



# BSD FREZE TEZGAHLARINDA İKİNCİ DERECEDEDEN BİR YÜZEY İMALATININ ARAŞTIRILMASI

**Cihan ÖZEL, Ali İNAN**

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ

Geliş Tarihi : 13.04.2001

## ÖZET

Bu çalışmada, ikinci dereceden bir yüzey olan ve  $A.X^2 + B.Y^2 - C.Z^2 = 0$  genel denklemi ile verilen eliptik koni şeklindeki bir parçanın, Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (BSD) freze tezgahlarında imalatının yapılması açıklanmıştır. İmalat için gerekli olan Bilgisayar Destekli İmalat (BDİ) programının, Fanuc sistemli makrolarla nasıl hazırlanacağı gösterilmiş ve Dyna 2900 Myte tipi dik işlem merkezli BSD freze tezgahında da bir parça üzerinde uygulaması gösterilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Eliptik koni, Fanuc sistemli makro programlama, BSD freze tezgahı

## INVESTIGATION OF A QUADRATIC FORM FACE MANUFACTURING ON CNC MILLING MACHINES

### ABSTRACT

The study aims the manufacture of an elliptical cone shaped with  $A.X^2 + B.Y^2 - C.Z^2 = 0$  quadratic general equation on CNC milling machines. It shows how a CAM program can be developed using the Fanuc system macros for this special case. For the implementation, the program was run on a vertical machining center CNC milling machine, Dyna 2900 Myte machine and the results were evaluated.

**Key Words :** Elliptical cone, Fanuc system macro program, CNC milling machine

### 1. GİRİŞ

İmalata ve bizim ona bakış açımızı belirgin olarak değiştiren önemli bir etken, bilgisayarların gelişmesi ve yeni nesil üretim ekipmanları, özellikle bilgisayarlı sayısal denetimli (BSD) tezgahlardır. BSD tezgahları, robotlar, bilgisayarlar, BDT-BDİ sistemleri, esnek imalat sistemleri (EİS) ve bilgisayar tümelşik imalat sistemlerini (BTİS) kapsayan, programlanabilir cihazların ve sistemlerin her çeşidinin giderek artan kullanımı ile üretim tamamen bir devrim geçirmiştir. Ancak bu gelişmeler, her türlü parçanın imali için yeterli değildir. Daha önceleri ve günümüzde karmaşık ve özel profillere sahip iş parçalarının imalatları hala

oldukça zorluklar göstermektedir. Bu zorlukların aşılabilmesi, ancak tezgahın uygun bir şekilde programlanabilmesine bağlıdır.

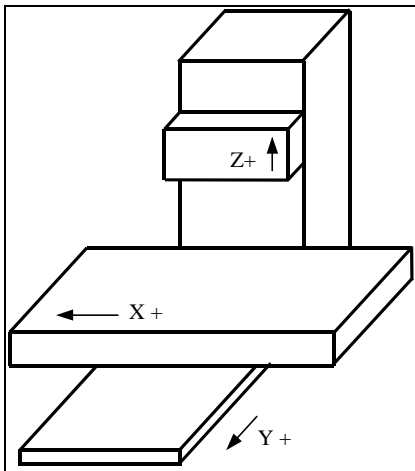
Son zamanlarda, matematiksel modellenen bazı şekiller dikkati çekmiş ve bu şekiller tespit edilerek, parça programlarla çözümü ve BSD tezgahlarında imalatlarının yapılabilirliği üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Fischer, 1986). Bundan önceki bir araştırmada, eliptik paraboloid ve eliptik hiperboloid şeklindeki parçaların Marwin BSD frezesinde imalatları için, ISO sistemine göre verilen parametrelerle Mikro Wax ve NUM 760 sistemine göre programlarının nasıl yapılabileceği üzerinde çalışmalar yapılmış ve bu şekillerin imalatlarında,

küresel uçlu parmak freze çakıları kullanılmıştır (İnan, 1993; Pıhtılı ve İnan, 1999). Yine diğer bir araştırmada, bir telefon ahizesi, BDT programıyla modellenmiş, yine aynı ortamda bu modelden yararlanarak kalıp yüzeyleri oluşturulmuştur ve BDİ programıyla takım yolları için, sayısal denetim (SD) kodları hazırlanmış ve BSD tezgahında imalatı gerçekleştirilmiştir (Erdman, 1985; Anon., 1985/1997). Ayrıca serbest sistemli makro programlama ile delik delme programı üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Besant, 1982; Balcı, 1993; Anon., 1998). Diğer çalışmalar da, cep işleminde takım yolu oluşturulmasına yönelik çalışmalardır (Besant and Lui, 1986; Anon., 1990; Davies et al., 1991). Bunlarla beraber, çeşitli BDT/BDİ sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar ve makine parçalarının çeşitli işleme yöntemleri üzerinde durulmuştur (Groover et al., 1984; Milner and Vasiliou, 1986; Wiulin and Davies, 1987). Yine başka bir araştırmada, sayısal denetimli tezgahlarda kullanılan çeşitli programlama teknikleri ile ilgili bir araştırma çalışması da yapılmıştır (Karagöz, 2000).

Bu çalışmada; ikinci derece yüzeylerden biri olan eliptik koni için, Fanuc sistemli makro programlama ile genel bir imalat programı hazırlanmış ve bir parça üzerinde uygulaması yapılmıştır.

## 2. CNC FREZE TEZGAHI VE PROGRAMLAMA PARAMETRELERİNİN TANITIMI

Şekil 1'de görülen BSD freze tezgahında, freze çakısının X, Y, Z eksenleri yönündeki hareketleri pozitif, tersi yönündeki hareketleri de negatiftir. Tezgah üç yönde ve birde dönerli iş tablasının hareketi olmak üzere dört hareket yapabileme özelliğine sahiptir.



Şekil 1. Dyna 2900 Myte tipi BSD freze tezgahı

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. 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 (Anon., 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 tir. 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'tir.

### 2. 1. Deney Malzemesinin Boyutlandırılması ve Parmak Freze Çakısının Seçimi

Yapılan araştırmada, imal edilecek şeklin malzemesi, kolay işlenmesi sebebiyle alüminyum bir malzemeden seçildi. Başlangıçta dikdörtgen kesitli olan bu malzemenin boyutlandırılması için, eliptik koni için verilen,

$$A.X^2 + B.Y^2 - C.Z^2 = 0 \quad (1)$$

genel denklemi dikkate alındı. Bu denklemde,  $Z_{max}$  sabit değerine bağlı olarak  $X=0$  için,

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

ve  $Y=0$  için,

$$X = \pm \frac{Z_{max} \cdot \sqrt{C}}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

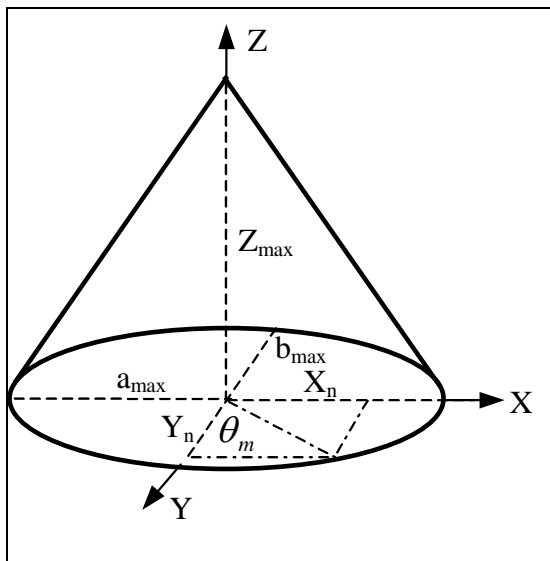
ifadeleri elde edildi. Elde edilen bu ifadelerle göre, imal edilecek eliptik koninin boyutlarını belirleyebilmek için,  $Z_{max} = 40$  mm sabit değeri ve denklemdeki katsayılar da sırası ile,  $A=10$ ,  $B=16$  ve  $C=9$  olarak seçildi. Seçilen bu değerlere göre,

$X \cong \pm 38$  ve  $Y = \pm 30$  değerleri hesaplandı. Ancak dikdörtgen kesitli alaşımlı Alüminyum malzemenin boyutları, çakının parçaya göre sınırlanması ile ilgili hataların olabileceği de dikkate alınarak, 77 x 61 x 40 mm olarak 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 düz alınlı, çapı 10 mm olan bir parmak freze çakısı seçildi.

## 2. 2. Eliptik Koni için İmalat Denklemlerinin Çıkartılması

Yukarıda yazılan (1) denklemi incelenirse, denklemin Z'nin sabit değerlerine göre, bir elips denklemi olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, dik işlem merkezli BSD freze tezgahında eliptik koni şeklindeki bir parçanın, Z eksenindeki boyutunun aldığı her bir değere karşılık, XY düzlemindeki elipslerin işlenmesi ile imal edilebileceği görüldü. Yine bu şekilde bir imalat için şekle ait parametrik denklemlerin gerekli olacağı göz önünde bulundurularak, her hangi bir kesit için parametrik denklemler Şekil 2. dikkate alınarak yazıldı. Ancak parmak freze çakısı, parçayı (4), (5) ve (6) denklemlerine göre işlediği zaman 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 de ilave edilerek, imalat denklemleri sırası ile aşağıdaki gibi yazıldı.



Şekil 2. Eliptik koni

$$X_n = a_n \cdot \text{Cos}\theta_m \quad (4)$$

$$Y_n = b_n \cdot \text{Sin}\theta_m \quad (5)$$

$$Z_n = \text{sabit} \quad (6)$$

$$X_m = a_n \cdot \text{Cos}\theta_m + r \cdot \text{Cos}\theta_m \quad (7)$$

$$Y_m = b_n \cdot \text{Sin}\theta_m + r \cdot \text{Sin}\theta_m \quad (8)$$

$$Z_m = \text{sabit} \quad (9)$$

Ancak (7), (8) ve (9) denklemlerine göre parmak freze çakısının yükseklik boyunca, elips şeklindeki yörüngeleri işleyebilmesi için, Z nin her bir değerine karşılık gelen,  $a_n$  ve  $b_n$  ifadelerinin de, hesap edilmesi gerekir. Bunun için (1) denklemi,

$$\frac{X^2}{\frac{C \cdot Z_m^2}{A}} + \frac{Y^2}{\frac{C \cdot Z_m^2}{B}} = 1 \quad (10)$$

yukarıdaki gibi yeniden düzenlendi.  $Y = 0$  ve  $X = 0$  için,  $a_n$  ve  $b_n$  ifadeleri sırası ile,

$$a_n = \pm \left( Z_m \cdot \sqrt{C/A} \right) \quad (11)$$

$$b_n = \pm \left( Z_m \cdot \sqrt{C/B} \right) \quad (12)$$

şeklinde yazıldı. Daha sonra bu ifadeler, (7) ve (8) denklemlerinde yerlerine yazılarak,

$$X_m = \left( Z_m \cdot \sqrt{C/A} \right) \text{Cos}\theta_m + r \cdot \text{Cos}\theta_m \quad (13)$$

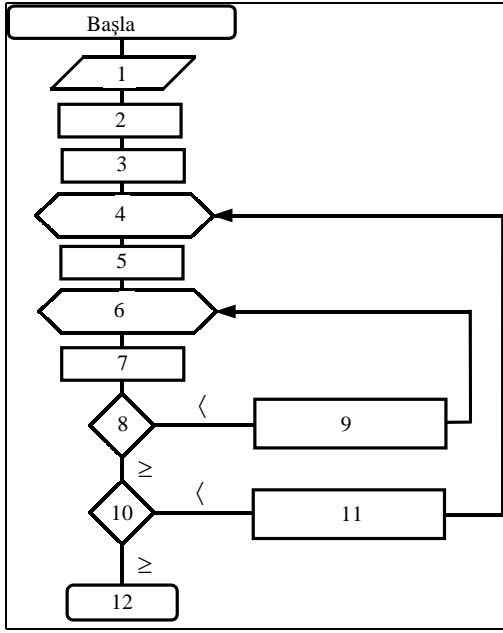
$$Y_m = \left( Z_m \cdot \sqrt{C/B} \right) \text{Sin}\theta_m + r \cdot \text{Sin}\theta_m \quad (14)$$

$$Z_m = \text{sabit} \quad (15)$$

denklemleri elde edildi. Parmak freze çakısının (13), (14) ve (15) denklemlerine 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 2). Parmak freze çakısı bu değişim aralıklarına göre, G01 doğrusal enterpolasyon kodu ile hareket ettirildi ve eliptik koni, gerçek ölçülerine göre imal edildi.

### 3. ELİPTİK KONİNİN BDİ PROGRAMI İLE İŞLENMESİ

Eliptik koni şeklindeki parçaların imalatı için, Fanuc sistemiyle makrolar oluşturularak hazırlanan BDİ programı için akış diyagramı Şekil 3'de görüldüğü gibidir. Akış diyagramında verilen numara sırasına göre aşağıdaki işlemler yapılmaktadır.

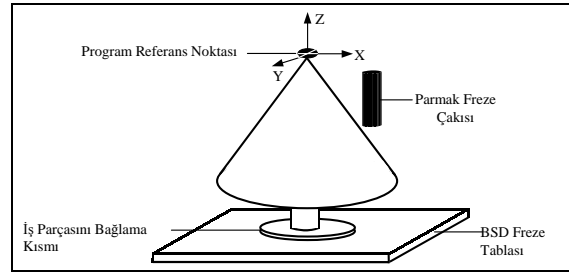


Şekil 3. Akış diyagramı

1. Adım : Programda F, S, G21, G90, G40, G54, T01, M03 gibi ISO kodlarının ve çakının G00 kodu ile X0 Y0 Z2 koordinatlarına hareketinin yazıldığı kısım,
2. Adım : A, B, C, r, H<sub>n</sub>, θ<sub>n</sub>, θ<sub>m</sub>, Z<sub>m</sub>, θ<sub>max</sub>, Z<sub>max</sub> gibi değerlerin makro değişkenlere atıldığı kısım,
3. Adım : N<sub>1</sub> = Z<sub>max</sub>/H<sub>n</sub>, N<sub>2</sub> = θ<sub>max</sub>/θ<sub>n</sub> gibi döngü sayılarının hesaplandığı ve çakının G00 X0 Y0 Z0 koordinatlarına hareketinin yazıldığı kısım,
4. Adım : Eliptik koninin yüksekliği için N<sub>1</sub> döngüsünün yazıldığı kısım,
5. Adım : Her bir + Z<sub>m</sub> değerine göre, (13), (14) ve (15) denklemlerinin çözümü ve çakının G01 X(X<sub>m</sub>) Y(Y<sub>m</sub>); G01 Z(-Z<sub>m</sub>); koordinatına hareketinin yazıldığı kısım,
6. Adım : Elips kesitleri işlemek için N<sub>2</sub> döngüsünün yazıldığı kısım,
7. Adım : Her bir θ<sub>m</sub> değeri ile (13), (14) ve (15) denklemlerinin çözümü ve parmak freze çakısının, G01 X(X<sub>m</sub>) Y(Y<sub>m</sub>) Z(-Z<sub>m</sub>); koordinatlarına göre elips kesitleri işlediği kısım,
8. Adım : Eğer θ<sub>m</sub> < θ<sub>max</sub> ise adım 9' a git şeklindeki şartlı kısım,
9. Adım : θ<sub>m</sub> = θ<sub>m</sub> + θ<sub>n</sub> işlemini yap, adım 6' ya git

10. Adım : Eğer Z<sub>m</sub> < Z<sub>max</sub> ise adım 11' e git şeklindeki şartlı kısım,
11. Adım : Z<sub>m</sub> = Z<sub>m</sub> + H<sub>n</sub> ve θ<sub>m</sub> = 0 işlemini yap ve adım 4' e git şeklindeki şartlı kısım,
12. Adım : Programın G28 ve M30 kodları ile durdurulması kısmı.

Yukarıda akış diyagramı verilen BDİ programının çalıştırılabilmesi için, iş parçasının BSD freze tezgahına uygun bir şekilde bağlanması gerekir. Bu araştırmada iş parçası tezgahın tablasına, civata ve pabuçlar yardımı ile aşağıdaki gibi bağlandı (Şekil 4).



Şekil 4. Parçanın BSD freze tezgahına bağlanması ve işlenmesi

Bu programda θ<sub>n</sub> ve H<sub>n</sub> gibi önceden belirlenebilen hassasiyet değerlerinin anlamları; θ<sub>n</sub> için girilen değerler, eliptik koniyi oluşturan elipslerin işleme hassasiyetini belirler, yine H<sub>n</sub> için girilen değerler ise, eliptik koni şeklindeki parçayı Z ekseninde Z<sub>max</sub> yüksekliği boyunca işlemek için talaş kaldırma kalınlığını ifade eder.

#### 3. 1. Semboller

- |                |   |
|----------------|---|
| M71            | : If kodu,  |
| M72            | : Goto kodu,  |
| M73            | : Repeat kodu,  |
| M30            | : Program sonu,   |
| T01            | : Takım numarası,                                       |
| M74            | : Repeat-End kodu,                                      |
| G21            | : Metrik sistem kodu,                                   |
| G90            | : Mutlak ölçülendirme,                                  |
| G17            | : X, Y referans düzlemi,                                |
| M03            | : İş mili dönme yönü (CW),                              |
| G54            | : İş parçası referans noktası,                          |
| G40            | : Takım çap telafisinin iptali,                         |
| G01            | : Doğrusal enterpolasyon kodu,                          |
| G28            | : Çakının tezgah referans noktasına gitmesi,            |
| S              | : İş milinin devir sayısı (dev/dak),                    |
| F              | : Çakının dakikadaki ilerleme miktarı (mm/dak),         |
| r              | : Parmak freze çakısının yarı çapı (mm),                |
| N <sub>1</sub> | : Eliptik koni yüksekliği için döngü sayısı,            |
| N <sub>2</sub> | : Elips kesitlerini işlemek için döngüsü sayısı,        |
| H <sub>n</sub> | : Döngü içinde kullanılan minimum talaş kalınlığı (mm), |

$\theta_n$	: Döngü için kullanılan en küçük açısal değişim miktarı (derece),
$\theta_m$	: Döngüde, $\theta_n$ açısına bağlı olarak elde edilen açı değeri (derece),
$Z_m$	: Döngüde, $H_n$ değerine bağlı olarak elde edilen toplam yükseklik değeri (mm),
$Z_{max}$	: Eliptik koninin maksimum yüksekliği (mm),
$\theta_{max}$	: Elips kesitleri oluşturmak için kullanılan maksimum açı (derece),
$a_{max}$	: Eliptik koninin maksimum kesiti üzerindeki uzunluk değeri (mm),
$\theta_{nmax}$	: Eliptik koninin maksimum kesitini işlemek için seçilen açı değeri (derece),
$a_n, b_n$	: Eliptik koninin herhangi bir kesiti için parametrik denklemlerindeki katsayılar,
X, Y, Z	: BSD freze tezgahının eksen yönleri,
A, B, C	: Eliptik koni denklemindeki katsayılar,
$X_m, Y_m, Z_m$	: Eliptik koninin imalat denklemleri,
$X_n, Y_n, Z_n$	: Eliptik koninin parametrik denklemleri,

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eliptik koni şeklindeki parçaların, hazırlanan genel bir imalat programı ile dik işlem merkezli BSD freze tezgahında  $\theta_n$  ve  $H_n$  gibi iki hassasiyet değeri ile imal edilebileceği görülmüştür. Bunun yanında  $\theta_m$  ve  $Z_m$  değerlerindeki değişimlerin çok büyük seçilmesi, parçanın yüzey hassasiyetini bozmaktadır. 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  $0.001^0$  seçilmesi durumunda; bu değer açısal değişimler için çok küçük olduğundan programda gereksiz yere döngü sayısını artıracığından imalat süresinin uzamasına ve maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Eliptik koninin kesitleri işlenirken  $\theta_n$  açısının aynı sabit değerde olmasının, koninin Z eksenı boyunca her bir kesitinin farklı bir yüzey pürüzlülüğü ile işlenmesine sebep olmaktadır. Bunun için konik bir yüzey işlenirken,  $\theta_n$  açısının imal edilecek parçanın maksimum kesitinin dikkate alınarak hesaplanmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır. Yani  $a_n$ , işlenen herhangi bir kesit üzerindeki uzunluk ve  $\theta_{nmax}$  da, parçanın maksimum kesitini işlemek için seçilen açısal değişim miktarı ise,  $\theta_n$  açısının her bir yeni kesit için programın referans noktasından itibaren  $\theta_n = \theta_{nmax} \cdot a_{max} / a_n$  bağıntısı ile hesaplanmasının ekonomik bir imalat için önemli olduğu görülmüştür. Yine seçilecek  $H_n$  değeri, ne kadar çok küçük olursa eliptik koniyi oluşturan elipslerin sayısı o ölçüde artacağından, eliptik koninin yüzey hassasiyeti de o kadar artacaktır. Ancak bu duruma bağlı olarak, imalat süresinin de o ölçüde uzayacağı

göz önünde bulundurulmalıdır. Araştırmada  $Z_m$  deki değişimler için,  $0.001 \leq H_n \leq 0.05$  aralığı kullanılmıştır.

Bu araştırmada, yukarıda yazılan değişim aralıkları dikkate alınarak her bir kesit  $\theta_n = 0.5^0$  ve  $H_n = 0.05$  mm sabit değerlerine göre işlendi. Bu değerlere göre imal edilen eliptik koninin yüzey pürüzlülüğü, Mitutoyo SurfTest 211 marka bir pürüzlülük ölçme aleti ile  $R_a = 3\mu m$  olarak ölçülmüştür (Şekil 5). Düz alınlı parmak freze çakısının seçiminde ise, bu tür şekillerin geometrisinden dolayı çakının serbest çalışması sebebiyle bir sınırlamanın oluşmadığı ve bu çakının, küresel uçlu parmak freze çakılarına göre piyasalarda daha ucuz ve bol miktarda bulunmasının da bir avantaj oluşturduğu görülmüştür.

Ayrıca küresel uçlu ve düz alınlı parmak freze çakılar ile imal edilen yüzeylerin, yüzey pürüzlülüklerinin incelenmesi faydalı olacaktır. Yine imal edilecek eliptik koni şeklindeki parçaların, piramit şeklindeki taslak parçalardan imal edilmesinin hem imalat için kullanılan çakıların ömürlerini uzatacak ve hem de kesilecek olan malzemenin israfını engelleyecektir.



Şekil 5. İmalatı tamamlanmış eliptik bir koni

#### 5. KAYNAKLAR

Anonymous, 1985. CAD/CAM. Reference Issue, Machine Design, 57 (24), 2-132.

Anonymous, 1990. Catia Training Curves and Surfaces Manuel Version Release 2. December Dassault Systems. USA.

Anonymous, 1996. Dyna 2900 Myte Tezgah Kataloğu. Dyna Mechtronics Inc. Ltd. 926 W. Maude Ave. Sunnyvale, Ca. 94086. USA.

Anonim, 1997. Sayısal Grafik, (10), 5-25, İstanbul.

Anonim, 1998. Sayısal Grafik, Sayı 11, S. 6-7, İstanbul.

Balcı, I. 1993. Solid Modelling-Today's, H. P. Otomasyon Dergisi Nisan Sayısı, 112-118.

Besant, C. B 1982. Computer Aided Design and Manufacture, 2 nd. edn. Ellis Harwoord. USA.

Besant, C. B., Lui, CW. K. 1986. Computer Aided Design and Manufacture 3-Edition 152-165.USA.

Davies, B.L., Robotham, A. J., Yarwood, A. 1991. Computer Aided Drawing and Design. Chapman Hall University and Proffessinal Division London-New York-Tokyo-Melbourne-Ma-Daras: 44-102.

Erdman, A. G. 1985. Computer-Aided Design of Mechanisms: 1984 and Beyond, Mechanism and Machine Teory, 20 (4), 245-249.

Fischer, G. 1986. Mathematical Models, Frieder. Vieweg. & Shon Braunschweig/Wiesbaden.

Groover, Mikell P.Zimmers, Jr, E.W. 1984. Computer Aided Design and Manufacturing. Prentice Hall 1-4; 104-129; 474-479.

İnan, A. 1993. The Machining of Eliptic Paraboloid Using Computer Numerical Control Systems. The Journal of Firat University, 5 (1), 67-77, Elazığ.

Karagöz, Y. 2000. Numerik Kontrollü Tezgahlar İçin Programlama (CAM) Teknikleri. Mühendis ve Makine (41), 483, Nisan Sayısı.

Milner, D. A., Vasiliou V. C. 1986. Computer Aided Engineering for Manufacture : (9-12), 132-145.

Pıhtılı, H., İnan A. 1999. "Bilbisayar Destekli Sayısal Denetimli Tezgahlarda Eliptik hiperboloidin İmalatı" **Makina-İmalat Teknolojileri Sempozyumu**, S. 52-59, 14-15 Ekim Konya.

Wiulin, D., Davies B.T. 1987. Surface Engineering Geometry For Computer-Aided Design and Manufacture, England.