



## DÖNEL PARABOLOİD ŞEKLİNDEKİ PARÇALARIN BSD FREZE TEZGAHLARINDA İMALATININ ARAŞTIRILMASI

### (THE INVESTIGATION OF MANUFACTURING OF WORK PIECES WITH THE ROTATION PARABOLOID SHAPE IN THE CNC MILLING MACHINES )

Cihan ÖZEL\*, Cebeli ÖZEK\*\*

#### ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada, analitik ifadeli uzay şekillerinden biri olan dönel paraboloid şeklindeki parçaların BSD freze tezgahında imalatı amaçlanmıştır. Bu şekilde bir imalat için, dönel paraboloidin imalat denklemleri çıkartılmış ve takım yollarının hesabı için, Fanuc işletim sistemli makro programlama ile otomatik SD programının nasıl hazırlanacağı gösterilmiştir.

Hazırlanan bu program ile Dyna 2900 Myte tipi BSD freze tezgahında, bir parça imal edilmiştir. Yapılan bu imalat sonunda, imalat denklemlerindeki parametrelerin hem imal edilen parçaların yüzey pürüzlülüğünü hem de imalat maliyetlerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

*In this study, it was aimed the manufacturing of work pieces with shape rotation paraboloid which is one of the analytically expressed space shapes in the CNC milling machines. For this purpose, manufacturing equations were obtained and for the calculation of tool paths, it was shown how automatic NC programme was prepared by using macros programme with Fanuc operating system.*

*A work piece was manufactured in the Dyna 2900 Myte CNC milling machine by the prepared programme. In the result of this manufacturing process, paramaters in the manufacturing equations highly affected both surface roughness of work piece manufactured and costs of production.*

#### ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Dönel paraboloid, Makro programlama, BSD freze tezgahı  
*Rotation paraboloid, Macro programme, CNC milling machine*

---

\* Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

\*\*Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

## 1. GİRİŞ

SD'li takım tezgahları, belirli bir parçayı işlemek için kesici hareketlerini ve yürütülmesi gereken işlemleri tanımlayan SD kodunda yazılmış, deyim veya blok dizilerinden oluşan program tarafından kontrol edilir. ISO 6983/1 gibi uluslar arası SD kodu standartları olmasına rağmen, farklı üreticiler tarafından yapılmış SD denetleyiciler farklı SD kodlarını kullanırlar. Bu yüzden SD programı, farklı tasarımlardaki denetleyiciler üzerinde taşınabilir değildir. Bu durum ise imalat açısından birtakım güçlükler sebeptir.

Bir parçanın veya makine elamanının mümkün olan en basit biçimde tasarımının gerekli olmasına rağmen bir tasarım mühendisinin, istenen profilin parçaları olarak kavşikli yüzeyler kullanmak zorunda olduğu bir çok durum vardır. Matematiksel olarak bir yüzey, sürekli olarak,  $f(x, y, z) = 0$  ilişkisini koruyarak uzayda hareket eden bir noktanın  $(x, y, z)$  geometrik yeridir. Mühendislik tasarımında yaygın olarak kullanılan yüzeyler grubu,  $ax^2 + by^2 + cz^2 + fyz + gzx + hxy + px + qy + rz + d = 0$  biçiminde, ikinci dereceden bir genel denklem vasıtasıyla tanımlanan ve konik yüzeyler olarak bilinen yüzeylerden oluşur. Bu tür yüzeylerin BSD freze tezgahlarında imalatlarına yönelik çeşitli çalışmalar devam etmektedir (Fischer, 1986). Bundan önceki bir çalışmada, serbest eğrilerle şekillendirilmiş yüzey modelleri için takım yollarının oluşturulması için bir algoritmanın geliştirilmesine yönelik çalışma yapılmıştır (Elber vd., 1993). Yine diğer bir çalışmada, bir telefon ahizesi bilgisayar destekli tasarım BDT programıyla modellenmiş, yine aynı ortamda bu modelden yararlanarak kalıp yüzeyleri oluşturulmuştur. BDİ programıyla takım yolları hazırlanmış ve BSD tezgahında imalatı gerçekleştirilmiştir (Erdman, 1985; Anonim, 1997). Ayrıca serbest sistemli makro programlama ile delik delme programı üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Anonim, 1998; Balcı, 1993; Besant, 1982). BSD torna ve freze tezgahları üzerinde dönel ve prizmatik iş parçalarını işleyecek parça programlarının otomatik üretimi ve kontrolü için C programlama dili kullanılarak iki sistemin geliştirilmesi ve kullanılması açıklanmıştır (Dereli ve Filiz, 2000).

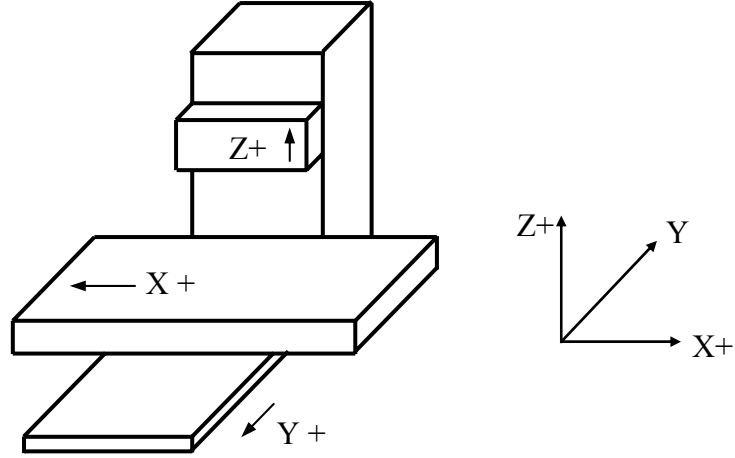
OPPS-ROT da dönen parçalar için hazır bir BSD programı kullanılarak parça modeli çizilmiştir. Daha sonra, işleme operasyonları tanımlanmış ve kesici takımlar, bilgi girişleri ve işleme topolojisi kullanılarak seçilmiştir. Optimum kesme şartları belirlenmiş ve bir BSD/BDİ veri tabanında toplanmıştır. Daha sonra parça programları, BSD/BDİ veri tabanında toplanmış bilgiler kullanılarak standart ISO kodlarında otomatik olarak oluşturulmuştur. Yine prizmatik parçalar için, dik işlem merkezli BSD freze tezgahlarında genetik algoritmalar kullanılarak işlem planlama fonksiyonlarının optimizasyonu için çalışma yapılmıştır (Filiz vd., 1994; Dereli ve Filiz, 1999). Başka bir çalışmada, günümüzde nümerik kontrollü tezgahlar da kullanılan çeşitli programlama teknikleri hakkında bilgiler verilerek bu programlama tekniklerinin özelliklerini anlatan bir araştırma çalışması da yapılmıştır (Karagöz, 2000).

Bu çalışmada, son yıllarda BSD tezgahlarının ülkemizde de giderek yaygınlaşması dikkate alınarak, konik yüzeylerden biri olan dönel paraboloid için, makro programlama ile genel bir SD programı hazırlanmıştır.

## 2. BSD FREZE TEZGAHI VE PROGRAMLAMA PARAMETRELERİ

Şekil 1'de görülen BSD Freze tezgahında, iş tablasının X, Y, Z eksenleri yönündeki hareketleri pozitif, tersi yönündeki hareketleri de negatiftir. Şeklin sağındaki koordinat eksenleri de, çakının bağıl hareket yönlerini gösterir. Tezgah üç yönde hareket sağlarken, döner tablanın hareketi de dahil olmak üzere dört hareket yapabilme özelliğine sahiptir.

Tezgahtaki hareketler elle kumanda edilebildiği gibi, program ile otomatik olarak da kumanda edilebilmektedir. Tezgahta makro programlama için kullanılabilen 120 değişken vardır. Makrolar, alt programlar gibi belirli bir operasyon sıralamasıdır.



Şekil 1. Dyna 2900 Myte tipi BSD freze tezgahı

Ancak, alt programlardan farklı olarak makroların programlanması değişkenlere dayanır. Bu değişkenlere göre bir operasyon sırası tanımlanır ve daha sonra bu değişkenlere değerler verilerek çeşitli programlarda kullanılabilir. Makro değişkenler, '#' işareti ile birlikte, 0-119 aralığındaki sayılar ile kullanılırlar. Bu değişkenler aynı zamanda, '>', '<', '+', '-', '\*', '/' gibi matematiksel ifadeler ile birlikte de kullanılabilirler. Ayrıca tezgahta kullanılabilen SIN, COS, ABS, ANG ve SQR gibi hazır diğer basit matematiksel fonksiyon parametreleri de vardır (Dyna 2900 Myte, 1996).

Örneğin; #30=12 ifadesinde #30, 30 değişkeni anlamına gelir ve değeri 12'dir. #40=#25 ifadesinde, #25 değişkenine bir değer verilmedikçe #40 değişkeni boştur. #28=5 ise #43=#28+10 ifadesinde, #43 değişkeninin değeri 15'dir. N25 #22=60 ise N35 G01 X10 F#22 ifadesinde, ilerleme hızı 60 mm/dak'dır. Yine #60=50 ise Z#60 ifadesinde, Z 50'dir. Ayrıca #75=30 ise #80=SIN#75 ifadesinde, #80 değişkeninin değeri 0.5'dir.

## 2.1. Deney Malzemesinin Boyutlandırılması ve Parmak Freze Çakısının Seçimi

Yapılan araştırmada, imal edilecek şeklin malzemesi, kolay işlenmesi sebebiyle alaşım Alüminyum bir malzemeden seçildi. Bu malzemenin boyutlandırılması için dönele paraboloid için verilen

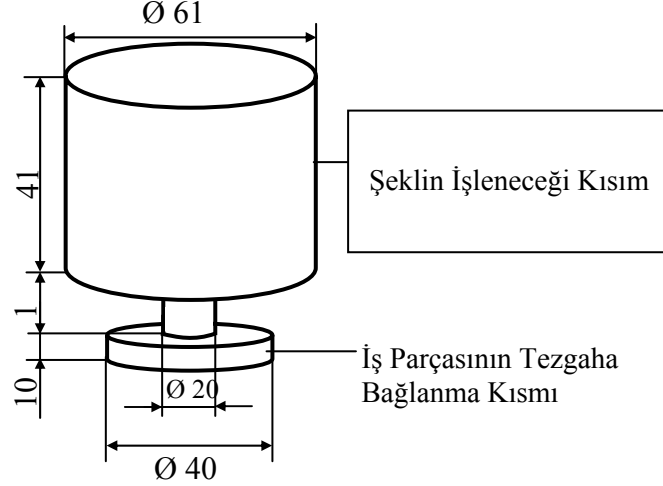
$$A.X^2 + A.Y^2 = B.Z \quad (1)$$

genel denklemi dikkate alındı. Dönele paraboloid denkleminde,  $Z_{max}$  sabit değerine bağlı olarak

$X = 0$  ve  $Y = 0$  için,

$$X = Y = \pm \frac{\sqrt{Z_{max} \cdot B}}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

ifadeleri elde edildi. Elde edilen bu ifadelerle göre, imal edilecek dönel paraboloidin boyutlarını belirleyebilmek için,  $Z_{\max} = 40$  mm sabit değeri ve denklemdeki katsayılar da sırası ile,  $A = 4$  ve  $B = 90$  olarak seçildi. Seçilen bu değerlere göre, şeklin işleneceği silindirik malzemenin yarı çapı  $R = X = Y \cong \pm 30$  olarak bulundu.



Şekil 2. İş parçasının taslağı

Ancak şeklin işleneceği kısmın boyutları, çakının parçaya göre sıfırlanması ile ilgili hataların olabileceği ve yine taslak parça klasik torna tezgahlarında işlenirken, bir takım işleme hatalarının da oluşabileceği dikkate alınarak çapı, 61 mm ve yüksekliği de 41 mm olarak seçildi (Şekil 2). Ayrıca taslağın BSD freze tezgahına bağlanma kısmının boyutları, taslağın tezgaha civata ve pabuçlar yardımı ile bağlanacağı dikkate alınarak Şekil 2'deki gibi belirlendi.

Parmak freze çakısının seçiminde ise, şeklin geometrisi dikkate alındı. Ancak imal edilecek parçanın şeklinden dolayı, herhangi bir sınırlamanın oluşmadığı görüldü. Bu çalışmada, çakı mukavemeti göz önünde bulundurularak küçük çaplı çakı seçiminden kaçınıldı ve tezgaha bağlanabilecek en büyük çaplı, 12 mm'lik düz alınlı parmak freze çakısı seçildi.

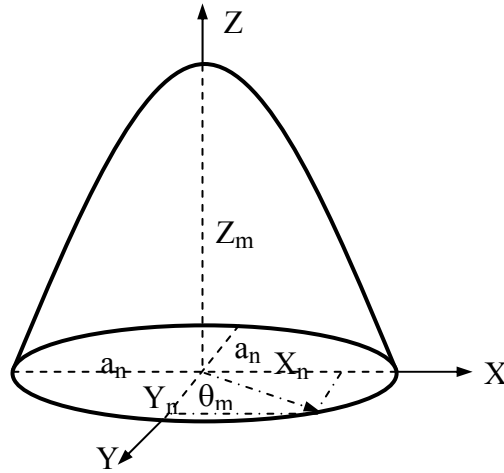
## 2.2. Dönel Paraboloid İçin İmalat Denklemlerinin Çıkartılması

Yukarıda yazılan Eşitlik 1 incelenirse eşitliğin,  $Z$ 'nin sabit değerlerine göre bir daire denklemi olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, dik işlem merkezli BSD freze tezgahında, dönel paraboloid şeklindeki bir parçanın,  $Z_m$  yüksekliği boyunca  $XY$  düzlemine paralel düzlemlerdeki dairelerin işlenmesi ile imal edilebileceği görüldü. Yine bu şekilde bir imalat için, şekle ait parametrik denklemlerin gerekli olacağı göz önünde bulundurularak dönel paraboloid için parametrik denklemler, Şekil 3 dikkate alınarak aşağıdaki gibi yazıldı.

$$X_n = a_n \cdot \cos \theta_m \quad (3)$$

$$Y_n = a_n \cdot \sin \theta_m \quad (4)$$

$$Z_n = \text{sabit} \quad (5)$$



Şekil 3. Dönel paraboloid

Ancak parmak freze çakısı, parçayı Eşitlik 3, 4 ve 5'e göre işlediğinde şekil gerçek boyutlarında imal edilemez. Çünkü denklemlere, parmak freze çakısının yarı çapı ile ilgili ifadeler ilave edilmemiştir. Bunun için yukarıdaki denklemlere, çakı yarı çapı ile ilgili ifadeler ilave edildi ve imalat denklemleri sırası ile aşağıdaki gibi yazıldı.

$$X_m = a_n \cdot \cos \theta_m + r \cdot \cos \theta_m \quad (6)$$

$$Y_m = a_n \cdot \sin \theta_m + r \cdot \sin \theta_m \quad (7)$$

$$Z_m = \text{sabit} \quad (8)$$

Ancak Eşitlik 6, 7 ve 8'e göre parmak freze çakısının yükseklik boyunca, XY düzlemine paralel düzlemlerde, daire şeklindeki kesitleri işleyebilmesi için  $Z_m$ 'nin her hangi bir değerine karşılık gelen  $a_n$  değerinin de bulunması gerekir. Bunun için Eşitlik 1

$$\frac{X^2}{\frac{B \cdot Z_m}{A}} + \frac{Y^2}{\frac{B \cdot Z_m}{A}} = 1 \quad (9)$$

yukarıdaki gibi yeniden düzenlendi.  $Y=0$  ve  $X=0$  için,  $a_n$  ifadesi

$$a_n = \pm \sqrt{\frac{B \cdot Z_m}{A}} \quad (10)$$

şeklinde yazıldı. Daha sonra bu ifade, Eşitlik 7 ve 8'de yerlerine yazılarak

$$X_m = \left( \sqrt{\frac{B \cdot Z_m}{A}} \right) \cdot \cos \theta_m + r \cdot \cos \theta_m \quad (11)$$

$$Y_m = \left( \sqrt{\frac{B \cdot Z_m}{A}} \right) \cdot \sin \theta_m + r \cdot \sin \theta_m \quad (12)$$

$$Z_m = \text{sabit} \quad (13)$$

denklemleri elde edildi. Parmak freze çakısının Eşitlik 11, 12 ve 13'e göre parçayı işleyebilmesi için,  $Z_m$  ve  $\theta_m$ 'deki değişim aralıklarının da belirlenmesi gerekir.  $Z_m$  için değişim aralığı,  $0 \leq Z_m \leq 40$  mm ve  $\theta_m$  açısı için değişim aralığı,  $0^\circ \leq \theta_m \leq 360^\circ$  olarak yazıldı (Şekil 3). Parmak freze çakısı bu açısal değişimlere göre, G01 doğrusal enterpolasyon kodu ile hareket ettirildi ve dönele paraboloid, gerçek ölçülerine göre imal edildi.

### 3. DÖNEL PARABOLOİDİN SD PROGRAMI İLE İMALATI

Dönele paraboloid şeklindeki parçaların imalatı için, Fanuc sistemiyle makrolar oluşturularak hazırlanan SD programı aşağıda verilmiştir.

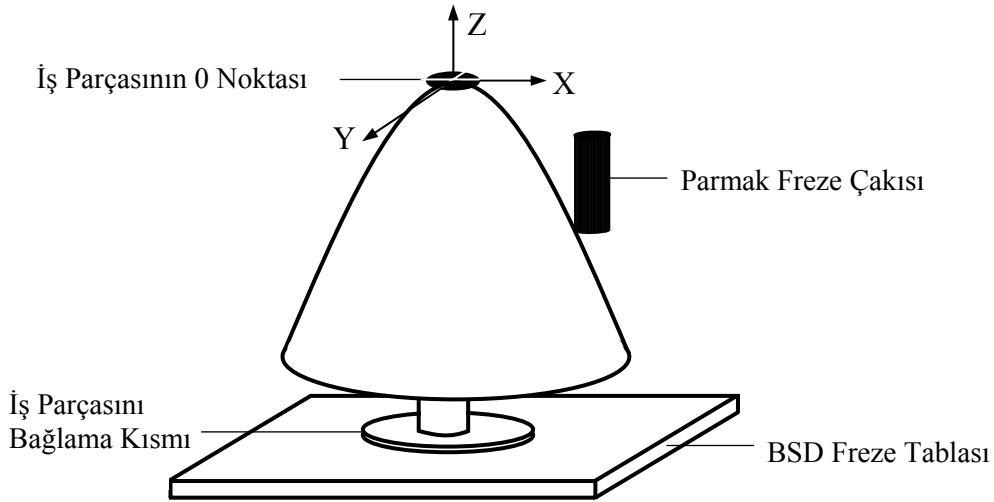
```

N05 G21;
N10 G90;
N15 G54;
N20 G40;
N25 T01;
N30 F60;
N35 M03 S1250;
N40 G00 X0 Y0 Z2;
N50#1=4;
N55#2=90;
N60#4=40;
N65#3=360;
N70#5=0.25;
N75#6=0.05;
N80#7=6;
N85#10=0;
N90#11=0;
N95 G00 X0 Y0 Z0;
N100#8=#4/#6;
N105#9=#3/#5;
N110 M73 N#8;
N120#13=#2*#10/#1;
N130#15=SQR #13;
N135#16=COS #11;
N140#17=SIN #11;
N145#18=#14*#16+#7*#16;
N150#19=#15*#17+#7*#17;
N155 G01 X#18 Y#19;
N160 G01 Z-#10;
N165 M73 N#9;
N170#20=COS#11;
N175#21=SIN#11;

```

N180#22=#15\*#20+#7\*#20;  
 N185#23=#15\*#21+#7\*#21;  
 N190 G01 X#22 Y#23 Z-#10;  
 N195#11=#11+#5;  
 N200 M74;  
 N205#10=#10+#6;  
 N210#11=0;  
 N215 M74;  
 N220 G00 Z2;  
 N230 G28;  
 N235 M30;

Hazırlanan SD programında, sırası ile aşağıdaki işlemler yapılmaktadır: N05 ile N40 satırları arası; program ve tezgah çalıştırma işlemlerinin yapıldığı kısım, N50 ile N60 satırları arası; sırası ile,  $A, B, Z_{\max}$  gibi değerlerin makro değişkenlere atandığı kısım, N65 ile N95 satırları arası; sırası ile,  $\theta_{\max}, \theta_n, H_n, r, H_m = 0, \theta_m = 0$  gibi değerlerin makro değişkenlere atandığı ve G00 X0 Y0 Z0 işleminin yapıldığı kısım, N100 ile N105 satırları arası; sırası ile,  $N_1 = \frac{Z_{\max}}{H_n}, N_2 = \frac{\theta_{\max}}{\theta_n}$  işlemlerinin yapıldığı kısım, N110 ile N160 satırları arası; talaş kesme kalınlığının hesaplandığı döngü kısmı, N165 ile N200 satırları arası; dairesel kesitlerin işlendiği döngü kısmı, N205 ile N215 satırları arası;  $H_m = H_m + H_n$  ve  $\theta_m = 0$  işlemlerinin yapılarak talaş kesme yüksekliğinin hesaplandığı N110 numaralı satıra dönüş kısmı, N220 ile N235 satırları arası; programı durdurma işleminin yapıldığı kısım. Bu programın çalıştırılabilmesi için, parçanın BSD freze tezgahına uygun bir şekilde bağlanması gerekir. Bu araştırmada iş parçası, tezgahın tablasına civata ve pabuçlar yarımı ile aşağıdaki gibi bağlandı (Şekil 4).



Şekil 4. Parçanın BSD freze tezgahına bağlanması ve işlenmesi

İmal edilen parça birden fazla bağlamaya tabi tutulacaksa, ikinci ve daha sonraki bağlamalarda iş parçasının sıfır noktası değişebilir. Bu durum, parçanın hassas bir şekilde imal edilmesini engelleyebilir. Bunu ortadan kaldırmak için iş parçası, BSD freze tezgahının tablasına, bir torna tezgahının üniversal aynası ile bağlanabilir.

Bu program,  $\theta_n$  ve  $H_n$  gibi önceden belirlenebilen hassasiyet değerlerine göre çalışır. Bu hassasiyet değerlerinin anlamları;  $\theta_n$  için girilen değerler, dönel paraboloidi oluşturan dairelerin XY düzlemine paralel düzlemler boyunca işleme hassasiyetini belirler. Yine  $H_n$  için girilen değerler ise, dönel paraboloid şeklindeki parçayı Z ekseninde,  $Z_{max}$  yüksekliği boyunca işlemek için talaş kesme kalınlığını ifade eder.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırma sonunda, dik işlem merkezli BSD freze tezgahında dönel paraboloid şeklindeki parçanın  $\theta_n$  ve  $H_n$  gibi iki hassasiyet değeri ile imal edilebileceği görülmüştür. Büyük kesitlere sahip dönel paraboloid şeklindeki parçalar imal edilirken,  $\theta_m$  ve  $H_m$  değerlerindeki değişimlerin çok büyük olarak seçilmesi halinde parçanın yüzey hassasiyetinin bozulacağını göstermiştir. Bu çalışmada,  $\theta_m$  açısındaki değişimler için  $0.001^0 \leq \theta_n \leq 0.5^0$  aralığı kullanılmıştır. Çok küçük kesitler işlenirken  $\theta_n$  açısının  $0.001^0$  olarak seçilmesi durumunda; bu değer, açısal değişimler için çok küçük olduğundan programda gereksiz yere döngü sayısını artıracığından imalat süresinin uzamasına ve maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Yine seçilecek olan  $H_n$  değeri ne kadar küçük olursa, Z ekseninde boyunca dönel paraboloidi oluşturan dairelerin sayısı o ölçüde artacağından, dönel paraboloidin yüzey hassasiyeti o kadar artacaktır. Ancak bu duruma bağlı olarak imalat süresinin de o ölçüde uzayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Yine araştırmada  $H_m$ 'deki değişimler için,  $0.001 \leq H_n \leq 0.05$  aralığı kullanılmıştır.

Ancak dönel paraboloidin kesitleri işlenirken  $\theta_n$  açısının aynı sabit değerde olması, dönel paraboloidin Z ekseninde her bir kesitin farklı farklı hassasiyet değerinde işlenmesine sebep olmaktadır. Bütün kesitlerin aynı hassasiyet değerinde işlenebilmesi için  $\theta_n$  açısının her döngü için, büyük kesitin küçük kesite oranı kadar küçültülmesinin gerekli olduğu da görülmüştür. Yani  $A_n$  son işlenecek kesit alanı ve  $\theta_{(n-1)}$  açısı da bir önceki kesiti işlemek için kullanılan açı değeri ise, her bir yeni kesit için  $\theta_n$  açısının  $\theta_n = A_{(n-1)} \cdot \theta_{(n-1)} / A_n$  bağıntısı ile hesaplanmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır. Bu araştırma için, yukarıdaki değişim aralıkları dikkate alınarak  $\theta_n = 0.25^0$  ve  $H_n = 0.05$  mm olarak seçildi. Bu değerlere göre imal edilen dönel paraboloid şeklindeki parçanın yüzey pürüzlülüğü, Mitutoyo SurfTest 211 marka bir pürüzlülük ölçme aleti ile  $R_a = 2.25 \mu m$  olarak ölçülmüştür. Parmak freze çakısının seçiminde ise bu tür şekillerin geometrisinden dolayı, çakının serbest çalışması sebebiyle bir sınırlamanın oluşmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak, bu tip şekilleri belirleyen temel büyüklükler Fanuc işletim sistemli makro programlama ile hazırlanan SD programına dışarıdan girilerek dönel paraboloid şeklindeki parçaların imalatı genelleştirilmiş ve bundan sonraki uygulamalar için de bir kolaylık sağlanmıştır.



**KAYNAKLAR**

- Anonim (1997): "Sayısal Grafik", İstanbul, Sayı 10, S. 5-25.
- Anonim (1998): "Sayısal Grafik", İstanbul, Sayı 11, S. 6-7.
- Balcı I. (1993): "Solid Modelling-Today's", H.P. Otomasyon Dergisi, Nisan sayısı 112 -118.
- Besant C.B. (1982): "Computer Aided Design and Manufacture", 2nd edn. Ellis Harwood.
- DYNA 2900 MYTE Tezgahı Kataloğu (1996): "Dyna Mechtronics Inc. Ltd.", 926 W. Maude Ave. Sunnyvale, Ca.94086 U.S.A.
- Dereli T., Filiz H. (2000): "Automatic CNC Code Generation In Process Planning of Rotational And Prismatic Parts", Politeknik Dergisi, Cilt:3 Sayı:2 S. 1-25.
- Dereli T., Filiz H. (1999): "Optimisation of Process Planning Functions by Genetic Algorithms", Computers & Industrial Engineering, Vol. 36, No.2, PP. 281-308.
- Elber G., Cohen E. (1993): "Tool Path Generation For Freeform Surface Models", Proc. 2 Symp. Solid Model Appl. Publ. by ACM, New York, PP. 419-428.
- Eerdman A.G. (1985): "Computer-Aided Design of Mechanisms:1984 and Beyond", Mechanism and Machine Theory, Cilt 20, Sayı 4, S. 245-249.
- Filiz H. vd. (1994): ROMOD: "A Product Modelling System for Rotational Parts", Proc. of 6<sup>th</sup> International Conference on Machine Design and Production, PP. 271-279, September 21-23, MTEU, Ankara.
- Fischer G. (1986): "Mathematical Models, Frieder", Vieweg&Shon Braunschweig Wiesbaden.
- Karagöz Y. (2000): "Nümerik Kontrollü Tezgahlar İçin Programlama (CAM) Teknikleri", Mühendis ve Makine, Nisan, Cilt 41 Sayı 483.