelere sebep olduğu için yüksek hızda talaş kaldırma teorisine ters düşmektedir. Deneysel işlemler için gerekli olan BSD satırları, BDÜ yazılımları aracılığıyla elde edilmiştir. BDÜ yazılımları aracılığıyla, Çizelge 3’te listelenen veriler, yazılım tarafından istenilen alanlara yazılarak takım yollarının türetilmesi, benzetimlerinin oluşturulması ve doğrulanması gerçekleştirilmiştir (Şekil 11).



Şekil 12 . BSD Dik İşleme Merkezi’nde deneysel işlemlerin gerçekleştirilmesi.



Şekil 11. BDÜ yazılımlarında takım yollarının elde edilmesi.

Sanal olarak BDÜ yazılımında işlenen, benzetimi yapılan ve doğrulanmış (takım çarpmalarının kontrolü için) deneysel modellere ait takım yolu G/M kodları dosyası, son işlemci aracılığıyla elde edilmiştir. Kodlar, BSD dik işleme merkezinin kontrol ünitesine gönderilmiş ve işlemler kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 12).

İşlemler süresince her operasyon sonunda kesici uçlar değiştirilmiştir. Ayrıca, her operasyon sonrası ham malzeme üzerinden ne kadar talaş kaldırıldığı ağırlık ölçümü yapılarak elde edilmiştir. İşleme süresinin tayini için, kronometre ve BSD Dik İşleme Merkezi üzerindeki zaman sayacı kullanılmıştır. İşleme esnasında takım kırılması, parçaya dalma ve duraklama gibi olumsuzluklar yaşanmamıştır. İşlemlerin kaba operasyonlarında soğutucu olarak %5 oranında yağ zerrecikleri içeren yüksek basınçlı hava, ara ve bitirme operasyonla-

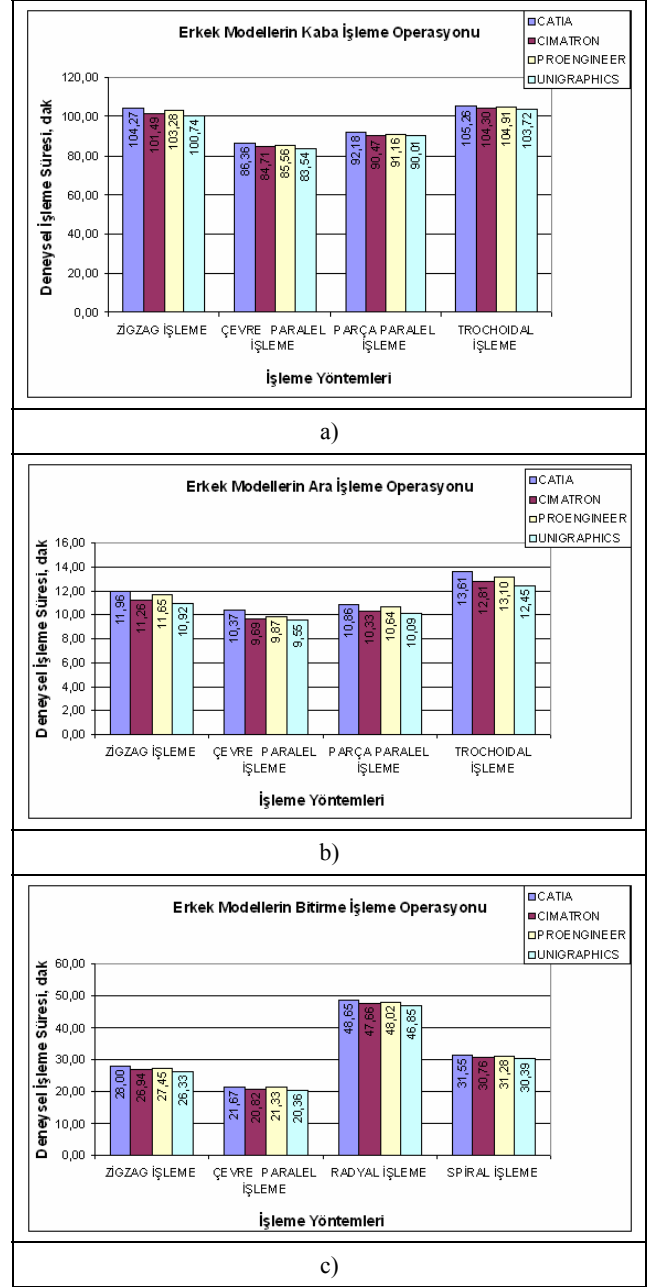
rında ise %4 oranında kesme yağı içeren soğutma sıvısı kullanılmıştır.

**Yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve ölçüsel kontrolle-**  
**rin yapılması:** Deneysel işlemler sonrası malzemelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı her bir model için işleme yüzeyine ve işleme izlerine dik olacak şekilde konumlandırılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği teraziye alınarak sistemin rijitliği sağlanmıştır. Ölçümlerde, kısa uzunluk (cut off distance) 0,8 mm, arka arkaya yapılan kesintisiz 5 ölçüm sonunda toplam uzunluk 4 mm olarak yüzey pürüzlülüğü ölçümünde dikkate alınmıştır. Yüzey modellerin alın bölgesinde daha temiz, daha düz ve daha geniş bir alan bulunduğu için bu bölgeden ölçüm alınması uygun bulunmuştur (Şekil 13.). Modelin alın bölgesinin eğriligi, yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazının eğrisel ölçme yapma sınırları içerisinde kalmaktadır. Cihaz, eğrisel yüzeylerden de ölçüm alabilecek yetenekte tercih edilmiştir. Alın bölgesinden üçer kez ölçüm alınmış ve ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Ölçüm parametresi olarak  $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_{max}$  dikkate alınmıştır. Kalıp çekirdeklerinin BDT/BDÜ teknolojisine dayalı olarak işlenmesi sonrasında; parlatma, parlatma+kaplama+parlatma veya sadece kaplama+parlatma süreçlerinden birine karar verilmektedir. Bu süreçlerin maliyetinin,  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerleriyle ilişkisi olduğu bilindiğinden, bu çalışma kapsamında değerlendirilmemesine rağmen,  $R_z$  ve  $R_{max}$  değerlerinin bilgi olarak sunulması uygun görülmüştür.

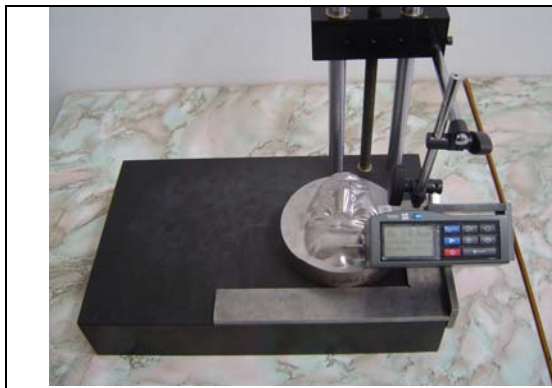
## 6. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel çalışmanın sonuçları, işleme süreleri, takım yolu tipleri, boyut kontrolü ve elde edilen yüzey pürüzlülükleri açısından yorumlanmıştır.

Deneysel işlemler sonucunda, kullanılan BDT/BDÜ yazılımlarında aynı işleme yöntemlerinden elde edilen işleme süreleri arasında ihmal edilebilir derecede farklılıklar görülmüştür (Şekil 14 ve Şekil 15). Elde edilen sanal ve deneysel toplam işleme sürelerinin, işleme hareketlerindeki hızlanma / yavaşlama ivmelerinden ne derece etkilendiğini de göstermektedir.



Şekil 14. Dişi kalıp çekirdeklerinin deneysel işleme süreleri.



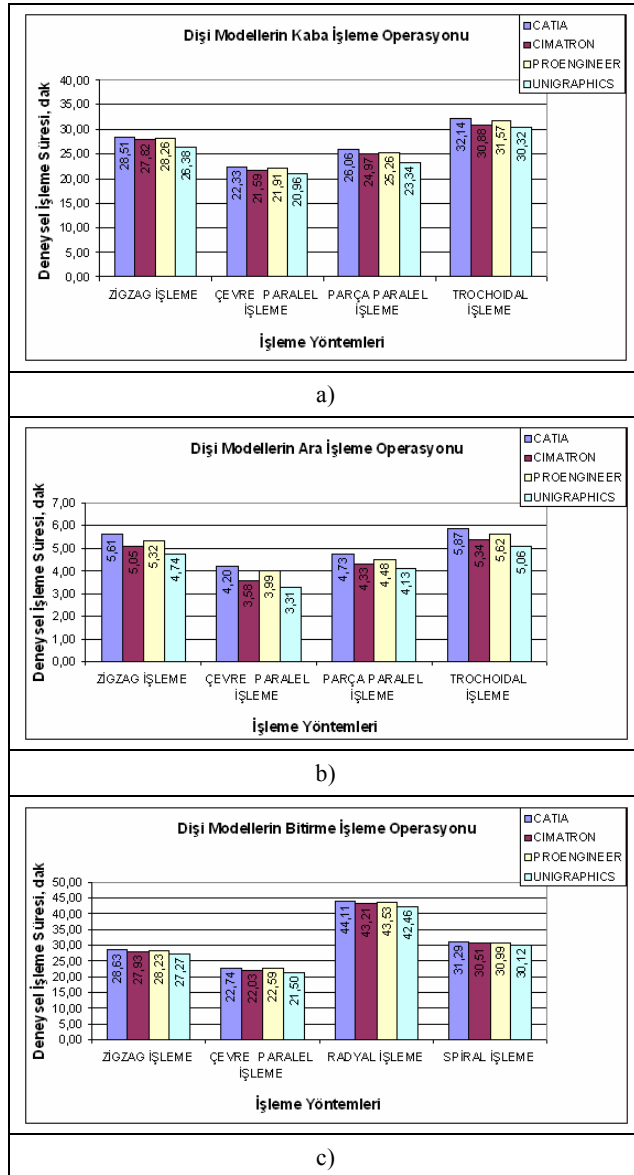
a-)



b-)

Şekil 13. a) Yüzey pürüzlülük ölçümünün yapılması, b) Kalıp çekirdekleri.





Şekil 15. Erkek kalıp çekirdeklerinin deneysel işleme süreleri

Grafikler incelendiğinde, sanal işleme süresi ile gerçek işleme süresi arasındaki en büyük farkın erkek kalıp çekirdeklerinde 01 kodlu grupta belirlenen takım yolu tipleriyle elde edildiği görülmektedir. En küçük farklar ise 02 kodlu grupta yer alan takım yolu tipleriyle elde edilmiştir. Diğer taraftan 01 kodlu zig zag takım yoluyla işlemlerin her dört yazılımda da en uzun süreyi aldığı, 02 kodlu çevre paralel takım yoluyla işlemlerin her dört yazılımda da en kısa süreyi aldığı görülmektedir. Aynı takım yolu tiplerinin her dört yazılımda çok yakın işleme süresiyle sonuçlandığına dikkat edilmelidir. Dişi kalıp çekirdeklerinin işlenmesinde en uzun süreli işlemlerin 04 koduyla trochoidal takım yolu tiplerinde olduğu görülmektedir. İşleme süreleriyle ilgili özet grafikler Şekil 14 ve Şekil 15’de verilmiştir.

Şekil 15’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 zig zag işleme yönteminin de en uzun işleme süresini verdiği görülmektedir. Kaba pasolar için takım yolu tiplerini süre olarak kısıdan uzuna yazmak gerekirse; çevre paralel, parça paralel, zig zag ve trochoidal şeklinde sıralanabilir.

Ara işleme operasyonlarında Şekil 15’de gösterildiği gibi çevre paralel takım yolu tipinin yine en kısa işleme süresi verdiği dört yazılım tarafından da desteklenmiştir. Bu desteğe paralel olarak, zig zag tipi işleminin de en uzun işleme süresi verdiği görülmektedir. Ara işleme operasyonu, toplam işleme süresini artıracak düşünülmesiyle endüstride yaygın olarak kullanılmamaktadır. Toplam işleme süresi içerisinde önemsenmeyecek kadar bir zaman kapsadığı bu çalışmada da görülen ara işleme operasyonlarının; bitirme pasolarının talaş derinliklerinin düzenli olması, kesiciye gelen kuvvetlerin çok değişken olmasının engellenmesi ve takım ömrünü artırması açısından faydalı olduğu bilinmektedir. 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 olanağı ve kolaylığı sağlamaktadır. Takım yolu tiplerini ara pasolar için süre olarak kısıdan uzuna yazmak gerekirse; çevre paralel, parça paralel, zig zag ve trochoidal şeklinde sıralanabilir.

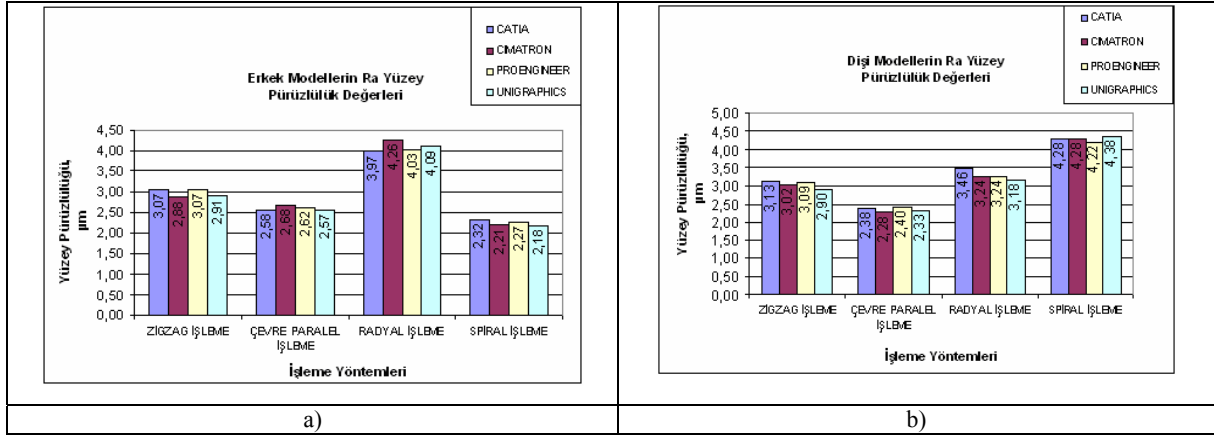
Çizelge 4. Erkek ve dişi kalıp çekirdeklerinin elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri,  $\mu\text{m}$ .

İşleme Strateji	Yazılım	Erkek kalıp			Dişi kalıp		
		$R_a$	$R_z$	$R_{max}$	$R_a$	$R_z$	$R_{max}$
Zigzag İşleme	CAT	3,07	8,08	14,04	3,13	10,79	19,91
	CIM	2,88	9,74	17,14	3,02	13,29	19,74
	PROE	3,07	9,47	17,76	3,09	12,75	20,05
	UG	2,91	8,34	17,37	2,90	13,18	24,22
Çevre Paralel İşleme	CAT	2,58	9,12	13,92	2,38	8,12	13,17
	CIM	2,68	8,69	13,62	2,28	9,12	13,12
	PROE	2,62	8,21	12,39	2,40	9,29	15,79
	UG	2,57	14,37	21,54	2,33	7,99	12,17
Radyal İşleme	CAT	3,97	10,67	19,55	3,46	17,00	24,98
	CIM	4,26	10,72	26,07	3,24	11,46	20,34
	PROE	4,03	9,47	17,88	3,30	12,74	22,23
	UG	4,09	11,49	32,49	3,18	12,17	18,45
Spiral İşleme	CAT	2,32	9,60	12,63	4,28	14,09	26,22
	CIM	2,21	7,87	15,72	4,28	14,39	24,50
	PROE	2,27	6,46	12,86	4,22	14,78	25,25
	UG	2,18	8,02	12,97	4,38	15,58	22,37

Diğer taraftan BDT/BDÜ programlarının da aracılığı ile aynı modeli, aynı kesme şartlarında fakat farklı takım yolu yöntemiyle işlendiğinde, 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 işlem yöntemine karar vermesi gerektiğine kılavuzluk etmektedir.

İşleme süresini kısaltan işlem yöntemlerinin yanında, elde edilen yüzey pürüzlülüğü de önemli olmaktadır. Kalıp parlatma süresini ve maliyetini

İşleme süreleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin yanı sıra, işlenen erkek modellerin ölçüsel kontrolü de yapılmıştır. İşlenen modellerin kısa sürede, hedeflenen



Şekil 16. Erkek (a) ve dişi (b) kalıp çekirdeklerinin elde edilen yüzey pürüzlülüğü.

doğrudan etkilenen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4'de, erkek ve dişi kalıp çekirdeklerinin  $R_a$  değerleri Şekil 16'da verilmiştir.

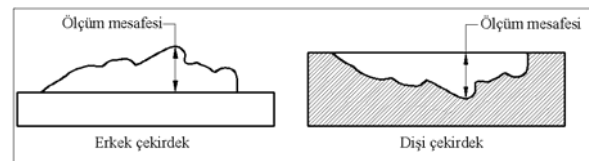
Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri açısından; takım yolu stratejilerinin spiral, çevre paralel, zig zag, radyal takım yolları şeklinde sıralanabileceği tespit edilmiştir. Gerçekleşen işleme süresi değerleri açısından bu sıralama en kısa süreden en uzun süreye doğru; çevre paralel, zig zag, spiral, radyal takım yolları kullanarak işleme şeklinde elde edilmiştir. Bitirme işlemedeki belirlenen hedefler açısından erkek modeller üzerinde çevre paralel tipi takım yolu en uygun ve amacına yönelik bir takım yolu tipi olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. Erkek ve dişi kalıp çekirdeklerinin yükseklik ve derinlik ölçümleri, mm

İşleme Kodu	Erkek kalıp çekirdeği		Dişi kalıp çekirdeği	
	Ortalama	Fark	Ortalama	Fark
CAT-01	30,866	0,016	30,889	0,039
CIM-01	30,851	0,001	30,873	0,023
PRO-01	30,854	0,004	30,876	0,026
UGS-01	30,848	-0,002	30,870	0,020
CAT-02	30,857	0,007	30,879	0,029
CIM-02	30,845	-0,005	30,867	0,017
PRO-02	30,860	0,010	30,883	0,033
UGS-02	30,842	-0,008	30,864	0,014
CAT-03	30,864	0,014	30,887	0,037
CIM-03	30,850	0,000	30,872	0,022
PRO-03	30,855	0,005	30,874	0,024
UGS-03	30,849	-0,001	30,880	0,030
CAT-04	30,858	0,008	30,881	0,031
CIM-04	30,844	-0,006	30,865	0,015
PRO-04	30,861	0,011	30,885	0,035
UGS-04	30,841	-0,009	30,862	0,012

yüzey kalitesinde elde edilmesinin yanında ölçüsel olarak da toleranslar dâhilinde olması gerekmektedir. Tolerans dâhilindeki ölçüsel tamlığın elde edilemediği bir işlemede neticeye ulaşılamamış demektir. Bu nedenle işlenen erkek çekirdekte burun ucu ile işleme yüzeyi tabanı arası, dişi çekirdekte ise yine burun ucu ile ham malzeme üst yüzeyi arasında boyut kontrolü yapılmıştır (Şekil 17). Ölçümler; yüzey pürüzlülüğü ölçüm düzeneğine dijital komparatör bağlanarak yapılmıştır. Modeller üzerinden 3 kez ölçüm alınmış ve bunların aritmetik ortalaması alınmıştır.

Deneyisel çalışma kapsamında dikkate alınan 3 boyutlu yüzey modelin, tasarlanan modelden ne kadar sapma göstererek işlendiğinin tespiti, sadece bir ölçü kontrolü ile sağlanmıştır. Modeli oluşturan yüzeylerin bilgisayar ortamında bütünleştirilmesi, CNC işleme teknolojisinin getirmiş olduğu takım yarıçapı kadar uzaktan işleme yapılabilme yeteneği, çok noktadan ölçüm yapma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Bir noktada görülen sapma miktarı ne kadar ise, ince pasolar için kullanılan takım uç yarıçapından küçük olan yerler hariç tüm noktalarda sapma miktarının eşit olması gerekmektedir. Modelin ölçüm alınan noktalarının, erkek işlemede en üst nokta olduğu, dişi işlemede ise en derin nokta olduğu görülmektedir. Komparatör aracılığı ile alınan ölçümlerde, bu noktaların en büyük ölçüm değerlerinin yakalanabilme kolaylığından dolayı, bir başka ifadeyle ölçme kolaylığı açısından bu noktalar seçilmiştir.



Şekil 17. Modeller üzerinde ölçüm yapılacak noktalar.

Sanal model üzerinden yapılan ölçümlerde, Şekil 17'de gösterilen iki ölçünün eşit ve 30,85 mm olduğu bilinmektedir.

İşlenen dişi modellerin de ölçüsel kontrolü yapılmış, kontrol edilen ölçü ile BDT/BDÜ yazılımındaki model üzerinden alınan ölçü arasında ne kadar fark olduğu Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelge 5'e bakıldığında deneysel işlemler neticesinde model üzerinden ölçülen değerler arasında önemsenmeyecek nitelikte farklılıkların olduğu görülmektedir. Bu farkların yine takım sıfırlamaları sırasında meydana gelen değişimlerden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. BDT/BDÜ modelin ölçüsü ile deneysel işlenen modelin ölçüsü arasında yaklaşık 0,03 mm kadar bir fark olduğu görülmektedir. Bu farkın, takımın ilk ayarından veya tezgah üzerinde takımların sıfırlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5' te 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, teorik ve deneysel işleme süreleri açısından farkın en az olduğu yöntemin çevre paralel takım yolu tipi olduğu ve radyal işleme yönteminin ise bu fark açısından en olumsuz takım yolu tipi olduğu Çizelge 4' de görülmektedir.

Şekil 15' de 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 kısıdan uzuna yazmak gerekirse; çevre paralel, parça paralel, zig zag ve trochoidal şeklinde sıralanabilir. Dişi modellerin ara işleme operasyonlarında erkek modellerdekine paralel olarak çevre paralel takım yolu tipinin yine en kısa işleme süresi verdiğini dört yazılım tarafından da desteklenmiştir (Şekil 15). Ayrıca yine zig zag işleme yönteminin de en uzun işleme zamanı verdiğini görülmektedir. Takım yolu yöntemlerini ara pasolar için süre bazında kısıdan uzuna yazmak gerekirse; çevre paralel, parça paralel, zig zag ve trochoidal şeklinde yazılabilir. Şekil 15' 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 bakılmalıdır (Şekil 16).

Şekil 16' daki grafiğe 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. Oysaki 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.

Çizelge 3 ve Şekil 17 incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerleri açısından olumsuz olana doğru; çevre paralel, zig zag, radyal, spiral takım yolu kullanarak işleme şeklinde bir sıralama yapılabilir. İşleme süresi değerleri açısından kısıdan uzuna doğru; çevre paralel, zig zag, 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.

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, ön sertleştirilmiş kalıp malzemelerinin yüksek hızda BSD tezgâhlarda işlenmesinde BDT/BDÜ yazılımlarında takım yolu belirleme ve seçme çalışmalarına referans olabilecek niteliktedir. Geleneksel imal yöntemleriyle elde edilen talaş kaldırma hızları açısından kıyaslandığında; çevre paralel işlemede, ortalama talaş kaldırma oranı erkek çekirdeklerin işlenmesinde 3,14 cm<sup>3</sup>/min, dişi çekirdeklerin işlenmesinde 2,60 cm<sup>3</sup>/min olarak elde edilmiştir.

-Deneysel işlemlerde kaba boşaltmalarda yaklaşık 5,0 cm<sup>3</sup>/min gibi yüksek bir talaş boşaltma hacmi yakalanmıştır. Bu değer dalma elektro erozyon kaba işleme hızına (4,9 cm<sup>3</sup>/min) yakındır. Dolayısıyla, yüksek hızda talaş kaldırma sisteminin, dalma erozyonla işlemede olduğu gibi çok sayıda elektrot hazırlama süreci gerektirmediği, çalışma kapsamında vurgulanması gereken bir sonuç olarak görülmüştür.

-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, zig zag 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 tezgahları hızlanma ve yavaşlama 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 metotlarla kalıp imalatını tek tezgahla tamamlamak mümkün değilken, yüksek hızda işleme teknolojisinde ise kalıp formu son şekle en yakın seviyede işlenerek parlatma ve alıştırma işlemleri büyük ölçüde azaltılabilmektedir.

-Yüksek hızda işlemede kaldırılan talaş miktarları düşük olduğundan takıma 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 genişlemeler engellenmektedir.

-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.

-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.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya sağladığı maddi destek nedeni ile Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri' ne teşekkür ederiz (Proje no: 07/2006\_09).

## REFERANSLAR

1) Kauppinen, V., Paro J. And Nieminen I., "Application of high speed milling to the finish manufacturing industry", Final Technical Report, Helsinki University of Technology, Technical Research Center of Finland, Finland, 83, (1993)

- 2) Sandvik Coromant, Die and mold making, Application guide, C-1120: 2 Eng, 1999.
- 3) Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., "A review of ultra high speed milling of hardened steels", Journal of Materials Processing Technology, Birmingham, UK, 69: 1-17 (1996).
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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).
- 7) Bo, H.Kim., Byoung, K.Choi., "Machining efficiency comparison direction parallel tool path with contour-parallel tool path", Computer Aided Design, 34: 89-95 (2002).
- 8) Toh, C.K., "Cutter path strategies in high speed rough milling of hardened steel", Materials and Design, 27: 107-114 (2006)
- 9) Toh, C.K., "Design, evaluation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials", Materials & Design, 26: 517-533 (2005).
- 10) 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)
- 11) Ersoyoğlu, A.S., Ünüvar, A., "CAD/CAM sistemlerinde takım yolu oluşturma teknikleri", Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi MATİT 2001, Konya, 294-310, (2001)
- 12) Sağlam Metal Takım Çelikleri Kataloğu, Sağlam Metal Çelik Ticaret ve Sanayi A.Ş., İstanbul, 2006
- 13) Varlık, F., "Kalıp Üretiminde Yüksek Hızda İşleme Teknikleri Seminer Notları", Makino-CNC İleri Teknoloji Paz. Ltd. Şti. Kalıpcılık Semineri, İstanbul, 50-64, (2002)
- 14) Garryson, TaeguTec, Innotool frezeleme takım katalogları, 2006
- 15) Akkurt, M., "Bilgisayar destekli takım makinaları (CNC) ve bilgisayar destekli tasarım ve imalat (CAD/CAM) sistemleri", Birsan Yayınevi, İstanbul, 49-103 (1997).
- 16) 39. Deckel Maho DMC 103V makina kataloğu, DMG Group, Germany, 2005

## EKLER

Ek 1. Deckel Maho DMC 103V Dik İŞleme Merkezi'nin teknik özellikleri [16]

Makine Türü	Deckel Maho DMC 103V	
Eksen hareketleri (X/Y/Z)	mm	1 000/600/600
İŐ mili devri	dev/dak	1 – 10 000
Kesme ilerlemesi sınırı	mm/dak	30 000
Hızlanma/yavaşlama ivmesi	m/s <sup>2</sup>	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(LxGxY)	m	3,7 x 3,6 x 2,7
Tezgâhın ortalama ağırlığı	kg	6 500
Maksimum iş parçası ağırlığı	kg	800
İŐ 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 Değişirme Zamanı	sn	7 (Takımdan takıma)