

## SERBEST ŞEKLİLLİ YÜZEYLERİN İŞLENMESİ İÇİN TAKIM YOLU OLUŞTURULMASI

Ali Serhat ERSOYOĞLU, Ali ÜNÜVAR

S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 42031, KONYA

**ÖZET:** Bu çalışmada, serbest şekilli yüzeylerin hassas ve düşük maliyetle üretilmesini sağlamak amacıyla, belirli takım yolu şablonlarından uygun olanı ve gerekli takımları seçebilen bir takım yolu oluşturma sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, yüzey bilgilerini IGES veri dosyasından okuyabilmekte, bu yüzeyleri NURBS formatında tanımlayabilmekte, uygun takım yolu şablonları ile takımları seçebilmekte ve takım yolu üretebilmektedir. Sistem, Visual C++ programlama paketi ile yazılım haline getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Takım yolu, takım seçimi, serbest şekilli yüzeyler, NURBS.

### Tool Path Generation For Machining of Free Form Surfaces

**ABSTRACT:** In this study, we develop a tool path generation method to manufacture of free form surfaces with minimum cost and time. This system can read surface information from IGES file and convert to NURBS and than select convenient tool path pattern and tools and produce tool path. The developed system in this study is implemented with Visual C++.

**Keywords:** Tool path, tool selection, free form surfaces, NURBS.

## GİRİŞ

Bilgisayar temelli sistemlerin modellemede kullanılması imalat uygulamalarında giderek artmaktadır. Bu imalat uygulamalarında kullanılan geometrik modelleme sistemleri oldukça güvenilir sonuçlar vermekte ve geçmişte insan desteği gerektiren bir çok işlemleri otomatik olarak yapabilmektedir.

Takım yolu oluşturmada yaygın olarak kullanılan geometrik modelleme sistemi NURBS'dur. (Non Uniform Rational B-Spline System) NURBS temelli sistemler, serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi için takım yolu üretebilme yeteneğine sahiptirler. Bu serbest şekilli yüzeyler, yamalar şeklinde ve kontrol noktaları vektörü ile tanımlanmaktadır. Serbest şekilli yüzeyler genelde düzensiz bir şekilde ve karmaşık bir geometriye sahip olabilmektedir. NURBS temelli sistemler bu yüzeyleri hassas olarak tanımlayabilmektedir.

Bu çalışmada sunulan takım yolu oluşturma sistemi NURBS temellidir. NURBS

serbest şekilli bir yüzeyin matematiksel olarak tanımlanmasında kullanılmıştır. Serbest şekilli yüzeylerin BSD takım tezgahında işlenmesi kaba, yarı kaba ve ince işleme olmak üzere üç aşamada yapılmaktadır. Kaba kesme işleminde ham malzemeden büyük miktarlarda talaş kaldırılmaktadır. Yarı kaba işleme ise büyük takımla yapılan kaba işlemede kaldırılamayan malzemenin, daha küçük bir takımla işlenmesi kademesidir. İnce işlemede ise parça son şekline ve istenilen yüzey kalitesine getirilmektedir. Bu çalışmada, kaba kesme işleminin ince işlemeden daha fazla zaman almasından dolayı işleme maliyetlerini azaltmak için kaba kesme işlemi için takım yolu oluşturulması ele alınmıştır.

Literatürde bu alanda yapılmış bir çok çalışma ile karşılaşılmaktadır. Çalışmaların büyük çoğunluğunda kaba veya ince işleme için takım yolu oluşturulması hedeflenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Broomhead ve Edkins (1986) yapmış oldukları çalışmalarında serbest şekilli

yüzeylerin işlenmesi için takım yolu oluşturma algoritması vermişlerdir. Yüzeyleri temsil etmek için Bezier yüzey yamalarını kullanmışlardır.

Choi ve ark. (1988) yapmış oldukları çalışmalarında kalıp boşluklarında ve zımbalarda bulunan yüzeylerin modellenmesi ve işlenmesi için bir metot sunmuşlardır. Bu yüzeyleri modellemek için yapısal kati modelleme tekniğini kullanmışlardır. Prototip bir modelleme sistemi geliştirmişlerdir.

Bala ve Chang (1991) yapmış oldukları çalışmada, optimum kesici boyutu seçimi ve kesici yolu oluşturma ile ilgili bir metot geliştirmişlerdir. Metot prizmatik parçaları temel almaktadır. Öncelikle, minimum kesici hareketi kriterine göre takım seçmişler, daha sonra kesici hareketi içerisindeki alanı belirlemişlerdir. Son olarak kesici hareketlerini bu bölge içerisinde optimize etmişlerdir.

Lee Choi ve Chang (1992) yaptıkları çalışmada çok adalı kalıp boşluklarının işlenmesi için gerekli takım yollarını otomatik olarak oluşturan bir sistem geliştirmişlerdir. İşleme bilgilerinin değerlendirilmesi, karar verme stratejileri, kesici takım seçimi ve kesici takım yolu oluşturulması bu çalışmada verilmiştir. Kullanılan kalıp boşluğu yüzeyleri NURBS ile tanımlanmıştır. Yazarlar öncelikle modeli bir kesme derinliği değeri ile yatay düzlemlerle kesmişler ve kesme tabakalarını elde etmişlerdir. Bu kesme düzlemlerini kullanarak öncelikle işleme bilgilerini değerlendirmişler ve işlenecek boşluğun sınırlarını ve geometrik şeklini hesaplamışlardır. İşlem sırasına ait karar değerlendirilen işleme bilgileri temel alınarak verilmiştir. Kesici takım boyutu, geometrik kısıtlar, maksimum talaş kaldırma hızı, ince işleme için gerekli hassasiyeti verecek minimum kesici hareketi göz önüne alınarak tayin edilmiştir. Kesici hareketleri ve seçimini, komşu kesme tabakalarındaki işleme şartlarını dikkate alarak belirlemişlerdir.

#### Serbest Şekilli Yüzeylerin Modellenmesi

Serbest şekilli yüzeylerin modellenmesi için birçok teknik vardır. Bazı geometrik hesapları yapabilmek için işlenecek yüzeyin

tanımlandığı matematiksel formu bilinmelidir. Bu formlar parametrik yüzeyler için polinomsal katsayılar, veya B-spline yüzeyleri için kontrol noktaları, düğüm noktaları vektörü, ağırlıklardır.

Bir kompozit yüzey yama setlerinden meydana gelmektedir. B-spline veya NURBS tekniği de kompozit yüzeyler oluşturabilmektedir. (Choi, B.K., 1998)

Bir rasyonel B-spline yüzeyinin matematiksel denklemi, (Choi, B.K.,1991)

$$R(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{i,j} P_{i,j} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{i,j} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v)} \quad (1)$$

şekindedir. Burada  $P_{i,j}$  yüzeyin kontrol noktalarını,  $w_{i,j}$  ağırlıkları,  $p$   $u$  doğrultusundaki dereceyi,  $q$   $v$  doğrultusundaki dereceyi,  $N(u)$  ve  $N(v)$  normalize edilmiş temel fonksiyonları belirtmektedir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$N_{i-p}(u) = \frac{u-u_i}{u_{i+p}-u_i} \cdot N_{i,p-1}(u)$$

$$N_{i-p}(u) = \frac{u-u_i}{u_{i+p}-u_i} \cdot N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1}-u}{u_{i+p+1}-u_{i+1}} \cdot N_{i+1,p-1}(u)$$

$$N_{i,0} = \begin{cases} 1 & \rightarrow u_i \leq u < u_{i+1} \\ 0 & \rightarrow \text{değilse} \end{cases} \quad (2)$$

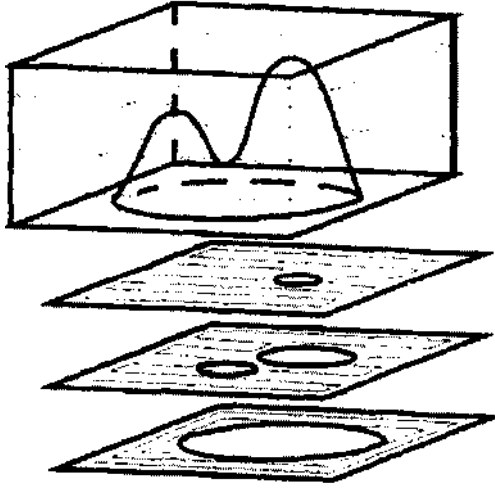
#### Kaba Boşaltma İşlemleri İçin Takım Yolu Oluşturma

##### Kaba Boşaltma İşlemleri İçin Takım Yolu Geliştirilmesi

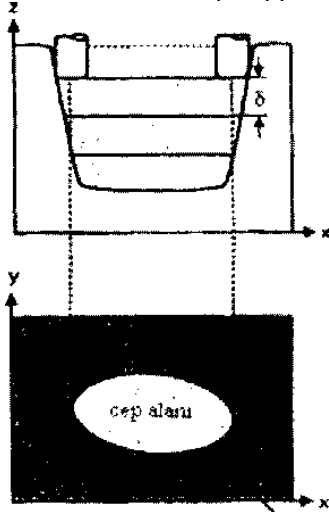
Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi kaba, yan kaba ve ince işleme aşamalarından meydana gelmektedir. Kaba kesmede, kaldırılacak olan malzeme, yüksek bir talaş kaldırma hızı ile kaldırılmaktadır. Bu durum uzay ve kalıp endüstrisi için oldukça önemlidir. Çünkü dolu malzemenin büyük bir kısmı işlenmekte ve de bu da büyük bir zaman almaktadır. Kaba kesme işlemi zamanının azaltılması toplam işleme zamanını ve de imalat maliyetini azaltacaktır.

Dong, Z. Ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, kaba kesme işlemi için kontur haritaları yaklaşımı kullanılmıştır. (Dong, Z. ve diğerleri,1993) (Şekil 1.). Bu yaklaşımda, model eşit aralıklı yatay düzlemler ile dilimlenmektedir. Kesme tabakalarının

kalınlığı kesme derinliği ( $\delta$ )'ya karşılık gelmektedir. (Şekil 2.). Kaba boşaltmada her bir kesme tabakası, küresel yada düz uçlu parmak freze takımları kullanılarak işlenmektedir.



Şekil 1. Kontur haritaları yaklaşımı.  
Figure 1. Contour maps approach.

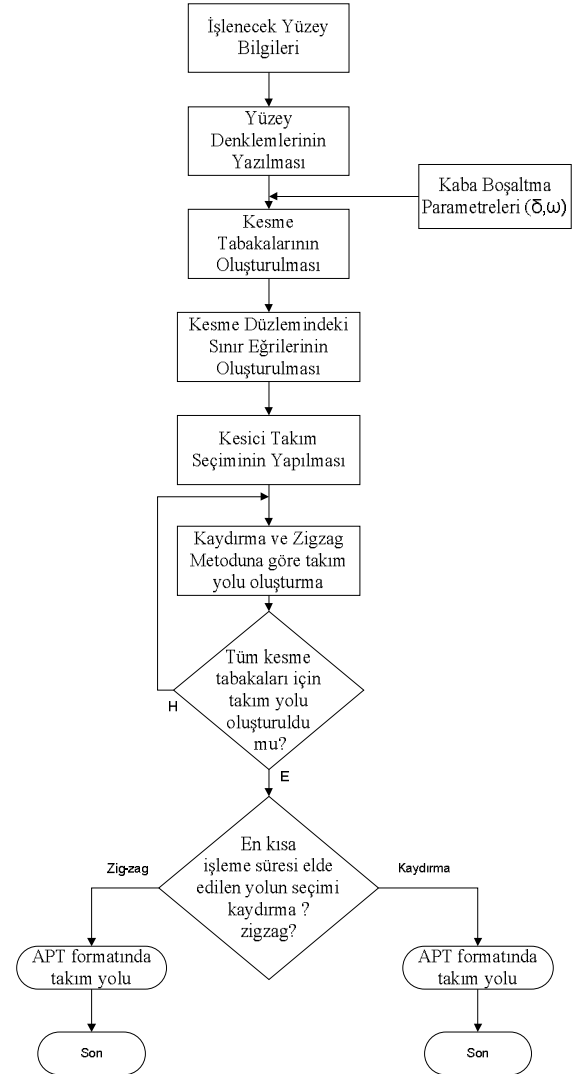


Sekil 2. Kaba kesmede kesme tabakaları.  
Figure 2. Cutting layer for rough machining.

Bu çalışmada geliştirilen serbest şekilli yüzey bilgilerini kullanarak, kaba kesme işlemi için gerekli takım yollarını bulan, en kısa işleme süresi ile sonuçlanacak olan takım yolu şablonunu öneren sisteme ait genel yapı Şekil 3. de verilmiştir. (Ersoyoglu A.S., 2005)

Yüzeyin matematiksel olarak ifadesini mümkün kılan NURBS modelleme tekniği genel denkleminde ait kontrol noktaları, düğüm

noktaları vektörü, ağırlıklar vs. gibi bilgiler modele ait IGES veri dosyasından alınmıştır.



Şekil 3. Sistemin genel yapısı.  
Figure 3. general structure of the system.

### Kesme Tabakalarının Oluşturulması

Kullanılan kontur haritaları yaklaşımında model kesme derinliğine eşit kalınlıklarda dilimlere ayrılmaktadır ve böylece kesme tabakaları oluşturulmaktadır. Her bir tabakadaki koordinat değerleri veri tabanında saklanmaktadır. (Şekil 4.)

Her bir kesme tabakasında takım yolu oluşturabilmek için, veri tabanına kaydedilen X,Y,Z koordinat değerleri kullanılarak her bir tabakadaki sınır eğrilerinin matematiksel olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlamanın yapılabilmesi için öncelikle,

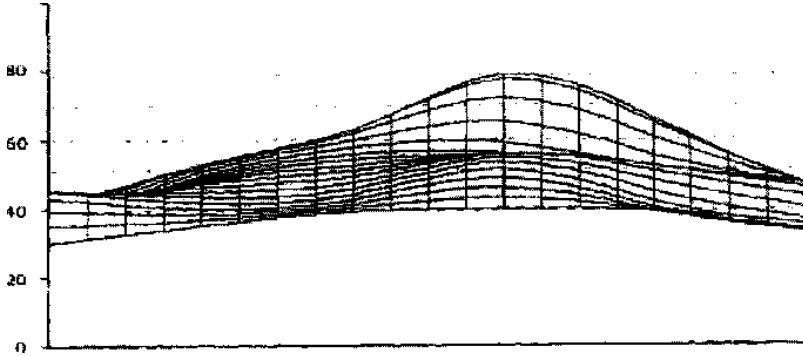
tabakadaki noktaların ardışık olarak sıralanması gerekmektedir.

Sıralama işleminde öncelikle her bir katmandaki noktalar ayrı ayrı dizilere kaydedilmektedir. Eğrinin geçtiği maksimum ve minimum noktalara ait koordinatlar belirlendikten sonra dizi içerisinde bir nokta başlangıç noktası olarak alınmaktadır. Bu noktanın o katmana ait dizideki tüm noktalara olan uzaklıkları hesaplanmakta ve başlangıç noktasına en yakın olan nokta, ikinci nokta olarak atanmaktadır. Daha sonra yeni bulunan nokta başlangıç noktası alınarak aynı işlemler dizideki tüm noktalar sıralanana kadar devam etmektedir. Aynı işlemler diğer katmanlarda bulunan noktalar için de tekrarlanmaktadır. Nokta sıralama işlemi tamamlandıktan sonra, bu noktalardan geçen ve takım yollarının hesaplanmasında kullanılacak olan sınır eğrilerinin denklemleri eğri interpolasyonu yöntemiyle hesaplanmaktadır.

#### Kesici Takımların Seçilmesi

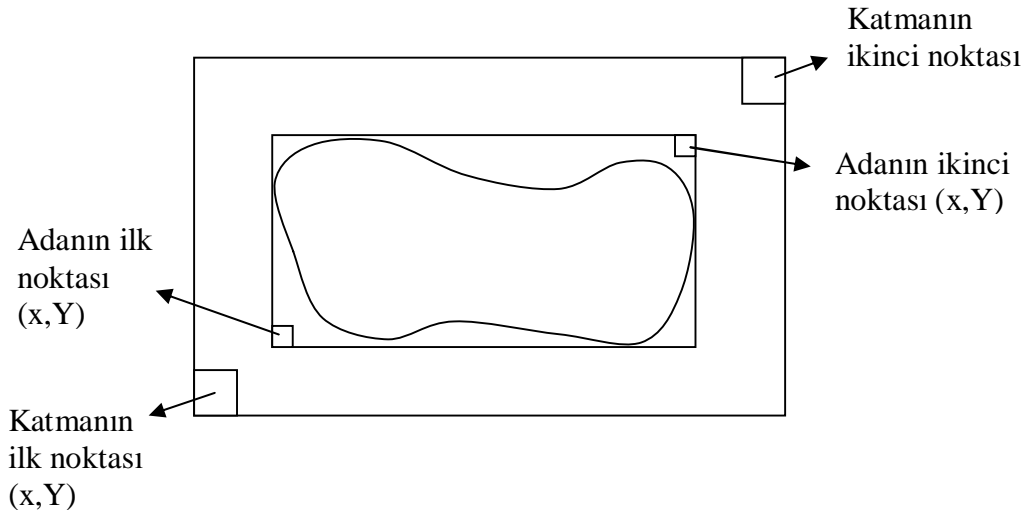
Kaba kesme işleminde işleme zamanının büyük çoğunluğunu işlenecek malzemenin kaldırılması almaktadır. Özellikle, işleme zamanının büyük bir miktarı, ham malzemenin boş kısımlarının işlenmesi esnasında harcanmaktadır. Bu nedenle, büyük kısımların büyük takımla, küçük kısımların ise daha küçük bir takımla işlenmesi fikri benimsenmiştir. Bu fikirden yola çıkılarak takım seçimi için bir algoritma geliştirilmiştir. Frezeleme işlemleri için parmak freze ve alın freze takımları kullanılmıştır.

Algoritmada öncelikle Şekil 5.'de görüldüğü gibi, her bir katmandaki modelin dış sınırı ve adaları çevreleyen dış dikdörtgen sınırlar belirlenmektedir.



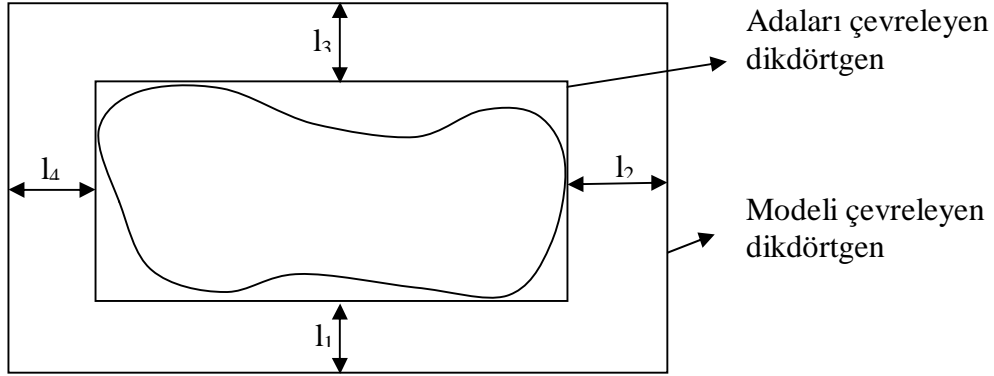
Şekil 4. Kesme tabakaları.

Figure 4. Cutting layers.



Şekil 5. Katmandaki modelin dış sınırı ve adaları çevreleyen dış dikdörtgen sınırlar.

Figure 5. Outlines of model and islands.

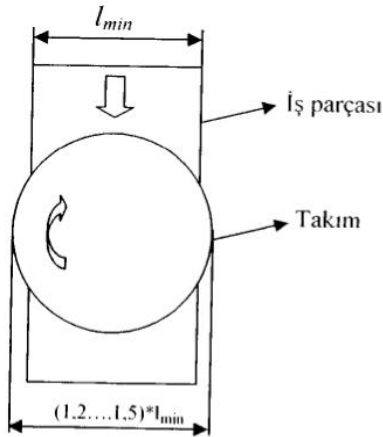


Şekil 6. Kenarlara olan mesafeler.

Figure 6. Distances to edges.

Daha sonra adaları çevreleyen dikdörtgen ve modeli çevreleyen dikdörtgenlerin kenarları arasındaki en kısa mesafeler hesaplanmaktadır (Şekil 6.).

Birinci katmandaki  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  ve  $l_4$  ölçülerinden en küçük olan kenara ait değer ( $l_{k\#\_min}$ ) bulunmaktadır.



Şekil 7. Frezeleme genişliği ve takım boyutu arasındaki ilişki.

Figure 7. Relationships between tool dimension and milling width

Şekil 7.'de görüldüğü üzere, frezelemede takım çapının frezeleme genişliğinden %20 ile %50 daha fazla olması önerilmektedir (Sandvik, 2001).

Bu öneriye uygun olarak, ilk katmandaki dikdörtgenler arasındaki kısımların işlenmesi için kullanılacak takım çapı;

$$D = 1,25 * l_{k\#\_min} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Daha sonra, diğer katmanlardaki kenarlara olan en kısa mesafeler hesaplanmakta, bu değer bir önceki katman için hesaplanan takım çapının yarısı olan değerden büyük ise aynı takım o katman için de kullanılmakta, küçük ise bu durumda da o katman için kullanılacak takım çapı, o katmandaki  $l_{k\#\_min}$  dikkate alınarak ve yukarıdaki denklem kullanılarak yeniden hesaplanmaktadır (Şekil 8.).

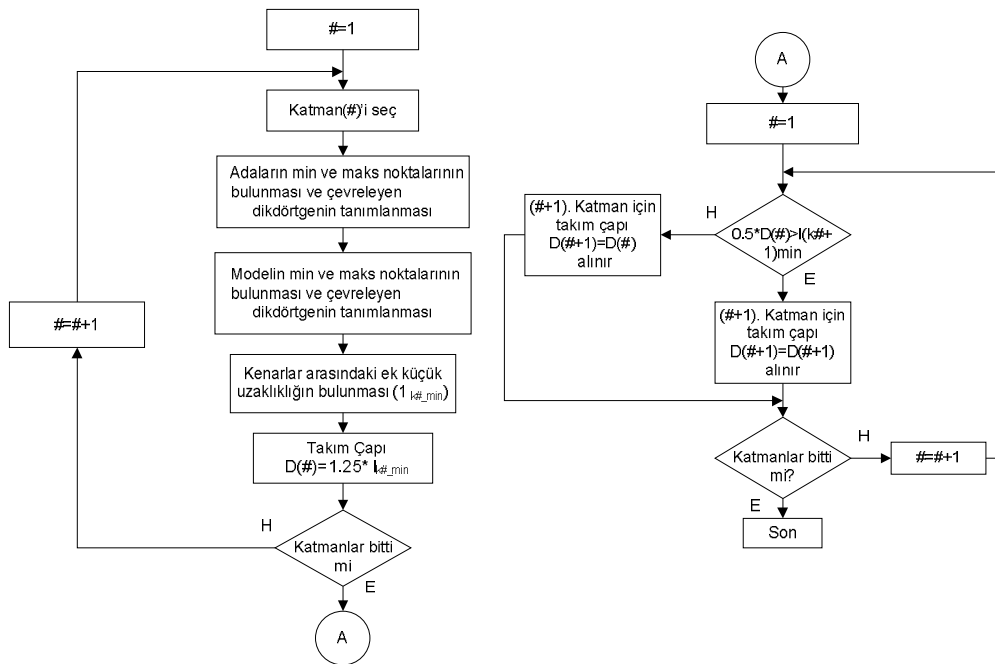
Adaları sınırlayan dikdörtgen ile sınır eğrisi arasında kalan kısmın işlenmesi için gerekli takım çapı ise şu şekilde hesaplanmaktadır.

Takım yolu oluşturma esnasında, adayı çevreleyen dış dikdörtgen ile sınır eğrisi arasında kalan kısmın işlenmesinde gerekli takımın seçilmesi için, ada dış dikdörtgeninin içerisi dikdörtgensel ızgaralara bölünmektedir. Bölme işlemi öncelikle her bir kenarın ikiye bölünmesi ile yapılmaktadır. Daha sonra bu ızgaralara ait noktaların sınır eğrisinin içerisinde kalıp kalmadığı aşağıda verilen nokta-poligon algoritması ile bulunmaktadır (Bildirici, Ö., 2003). Sınır eğrisi içerisindeki noktalar için 1, dışındaki noktalar için ise 0 etiketleri atanmakta ve veri tabanına kaydedilmektedir. Eğer ilk bölme işleminde 0 etiketli dikdörtgensel bir ızgara bulunamaz ise bu durumda, uzun

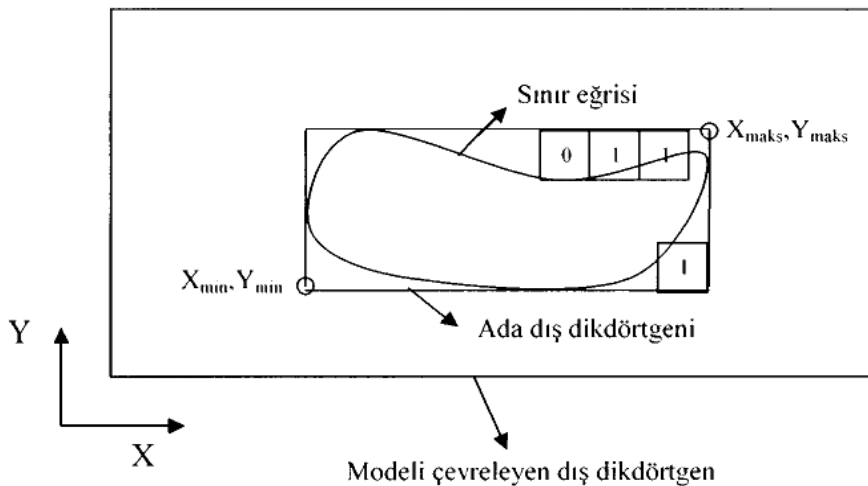
kenar üçe bölünüp tekrar kontrol yapılmaktadır. Üçe bölünmesinin nedeni, bölünmüş bir kenarı tekrar ikiye bölündüğünde daha küçük bir kenar elde edilebilir. Oysa ilk kenar üçe bölünürse, yüksek olasılıkla daha büyük 0 etiketli bir ızgara elemanı bulunabilir. Bu nedenle öncelikle yapılan ikiye bölme işleminde sonuç alınmaz ise üçe bölme işlemi yapılmaktadır. Yine 0 etiketli ızgara

bulunamaması durumunda üçe bölme işlemi iptal edilip, ikinci bölme işlemi olarak tekrar ikiye bölme şeklinde yapılmaktadır. Bu işlemler 0 etiketli ızgara elemanı bulunana kadar devam etmektedir.

0 etiketli ızgara bulunduktan sonra, takım çapı hesabı aşağıdaki şekle göre yapılmaktadır. (Denklem 4, 5 ve Şekil 10.) (Lee, K, ve diğerleri).

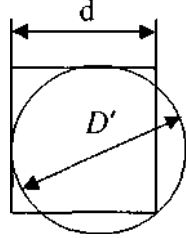


Şekil 8. Adaları çevreleyen dikdörtgen ve modeli çevreleyen dikdörtgenler arasındaki kısmın işlenmesi için takım seçimine ait algoritmanın akış şeması.  
Figure 8. Tool selection algorithms for machining of outside area of the islands.



Şekil 9. Kesme tabakasında sınır eğrisi poligonu.

Figure 9. Border curves polygon at a cutting layer.



Şekil 10. Dikdörtgenin kısa kenarından oluşturulan kareye göre takım boyutu.  
Figure 10. Calculating of tool dimension according to small edges of rectangle.

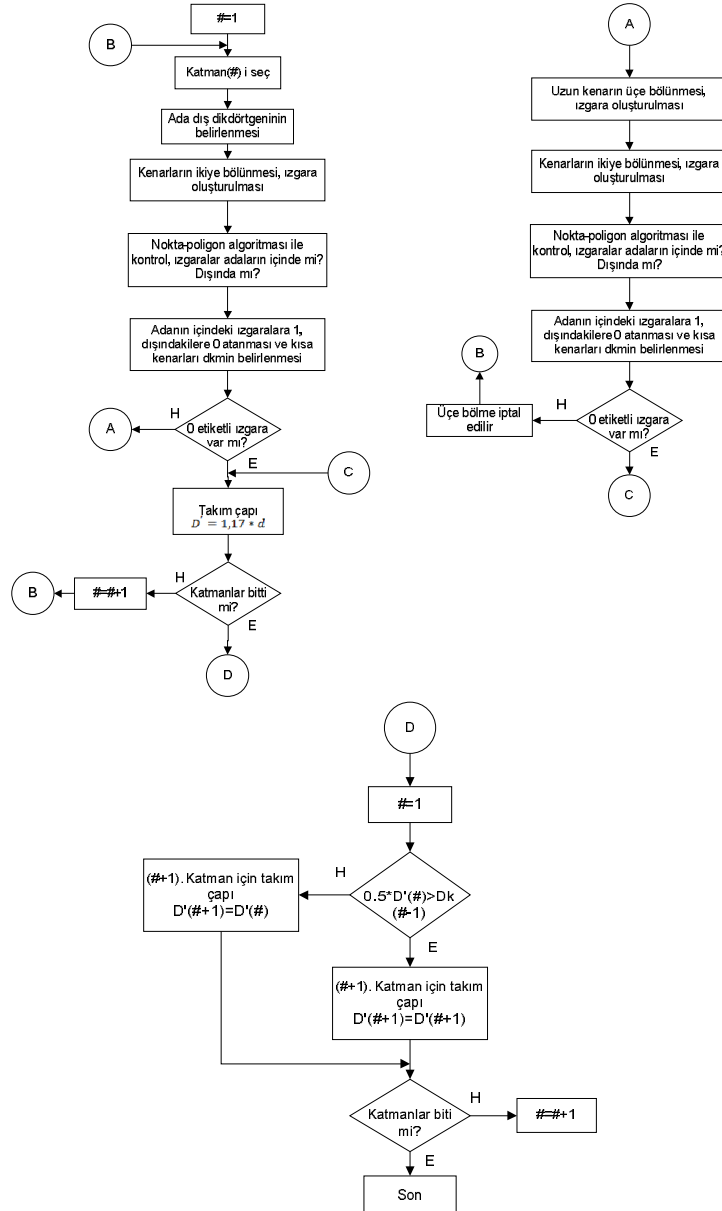
Burada  $d$ : 0 etiketli dikdörtgenin kısa kenarı boyutudur.  $D'$ : Takım çapını belirtmektedir.

$$d = \frac{D'}{2} + \frac{D'}{2} * \cos 45^\circ \quad (4)$$

$$D' = 1,17 * d \quad (5)$$

olmaktadır. Her katman için  $D'$  1er hesaplanıp ortalaması alınmaktadır.

Algoritmaya ait akış şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 11. Adaları sınırlayan dikdörtgen ve sınır eğrisi arasında kalan kısmın işlenmesi için takım seçimine ait algoritmanın akış şeması.

Figure 11. Tool selection algorithms for machining of area that between outside rectangle of island and island borders.

### Takım Yolu Oluşturma

Takım yolu oluşturma metodunun amacı, eğriler ile tasarlanmış parçanın tüm yüzeylerini taramaktır. İdeal olarak, tasarlanmış parça yüzeyleri üzerindeki her bir nokta kesici temas noktası olmalıdır. Diğer bir deyişle, takım yolları birbirlerine oldukça yakın olmalıdırlar. Bu durum işleme zamanının artmasına neden olmaktadır.

Tasarlanmış bir parça için takım yolu oluşturmada, takım yolu şablonu ve takım yolu hesaplama stratejisini ayırt etmek gereklidir. Her ikisi birlikte takım yolu oluşturmaya tanımlamaktadır (Held, m., 1991). Bununla birlikte, serbest şekilli yüzeyler içeren parçalarda takım yolu oluşturmada her iki stratejiyi ayırt etmek gereklidir.

Takım yolu şablonlarında temel amaç, tasarlanan parçanın işlenmesi gereken tüm yüzeylerinin taranmasıdır. En çok kullanılan takım yolu şablonu zig-zag eğrileri, kaydırma eğrileri, spiral eğriler, boşluk doldurma eğrileri, ardışık eğrilerdir (Şekil 12.). Bu çalışmanın temel bir çalışma olması, hedeflenen sistem için en az iki şablonun gerekliliği ve yaygın olarak kullanılmaları

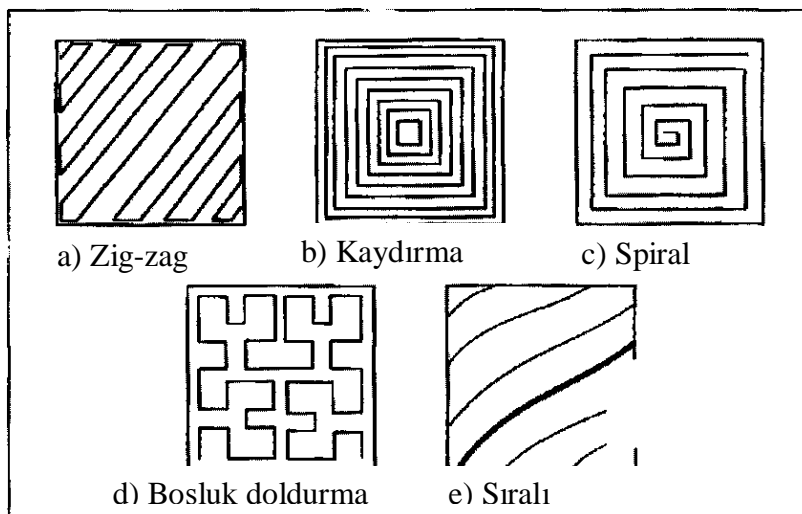
nedeniyle de zig-zag ve kaydırma yöntemleri kullanılmıştır.

### Zig - Zag Takım Yolları

En çok kullanılan takım yolu şablonudur. Bu şablon, paralel ışınlarla işlenecek alanın doldurulması esasına dayanmaktadır. Işınlar iş parçası kenarlarından birisine paralel olacak şekilde yerleştirilmektedir. (Şekil 3.13) Şekilde görüldüğü gibi, adayı sınırlayan dikdörtgene kadar zigzag takım yolları, ada sınır eğrisi ise çevreleyen dikdörtgene kadar ofsetlenmektedir.

### Kaydırılmış Takım Yolları

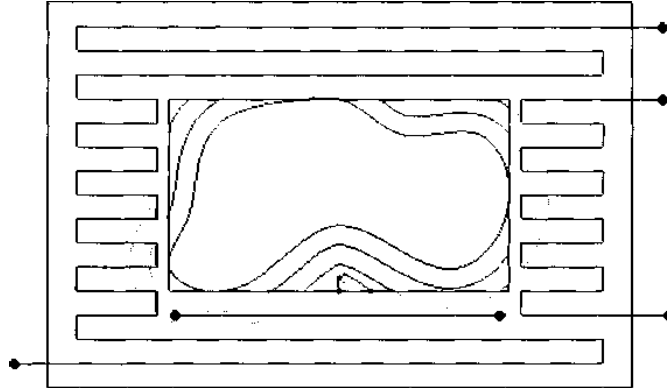
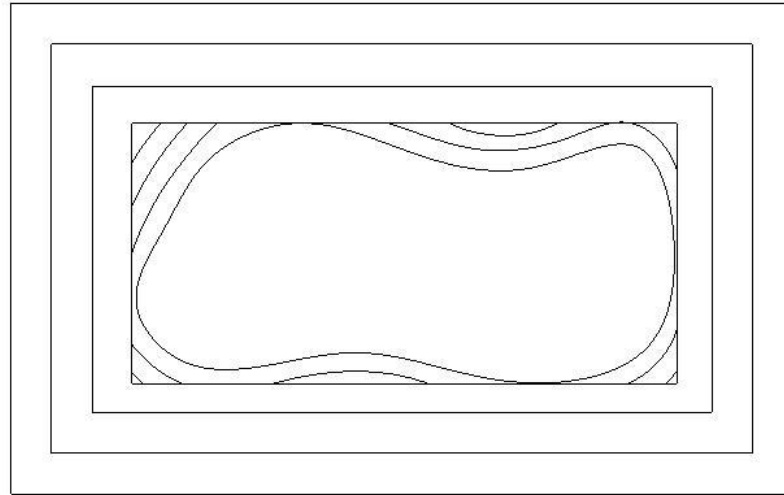
Bu yöntemde dış dikdörtgen ile sınır eğrisi arasında kalan kısmın işlenmesi için, eğrinin dışına doğru kaydırılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Kaydırmada işleminde içteki sınır eğrisi üzerindeki her bir noktadan, belirlenen bir yan artış miktarı kadar dışarı açılmaktadır. (Şekil 14.). Dışarı açılma esnasında, her noktanın normal vektörleri hesaplanmakta, kaydırma işlemi bu vektör doğrultusunda gerçekleşmektedir.



Şekil 12. Takım yolu şablonları.



Figure 12. Tool path patterns.

Şekil 13. Zig - Zag takım yolları.  
Figure 13. Zig - Zag tool paths.Şekil 14. Kaydırılmış takım yolları.  
Figure 14. Offsetting tool paths.

Takım yolu bilgilerinin APT formatında yazılması

Takım yolu oluşturma algoritmalarından elde edilmiş olan kesici konum bilgileri, standart bir formatta çıktı olarak verilmelidir. Sonuçların simülasyonu için kullanılan paket programın APT dosya formatını kabul etmesi sebebiyle bu format kullanılmıştır. Kesici konumlarına ait bilgiler bu formata uygun olarak çıktı halinde verilmektedir.

#### Test Çalışmaları

Test çalışmada seçilen serbest şekilli yüzey modelleri NURBS temelli olarak

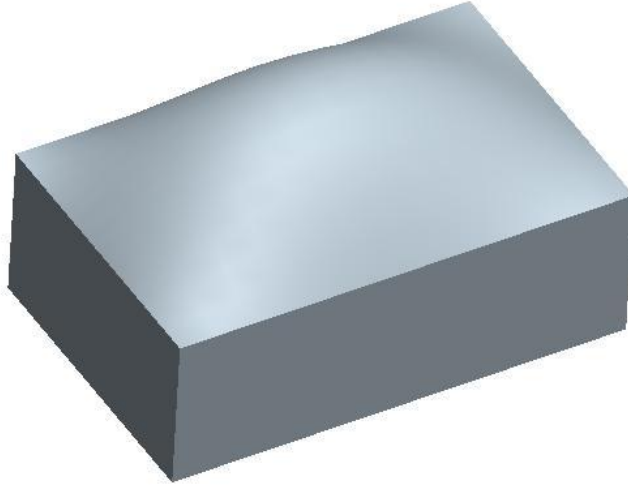
oluşturulmuştur. BDT veri tabanı modele ait geometrik bilgileri içerecek şekilde elde edilmiştir (Şekil 13., 14.). Çalışmadaki parametreler aşağıdaki gibi alınmıştır (Tablo 1.).

Tablo 1. İşleme parametreleri.  
Table 1. Machining parameters.

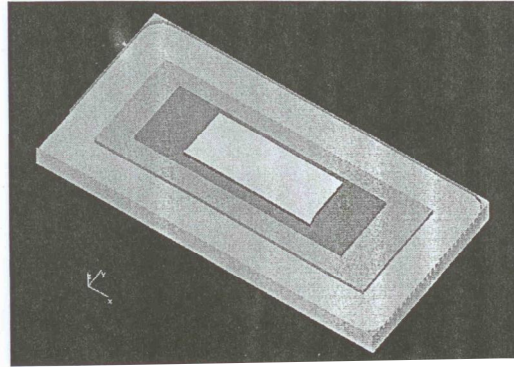
Parametre	Değeri
Katman derinliği	3
u ve v artış miktarı	0.1
Kaydırma mesafesi	Takım yarıçapı

Elde edilen takım yollarına ait simülasyonlar bir simülasyon yazılımı vasıtasıyla yapılmıştır. Toplam yol

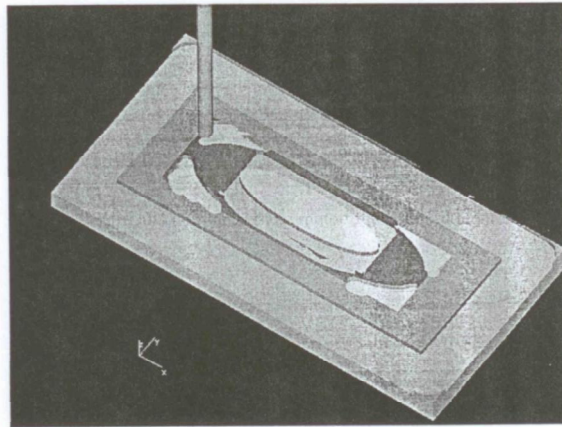
uzunluğuna ait veriler de yine bu programın hesaplamış olduğu değerlerdir.



Şekil 15. Test modeli.  
Figure 15. Test model.

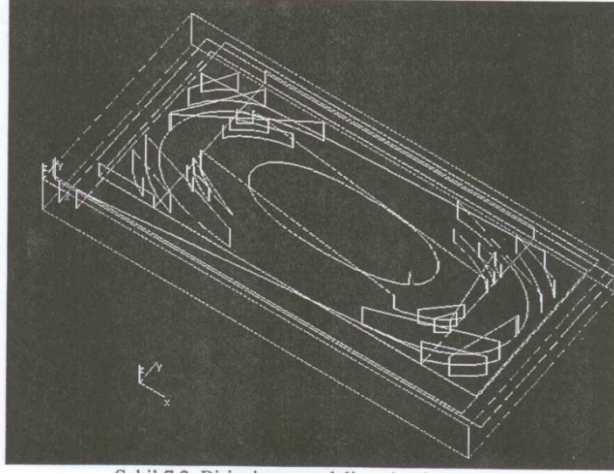


Şekil 16. Test modeline ait takım yolları.  
Figure 16. Tool paths for test model.



Şekil 17. Dış kısımlar zig - zag metodu ile işlendikten sonra.

Figure 17. After the machining of outside area by zig – zag methods.



Şekil 18. Adaları çevreleyen dikdörtgen ve adalar arasındaki işlenmesi.

Figure 18. Machining of the area that between outside rectangle of island and island borders.

Tablo 2. Dış kısmı işlemek için gerekli takım çapları (32=&lt;parmak freze, 32&gt; alın frezeleme takımı).

Table 2. Tool dimensions for machining of outside area (32=&lt; end mill, 32&gt;face mill).

Katman No	En kısa frezeleme genişliği	Hesaplanan takım çapı Dk (mm)	Standart takım çapı (mm)	Uygun kullanılabilir takım çapı (mm)
1	39.7	49.625	50	50
2	31.7	39.625	40	50
3	19.97	24.96	25	25

Tablo 3. Adaları çevreleyen dikdörtgen ve adalar arasındaki işlenmesi için takım seçimi (32=&lt;parmak freze, 32&gt; alın frezeleme takımı)

Table 3. Tool selection for machining of area that between outside rectangle of island and island borders (32=&lt; end mill, 32&gt;face mill)

Katman No	0 Etiketli dikdörtgenin kısa kenarı	Hesaplanan takım çapı Dk (mm)	Standart takım çapı (mm)	Uygun kullanılabilir takım çapı (mm)
1	5.15	6.4	6.5	10
2	4.81	6.0	6.0	6.5
3	7.475	9.34	10	10

Tablo 4. Takım yolu uzunlukları.

Table 4. Tool path lengths.

Takım yolu şablonu	Toplam Yolu Uzunluğu (mm)	En uygun şablon
Zigzag	3800	Zigzag

Kaydırma eğrileri	4250	
-------------------	------	--

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde imalat maliyetlerinin düşürülebilmesi için, işleme performansını direkt olarak etkileyen takım yollarının türetilmesi ile ilgili bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada, toplam imalat süresinin önemli bir kısmını teşkil eden kaba boşaltmanın işleme performansının artırılması amaçlanmıştır, bu doğrultuda uygun takımları ve takım yolu şablonunu tespit eden bir sistem geliştirilmiştir.

İş parçası modeli dış sınırları ile adaları çevreleyen dikdörtgen arasında kalan alanların büyük takımlarla işlenmesi sağlanmış ve bu suretle prodüktivite artırılmıştır.

Basitten karmaşığa doğru modellere ait simülasyonlar yapılmıştır ve alternatif şablonlara göre elde edilen sonuçlar

çizelgelerde verilmiştir. Zigzag takım yolu şablonunun, kaydırma eğrileri şablonuna göre işleme performansının daha iyi olduğu görülmüştür.

Daha iyi sonuçlar zigzag takım yolu ile elde edilmesine rağmen, sonraki operasyonlar için kalan malzeme daha fazla olmaktadır. Özellikle ada sınır eğrileri kenarlarında, zigzag takım yolu şablonlarında kaydırma eğrileri şablonuna göre daha fazla kesilmemiş malzeme kalmaktadır. Bu çalışma temel bir çalışma olduğu için, spiral ve boşluk doldurma eğrileri ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

Temel bir çalışma olması nedeniyle, takım yolu şablonu olarak zigzag ve kaydırma şablonları kullanılmıştır. Diğer şablonlar da sisteme dahil edilerek yada yeni şablon yapıları oluşturularak daha iyi işleme performansı veren takım yolları ile ilgili araştırmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Broomhead, P., Edkins, M., 1986, Generating NC Data at The Machine Tool for The Manufacture of Free-Form Surfaces, Int. J.Prod.Res, 24(1), 1-14
- Bildirici Ö., 2003, Mekansal Veri Analizinde Point in Polygon Testi, TU.IK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, 24-25-26 Eylül 2003 Konya
- Choi, B.K., 1988, Compuond surface modeling and machining. Computer Aided Design, 20(3), 127-136
- Bala, M., Chang, T.C., 1991, Automatic cutter selection and optimal cutter path generation for prismatic parts. International Journal of Production Research, 29(11), 2163-2176.
- Lee, Y.S., Choi B.K., Chang T.C., (1992), 1992, Cut distribution and cutter selection for sculptured surface cavity machining. International Journal of Production Research. 30(6), 1447-1470.
- Choi, B.K., 1998, Sculptured Surface Machining, Kluwer Academic Publishers, Great Britain.
- Choi, B.K., 1991, Surface Modeling for CAD/CAM, Elsevier Science Publishers, Great Britain
- Dong, Z., Li, H., Vickers, G.W., 1993, Optimal rough Machining of Sculptured Parts on a CNC Milling Machine, Journal of Engineering for Industry. 115,424-431
- Held, M., 1991, A Geometry-based Investigation of Tool Path Generation for Zigzag Pocket Machining, The Visual Computer, 7. 296-308
- Lee, K., Kim, T.J., Hong. S.E.. 1994, Generation of toolpath with selection of proper tools for rough cutting process, Computer-Aided Design, 26(11), 822-831.
- Les P., Wayne T., 1997, The Nurbs Book, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- Ersoyoğlu, A.S., 2005 "Serbest Şekilli Yüzeylerin İşlenmesi İçin Takım Yolu Oluşturulması", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sandvik Coramant, 2001, Frezeleme takımları katalogu, A 212