

167583

T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERBEST ŞEKİLLİ YÜZEYLERİN İŞLENMESİ İÇİN
TAKIM YOLU OLUŞTURULMASI

Ali Serhat ERSOYOĞLU

DOKTORA TEZİ

MAKİNA ANABİLİM DALI

Danışman

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Konya, 2005

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

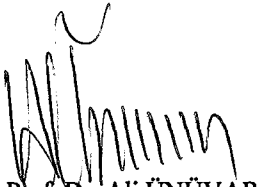
SERBEST ŞEKLİLİ YÜZEYLERİN İŞLENMESİ İÇİN
TAKIM YOLU OLUŞTURULMASI


Ali Serhat ERSOYOĞLU

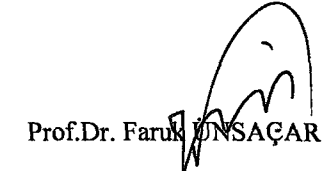
DOKTORA TEZİ

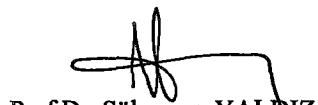
MAKİNA ANABİLİM DALI

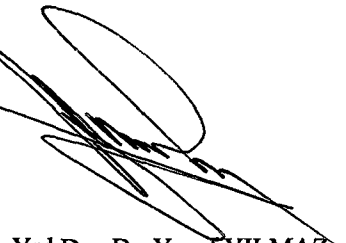
Bu tez 18.11.2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir


Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR
(Danışman)


Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR
(Üye)


Prof. Dr. Faruk ÜNSAÇAR
(Üye)


Prof. Dr. Süleyman YALDIZ
(Üye)


Yrd. Doç. Dr. Yusuf YILMAZ
(Üye)

TEŐEKKÜR

“Serbest Şekli Yüzeylerin İşlenmesi İçin Takım Yolu Oluşturulması” isimli tez ęalıőmamın geręekleőtirilmesi esnasında değerli katkılarını esirgemeyen Danışman Hocam Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR’a ve desteklerini gördüğüm bütin arkadaşlarıma teőekkür ederim.



ÖZET

Doktora Tezi

SERBEST ŞEKİLLİ YÜZEYLERİN İŞLENMESİ İÇİN

TAKIM YOLU OLUŞTURULMASI

Ali Serhat ERSOYOĞLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

2005, 145 Sayfa

Jüri : Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Prof.Dr. M. Cemal ÇAKIR

Prof.Dr. Faruk ÜNSAÇAR

Prof.Dr. Süleyman YALDIZ

Yrd.Doç.Dr. Yusuf YILMAZ

Bir imalat sisteminde serbest şekilli yüzeylerden oluşan karmaşık parçaların tasarlanması kadar imal edilmesi de oldukça önemlidir. Sayısal denetimli takım tezgahlarının (BSD) etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve bu karmaşık şekilli yüzeylere sahip parçaların işlenebilmesi için Bilgisayar Destekli İmalat (Computer Aided Manufacturing, CAM) programlarına ihtiyaç vardır. Günümüzde bir çok ticari BDT/BDÜ paket programı vardır. Bu programlar serbest şekilli yüzeylerin BSD takım tezgahlarında işlenebilmesi için gerekli SD kodlarını üretebilmektedir. Bir BDT/BDÜ programından hassas bir işleme sağlayan SD kodları üretmesinin yanında, en düşük maliyet, en az işlem süresi ile sonuçlanacak bir takım yolu üretmesi istenmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, serbest şekilli yüzeylerin hassas ve düşük maliyetle üretilmesini sağlamak amacıyla, belirlenen takım yolu şablonlarından uygun olanını ve gerekli takımları seçebilen bir takım yolu oluşturma sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, yüzey bilgilerini IGES veri dosyasından okuyabilme, bu yüzeyleri NURBS formatında tanımlayabilme, uygun takım yolu şablonları ile takımları seçebilme ve takım yolu üretebilme yeteneğine sahiptir. Sistem, Visual C++ programlama paketi ile yazılım haline getirilmiştir.

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

ABSTRACT

PhD Thesis

TOOL PATH GENERATION FOR MACHINING
OF FREE FORM SURFACE

Ali Serhat ERSOYOĞLU

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof.Dr.Ali ÜNÜVAR

2005, 145 Page

Jury: Prof.Dr.Ali ÜNÜVAR

Prof.Dr. M. Cemal ÇAKIR

Prof.Dr. Faruk ÜNSAÇAR

Prof.Dr. Süleyman YALDIZ

Yrd.Doç.Dr. Yusuf YILMAZ

Manufacture of complex parts including free form surfaces are very important as well as its design in a manufacturing system. Computer Aided Manufacturing (CAM) software is required in order to utilize CNC machine tools effectively and manufacture parts including free form surfaces. There are a lot of commercial CAD/CAM software which can produce NC codes necessary to manufacture of free form surfaces at CNC machine tools. The CAD/CAM software also can produce tool path to manufacture of mechanical parts with minimum production cost and time. 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, IGES, NURBS.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı.....	4
BÖLÜM 2	5
2.1. Literatür araştırması.....	5
BÖLÜM 3 SERBEST ŞEKLİ YÜZEYLERİN MODELLENMESİ VE İŞLENMESİ	19
3.1. Serbest Şekli Yüzeylerin Modellenmesi	20
3.2. Serbest Şekli Yüzeylerin İşlenmesi	22
3.3. Takım yolu topolojileri ve frezeleme stratejileri seçenekleri	25
3.4. İşleme Aşamaları	30
BÖLÜM 4 TAKIM YOLU TOPOLOJİLERİ	32
4.1. Giriş	32
4.2. Takım yolu topolojisi ve frezeleme stratejisi planlama	32
4.3. Takım yolu çözünürlüğü planlama	37
4.4. Takım yolu oluşturma.....	40
4.5. Kesici girişimleri	42
4.6. Kesici simülasyonu ve SD doğrulama	47
BÖLÜM 5 TAKIM YOLU OLUŞTURMA METOTLARI.....	49
5.1. CC temelli takım yolu oluşturma metotları	49
5.2. CL temelli takım yolu oluşturma metotları	51
5.3. İzo-parametrik takım yolları için CL verisi hesaplama	52
5.4. Kartezyen takım yolları için CL verisi hesaplaması.....	55
5.5. APT tipi takım yolları için CL verisi hesaplama	58
5.5.3. Yan artış miktarı	63
BÖLÜM 6 KABA BOŞALTMA İŞLEMLERİ İÇİN TAKIM YOLU OLUŞTURMA	64
6.1. Kaba Boşaltma İşlemleri İçin Takım Yolu Geliştirilmesi	64
6.2. IGES veri dosyasından alınan yüzey bilgilerinin matematiksel denklemlere dönüştürülmesi.....	67
6.3. Kesme tabakalarının oluşturulması.....	74
6.4. Kesme tabakasındaki sınır eğrilerinin oluşturulması.....	76
6.5. Takım Yolu Oluşturma	82
6.6. Takım yolu bilgilerinin APT formatında yazılması.....	116
BÖLÜM 7 TEST ÇALIŞMALARI VE SONUÇLAR	118
7.1. Seçilen modeller ve testler.....	118
BÖLÜM 8 TARTIŞMA	125
BÖLÜM 9 SONUÇ ve ÖNERİLER.....	127
REFERANSLAR	129
EKLER	136

BÖLÜM 1

1.1. Giriş

Özellikle otomotiv ve elektronik tüketim malzemelerinde müşteri ihtiyaçlarını karşılamada en önemli faktör, ürünlerin estetik bir görünüme sahip olmasıdır. Diğer taraftan, ürünler fonksiyonel ihtiyaçları sağlamak için de serbest şekilli yüzeylerden meydana gelmektedir. Bu serbest şekilli yüzeyler;

- Aerodinamik parçalarda: uçak kanadı, kompresör kanatçıkları, gemi çarkları vs.
- Optik alanında: Lamba reflektörleri (otomobil), gölge maskeleri (TV, monitör), radar antenleri vs.
- Medikal alanında: Protez parçalar
- İnşaa alanında: Yapısal çerçeveler (uçaklar) vs.
- İmalat alanında: Otomotiv parçaları, kalıp yüzeyleri vs.

de bulunmaktadır.

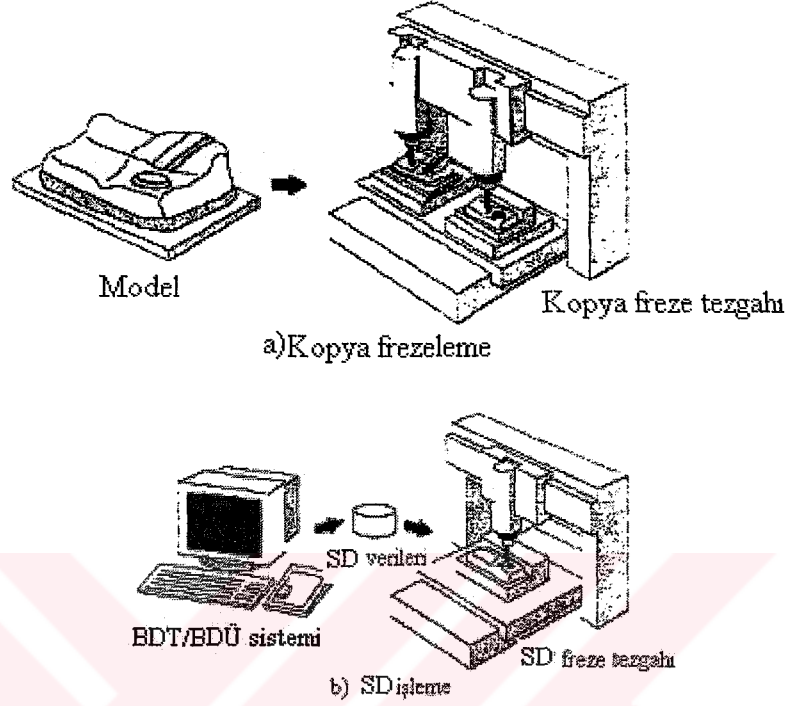
Özellikle serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde büyük kolaylık sağlayan sayısal denetimli (SD) işleme teknolojisi 1950'lerde MIT tarafından ortaya konmuştur ve SD işleme verilerini oluşturmaya destek olması için APT (Automatically Programmed Tool) sistemini geliştirmişlerdir. Bilgisayar destekli tasarım (BDT) ve bilgisayar destekli üretim (BDÜ) den önce APT sistemi, mekanik parçaların işlenmesi için gerekli SD işleme verilerini elde etmek için kullanılmaktaydı. APT sistemiyle bir parçayı kesmek için, APT dili olarak isimlendirilen İngilizce'ye benzer bir dilde bir parça programı yazılmaktadır. Bu parça programı parça geometrisi, kesici hareketleri, işleme özellikleri ile ilgili bilgileri içermektedir. APT işlemcisi daha sonra parça programından kesici takım

konumlarını hesaplamakta ve bu konum bilgileri bir son işlemci ile istenilen kontrol ünitesine göre SD kodlarına dönüştürülmektedir. APT sistemleri daha karmaşık şekillerin modellenmesi için ilave yüzey tiplerini de içermesine rağmen, oyuklu yüzeylerin işlenmesi için tatmin edici sonuçlar sağlayamamaktadır. Böyle sistemlerde kullanılan yüzeyler temel analitik yüzeylerdir. Bazı sistemlere, 2B kesit eğrilerinin süpürülmesi ile oluşturulan süpürme yüzeyleri uyarlanmıştır, fakat bu sistemlerde otomobil gövdelerindeki gibi serbest şekilli yüzeylerle işlem yapmak oldukça güçtü. APT sistemlerinin bir diğer ciddi eksikliği ise bir programlama diline yer vermesiydi. Bu durum oldukça sıkıcı ve son versiyonlarına parametrik yüzeyler eklenmesine rağmen, kesici hareketleri kadar geometrik özellikleri de programlama dili kullanarak tanımlamak hataya neden olabilmekteydi. Bu nedenle oyuklu yüzeyleri işlemek için genel olarak kopya frezeleme kullanılmaktaydı. Şekil 1.1.(a) da kopya frezeleme metodu görülmektedir.

Serbest şekilli bir yüzeyi kopya frezeleme ile işlemek için, bir fiziksel model gereklidir. Fiziksel model ve iş parçası bir kopya frezeleme tezgahında yan yana yerleştirilmektedir. Kesici takım ile aynı boyut ve şekle sahip izleyici model üzerinde hareket etmektedir, takım ise parça üzerinde hareket ederek parça işlenmektedir. Kopya frezeleme serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde kolay bir yöntem olmasına rağmen, ciddi bir problemi vardır. Kopya frezeleme ile işlenen son yüzeyin kalitesi işlem sırasındaki hataların birikiminin büyük olmasından dolayı sık sık düşmektedir. Bu hatalar, modelin el ile oyulmasında, modelin fiziksel deformasyonundan, yerleştirme hatalarından ve kopyalama hatalarından kaynaklanmaktadır.

Geometrik modelleme üzerinde yapılan çalışmaların sonucunda, nesnelere matematiksel denklemlerle ifade edilebilmiş ve bilgisayar ekranında grafiksel olarak gösterilebilir hale gelmiştir. Serbest şekilli yüzey modelleme için bir çok teknik geliştirilmiştir. En çok bilinen teknikler Coons ve Ferguson'un parametrik kübik yamaları ve Bezier'in 1960'larda geliştirdiği modeldir. Daha sonraları, ileriki zamanlarda NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) eğri ve yüzey modelleme tekniğine dönüştürülen B-spline tekniği geliştirildi. Bu modelleme teknikleri temel alınarak, BDT/BDÜ sistemleri geliştirildi. Bu sistemlerde serbest şekilli yüzeyler

modellenebilmekteydi ve aynı zamanda bu BDT modelinden SD işleme verileri oluşturulabilmekteydi. Bu nedenle, kopya frezeleme yerini SD ile işleme almıştır. Şekil 1.1. de bu iki metodun karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 1.1 Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi

BDT/BDÜ sistemleri çeşitli imalat uygulamalarında kullanılmakta ve modern üretimde önemli bir rol oynamaktadır. Serbest şekilli yüzeylerin tasarımı ve imalatı bir çok imalat alanında özellikle mekanik parçalar, şişeler, otomobil gövdeleri vs. üretilmesinde kullanılan kalıpların imalatında oldukça sık bir şekilde kullanılmaktadır.

Serbest şekilli yüzeylerin BSD takım tezgahında işlenmesi kaba, yarı kaba ve ince işleme olmak üzere iki aşamada yapılmaktadır. Kaba kesme işleminde ham malzemeden büyük miktarlarda talaş kaldırılmaktadır. Yarı kaba işlemede büyük takımla yapılan kaba işlemede kaldırılamayan malzemenin, daha küçük bir takımla işlenmesi kademesidir. İnce işlemede ise, parça son şekline ve istenilen yüzey kalitesine getirilmektedir. Kaba kesme işlemi, ince işlemeden daha fazla zaman aldığından dolayı, işleme maliyetlerini azaltmak için temel düşünce, işleme zamanını,

dolayısıyla da kaba kesme işleme zamanını azaltmaktır. İşleme zamanının azaltılması ise direkt olarak maliyetleri azaltacaktır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı

Günümüzde serbest şekilli yüzey ihtiva eden parçaları imal eden imalatçılar, bu yüzeyleri üretmenin yanında, istenilen toleranslarda ve en düşük maliyetlerde imal etmeyi istemektedirler. İmalat maliyetlerinin düşürülmesi için ise imal edilen parçaların en kısa sürede üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada söz konusu olan imalat maliyetlerinin düşürülebilmesi için, işleme performansını direkt olarak etkileyen takım yolu şablonları ve kırıkların seçilmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, toplam imalat süresinin önemli bir kısmını teşkil eden kaba boşaltma işleminde geçen işleme performansının artırılması için, gerekli takımları tespit eden, daha önceden belirlenmiş olan takım yolu şablonlarından uygun olanını seçebilen bir sistem geliştirilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

Literatür araştırması

Literatürde serbest şekilli yüzeylerin kaba olarak işlenmesi ile ilgili yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu bölümde yapmış olduğumuz tez çalışmasına ışık tutan bu çalışmalarla ilgili tarihsel gelişime göre bilgiler aşağıda verilmiştir.

Person (1978) yaptığı çalışmada konkav ve konveks ceplerin nasıl frezelenebileceğine ait bir prosedür vermiştir. Person, yolları oluşturmak için iki aşamalı bir prosedür kullanmıştır. İlk aşamada, tüm cep alanı bir alt alan içerisindeki her bir nokta, en yakın cep kenarını paylaşacak şekilde parçalara ayırmıştır. Alt alan eşit mesafeli eğrinin hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Eşit mesafeli eğriyi iki sınır eğrisine eşit mesafede olan bir eğri olarak kabul etmiştir. Eğer iki sınır eğrisi yay ise eşit mesafeli eğrinin bir yay olacağını, sınır eğrisi yay ve doğru parçası ise eşit mesafeli eğrinin yine bir yay olacağını, sınırlar doğru parçalarından oluşuyorsa bu durumda eşit mesafeli eğrinin bir doğru parçası düşünmüştür. Alt alanları oluşturduktan sonra, her bir kenar eğrisini alt alana uygun şekilde takım yolunun oluşturulması için kaydirmiştir. Ne yazık ki Person bu metodu detaylı olarak açıklamamıştır. Bu çalışmada ileri ve yan artış miktarlarının düşünülmediği görülmektedir. Ayrıca, eşit mesafeli eğrinin hesabı için geliştirilen bu metot sadece dairesel yay ve doğru parçalarından meydana gelen sınır profilleri ile sınırlıdır.

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 katı modelleme tekniğini kullanmışlardır. Prototip bir modelleme sistemi geliştirmişlerdir.

Choi ve Jun (1989) yapmış oldukları çalışmalarında serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde kesici girişimlerinin önemli bir problem olduğunu belirtmişler, bunu önlemek için kesici temas noktalarını kesici konum noktalarına dönüştüren bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma otomatik olarak girişimleri belirlemekte ve yok etmektedir.

Suh ve Lee (1990) serbest şekilli bir yüzey üzerinde iki uzaysal eğri arasındaki eşit mesafeli eğrinin hesaplanmasının güç olduğunu belirtmişlerdir. Cep sınırlarının B-Spline eğrileri şeklinde tanımlanmasını mümkün kılan bir cep işleme metodu geliştirmişlerdir. Person'un tersine, takım yolunu cep sınır eğrilerin içe doğru büzülmesiyle, ada profillerinin ise dışa doğru genişlemesiyle oluşturmuşlardır. Bir cebin 3B sınır eğrisi 2B eğriye izdüşümü alınarak dönüştürülmektedir. Tiller ve Hanson'un alt bölme metodunun bir modifikasyonunu, 2B kaydırma eğrilerini oluşturmak için kullanmışlardır. Çıkıntı yüksekliği temel alınarak kaydırma değerini hesaplamışlardır. Daha sonra 2B kaydırma eğrileri belirli bir kurala bağlanmış yüzey şekli için z eksenini doğrultusunda süpürülmüştür. Son olarak, takım yolunun oluşturulması için parça yüzeyi ve kurallı yüzeyin ara kesit eğrilerini hesaplamışlardır. Bu çalışma ile ilgili bazı problemler vardır. İlk problem, Marshall ve Griffiths'in (1994) belirttiği gibi, kullandıkları ofset tekniği çok adalı cepler için uygun değildir. İkinci problem ise, tek bir ada durumu için kesme sırasının tespit edilmiş olmasıdır. Karmaşık parçalar için yeni bir işleme sırası tespit algoritması gereklidir.

Suh ve Lee (1990) yapmış oldukları çalışmalarında serbest şekilli eğriler, dairesel yaylar, doğrularla çevrelenmiş konkav yada konveks ceplerin işlenmesi için

bir metot geliştirmişlerdir. Kesici konum verilerini iterativ bir metot kullanmaksızın normalden daha iyi bir hesaplama verimi ile direkt olarak hesaplamışlardır.

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 değerlendirmişlerdir 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 seçimi komşu kesme tabakalarındaki işleme şartları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Jordan ve ark. (1993) yapmış oldukları çalışmalarında serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi için takım yolu oluşturmada ilk defa boşluk doldurma eğrilerini kullanmışlardır. Takım yollarının etkinliğinin ileri bir test gerektirdiğini, ön sonuçlarının ise kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Held (1994) ve ark. yaptıkları çalışmada Voronoi diyagramı, monotonic cepler gibi hesaplanabilir belirli geometri kavramlarını kullanarak çok sayıda ada içeren 2B ceplerin kaydırma eğrilerini oluşturmuşlardır. Voronoi diyagramı bölgelere

ayrılmış cep şekillerini içermektedir. Voronoi diyagramının temel fikri aslında Person'un alan bölme yöntemiyle aynıdır. Bununla birlikte, geometrik hesaplamaların kullanılmasıyla Held'in bu yaklaşımı daha somut görünmektedir. Held, işleme sırasını şu şekilde tanımlamaktadır. İlk olarak, her bir takım yolu bir düğüm noktası olarak düşünülmektedir. İkinci adımda, komşuluk ilişkileri temel alınarak, düğüm noktalarını bir grafik oluşacak şekilde birleştirmiştir. Üçüncü adımda ise, cep sınır eğrileri istenilen miktar kadar kaydırmış, Voronoi diyagram eğrileriyle kesiştiği noktaları tespit ederek takım yolu elde etmiştir. Held, güvenilir bir 3B Voronoi diyagramı olmadığı için bu yaklaşımının hala 2B cep işlemleri için sınırlı olduğunu itiraf etmektedir. Genel olarak cep boşaltmaları için olan takım yolları sadece cep özelliklerine uygundur. Hesaplama karmaşıklıklarından dolayı, mevcut cep işleme algoritmaları yüzey tipleriyle sınırlıdır. Takım yollarının oluşturulması için oldukça önemli olan 3B Voronoi diyagramı oluşturma algoritmalarının hala geliştirilmesi gerekmektedir.

Lee, Kim ve Hong (1994) yaptıkları çalışmada kaba kesme işlemleri için takım yolu oluşturan bir algoritma sunmuşlardır. İlk adım olarak işlenecek hacmi, katı model olarak tanımlanmış olan iş parçası modeli ve ham malzeme modelini kullanarak Boolean işlemi ile temsil etmişlerdir. Daha sonra ham malzemeyi tamamen kaplayan bir dikdörtgenler prizması oluşturmuşlardır. Bir sonraki aşamada genişlik, derinlik ve yükseklik doğrultusunda sekiz tane dikdörtgenler prizmasına bölmüşlerdir. Her bir dikdörtgenler prizmasının tamamen parça modelinin içerisinde mi olduğu (dolu oktant), parça modelinin tamamen dışında mı olduğu (boş oktant), bir kısmı parça modeli içerisinde bir kısmı ise dışında mı olduğunu (parçalı oktant) kontrol etmişlerdir. Parçalı oktantlar tekrar sekiz eşit parçaya bölünmektedir. Dolu ve boş oktantlar tekrar bölünmemektedir. Orijinal parça modeli dolu ve parçalı oktantlarla istenilen yüzey çözünürlüğünde elde edilene kadar parçalı oktantlar tekrar bölünmektedir. Dolu ve parçalı oktantlar yada dolu oktantlar orijinal katı modeli temsil etmektedir. Alt bölme işleminin ilk kademesinde oluşan dolu oktantlara uyan takımı büyük takım, daha sonraki alt bölme işlemi esnasındaki dolu oktantlarla uyan takımları ise küçük takım olarak seçmişlerdir. Dolu oktantlar oluşturulduğunda ve onlara uyan takımlar seçildiğinde, takım yolunu her bir takım için her bir kesme

tabakasındaki dolu oktantları işleyerek yok edecek şekilde oluşturmuşlardır. Yazarlar karmaşık olmayan basit kısımların büyük bir takım ile, karmaşık olan küçük kısımların ise daha küçük bir takım ile işlendiğini kabul etmişlerdir. Bunun için işlenecek hacmi farklı boyutlarda dikdörtgenler prizmasından meydana gelen bir ağaç ile temsil etmişlerdir ve oktantlarla uyan takımlar için takım yolu oluşturmuşlardır. Yaptıkları çalışmada yazarlar aşağıdaki durumları dikkate almamışlardır.

- Dolu oktantlar silindirik (parmak freze) takımlarla tamamen işlenememektedir. Köşelerde işlenmemiş kısımlar kalmaktadır. Eğer bu kısımlar dikkate alınmazsa işleme esnasında çarpmalar meydana gelebilir. Bu problem dolu oktantların köşelerinde tekrar alt bölme yapılarak ve bu kısımlar işlenmemiş alan olarak göz önüne alınarak giderilebilir.

- Algoritma en iyi işleme performansını elde etmek için en büyük takım seçmeyi denemektedir. Fakat işleme performansı takım boyutunun yanı sıra ilerleme miktarına da bağlıdır. Büyük takımlar küçük ilerleme değerlerinde kullanılabilir. Bu nedenle algoritma mümkün olan en büyük takımın seçilmesi yerine, işleme performansını maksimuma çıkaran takımın seçilmesi şeklinde modifiye edilmelidir.

Kim ve Kim (1995) yapmış oldukları çalışmalarında, serbest şekilli yüzeylerde hassas bir işleme yapabilmek için yeni bir CNC takım yolu planlama metodu sunmuşlardır. Çalışmalarında önerdikleri metotta takım yolları, gerçek bir yüzeyin kaydırılmış bir yüzeyini temel almaktadır. Çalışma kaydırılmış yüzey hesaplama tekniği ve CNC takım yolu planlama tekniği şeklinde iki teknikten oluşmaktadır. Yazarlar önerdikleri metodun etkinliğini simülasyonlar ile göstermişlerdir.

Marshall ve Griffiths (1995) yaptıkları çalışmada freze tezgahları için yeni bir takım yolu oluşturma algoritması geliştirmişlerdir. Yazarlar bu çalışmada bir model üzerinde takım yolu oluşturma tekniği ile ilgili çalışmışlardır. Geliştirilen teknik,

yüzeyle, unsurlar yada kullanılacak takım tipleriyle sınırlı değildir. Çalışmada serbest şekilli yüzeyleri temel almışlardır. Serbest şekilli yüzeylerden oluşan model öncelikle, toleranslar sağlanacak şekilde düzlemsel yüzey parçalarına ayrılarak basitleştirilmiştir. Toleranslar iki boyutlu eğri-doğru yaklaşımının üç boyutlu yüzey-yüzey parçası yaklaşımına uydurulmasıyla hesaplanabilmektedir. Bir yüzey parçasından serbest şekilli yüzeye olan dik mesafe istenilen toleranstan büyük olmamalıdır. Bu işlemde sonra takım yolunu düzlemsel yüzey parçalarını kullanarak zig-zag kesme şablonu ile oluşturmuşlardır. Takım yolları pek çok doğrulardan meydana gelmiştir. Herhangi bir takım yolu parçasının üretimi esnasında, yolun yüzeylerde veya modelde herhangi bir çarpmaya neden olmaması dikkate alınmıştır. Dalma yüzeylerin geçiş noktalarında olmaktadır. İç bükey yüzeylerde dalmayı önlemek için çeşitli mekanizmalar mevcuttur. Yüzeyler bir biri üzerine bindiği durumlarda da dalmalar meydana gelmektedir. Yazarlar dalmayı önlemek için farklı bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmada üretilmiş bir takım yolunu ele almışlar, yolun bir parçasından başlayarak bu yol parçalarını serbest şekilli yüzeyden elde edilen düzlemsel yüzey parçalarının konumuna göre modifiye etmektedirler. Her bir yüzey parçası için yol segmenti yüzeyin herhangi bir parçasıyla çakışıktır. Bu şekilde dalma olmayan bir takım yolu oluşturulmaktadır. Bu çalışmada sunulan teknik, diğer tekniklere göre farklıdır ve herhangi bir sınırlama yoktur (yüzey şekli v.s.). Genel serbest şekilli yüzeylerden oluşan tüm yüzeylere uygulanabilmektedir. Dalma içermeyen takım yolları oluşturmaktadır.

Manuel ve ark. (1996) yapmış oldukları çalışmalarında, gelişigüzel şekilli konveks ceplerde işleme hatalarının dinamik eliminasyonu ile NC takım yollarını otomatik olarak oluşturan bir metot sunmuşlardır. Sunulan metot spiral şekilli takım yolları üretmektedir. Çalışmalarında bu dinamik takım yolu oluşturma tekniğini örneklerle vermişlerdir.

Koren (1996) yapmış olduğu çalışmada, 3 eksenli freze tezgahlarında serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi için analitik bir takım yolu planlama metodu sunmuştur. Bu yaklaşım takım yollarında değişken bir kaydırma kullanmaktadır. Metot 3 aşamadan meydana gelmiştir. Bu aşamalar, takım yolu aralık değerlerinin

hesaplanması, takım yolu aralık değerlerinin parametrik aralık değerlerine dönüştürülmesi ve takım yolu planlama sentezidir.

Dharmaraj ve Gau (1997) yaptıkları çalışmada günümüzdeki BSD takım tezgahlarının hızlı takım değiştirme kabiliyetlerini göz önüne alınarak, 2 ½ B ceplerin işlenmesinde çok boyutlu takımlar kullanılması, bu takım kombinasyonlarının tespit edilmesi ve takım yolu oluşturma konusunu ele almışlardır.

Çalışmalarını iki aşamada gerçekleştirmişlerdir.

1. aşamada cep içerisinden kaldırılacak talaş hacmini hesaplamak, kalan malzeme ve her bir kesici takım yolunu elde etmek için VORONOI dağlarını oluşturmuşlardır.

2. aşamada toplam işleme zamanı temel alınarak minimum işleme süresi ile sonuçlanacak optimum takım boyutlarını bulmak için dinamik programlama yaklaşımını kullanmışlardır.

Yaptıkları hesaplamalarda 2 ½B ceplerin işlenmesinde çok boyutlu takımların kullanılması ile toplam işleme süresinde önemli bir azalma olduğunu belirtmişleridir.

Takım seçiminde cep içerisindeki büyük kısımların işlenmesi için mevcut en büyük takımı kullanmak, kalan kısımları işlemek için ise en küçük takımı kullanmak fikrini benimsemişlerdir. Mevcut BDT/BDÜ sistemleri 2 ½ B ceplerin işlenmesi için sadece bir takım kullanma fikrini benimsediklerini ve bu sistemleri kullanılacak takımın seçimini kullanıcıya bıraktığını belirtmişlerdir. Kullanıcıların işlenmemiş alanlar, dalma gibi problemlerden kaçınmak için takım seçimini daha uzun işlem süresi ve daha yüksek maliyetle sonuçlanacak şekilde yaptıklarını vurgulamışlardır. Modern BSD takım tezgahlarının hızlı takım değiştirebilme avantajını kullanabilmek, işleme süresini azaltmak için cep işlemede çok boyutlu takım kullanılmasının gerekliliği, bir cebin işlenmesi için uygun olan ve minimum işleme süresi ile

sonuçlanacak en iyi takım setinin otomatik olarak seçilmesi gerekliliğinden yola çıkan yazarlar, böyle bir metodolojinin geliştirilmesini temel amaç edinmişlerdir.

Byoung ve Kim (1997) yaptıkları çalışmada kalıp boşluklarının işlenmesinde gerekli olan takım yollarının kesme simülasyonu ile elde edilmesini temel almışlardır. Yazarlar öncelikle bir kesme derinliği değeri ile yatay düzlemlerin arakesitinden meydana gelen kesme tabakalarındaki cep sınır eğrilerini, z-map modelini kullanılarak parametrik olmayan interpolasyon vasıtasıyla elde etmektedirler. Z-map modelinde, yüzey üzerindeki noktalar, istenilen bir artış değeriyle hesaplanmış, daha sonra bu noktalar kullanılarak kesme tabakalarındaki sınır noktaları hesap edilmiştir. Sonraki aşamada ise, her bir kesme tabakasındaki cep sınır eğrilerini kesme simülasyonu ile kaydırarak takım yollarını meydana getirmişlerdir. Kesme simülasyonunu şu şekilde yapmıştır. Öncelikle cebin içerisinde kalan pikseller işaretlenmekte, daha sonra mevcut cep sınır eğrisi boyunca yarıçapı kayma genişliğine eşit olan bir sanal parmak freze ile cep sınır eğrisini takip edilmektedir. Sanal kesme takımının altında kalan piksellerin işaretleri iptal edilmektedir. İç kısımda kalan piksellerin oluşturduğu sınır eğrisi cep sınır eğrisinin ofset eğrisi olmaktadır. Önerilen bu metot kalıp boşluklarının işlenmesi için pratik bir çözümdür.

Yong (1997) yaptığı tez çalışmasında kontur – haritaları yaklaşımını temel olarak serbest şekilli yüzeyler için bir takım yolu oluşturma stratejisi geliştirmiştir. Bu stratejide ilk kesme, orta kesme, son kesme kademeleri ile belirli takım boyutları ile optimal takım yolu şablonunu bulan bir algoritma geliştirmiştir. Kaba kesme işlemi daha fazla zaman aldığı için bu çalışmada temel alınmıştır. Toplam kaba kesme işleme süresini temel alarak her bir işleme prosesinin optimum takım boyutunun ve optimal takım yolu şablonunun seçimini yapmıştır.

Sarma ve Dutta (1997) yapmış oldukları çalışmalarında çok yamalı yüzeyler için takım yolu oluşturma problemine değinmişlerdir. Çok yamalı yüzeylere özel çeşitli problemler (takım yolu için girdiler, eğri veri yapıları, komşu eğrilerin hesaplanması vb.) belirlemişler ve çözümler önermişlerdir. Geliştirdikleri tekniği bir arayüz aracılığıyla ticari bir BDT/BDÜ yazılımı içerisine yerleştirmişlerdir. Bu

sistem, kullanıcıya uzunluk, eğrilik ve takım yolu sayısı gibi kıstasları temel alarak, takım yolu oluşturma imkanı vermektedir.

Chih (1998), ilerleme hızının talaş kaldırma verimi ve kalitesi için önemli bir faktör olduğunu vurgulamış, mevcut metotlarda kesici takımın konumlama yolu boyunca sabit bir hıza adapte edildiği, oyuklu yüzeyler boyunca istenen ilerleme hızlarının sağlanmadığını belirterek takım yolu oluşturulmasına ait yeni bir yaklaşım getirmiştir. Doğrusal, eğrisel ve yüzey interpolatorlerini temel alan metotlar vermiş ve analiz etmiştir.

Lee ve Koc (1998), yüzey ceplerinin 5-eksenli kaba kesilmesi için yeni bir metot sunmuşlardır. Bir eğimli zig-zag metodunu çekirdek kısmın işlenmesinde ve elips kaydırma metodunu yüzey ceplerinin kalan bölgelerinin yarı-kaba kesilmesi için önermişlerdir. Elips kaydırma metodu, kaba kesmenin 5 eksenli takım yolu planlamasında sabit olmayan kaydırma eğrilerini hesaplamak için geliştirilmiştir.

Cep işlemenin mekanik parçaların işlenmesinde önemli bir yeri vardır. A Hatna ve ark. (1998) cep frezeleme ile ilgili araştırmaların bir özetini vermişler, maliyet ve imalat zamanı optimizasyonunda şekil, çakı, tezgah arasında ilişkiyi açıklamışlardır. Cebin BSD' de işlenmesinde işlem planlamaya bir temel sağlamak amacıyla, kesme koşulları optimizasyonlu takım yolu oluşturma ve cep şekil geometrisi konularını incelemişlerdir.

Lin ve Lee (1999) yapmış oldukları çalışmada serbest şekilli yüzeylerin hassas işlenmesi için geliştirilmiş bir adaptif BSD takım yolu oluşturma algoritması geliştirmişlerdir. Önerilen algoritma 2 ve 3 boyutlu eğri ve yüzeyler için takım yolu oluşturabilmektedir. Bu metotta 3 boyutlu bir yüzey üzerindeki eğri, ardışık doğrusal parçalarla elde edilmektedir. Metot kesici takımın mevcut referans noktasından, sonraki referans noktasını tahmin edebilme yeteneğine sahiptir. Tahmin edilen referans noktası istenilen toleransları sağlamıyor ise, metot kendisini adaptif kurallara göre ayarlamaktadır. Sonuçta oluşturulan takım yolları ile istenilen yüzey arasındaki sapma daima arzu edilen tolerans aralığında kalmaktadır.

Yang ve ark.(1999), küresel uçlu çakı kullanarak 3 eksenli CNC tezgahında serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi için girişim arama ve optimal takım seçimini içeren sistematik bir takım yolu oluşturma metodolojisi vermişlerdir. Verilen metotla global ve lokal girişim öncelikle aranmakta ve önlenmekte, daha sonra işleme zamanı temel alınarak optimal takımlar seçilmekte ve takım yolu oluşturulmaktadır. Girişim alanını tayin etmek için beş algoritmali bir sistem geliştirilmiştir. Bu algoritmalar temel alınarak her uygun takım için işleme zamanı, takım boyutu, çıkıntı yüksekliği ve erişilebilen yüzey alanı ele alınarak tahmin edilmektedir. Sonuç olarak minimum toplam işleme zamanına sahip takım kombinasyonu optimal takım boyutları olarak seçilmektedir.

Georg ve ark. (1999), oyuklu yüzeylerin herhangi bir çarpma olmaksızın 3 eksenli frezelenmesi ve takım seçimi için lokal ve global koşullarla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Takımın meridyen eğrisi için diferansiyel eşitsizlik veren bir algoritma sunmuşlardır.

Chun-Fong You ve arkadaşları (2001) gelişmiş güzel şekilli ceplerin boşaltılması için spiral takım yollarının üretilmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar çalışmalarında kesici temas noktası verilerinin kesici konum verilerine dönüştürülmesinde oluşabilecek dalmaya dikkat çekmişlerdir. Bazı algoritmalarda spiral kaydırma eğrilerinin karmaşık arakesit hesaplamalarının temel düşünce olduğunu belirtmişler, kendi çalışmalarında karmaşık olan kaydırma eğrilerinin kesişimini hesaplamak için kısmi kaydırma metodunu sunmuşlardır. Önerilen kısmi kaydırma metodu spiral takım yolunu oluşturmayı kolaylaştırmaktadır.

Ding ve ark.(2001), 3- eksenli kalıp işlemede girişim bölgelerini arayan yeni bir metot vermişlerdir. Verilen metotla yüzey geometrisi ilk olarak analiz edilmiş ve lokal girişim konkav ve eğri şeklinde yüzeylerde aranmıştır. Lokal girişim olmayan yüzeylerde global girişimin yüzey sınırlarından aranması gerektiği ve global girişim arama üzerine teoremler ve ispatları bu çalışmada verilmiştir. Girişim arama üzerine algoritmalar geliştirilmiş ve bir CAD sistemine uygulanmıştır. Algoritmalar çeşitli

endüstriyel parçalarla test edilmiş ve karmaşık kalıp işleme için efektif ve robust bulunmuştur.

Tao ve Ye (2002) yapmış oldukları çalışmalarında serbest şekilli yüzeylerde çarpma içermeyen takım yolları oluşturmak için algoritma geliştirmişlerdir. İleri adım uzunluğu ve yan adım miktarı işleme toleransı istekleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Daha sonra takım çarpmaları tespit edilmiş ve düzeltilmiştir. Geliştirdikleri algoritma etkinliğini simülasyon ve gerçek kesme testleri ile göstermişlerdir.

Hsi-Yung ve ark. (2002), 3 eksenli küresel uçla oyuklu yüzeylerin işlenmesinde efektif takım yolu tayini için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımda işlenmiş yüzeylerde sabit çıkıntı yüksekliğini muhafaza etmek ve bu şekilde geride kalan takım yollarını minimize etmek amaçlanmıştır. Çıkıntı yüzeyi ve takım merkez yüzeyi, tasarım yüzeyi için çakı konumlama, takım yolu ve çıkıntı yüzeyi üzerindeki çıkıntı eğrilerini teşkil etmek için kullanılmıştır.

Mansour (2002) yapmış olduğu çalışmada BDT yazılımları ile BSD takım tezgahları arasındaki bağlantıyı gerçekleştirmek için, basit fakat etkin bir yazılım gerçekleştirmiştir. Bunun için, IGES veri değişim standardını kullanmıştır. IGES dosyasından çıkarılan veriler takım yolunun grafik simülasyonunda kullanılmıştır. Bu yazılımda, oluşturulmuş olan yüzeyin boyutlarına göre, kullanıcı tarafından kesici takım boyutları seçilmektedir.

Balic ve ark. (2002) Yapay sinir ağı kullanarak serbest şekilli yüzeylerin frezelenmesi için zeki bir takım yolu oluşturmuşlardır. Bu çalışmada ilk teknolojik amaç olarak iyi bir yüzey kalitesi alınmıştır.

Hon-yuen ve ark.(2002), kapalı yüzeylerin işlenmesinde interpolasyon ve gerçek zamanlı yol oluşturma için bir yaklaşım vermişlerdir. Verilen bir kapalı yüzey için kesme düzlemi yönü ve kesmedeki noktalar seçildikten sonra, iso- planer (paralel düzlemlerle takım yolu oluşturma) takım yolları ve interpolate edilmiş

noktalar ilerleme ve çıkıntı yüksekliği isteklerine göre gerçek zamanlı olarak hesaplanabilmektedir. Yaklaşım, takım pozisyonu ve oryantasyonunu her interpolate edilmiş noktada doğru olarak hesaplayabilmeyi mümkün kılmaktadır.

Ding ve arkadaşları (2003) yapmış oldukları çalışmada, iso-planer metodunda, eğimli yüzeylerde paralel düzlemler arasındaki kayma mesafesinin azaltılması gerekliliğini göz önüne almışlar, bu durumu sağlayan bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmada, isophoto kavramını farklı bölgelerdeki yüzey yamalarına uygulanmışlardır. Bölge bölge uygulama yada global – lokal işleme stratejisi, işleme verimini artırmıştır.

Eungki (2003) yüksek hızlı hassas kesme işlemi için yeni bir takım yolu oluşturma algoritması vermiştir. Lee , yüksek hızlı işlemede kesme kenarında talaşlanmayı ve kesme yükünü minimize etmek için kesme operasyonları sırasında, minimum takım çıkmaları ile sürekli kesme sağlayan bir spiral takım yolu geliştirmiştir. Algoritma, işlenmiş oyuklu yüzeyin sınır eğrisi boyunca kontur kaydırma prosedürü ile başlamakta, sonra spiral takım yolunu kaydırma eğrileri arasında bir çeşit diyagonal eğri olarak oluşturmaktadır.

Gerçek zamanlı takım yolu oluşturma, tasarım ve takım yolu interpolasyonunu içermektedir. Bir melez eğri, bir parametrik yüzeyin ve kapalı bir yüzeyin arakesitidir. Takım yolu interpolasyonu üzerinde yapılan çalışmalar parametrik eğrilerin interpolasyonuna odaklanmıştır. Hon-Yuen ve Ark. (2003), melez eğrilerin interpolasyonu için bir algoritma vermişlerdir. Bu algoritma parametrik ortamda melez eğrilerin projeksiyonunun interpolasyonu temel almıştır. Melez eğri interpolasyonunun simülasyonları yapılmış NURBS yüzeyler olarak temsil edilen yüzeyler ve düzlem, silindir ve yüksek mertebeden cebrik yüzeyler içeren kapalı yüzeyler simülasyonda esas alınmıştır.

Chen ve ark.(2003) tarafından oyuklu yüzeylerde dalma içermeyen takım yolu oluşturmak için bir algoritma geliştirilmiştir Oyuklu yüzeyler için girişimsiz takım yolu oluşturmak oldukça önemlidir. Yüzeyleri üçgensel ağlara

dönüştürmüşlerdir. Takım konumlamalı üçgenleri bulmak için bir araştırma algoritması kullanmışlar ve +Z doğrultusunda dalmadan kaçınma miktarını hesaplamışlardır. Geliştirilen algoritmayı bir CAM sisteminde kullanmışlardır.

Sang (2003) kontur işleme ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışma 2 kısımdan oluşmaktadır. İlk aşamada kesici konum yüzeyi yatay düzlemlerle kesilmiş ve oluşan sınır eğrileri hesap edilmiş, sonraki aşamada ise bu eğriler birleştirilerek işleme yapılmıştır. Düzlemlerle kesme algoritması için iki algoritma önermiştir. Bir tanesi üçgen ağları dilimlemek, bir diğeri ise Z map modelidir. İkinci kısım, bağlama problemidir, bu problemi basitleştirmek için bir veri yapısı oluşturulmuştur. Bu veri yapısının oluşturulması ile takım yolu bağlama problemi basitleştirilmiştir.

Karmaşık oyuklu yüzeyler içeren parçaları işlemede işleme verimliliğini artırmak için, üç eksenli CNC tezgahlarına iki ilave dönmeli indeksleme / döner tabla eklemek maliyet ve yenilik getirmektedir. Zezhong ve ark.(2003) yüzey yamalarını daha kolay işlemek için karmaşık oyuklu yüzeyleri otomatik olarak bölmek, her yamaya uygun işleme ayar / oryantasyonu belirlemek ve her yama için efektif 3 eksenli CNC takım yolu meydana getirmek için yeni bir takım yolu oluşturma metodu vermişlerdir.

Choy ve ark. (2003), cep frezelemede iyileştirilmiş bir NC takım yolu şablonunu sunmuştur. Cep köşelerinin frezelenmesinde temas uzunluğunun artmasından dolayı kesme direncinin ani olarak artması nedeniyle, bir konvansiyonel kontur paralel takım yolunu alarak yay gibi takım yolu segmentlerini köşelerde temel takım yoluna eklemişlerdir. Ayrıca farklı köşe şekilleri için iyileştirilmiş takım yolu meydana getirme prosedürü açıklamışlardır. Önerdikleri takım yolu oluşturma prosedürünü bir CAD/CAM sisteminde uygulamış ve teşhir ve önerilen metodun önemini doğrulamak amacı ile kesme testleri yapmışlardır.

Park ve Choi (2003), serbest şekilli yüzeylere sahip kalıp boşluklarında takım yolu optimizasyonu ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bir çok araştırmacının takım yolu oluşturma problemi üzerine yoğunlaştığını, işlenecek alanın elde edilmesi,

takım yolu bağlama, işlenmemiş bölgelerin tespiti gibi konulara ilgi göstermediğini belirtmişlerdir. Cep boşaltmada bu konuların çözülmesi gerektiğini vurgulamışlar ve bir çözüm önerisi getirmişlerdir.

Park (2004), bölgesel frezelemede takım yolu oluşumu için bir optimizasyon prosedürü vermiştir. Önerdiği prosedür kesici takım konumlama yüzeyinin dilimlenmesi ile takım yollarını hesaplamaktadır. Takım konumlama yüzeyi üçgen şeklinde ağlardan meydana gelmektedir. Takım yolu oluşumu iki aşamayı içermektedir. Birinci aşamada iki boyutlu geometrik elemanları olan üçgen ağın dilimlenmesi ile doğru parçaları kümesi temin edilir. İkinci aşamada uygun olmayan kısımların kaldırılması ile eğri parçalarından uygun bir takım yolu çıkarılır. Park önerdiği prosedürü bölgesel frezelemede takım yolu oluşturmaya uygulamış ve performans testleri prosedürün verimli olduğunu göstermiştir.

Yüksek performans işlemede kaba, hassas ve ince işleme kademelerinde farklı boyutlarda kesici takımlar kullanılmaktadır. Yongfu Ren ve ark. (2004) karmaşık çokgen modelleri işlemek için ince işleme takım yolları oluşturmak ve dalmaları araştırmak amacıyla küçültülmüş takım metodu adını verdikleri bir metod önermişlerdir. Önerilen metod, ince işleme için takım yolları oluşturmak ve ince işleme sınırlarını araştırmak için bir seri ara sanal çakılar kullanılmaktadır.

Yin (2004) yapmış olduğu çalışmada, yüksek çözünürlüklü takım yolu oluşturma tekniği önermiştir. Farklı örnekleme nokta setleri için model uydurulmakta, daha sonra bu model esas alınarak kaba ve ince işleme için takım yolu oluşturulmaktadır. Önerilen bu metodun avantajları şu şekildedir. Kullanıcının BDT modellemede veri azaltması gerekmemektedir. Son veriler, yeniden inşaa edilen yüzeylerin iki düşük seviyeli interpolasyonu ile elde edilmektedir. Farklı imalat ihtiyaçları bulunduran farklı seviyelerdeki modeller için takım yolu oluşturulabilmektedir. Bu algoritmanın işleme süresini %20 azalttığını belirtmiştir.

Ding ve arkadaşları (2004), serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde dik yüzeylerin işlenmesinin önemli bir araştırma konusu olduğunu, bu konuda yeni

algoritmalar geliştirildiğini, fakat ticari alanda henüz kullanılmadığından endüstriyel alanda hala kullanılmadığını belirtmişlerdir. Bu nedenle yazarlar, geliştirdikleri sistemi ticari bir BDT/BDÜ yazılımı içerisinde yerleştirmişlerdir.

Düzlemsel olmayan hareketli aynalar, bir temel yüzey (kalot veya kubbe) ve bir düzlemsel konturla tanımlanan karmaşık bir geometriye sahiptirler. Elmar Wings ve ark.(2004) geometrik verilerden bir kalot kesme makinesi için SD takım yolları oluşturmada daire yay parçalarını ve polinom spline eğrilerini temel alan metotları açıklamış ve karşılaştırmışlardır.

Soritis (2004), düzlemsel kaydırma eğriler boyunca takım hareketleri oluşturma için yeni bir interpolasyon algoritması vermiştir. Vermiş oldukları algoritmanın geliştirilmesi bir geometrik yer izleme kavramını temel almaktadır. Bu kavramın ana avantajı istenen takım yolunun analitik bir ifadesi var ise yada yol geometrik olarak belirleniyor fakat analitik bir ifadesi yoksa bile uygulanabilir olmasıdır. Vermiş oldukları geometrik yer izleme algoritması, istenen yol üzerindeki noktaların başarı ile oluşturulması için geometrik yeri tanımlayan özellikleri kullanmaktadır. Algoritmanın etkinliği ve basitliğini iki örnekle göstermişlerdir.

Bilgisayar grafik, bilgisayar destekli tasarım ve tersine mühendislikte önemli bir görev, sayısallaşmış noktaları temel alan üç boyutlu karmaşık yüzeylerin matematik modellenmesidir. Matematik modellemede darboğaz olarak görünen çeşitli problemler vardır. Topoloji bilinmez. Yeniden inşa parametrisasyon ve uydurma kademelerini temel alır. Bu problem parametrisasyondan etkilenir ve yüzey uydurma ve eğri parametrisasyonu zor bir konudur. Bu problemi çözmek için Yin ve ark. (2004), sayısallaştırılmış noktalar için yüzey uydurmada bölge bölge adaptasyonu temel alan yeni bir strateji vermişlerdir. Adaptiv yüzey uydurma için kullanılan bölgeler üç endüstriyel uygulamaya (1- takım yolu oluşturma 2- dilimleme 3- yüzey üçgenleme) genişletilerek uygulanabilir.

BÖLÜM 3

SERBEST ŞEKİLLİ YÜZEYLERİN MODELLENMESİ VE İŞLENMESİ

3.1. Serbest Şekilli Yüzeylerin Modellenmesi

Serbest şekilli yüzeylerin modellenmesi için birçok teknik vardır. İşleme açısından, bu yüzeylerin nasıl oluşturulduğunun bilinmesi gereklidir. Bazı geometrik hesapları yapabilmek için işlenecek yüzeyin tanımlandığı matematiksel formu bilinmelidir. Mevcut BDT/BDÜ sistemleri, yüzeyleri oluşturuldukları standart formlarda saklamaktadır. Bu formlar, parametrik yüzeyler için polinomsal katsayılar, yada B-spline yüzeyleri için kontrol noktaları, düğüm noktaları vektörü, ağırlıklar vs dir. Bu nedenle, serbest şekilli yüzeylerin işlenmesine geçmeden önce, nasıl oluşturuldukları ile ilgili bilgiler verilecektir.

3.1.2. Bilgisayar Destekli Tasarımda Yüzeyler

Genel olarak serbest şekilli yüzeyler analitik formda temsil edilemezler. Birçok BDT/BDÜ sistemi yüzey modelleme takımı olarak dikdörtgensel parametrik yüzeyleri kullanmaktadır ve bu yüzeyleri $r(u,v)$ şeklinde ifade etmektedirler. Parametrik yüzeylerin temel birimi yamalardır. Bir kübik Bezier yaması 16 kontrol noktası ile oluşturulurken, Ferguson yaması ise 4 köşe noktası, 8 teğet vektör ve 4 burma vektörü ile tanımlanmaktadır. Bir yüzeyin en genel hali ise kompozit yüzey olarak isimlendirilmektedir. Bir kompozit yüzey, yama setlerinden meydana gelmektedir. B-spline yada NURBS tekniği de kompozit yüzeyler oluşturabilmektedir. (Choi, 1998)

Bir rasyonel B-spline yüzeyinin matematiksel denklemi, (Les P. ve Wayne T.,1997, Choi B.K. 1991))

$$R(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{i,j} P_{i,j} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{i,j} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v)} \quad (3.1)$$

şeklindedir. 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.

$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u) \quad (3.2)$$

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

Tez çalışmasında BDT veri tabanından alınan yüzey bilgilerini matematiksel formda ifade etmek için NURBS kullanılmıştır. NURBS'un diğer metotlara göre üstünlükleri şunlardır.

1. NURBS standart analitik yüzeylerin hassas temsili için genel bir matematiksel yapı sunmaktadır.
2. İlave bir serbestlik sağlamaktadır (ağırlıklar), bu sayede çok değişken yüzeyler oluşturulabilmektedir.
3. Prodükтивitesi değişiklik göstermemektedir, kontrol noktalarının taşınması ile buna karşılık gelen yüzey de değişmektedir. (Yong J. Chon, 1997)

3.2. Serbest Şekilli Yüzeylerin İşlenmesi

3.2.1. Temel kavramlar ve tanımlamalar

Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesiyle ilgili değişik örnekler literatürde yer almaktadır. Buna rağmen serbest şekilli yüzeylerin işlenmesiyle ilgili çalışmaların birbirlerine benzerliklerini kestirmek oldukça güç olmaktadır.

Birinci adım, iyi tanımlanmış temel kavramları vermek olacaktır.

BIO (Birim işleme operasyonu): Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinin ilk adımındır. Yalnızca tek bir kesici takımın kullanıldığı aşamadır.

İşleme kademesi: BIO gruplarından oluşmaktadır.

Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi(SSYI): Serbest şekilli yüzeyleri işlemek için oluşturulan işleme kademeleri setidir.

Bu tanımlar gerçekte farklı uygulamalar için farklılıklar gösterebilirler. Fakat, SSYI işlemi için genel bir çerçeve vermektedir.

SSYI işleminin amacı, bir iş parçasından bir seri talaş kaldırma işlemi ile istenilen SSY'lere sahip bir parçayı imal etmektir.

Bir parçanın özel durumlarını temsil eden tanımlamalar aşağıdaki gibidir:

Ham parça: Herhangi bir işlemin yapılmadığı başlangıç halidir.

Ön form: Bir BIO'nun başladığı, iş parçasının giriş kademesidir.

Son form: Bir BIO'nun tamamlandığı andaki aşamadır.

Bitmiş parça: Bir SSYI işleminden elde edilmiş son parçadır.

Parça yüzeyi terimi, iş parçasının bir SSYI işlemi uygulanmasıyla elde edilmiş durumunu belirtmek için kullanılacaktır.

Ham parça yüzeyi: Herhangi bir işleme yapılmadığı andaki ham malzemenin yüzeyleri

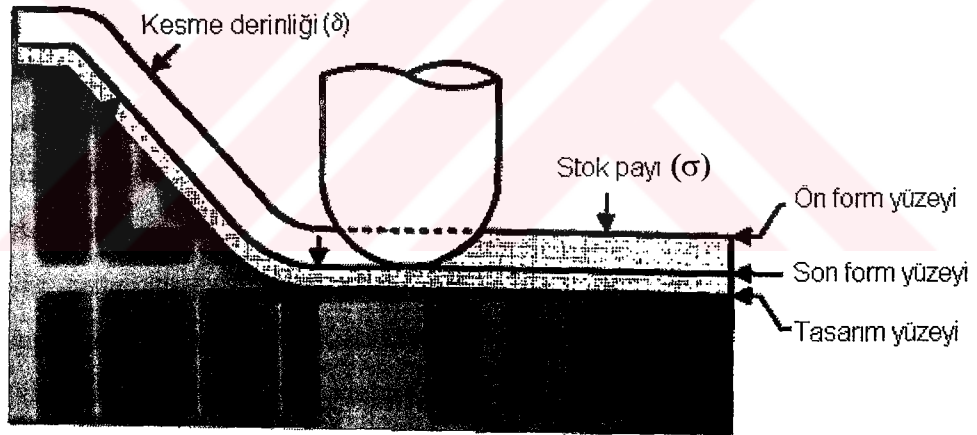
Ön form yüzeyi: Bir BIO öncesindeki iş parçası yüzeyi

Son form yüzeyi: Bir BIO sonrasındaki iş parçası yüzeyi

Bitmiş parça yüzeyi: Bir SSYI işlemi ile oluşturulan yüzey geometrisi

Tasarım yüzeyi: Tasarımcının belirlediği, iş parçasının olması gereken yüzeyi.

Ayrıca bu yüzeyler arasındaki mesafeler, paylar ve kesme derinlikleri kavramları şekil 3.1. de görülmektedir.



Şekil 3.1 Temel kavramlar

Burada:

Stok payı (σ): Ön form yüzeyi ile tasarım yüzeyi arasındaki farktır.

Kesilmemiş talaş payı (v): Son form ile tasarım yüzeyi arasındaki farktır.

Kesme derinliği (δ): Ön form ve son form yüzeyleri arasındaki mesafedir.

Ayrıca, ideal son form yüzey ile gerçekte elde edilen yüzey arasındaki fark da işleme toleransı olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıdaki niceliklerin her biri, birbiriyle bağlantılıdır. Örneğin, işleme payı, kesilmemiş talaş payı ile kesme derinliğinin toplamı olmalıdır.

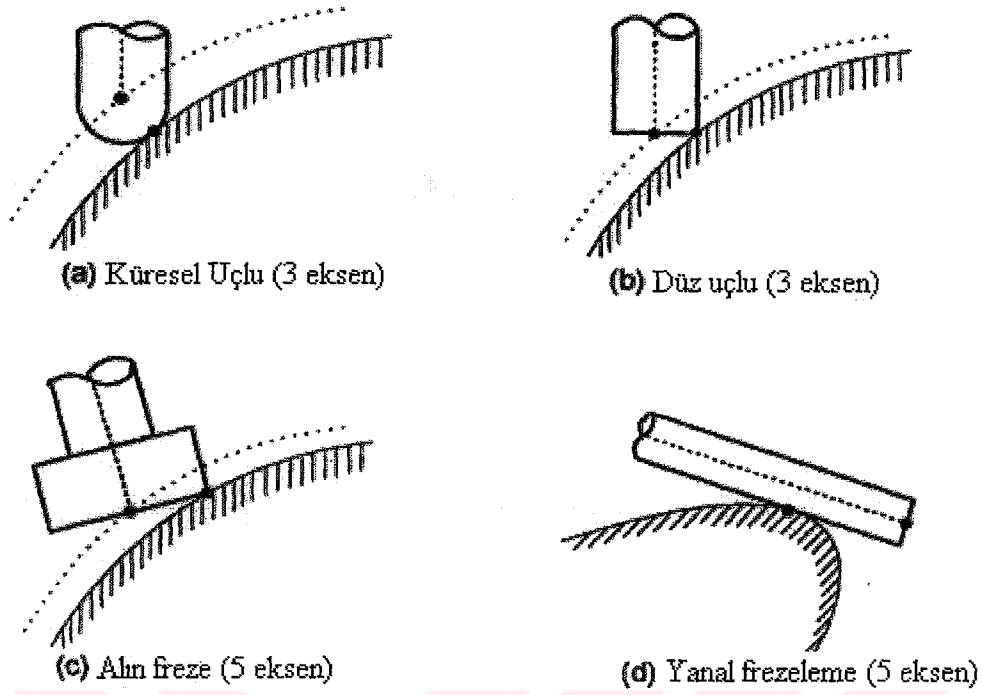
$$\sigma = \nu + \delta \quad (3.1)$$

Ayrıca şu belirtilmelidir ki, mevcut BIO'nundan elde edilen son form yüzey, bir sonraki BIO için ön form yüzey olmaktadır. Aynı şekilde mevcut kesilmemiş talaş payı, bir diğer BIO için işleme payı olmaktadır.

İşleme toleransı tüm proses planı için önemli bir role sahiptir. Kaba işleme ve yarı kaba ve ince işleme operasyonları için tolerans büyük değerlerde seçilebilir, bu BDÜ programlama zamanı ile CPU hesaplama ve işleme zamanını azaltan bir faktördür. İnce işleme esnasındaki istenilen yüzey kalitesini elde etmek için toleranslar çok küçük değerlerde seçilmektedir. Bu nedenle ince işleme, tüm operasyonlar arasında en fazla zamanı alan operasyon olmaktadır.

3.2.2. Birim işleme operasyonu (BIO)

Şekil 3.2 de görüldüğü gibi, SSYI operasyonu için kullanılan genel kesici takım tipleri küresel uçlu, düz uçlu parmak freze takımları, alın frezeleme ve yanıl frezeleme takımlarıdır.



Şekil 3.2.SSYI için frezeleme operasyonları

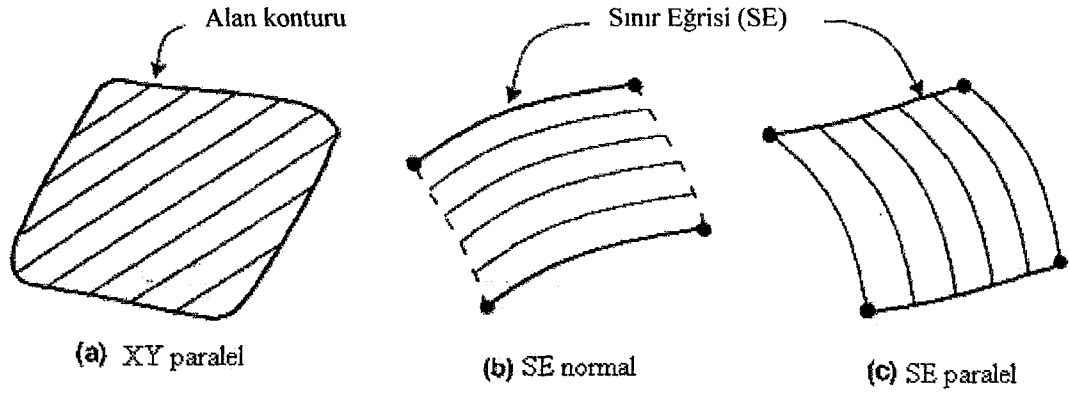
3.3. Takım yolu topolojileri ve frezeleme stratejileri seçenekleri

SSYI işlemi, bir nokta frezeleme işlemi olmaktadır. Bu işlemde, kesici takım bir dizi kesici temas noktasını (CC) takip etmektedir. Nokta frezeleme metodu ile bir bölge işleneceği zaman, (bu durum gelenlikle bölgesel frezeleme olarak isimlendirilmekte) yüzey üzerindeki bütün noktaların kesici takım tarafından taranması gereklidir. Bu tarama işleminde izlenen şablon da takım yolu topolojisi olarak isimlendirilmektedir. (Marshall ve Griffiths, 1994) 4 tip takım yolu topolojisi şablonu vardır. Bunlar:

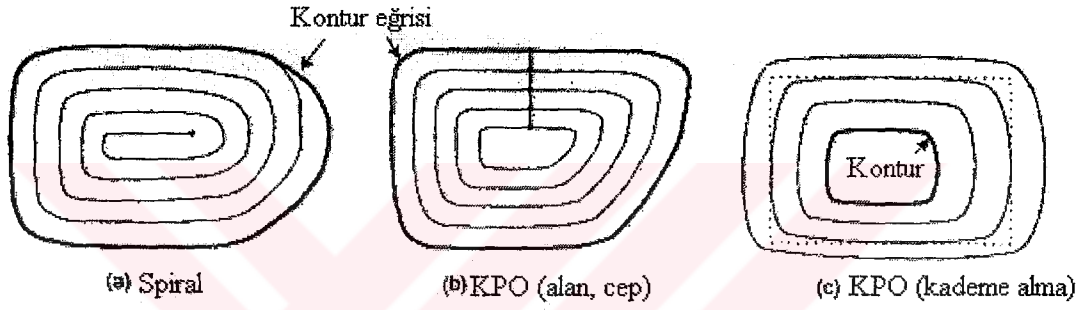
Seri şablon: XY paralel, sınır eğrisi (SE) paralel (şekil 3.3)

Radyal şablon: Spiral ve kontur paralel ofset (KPO) (şekil 3.4)

Şerit şablon: Şerit paralel ve şerit normal (şekil 3.5)



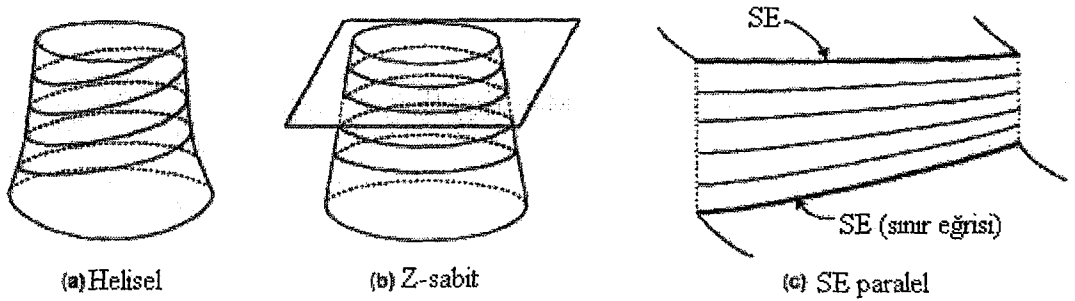
Şekil 3.3. Seri şablon topolojisi



Şekil 3.4. Radyal şablon topolojisi



Şekil 3.5. Şerit şablon topolojisi



Şekil 3.6. Kontur şablon topolojisi

Seri ve radyal tip şablonlar bir alanın işlenmesi, kontur tipi ise düşey veya eğimli bir yüzeyin işlenmesi içindir. Spiral ve helisel şablonlar ise (şekil 3.4.a ve 3.6.a) yüksek hızla işlemede yaygın olarak kullanılmaktadır.

Jensen ve Anderson (1993) tarafından SE paralel şablonun özel bir durumu olarak, izo-parametrik ve izo-eğri takım yolu da önerilmiştir.

Ayrıca bir bölgenin işlenmesinin planlanmasında göz önüne alınan frezeleme stratejisi seçeneği ve ilgili parametreler şöyledir.

- Frezeleme modu: Yukarı ve aşağı frezeleme
- Düşey hareket: Yukarı frezeleme veya aşağı frezeleme
- Etkin kesme kenarı: Eğim açısı aralığı vs.
- Takım yolu bağlama: Zig-zag, tek yön vs.

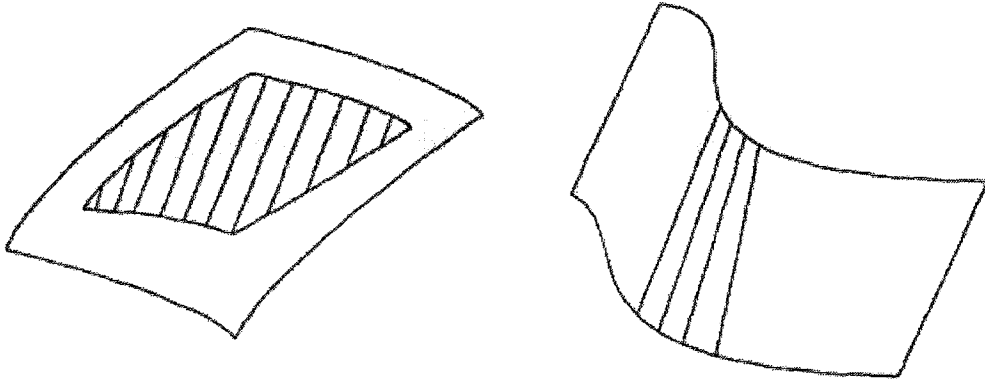
3.3.1. Küresel Uçlu Freze takımları ile BIO

Küresel uçlu takımlar serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.7. de SSYI işleminde yaygın olarak kullanılan BIO'nun 7 tipi görülmektedir.

Bunlar:

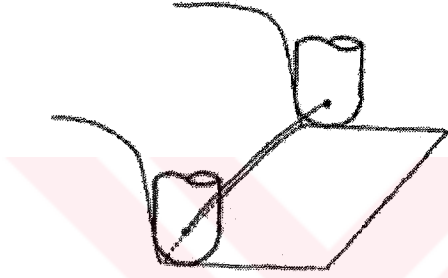
1. Alan kesme: Seri şablon yada radyal şablon topolojileri (şekil 3.7.a)
2. Yuvarlak köşe kesme: Şerit paralel topoloji (şekil 3.7.b)
3. Kalem kesme (şekil 3.7.c)
4. Kontur kesme: Kontur şablon topolojisi (şekil 3.7.d)
5. Cep boşaltma: Radyal topoloji (şekil 3.7.e)
6. Kademe alma: Radyal topoloji yada XY paralel (şekil 3.7.f)

7. Düzlem adımlı kaba boşaltma: XY paralel (şekil 3.7.g)

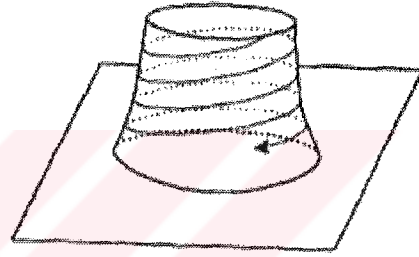


a) Alan kesme (XY paralel topoloji)

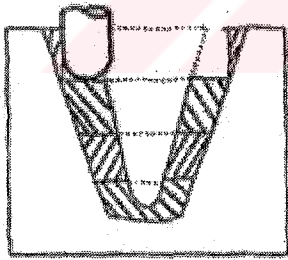
b) Köşe kesme (şerit paralel topoloji)



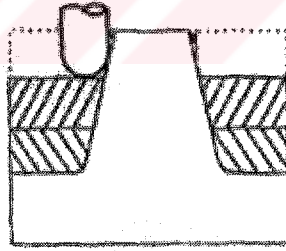
c) Kalem kesme



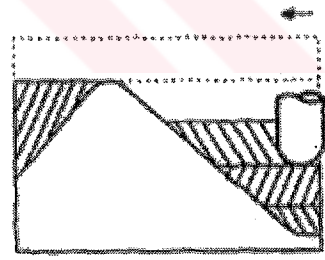
d) Kontur kesme (Helisel kesme)



e) Cep boşaltma



f) kademe alma



g) Düzlem adımlı kaba boşaltma

Şekil 3.7. SSYI işleminde yaygın olarak kullanılan BIO'lar

Alan kesme BIO genelde düz bir yüzeyin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Eğer oldukça büyük bir takım ince işleme işleminde kullanılırsa, konkav köşelerde kesilmemiş bölgeler oluşabilmektedir. Bu kesilmemiş bölgeler, yuvarlak köşe kesme ile daha küçük bir takımla kesilmektedir. Bununla birlikte, eğer konkav köşe radyüsü

kesici takım radyüsünden küçük ise, takım parça yüzeyi ile bir çok noktada temas edecektir. Bu eğri boyunca kesme ise kalem kesme olarak isimlendirilmektedir.

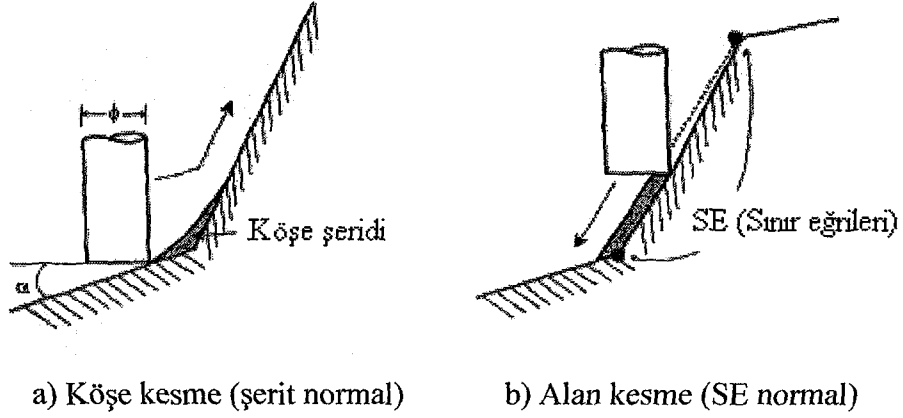
Şekil 3.7 de görüldüğü gibi, bir kesme duvarı yüzeyi, kontur kesme BIO ile etkin bir şekilde kesilebilmektedir. Diğer 3 BIO, kaba boşaltma işlemleri içindir. Bunlar, kesme tabakası kavramını temel almaktadır. Kesme tabakaları, kaldırılacak hacmin belirli bir kalınlık değerine göre, yatay düzlemlerle dilimlenmesiyle elde edilmektedir. Bu kalınlık değeri düzlem – adım olarak isimlendirilmekte ve bu kaba kesme metodu düzlem – adım metodu olarak bilinmektedir.

Cep önceden kaba olarak işlenmiş ise (şekil 3.7.e) bu durum oyuk-boşaltma, eğer boşluk bir katıdan boşaltılıyor ise bu da cep boşaltma olmaktadır.

3.3.2. Düz uçlu parmak freze takımı ile BIO

SSYI işleminde geniş olarak yer alan 3 eksenli düz uçlu parmak freze takımı ile BIO tipleri 7 adettir. Aşağıda belirtilen bu BIO takım yolu topolojileri ile birlikte verilmiştir. (En çok bilinen topolojiler yer almaktadır).

1. Yuvarlak köşe kesme(sadece yukarı doğru): Şerit-normal topoloji (şekil 3.8.a)
2. Alan kesme (Sadece aşağıya doğru): SE normal topoloji (şekil 3.8.b)
3. Kanal açma
4. 2B kontur işleme
5. Cep boşaltma: Radyal şablon topolojisi
6. Kademe işleme: Radyal şablon topolojisi veya XY paralel topoloji
7. Düzlem adım kaba boşaltma(sadece yukarı doğru): XY paralel topoloji



Şekil 3.8. 3 eksen frezelemede düz uçlu parmak frezeler için BIO'ları

3 eksen frezelemede düz uçlu parmak frezeler şekil 3.8. da görülen durumlar hariç, ince işleme işlemlerinde nadiren kullanılmaktadır.

İki basit BIO, kanal açma ve 2B kontur işleme form işleme aşamasında olduğu kadar kaba boşaltmada da kullanılmaktadır. 3 tane BIO, cep boşaltma, kademe kesme ve düzlem adım ile kesme, küresel uçlu parmak frezeler için de kullanılmaktadır.

3.4. İşleme Aşamaları

Genelde, BIO özelliklerine göre gruplandırılmaktadırlar. Örneğin BIO, bir ham parçadan fazla malzemenin hızlı bir şekilde boşaltılması özelliğinde ise bu kaba boşaltma olarak, bitmiş parçanın son şeklini vermeye yönelik ise buda ince işleme olarak gruplandırılmaktadır.

3.4.1. İki aşamalı şema

İki aşamalı şemada, tüm BIO kaba ve ince işleme olarak gruplandırılmaktadır. Kaba boşaltma aşaması için temel özellikler:

1. Yüksek malzeme kaldırma hızı ve kaba yüzey
2. Takım konumlama şartlarında aşırı değişimler
3. Titreşimler vs.

İnce işleme aşaması için temel özellikler ise:

1. Uzun işleme süresi
2. Takım aşınması ve seçim kısıtları

3.4.2. Beş Aşamalı Şema

Bir çok durumda yarı kaba olarak isimlendirilen bir ara aşama iki aşamalı şemaya eklenmektedir. Yarı – kaba aşamasının amacı, üniform bir pay bırakılarak ince işleme aşaması için işlemeye hazır hale getirmektir. Diğer takımların işleyemediği yerlerin daha küçük bir takımla işlendiği aşama ise temizleme aşamasıdır.

Bir diğer aşamada, frezeleme ile işlenemeyen kısımları EDM tezgahlarında işlenmesi aşamasıdır.

Özetle beş aşamalı şemadaki işleme kademeleri kaba, yarı kaba, ince, temizleme ve EDM aşamaları olmaktadır.

BÖLÜM 4

TAKIM YOLU TOPOLOJİLERİ

4.1. Giriş

Takım yolu oluşturmada 1.adım BIO planında takım yolu topolojisinin ve frezeleme stratejisi seçeneklerini belirlemektir. Sonraki adım ileri artış (λ) ve yanal artış (ω) miktarlarını tayin etmektir. λ, ω çifti takım yolu çözünürlüğü olarak ifade edilmektedir. Bu teknik veriler belirlendikten sonra kesme şartlarını da içeren CL noktalar dizini parça yüzeyinden oluşturulmaktadır. Takım yolu geçerlilik aşaması kesici girişiminin, kesme simülasyonu ve doğrulama ile kesme şartlarının iyileştirilmesinden oluşturulmaktadır.

4.2. Takım yolu topolojisi ve frezeleme stratejisi planlama

4 adet takım yolu topolojisi şablonu bulunmaktadır. Bunlar:

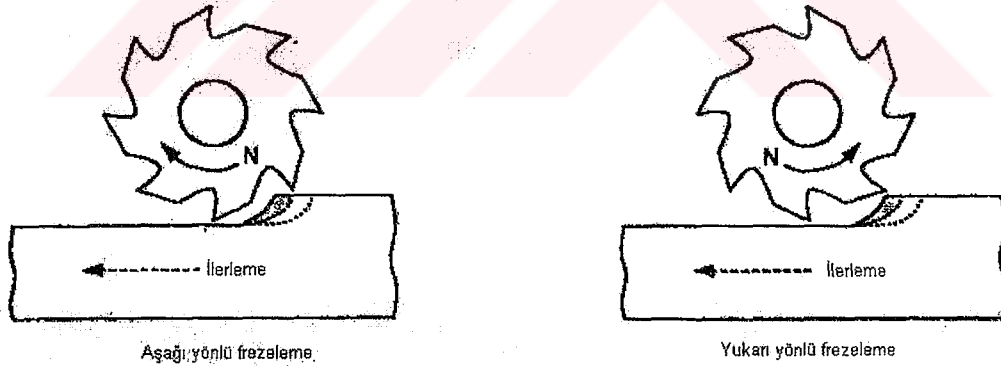
- 1.Seri şablon: XY paralel, SE paralel, SE normal (Şekil 3.3)
- 2.Radyal şablon: Spiral ve kontur paralel ofset (Şekil 3.4)
- 3.Şerit şablon: Şerit paralel ve şerit normal (Şekil 3.5)
- 4.Kontur şablon: Helisel, z sabit, SE paralel (Şekil 3.6)

Bir takım yolu topolojisinin seçilebilmesi için aşağıdaki yol izlenmelidir

1. Eğik yüzey işlemede, kontur şablon topolojisi, seri şablona tercih edilmelidir. (60 derece üstü eğimli açılarda)
2. Bir alan kesme için, radyal şablon yolu seri şablona tercih edilir
3. Radyal şablon alan kesme için, spiral topoloji z sabit topolojiye tercih edilmelidir.

Geometrik kısıtlar çok önemli olmasına rağmen, takım yolu topolojisinin seçilmesi frezeleme stratejisi seçeneklerinin teknolojik gereksinimleriyle yakından ilgilidir.

4.2.1. Aşağı/yukarı frezeleme seçeneği

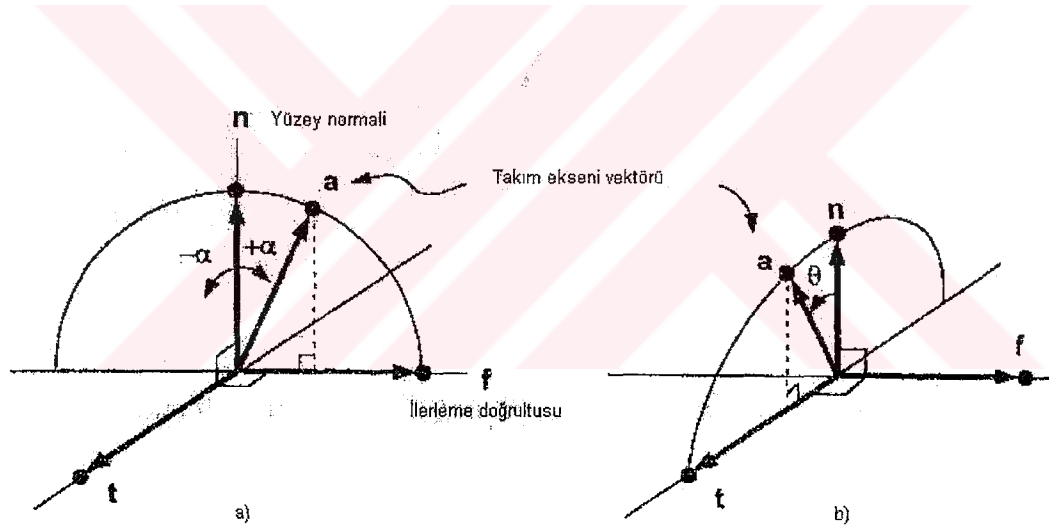


Şekil 4.1. Aşağı ve yukarı frezeleme seçeneği

Şekil 4.1 de Aşağı frezeleme ve yukarı frezeleme görülmektedir. Yukarı frezelemenin bir karakteristiği iş parçasını itmesidir. İnce, narin bir parmak freze yukarı frezelemede kullanıldığında bir dizi hasara neden olabilir. Parmak freze parçaya doğru bastırdıkça kesme yükü artacaktır.

Bu nedenle, SSY işlemede bir kural olmalı, yukarı frezelemede narin parmak frezeler kullanılmaktan kaçınılmalıdır. Çünkü dalma, titreşim, kesici kırılmalarına neden olabilir. Bu nedenle aşağı frezeleme SSYI işlemede tercih edilmektedir. Bununla birlikte, yukarı frezeleme kalıpların işlenmesinde kaba işlemede tercih edilmektedir. (DeGarmo,1998)

4.2.2.Yukarı doğru / aşağı doğru frezeleme seçeneği



Şekil 4.2. Ters ve dalma kesme

Şekil 4.2 de görüldüğü gibi CC koordinat sisteminde CC noktasında üç tane dik birim vektör tanımlanmıştır.

n: CC noktasında yüzeye dik birim normal vektör

f: Kesicinin hareket doğrultusu boyunca birim ilerleme doğrultu vektörü

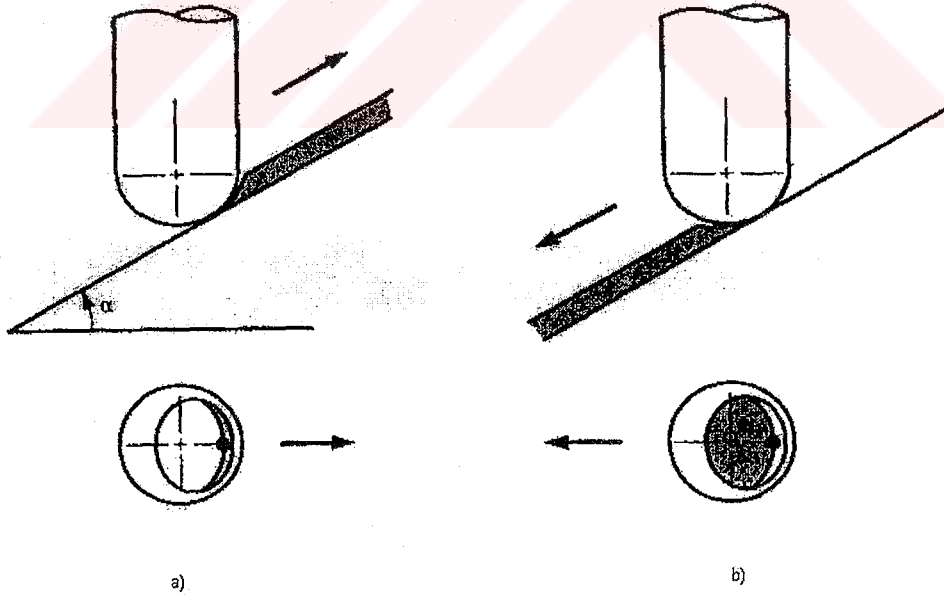
$t=fxn$: CC noktasında birim teğet vektör

a: Birim takım eksen vektörü

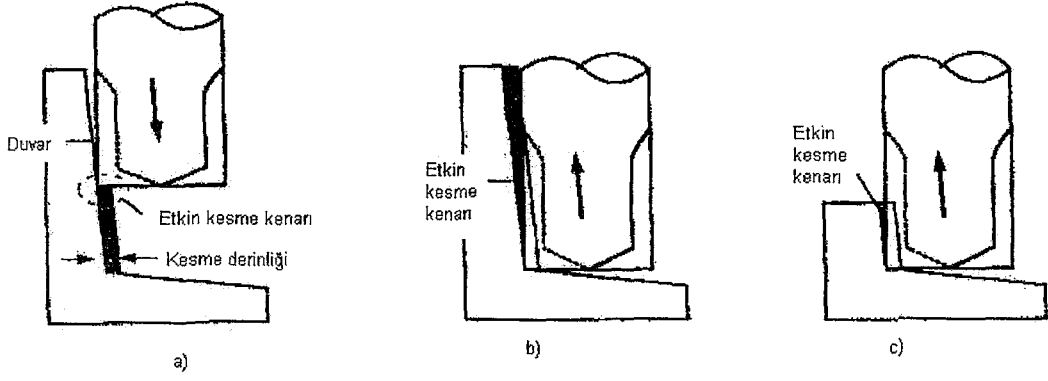
a, n-f düzlemi üzerindeyse Şekil 4.2.a daki gibi olmakta kesme modu α kesici eğim açısı değerine bağlı olarak ters kesme yada dalma kesme olacaktır.

$\alpha > 0$: ise ters kesme, $\alpha < 0$ ise dalma kesme.

Diğer taraftan a, n-t düzlemindeyse (şekil 4.2b) bu durumda yuvarlak köşe kesme olmakta (eğiklik açısı sıfır değilse) 3 eksen SD işlemede bir kontur kesme BIO ile eğik kesme yapılacaktır. Ayrıca kesici eksen vektörü her zaman sabit ve Z doğrultusunda olduğu için, dalma kesme kesicinin aşağıya doğru hareketiyle yapılmakta ve ters kesme ise yukarı doğru hareketiyle yapılmaktadır.



Şekil 4.3. Aşağı yukarı ve doğru frezelemede takım yerleşimi



Şekil 4.4. Aşağı ve yukarı frezelemede etkin kesme kenarı

Şekil 4.3. de aşağı yukarı ve doğru frezelemeye ait şematik bir örnek görülmektedir. Yüzey eğiminin (α) 60^0 nin altında olduğunu düşünürsek bu durumda yukarı frezeleme tercih edilmelidir. Çünkü kesici ucu takım yerleşim alanının dışındadır. α 90^0 ye yaklaşması durumunda ise aşağı doğru frezeleme tercih edilmelidir. Şekil 4.4. de görüldüğü gibi etkin kesme kenarı yukarı doğru frezelemede daha fazladır. (Choi, 1998)

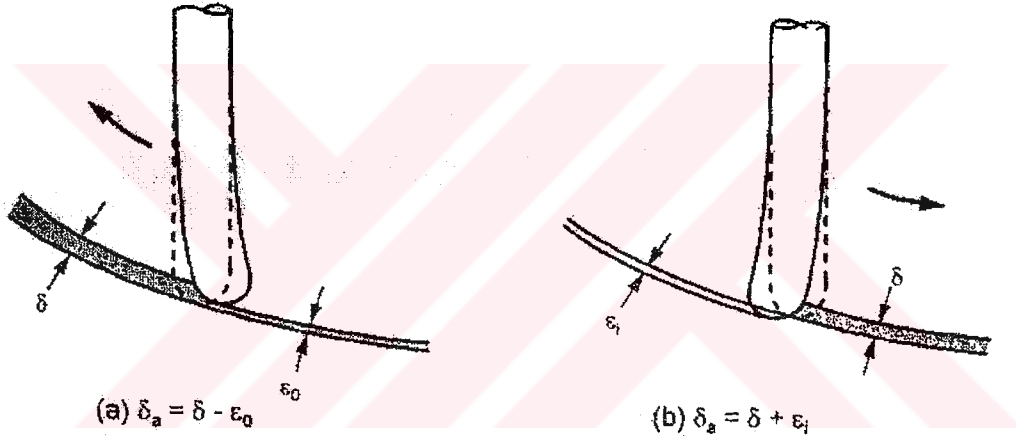
4.2.3. Tek yön-zigzag frezeleme seçeneği

Tek yön yada zigzag frezelemenin seçimi yüzey kalitesi ve işleme zamanı arasındaki ilişkiye göre yapılmaktadır. Tek yön frezelemede sadece bir doğrultuda kesme yapılmaktadır. Zigzag frezeleme doğrultunun değişime neden olmakta zayıf bir yüzey kalitesiyle sonuçlanmaktadır. Genel endüstriyel uygulamalarda tek yön frezeleme kullanılmasına rağmen kalıp işlemede zigzag frezeleme yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

4.2.4. Frezeleme stratejisinin seçimi

Daha uzun takım ömrü ve yüksek hassasiyet için aşağıdaki kurallar uygulamada tavsiye edilmektedir.

1. Aşağı frezeleme uygun olan her yerde kullanılabilir.
2. Yukarı doğru frezeleme uygun olan her yerde kullanılabilir.
3. Eğik kesmeden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.
4. Daha iyi bir yüzey kalitesi için tek yön frezeleme kullanılmalıdır.



Şekil 4.5 Aşağı ve yukarı doğru frezelemenin kesici sehimine etkileri

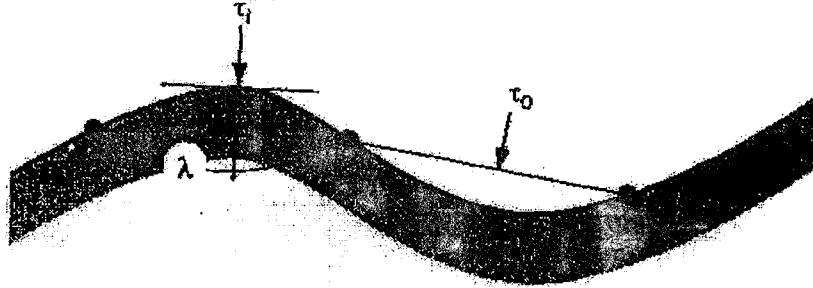
4.3. Takım yolu çözünürlüğü planlama

Daha önce de bahsedildiği üzere, takım yolu çözünürlüğü ileri artış miktarı λ ve yan artış miktarı ω 'den meydana gelmektedir. Bu kısımda çözünürlük değerleri ve tolerans değerleri arasındaki ilişkiler verilecektir.

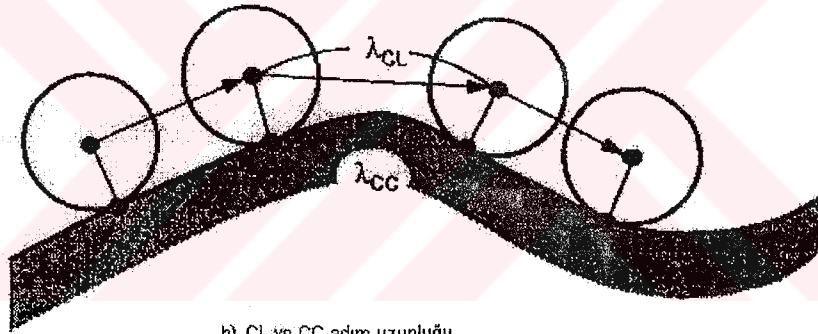
1. Çözünürlük değerleri: λ ve ω
2. Tolerans değişkenleri: iç tolerans τ_i ve dış tolerans τ_o

4.3.1. İleri artış miktarı planlama

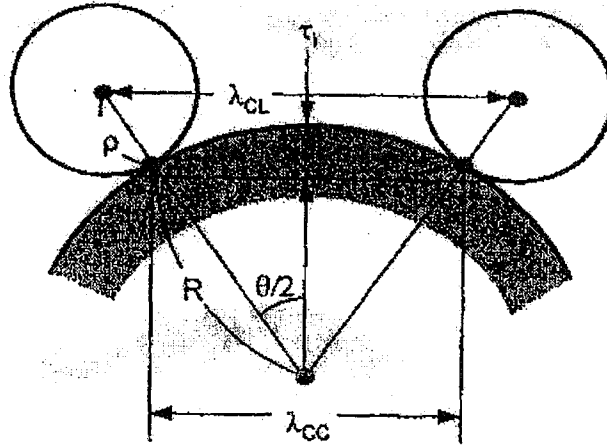
Şekil 4.6.a da CC (kesici temas) noktaları ve bir parça yüzeyinin kesiti görülmektedir. Genelde ileri artış miktarı λ , CC doğrularının uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. CC eğrisi ile CC doğruları arasındaki sapma konveks bölgelerde dalma, konkav bölgelerde ise kesilmemiş alan olmaktadır.



a) Nominal adım uzunluğu



b) CL ve CC adım uzunluğu



c) Dairesel yaklaşım

Şekil 4.6. Adım uzunluğunun belirlenmesi

Dalma ve kesilmemiş bölgelerin izin verilebilen miktarları iç tolerans τ_i ve dış tolerans τ_o değerleriyle belirlenmektedir. SSYI işleminde, toleranslar sağlanacak şekilde λ 'nın mümkün olduğunca büyük olması istenmektedir. Küresel uçlu bir parmak freze düşünürsek, bu durumda şekil 4.6.b de görüldüğü gibi, CL (kesici konum) noktası küre merkezi olmaktadır. İki adet ileri artış uzunluğu bulunmaktadır. Bunlar:

- CC ileri artış uzunluğu (λ_{CC}): CC doğrusunun uzunluğu
- CL ileri artış uzunluğu (λ_{CL}): CL doğrusunun uzunluğu

Eğer iki CC noktası arasındaki eğri parçası şekil 4.6.c deki gibi bir yay formuna yakın ise, konveks bölgede izin verilebilen maksimum ileri artış miktarı şu şekilde ifade edilebilir. (Choi, 1988)

$$\lambda_{CC} = 2.R \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{(R + \rho - \tau_i)^2}{(R + \rho)} \right] \right\}^{1/2} \quad (4.1)$$

$$\lambda_{CL} = 2 \cdot \{ 2 \cdot \tau_i \cdot (R + \rho) - (\tau_i)^2 \}^{1/2} \quad (4.2)$$

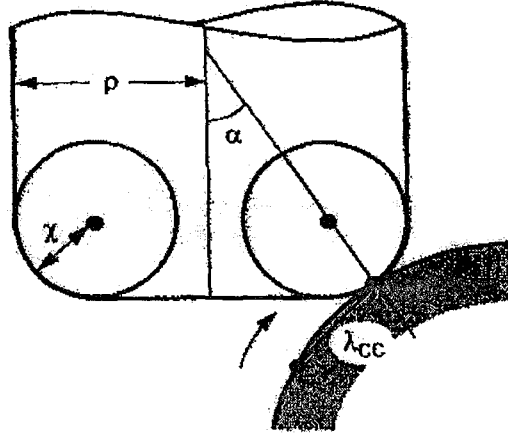
Burada R ilerleme doğrultusu boyunca normal eğrilik yarıçapı (Şekil 4.6), ρ kesici yarıçapı, τ_i dalma derinliği (iç tolerans) olmaktadır. Benzer şekilde konkav bölgede izin verilebilen maksimum ileri artış miktarı:

$$\lambda_{CC} = 2.R \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{(R - \rho - \tau_o)^2}{(R - \rho)} \right] \right\}^{1/2} \quad (4.3)$$

$$\lambda_{CL} = 2 \cdot \{ 2 \cdot \tau_o \cdot (R - \rho) - (\tau_o)^2 \}^{1/2} \quad (4.4)$$

Burada τ_o kesilmemiş kalınlık (dış tolerans)dır. Yukarı doğru frezeleme ile alan kesmenin, küresel uçlu parmak freze ile yapıldığı durumlarda (şekil 4.7), ileri

artış miktarı aynı şekilde elde edilmektedir. Bu durumda denklemlerde yer alan ρ yerini χ köşe radyüsüne bırakacaktır.



Şekil 4.7. Küresel uçlu parmak freze ile frezelemede etkin kesici yarıçapı

4.4. Takım yolu oluşturma

Maksimum izin verilebilir λ ve ω değerleri tespit edildikten sonra belirlenen takım yolu topolojisine göre CC noktaları dizini örneklenir ve her bir CC noktası CL noktasına dönüştürülmektedir.

4.4.1. CL verisi hesaplaması

$r(u,v)$ parça yüzeyinde CC noktasında küresel uçlu parmak frezenin CL noktası şu denklemle hesaplanabilmektedir.

$$r_{cl} = r_{cc} + \chi \cdot (n - a) + \frac{(\rho - \chi)[n - (a \cdot n) \cdot a]}{[1 - (a \cdot n)^2]^{1/2}} \text{ eğer } a \cdot n \neq 1 \text{ ise} \quad (4.5)$$

$$r_{cl} = r_{cc} \pm (\rho - \chi) \cdot f \text{ eğer } a \cdot n = 1 \text{ ise} \quad (4.6)$$

Burada:

ρ, χ : Kesici yarıçapı ve küresel uçlu parmak frezenin köşe radyüsüdür.

$r_{cc} = r(u, v)$: CC noktası

$n = (n_x, n_y, n_z)$: CC noktasındaki birim yüzey normal vektörü

a, f : Takım eksen vektörü ve ilerleme doğrultu vektörü (birim vektörler)

3 eksen bir frezelemede,

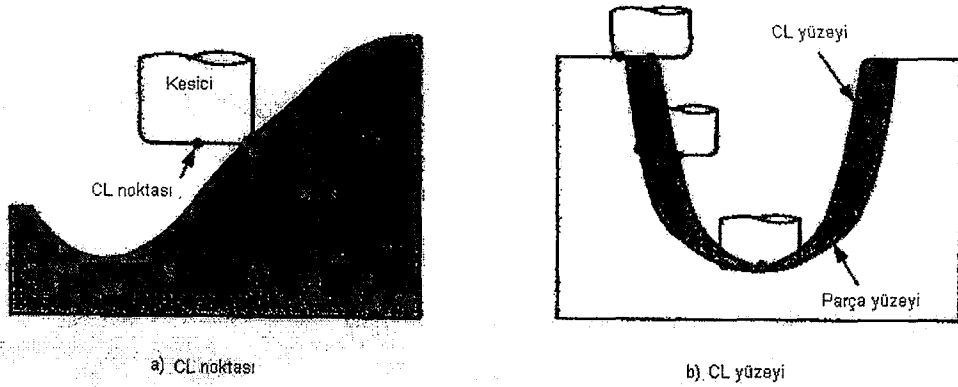
$a = k \equiv (0, 0, 1)$ dir.

$a \cdot n = \gamma = n_z$ ise yukarıdaki denklemde $-$ işareti yukarı doğru frezeleme, $+$ işareti ise aşağı doğru frezeleme için geçerlidir.

Eğer $\rho = \chi$ ise denklem

$$r_{cl} = r_{cc} + \rho(n - a) \quad (4.7)$$

şekline gelmektedir.



Şekil 4.8 CL noktası ve CL yüzeyinin oluşturulması

CL noktalarını şekil 4.8 de görüldüğü gibi CL yüzeyinden elde etmek mümkündür. Bu metotla ilgili geniş bilgiye ilerleyen bölümde yer verilecektir.

4.5. Kesici girişimleri

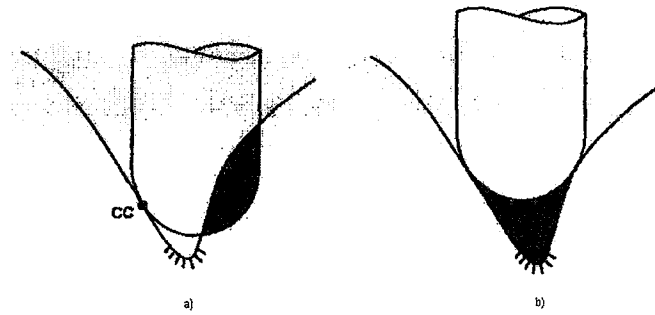
Serbest şekilli yüzeyler için takım yolu oluşturulurken, güvenilir algoritmalarda bile hala hata yapma ihtimali bulunmaktadır. Bu hata çeşitleri:

1. Dalma (aşırı kesme)
2. Çarpma

Kesici girişimi ile dalma ve çarpma ifade edilmektedir. SSYI işlemlerinde kesici girişiminin ortaya konulması, önlenmesi için yapılması gereken noktalar bu bölümde belirtilecektir. Bilinen 4 adet kesici girişimi mevcuttur. Bunlar:

1. CL noktası girişimi: Dalma CL noktasında olmaktadır
2. CL doğrusu girişimi. Dalma CL doğrusunda olmaktadır
3. Çarpma: Kesici hareketi esnasında olmaktadır.

4.5.1. CL noktası girişimi



Şekil 4.9. Konkav dalma ve kesilmemiş alan

Şekil 4.9 da kontur dalma olarak da bilinen CL nokta girişimine ait tipik bir örnek görülmektedir. (Choi B.K., 1989)

Düzgün bir yüzey küresel uçlu parmak freze ile işlendiğinde konkav dalmayı engellemek için gerekli şart:

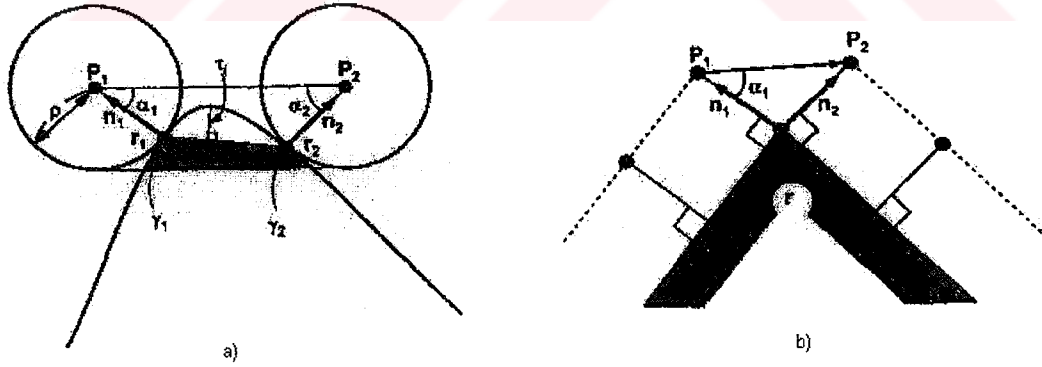
$$\kappa_{n1} > \frac{1}{\rho} \quad (4.8)$$

ρ :Kesici takımın yarıçapı

κ_{n1} : Maksimum normal eğrilik

Literatürde dalmayı engellemek için bazı metotlar olmasına rağmen (Choi ve Jun, 1989), verilen bir takım yolundan bir dalmayı kestirmek oldukça güçtür.

4.5.2. CL Doğrusu girişimi



4.10. Konveks dalma ve keskin köşe dalması

Her bir CL noktasında bir girişim olmamasına rağmen şekil 4.10.a da görüldüğü gibi takımın CL çizgisi boyunca hareketi esnasında bir konveks dalma olabilir. Bir konveks dalma sadece bir CL çizgisinde olabilir. Konkav bir dalma ise

sadece bir CL noktasında meydana gelmektedir. Şekil 4.10.a da, küresel uçlu parmak freze ile meydana gelen tipik bir dalma görülmektedir. Konveks dalmanın kalınlığı γ_i , CC noktasının yüzeye olan uzaklığı olarak tanımlanabilir.

$$\gamma_i = \rho(1 - \sin \alpha_i) \quad i = 1,2 \quad (4.9)$$

Burada ρ kesici yarıçapı, $\alpha_1 \leq r_1 P_1 P_2$, $\alpha_2 \leq P_1 P_2 r_2$ Şekil 4.10 b de ise keskin köşe dalmasına ait bir örnek görülmektedir. Her iki durumda da, konveks dalma kalınlığı büyük α_i değerleri için yüksek kabul edilemez.

P_1 noktasındaki konveks dalmayı düzeltmek için basit bir yöntem, yeni CL noktaları ilave etmektir. (q_i noktasında)

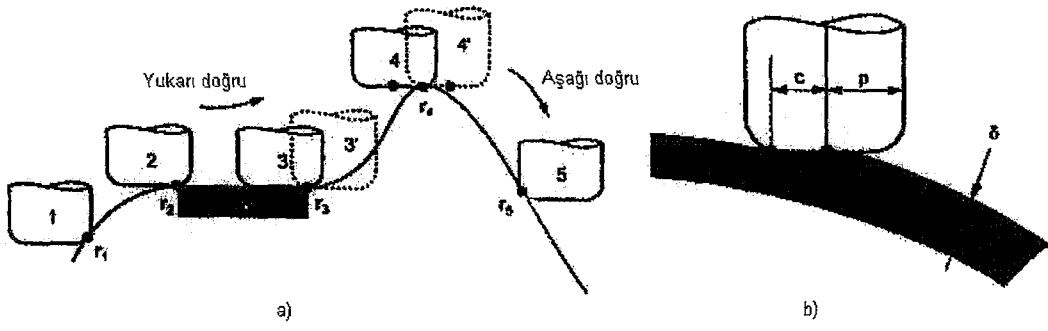
$$q_i = P_i + \rho \cdot \left\{ \frac{n_i - c}{(n_i \cdot c)} \right\} \cdot \left\{ \frac{1}{\left[1 - (n_i \cdot c)^2 \right]^{1/2} - 1} \right\} \quad (4.10)$$

$$i = 1,2$$

n_i :Normal vektör

$$c = \frac{(r_2 - r_1)}{|r_2 - r_1|} \quad (4.11)$$

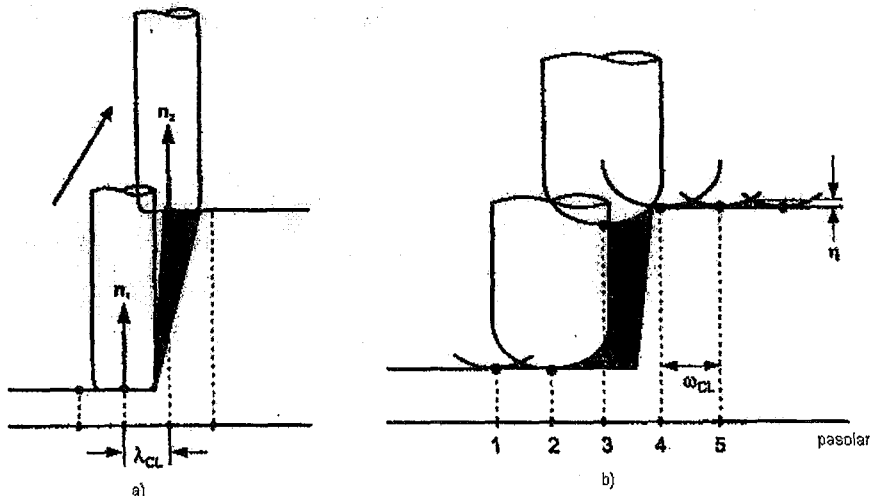
Konveks bölgedeki CL yolu, $p_1 - q_1 - p_2 - q_2$ olarak değiştirilir. Bu düzeltme, şekil 4.10 a ve b deki her iki durum içinde yapılmalıdır.



Şekil 4.11 Konveks bölgelerdeki dalma

CL çizgisi dalmannın ikinci durumu ise, şekil 4.11.a da görüldüğü üzere, küresel uçlu parmak frezenin konveks bölgede meydana getirdiği dalmadır. CL çizgisi, 4 CL noktası ile oluşturulmuştur ve 5. CL noktası bir dalmaya neden olmaktadır. CC çizgisi r_2r_3 ve CC noktası r_4 düz bölgelerdir. Burada, konveks dalma meydana gelebilir. Genellikle, küresel uçlu konveks dalma yeni CL noktaları ilave edilecek çözülebilmektedir.

3. CL noktasında (şekil 4.11.a) konkav bir dalma olacaktır. Şekil 4.11.b de görüldüğü gibi, aşağı doğru kesme gereklidir. Eğer bu durumda kesici taban merkezi ile kesmezse, aşağı doğru kesme dalma ile sonuçlanacaktır.

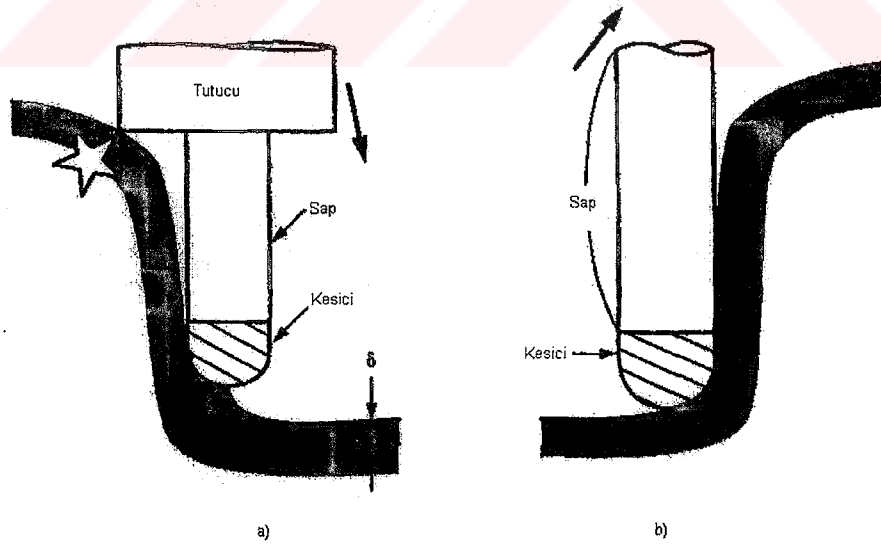


Şekil 4.12. Düşey dalma

Şekil 4.12.a da ise düşey dalma görülmektedir. Düşey duvarın yakınlarında konveks bir dalma olmaktadır. Düşey dalmanın kalınlığı, XY düzleminde tanımlanan λ_{cl} kadar büyük olacaktır. Tekrardan CL noktası ilave edilerek bu düşey sapma önlenir. Şekil 4.12.b de görüldüğü gibi CL yolları duvar doğrultusuna paralel olduğu durumda iki CL yolu arasında dalma meydana gelmektedir.

4.5.3. Çarpma

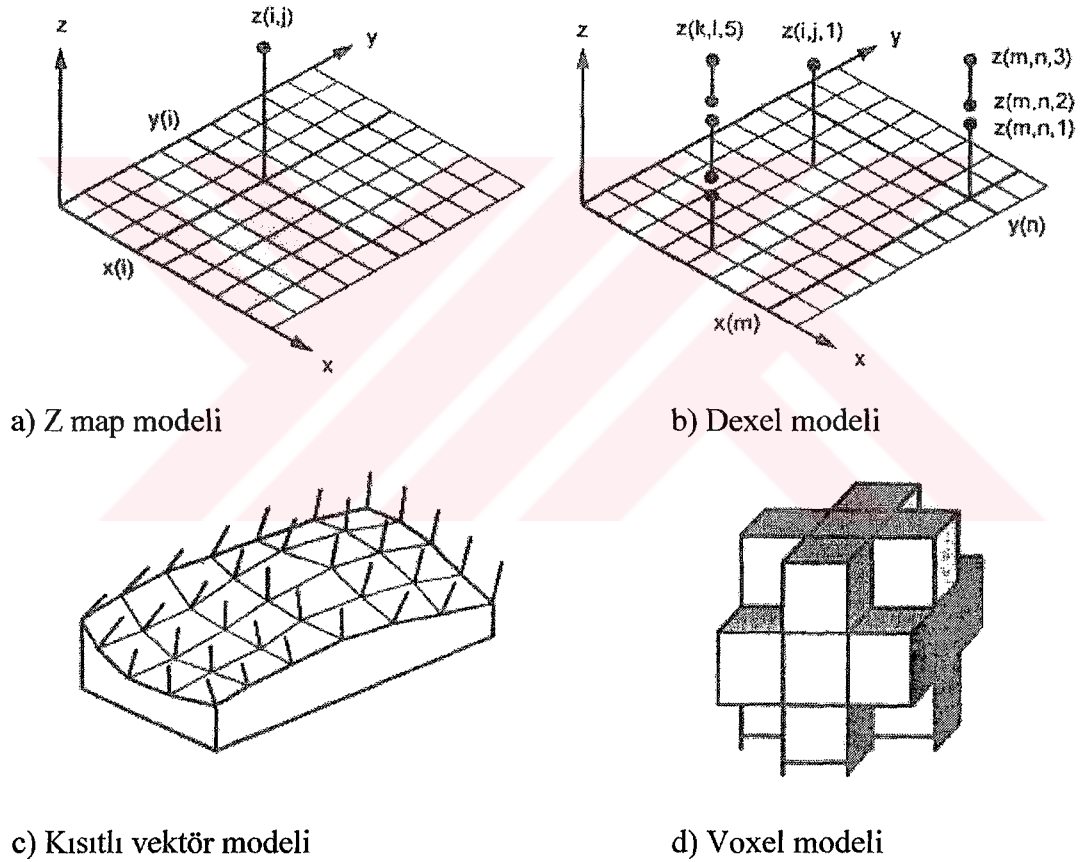
Kesici yada tutucu kısmının iş parçası ile temas ettiği durumlardır. Üç tip çarpma vardır. Şekil 4.13.a daki gibi tutucu çarpması, 4.13.b deki gibi sap kısmın çarpması ve ölü merkez çarpmasıdır.



Şekil 4.13 Çarpma

4.6. Kesici simülasyonu ve SD doğrulama

Yukarıda yer verilen kesici girişimlerinin çoğunluğu takım yolu uygun bir şekilde oluşturulursa önlenebilmektedir. Bununla birlikte bir SD programının herhangi bir kısmında hata olup olmadığını tayin etmek oldukça güçtür. Bunun için, kesme simülasyonu hataları belirlemek için kullanılmaktadır.



Şekil 4.13. Kesme simülasyonu için geometrik modeller

Kesme simülasyonu için öncelikle iş parçasının hacimsel bir modeline ihtiyaç vardır. Şekil 4.13 de görülen ve genel olarak kullanılan simülasyon modelleri :

- a) Z-map modeli
- b) Dixel modeli
- c) Kısıtlı vektör modeli
- d) Voxel modeli

Z-map modeli xy düzleminde, düzenli olarak tanımlanmış grid noktalarında, yükseklik değerlerinin 2B bir dizide tutulması şeklinde oluşturulmaktadır.

Z-map modeli kullanılarak frezeleme işleminin simülasyonu fikri 1970 de Anderson tarafından ortaya konulmuştur, fakat 1980'lerde geliştirilmiştir. (Jerard, 1989) Daha sonraları, benzer bir z-map simülasyon metodu Saito ve Takahashi tarafından 1991 yılında geliştirilmiştir.

Z-map modeli, temel bir plakadan büyüyen kristal grupları şeklinde görüntülenebilir. Böylece, işlenecek yüzey kristallerin sanal bir kesici ile kesilmesi ile elde edilebilir. Şekil 4.13.b de görüldüğü gibi sonuç, dixel modeli olarak da bilinen çok seviyeli bir z-map modeli olmaktadır.

Kristallerin büyümesi serbest şekilli yüzeyin normal doğrultularında oluyor ise, bu model de kısıtlı vektör modeli olarak isimlendirilmektedir.(Şekil 4.13.c) İşlenecek hacmin küpler ile temsil edilmesi durumunda ise oluşan model Voxel modeli olarak isimlendirilmektedir. (Şekil 4.13.d)

BÖLÜM 5

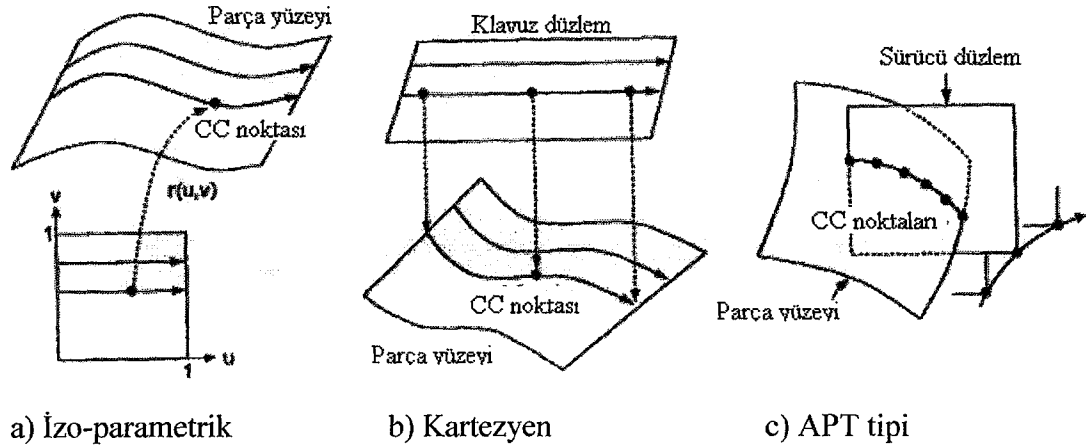
TAKIM YOLU OLUŞTURMA METOTLARI

Bu bölümde konvansiyonel takım yolu oluşturma teknikleri hakkında bilgiler verilecektir.

Takım yolu oluşturma esasları, verilen bir BIO ve takım yolu çözünürlüğü ile istenilen parça yüzeyinden CL noktaları dizisini hesaplamaktır. Daha önce de belirtildiği gibi bir BIO planı kesici özellikleri, takım yolu topolojisi, frezeleme stratejisi ve ileri ve yan artış miktarlarından oluşmaktaydı. Takım yolu oluşturma metotları CC temelli ve CL temelli olarak sınıflandırılmaktadır.

5.1. CC temelli takım yolu oluşturma metotları

CC temelli takım yolu oluşturma metotlarında takım yolları, parça yüzeyinden elde edilen CC noktaları ve daha sonra CL noktaları dizisine dönüştürülen değerlerden oluşmaktadır. Burada parça yüzeyi, yol oluşturma yüzeyi olmaktadır. Bu tip metotlar genellikle konvansiyonel metotlar olarak anılmaktadır.



Şekil 5.1 CC temelli takım yolu oluşturma metotları

Takım yolu şablonlarının planlanmasında, üç tip planlama alanı vardır. Parametre alanı, kılavuz düzlem ve sürücü yüzey. Takım yolu planlama alanı tipine bağlı olarak, CC temelli takım yolu oluşturma metotları şekil 6.1 de görüldüğü gibi 3 durum olarak gruplandırılabilir.

1. İzo-parametrik metot: CC takım yolları parametre alanında planlanır ve sonra parça yüzeyine indirgenir. (şekil 5.1.a)
2. Kartezyen metot: Takım yolları kılavuz düzlem üzerinde planlanır ve sonra takım konumları parça yüzeyine indirgenir. (şekil 5.1.b)
3. APT metodu: Takım yolları parça yüzeyinin bir sürücü yüzey seti ile kesiştirilmesi ile oluşturulmaktadır. (şekil 5.1.c)

İzo-parametrik metot en basit takım yolu oluşturma metodudur. Fakat, yüzey yamalarından oluşan komple bir yüzeyin işlenmesi için uygun olmayabilmektedir. Ayrıca bu metot, dalmalara karşı hassas değildir. Bu nedenle bir alternatif olarak, modern BDT/BDÜ sistemlerinde kartezyen metot geniş olarak kullanılmaktadır. APT tipi ise APT sistemi içerisinde kullanılmıştır. Bu üç durumun hepsinde de, CL verisi hesaplama aşağıdaki şekilde olmaktadır.

1. CL verisi noktalarının verilen bir alan noktasında hesaplanması

2. Yol üzerinde mevcut alan noktasından sonraki alan noktasının hesaplanması

3. Bir sonraki yoldaki başlangıç alan noktasının yan artış miktarı ile hesaplanması

5.2. CL temelli takım yolu oluşturma metotları

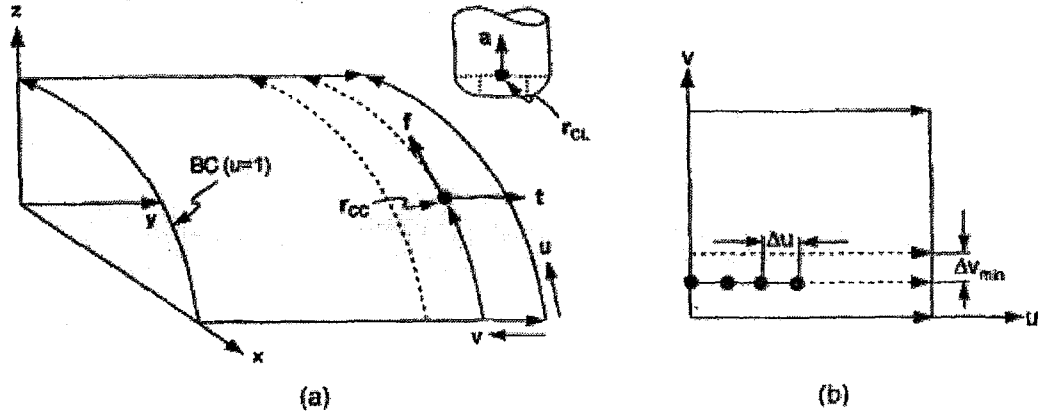
CL temelli takım yolu oluşturma metotlarında, CL yüzeyi bir yol oluşturma yüzeyi olarak kullanılmaktadır. Bu metodun genel bir hali, C-uzay yaklaşımı metodu olarak isimlendirilmektedir.

CL temelli takım yolu oluşturma metotları BIO tiplerine göre sınıflandırılabilir. Daha önce de belirtildiği gibi, SSYI işleminde dokuz tane BIO bulunmaktadır ve şu şekilde dört adet BIO grubu haline getirilebilir.

1. Hacim tipi: Cep boşaltma, kademe kesme ve düzlemsel adımla kaba kesme
2. Tarama tipi: Alan ve kontur kesme
3. 3B eğri tipi: Kalem ve köşe kesme
4. 2B eğri tipi: Kanal açma ve 2B kontur işleme

Hacim tipi BIO'lar kaba işleme aşamasında kullanılmaktadır. Tarama tipi BIO'lar ise, genellikle ince ve yarı kaba aşamalarında kullanılmaktadır. 3B eğri tipi BIO'lar temizleme aşamasında, 2B eğri tipi BIO'lar prizmatik parçaların işlenmesinde kullanılmaktadır.

5.3. İzo-parametrik takım yolları için CL verisi hesaplama



Şekil 5.2 İzo-parametrik yollar için CL verisi hesaplaması

İzo-parametrik takım yolları için CL verisi hesaplama prosedürü şekil 5.2 deki gibi bir yüzey üzerinde açıklanacaktır. Bu konveks bir yüzeydir ve küresel uçlu parmak freze takımı ile işlenecektir. Tek taraflı yukarı doğru kesme stratejisi uygulanacaktır. Şekil 5.2 deki takım yolu planı şu şekilde açıklanabilir.

SE_paralel alan kesme [tek yön-yukarı doğru, Küresel uç(ρ, χ), $\lambda(\tau_i, \tau_0)$, $\omega(\eta)$]

Burada:

ρ, χ : Kesici yarıçapı ve köşe radyüsü

τ_i, τ_0 : İç ve dış toleranslar

$\lambda(\tau_i, \tau_0)$: İleri artış değeri

$\omega(\eta)$: Yan artış değeri (η çıkıntı yüksekliği değerinin bir fonksiyonu olarak)

Şekil 5.2 de görüldüğü gibi, takım yolları $v=0$ sınır eğrisinden başlayarak, $r(u,v)$ parametrik yüzeyinin v sabit izo-parametrik eğrisi boyunca oluşturulmaktadır. Ayrıca, ilerleme doğrultu vektörü f ve yan artış yönü vektörü ise t 'dir. Bu iki birim vektör n normal vektörü ile bir CC koordinat çerçevesi meydana getirmektedir. Birim vektörler normalde şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
n &\equiv (n_x, n_y, n_z) = \frac{(r_u \times r_v)}{|r_u \times r_v|} \\
f &\equiv (f_x, f_y, f_z) = \frac{(r_u)}{|r_u|} \\
t &= fn
\end{aligned} \tag{5.1}$$

Yukarıdaki denklemde r_u ve r_v , $r(u,v)$ yüzeyinin CC noktasındaki kısmi türevlerdir.

5.3.1. Haritalama

Öncelikle CL noktası için haritalama denklemi:

$$r_{CL} = r_{CC} + \chi \cdot n + \frac{(\rho - \chi)[n - (a \cdot n)a]}{[1 - (a \cdot n)^2]^{1/2}} \text{ eğer } a \cdot n \neq 1 \text{ ise} \tag{5.2}$$

$$r_{CL} = r_{CC} + \chi \cdot a \pm (\rho - \chi) \cdot f \text{ eğer } a \cdot n = 1 \text{ ise} \tag{5.3}$$

Burada:

ρ, χ : Kesici yarıçapı ve köşe radyüsü

$r_{CC} = r(u, v)$: CC noktası vektörü

r_{CL} : Küresel uç merkezi vektörü

$n = (n_x, n_y, n_z)$: Birim yüzey normal vektörü

a, f : Takım eksen vektörü ve ilerleme doğrultu vektörü (birim vektörler)

3 eksen frezelemede,

$$a = k \equiv (0, 0, 1)$$

$$a \cdot n = n_z$$

Ayrıca $r_{CL} = r_{CC} + \chi.a \pm (\rho - \chi).f$ denklemindeki $-$ işareti yukarı doğru frezeleme, $+$ işareti ise aşağı doğru frezeleme içindir.

Eğer $\rho = \chi$ ise yukarıdaki denklem

$$r_{CL} = r_{CC} + \rho.n$$

haline gelmektedir.

5.3.2. İlerleme

λ ve ω nin bilindiğini düşünelim ve her bir ilerleme adımında şu güncellemeleri yapalım.

$$u = u + \Delta u \quad \Delta u = \lambda / |r_u| \quad (5.4.a)$$

$$\Delta v_{\min} = \min(\Delta v_{\min}, \Delta v) \quad \Delta v = w / |r_v| \quad (5.4.b)$$

Bu parametre artışları şekil 5.2b de görülmektedir.

Eğer λ ve ω çifti bilinmiyor ise yada o anda hesaplanması gerekiyor ise;

1. f ve t doğrultularındaki R_f ve R_t elde edilmeli
2. ρ_f ve ρ_t : f ve t doğrultularındaki efektif radyus
3. $\lambda = \lambda_{CC}$ elde edilmeli
4. $w = w_{CC}$ elde edilmeli

5.3.3. Yan artış

Her bir pasonun sonunda bir yan artış değeri

$$u = u_0 \quad (5.5a)$$

$$v^* = v^* + \Delta v_{\min} \quad (5.5.b)$$

ile sağlanmaktadır.

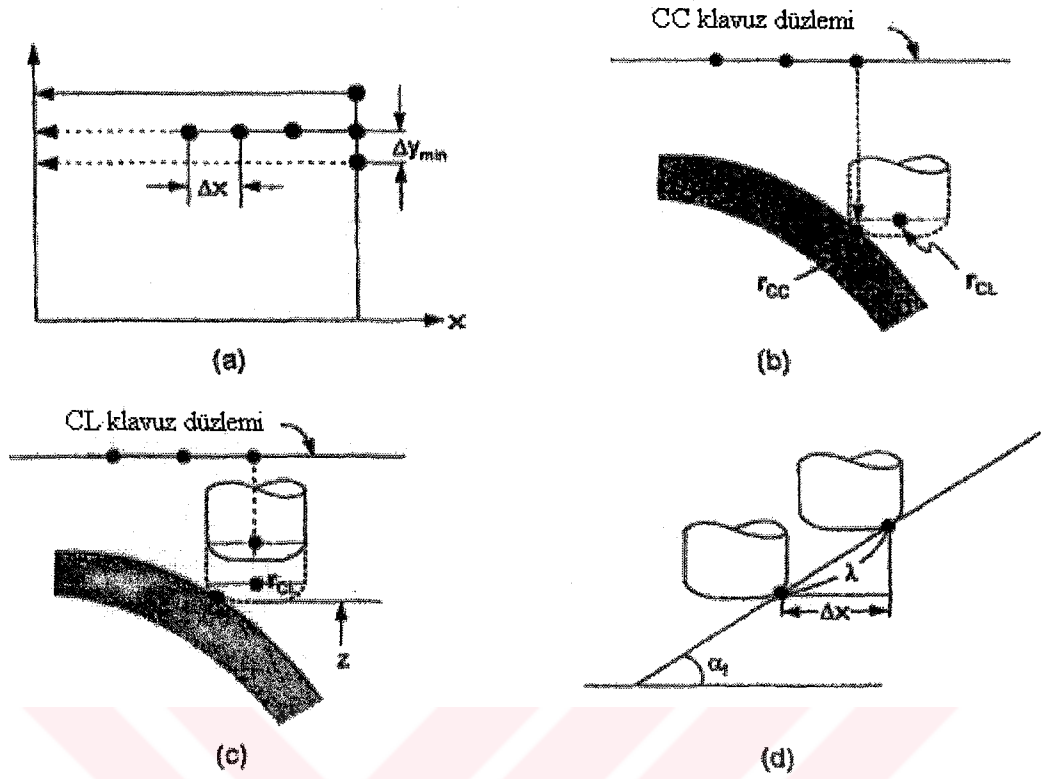
5.4. Kartezyen takım yolları için CL verisi hesaplaması

Kartezyen CL verisi hesaplama prosedürünü 5.2 a daki örnek üzerinde aşağıdaki takım yolu planı ile açıklayalım.

XY_paralel alan kesme [tek yön – yukarı doğru, REM(ρ, γ), $\lambda(\tau_i, \tau_0)$, $w(\eta)$]

Buradaki değişkenler izo-parametrik durumdaki ile aynıdır. CC koordinat noktasında tanımlanan ortogonal f,t vektörleri de aynı şekilde tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, takım yolları şekil 5.3.a da görüldüğü gibi XY düzleminde yatay doğrular olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, takım yolu tipine bağlı olarak CL yolları oluşturmak için 2 farklı metot vardır. Bunlar:

1. CC kartezyen metodu (Eğer CC yolları planlanmış ise, şekil 5.3.b)
2. CL kartezyen metodu (Eğer CL yolları kılavuz düzlem üzerinde planlanmış ise, şekil 5.3.c)



Şekil 5.3. Kartezyen takım yolu için CL verisi hesaplaması

5.4.1. Haritalama

Şekil 5.3.b de görüldüğü gibi, CC kartezyen metodunda, kılavuz düzlem üzerindeki (x,y) noktasından CL noktasına haritalama iki aşamada yapılmaktadır.

- (x,y) den (u,v) parametre domain değerine,
- $r_u(u,v)$ den $r_{CL} \rightarrow$ CL noktasına

Haritalamanın ilk aşamasında, 2B inversion Jakobian algoritması kullanılarak kolaylıkla yapılmaktadır. Burada bir düşey doğru ile $r(u,v)$ parametrik yüzeyinin kesişim noktası bulunmak istenmektedir.

2. aşamada ise, izo-parametrik haritalama yöntemi izlenmektedir. Şekil 5.3.c deki CL kartezyen metodunda, haritalama adımının amacı, CL noktasının z değerinin bulunmasıdır. Bu hesaplama genellikle nümerik olarak yapılmaktadır. Parça yüzeyi formu, kesikli formda tanımlanmaktadır. Bu formlar, çokgen (Duncan ve Mair, 1983), yüzey nokta seti (Jerard, 1989), G Buffer (Saito ve Takashashi, 1991) ve sonra en yüksek nokta metodu, CL noktasının z değerini bulmaktır.

5.4.2. İlerleme

İlerleme adımı da izo-parametrik durumdakine benzerdir. λ ve w nin bilindiğini var sayarsak, her bir adımda aşağıdaki güncellemeler yapılmalıdır.

$$x = x - \Delta x \quad \Delta x = \lambda \cdot \cos(\alpha_f) \quad (5.6.a)$$

$$\Delta y_{\min} = (\Delta y_{\min}, \Delta y) \quad \Delta y = w \cdot \cos(\alpha_t) \quad (5.6.b)$$

α_f ve α_t : Yüzeyin f ve t doğrultularındaki eğim açısı

Δx : XY düzlemindeki ileri artış miktarı

Δy_{\min} : XY düzlemindeki yan artış miktarı

λ ve w nin bilinmediği durumlarda ise, aşağıdakilerin belirlenmesi gereklidir.

1. R_f ve R_t , ρ_{ef} ve ρ_{et}
2. CC kartezyen metodu için, $\lambda = \lambda_{CC}$ ve $w = w_{CC}$ kullanılır.
3. CL kartezyen metodu için, $\lambda = \lambda_{CL}$ ve $w = w_{CL}$ kullanılır.

5.4.3. Yan artış

Her bir pasonun sonunda, bir yan artış değeri aşağıdaki gibi uygulanmalıdır.

$$x = x_0 \quad (5.7.a)$$

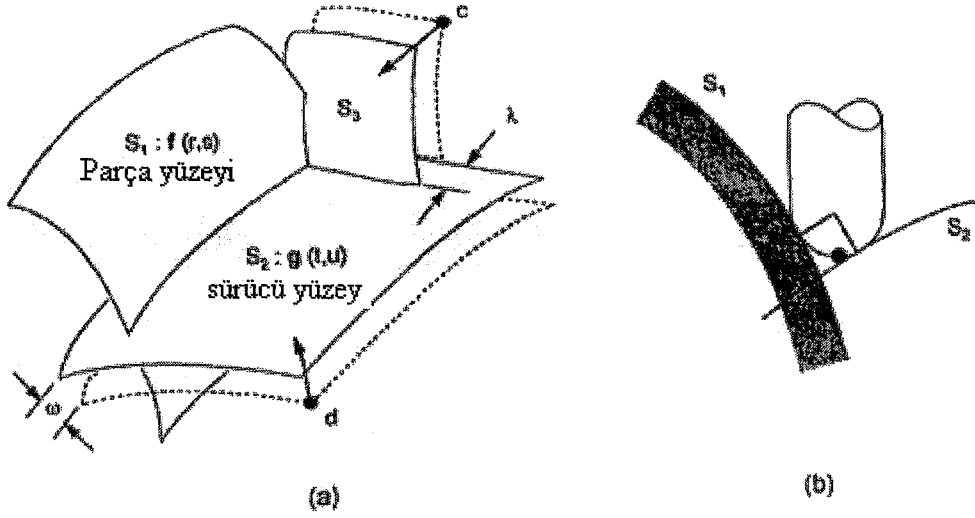
$$y^* = y^* - \Delta y_{\min} \quad (5.7.b)$$

Şekil 5.3. a da bir sonraki paso, bir öncekinden daha aşağıda olduğundan Δy_{\min} çıkarılmıştır.

İzo-parametrik ve CC kartezyen metotları ile karşılaştırıldığında, CL kartezyen metodunun avantajı, konveks dalmaları otomatik olarak önlemesidir. Bununla birlikte, bu metot heuristik hesaplamaları temel almaktadır ve $\alpha_i \rightarrow 90^\circ$ ye yaklaştıkça bazı güçlükler neden olmaktadır.

5.5. APT tipi takım yolları için CL verisi hesaplama

APT tipi takım yolu için CL verisi hesaplama prosedürü aynı şekilde 3 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar, haritalama, ilerleme ve yan artıştır. Şekil 5.4 deki gibi S_1 işlenecek olan parça yüzeyidir. S_2 ise, sürücü yüzey olarak isimlendirilmektedir ve kesicinin mevcut takım yolu boyunca sürülmesini sağlar. Bir CL yolu, kesicinin S_1 ve S_2 ile oluşturulan köşe boyunca kaydırılması ile elde edilmektedir. S_1 yüzeyini tamamen işleyebilmek için, bir sürücü yüzeyler seti tanımlanarak aradaki takım yolları da oluşturulmaktadır. (Faux ve Pratt, 1980) Bu ara sürücü yüzey seti, şekil 5.4. de görüldüğü gibi, S_2 yüzeyinin d doğrultusunda kaydırılması ile oluşturulmaktadır.



Şekil 5.4. APT tipi takım yolu için CL verisi hesaplaması

Eğer S_1 yüzeyi, üçüncü bir S_3 yüzeyi ile sınırlandırılmış ise her bir takım yolu S_3 yüzeyinde bitecektir. (S_3 yüzeyi kontrol yüzeyi olarak tanımlanmaktadır) Böylece takım yolunun son noktası, kesici S_1 , S_2 , S_3 yüzeylerinin toleransları içerisinde kaldığı zaman CL noktaları ile tanımlanır. Kontrol yüzeyi S_3 , kontrol yüzeyi vektörü C doğrultusunda kaydırılır, böylece ara kontrol yüzeyleri de tanımlanabilir. Bu kaydırma miktarı ileri artış olarak tanımlanmaktadır.

5.5.1. Haritalama

CL verisi hesaplama prosedürünün (APT takım yolları için) ilk adımı kesicinin CL noktasını bulmaktır. Küresel uçlu bir parmak freze takımı için, haritalama problemi 3 ofset yüzeyinin kesişim noktasının bulunması olmaktadır. Aşağıda 3 ofset yüzeyinin kesişim problemi için nümerik bir prosedür verilmiştir.

1. $f \equiv f(r,s)$: Parça yüzeyi S_1
2. $g \equiv g(t,u)$: Sürücü yüzey S_2

3. $h \equiv h(v, w)$: Kontrol yüzeyi S_3

4. m, n ve o : f, g ve h 'nin birim vektörleri tanımlanır.

Daha sonra ofset yüzeyler;

$$f^o = f + \rho.m \quad g^o = g + \rho.n \quad h^o = h + \rho.o \quad (5.8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ρ , küresel uçlu parmak frezenin yarıçapıdır ve ofset teğet düzlemler ise aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\pi_1 : m.r = m \quad \pi_2 : n.r = n \quad \pi_3 : o.r = o \quad (5.9)$$

Burada

$$m = \bar{m}.\bar{f}^o \quad n = \bar{n}.\bar{g}^o \quad o = \bar{o}.\bar{h}^o \quad r = (x, y, z)$$

dir.

π_1, π_2, π_3 düzlemlerinin kesişim noktası

$$q = \frac{m.(\bar{n}x\bar{o}) + n.(\bar{o}x\bar{m}) + o.(\bar{m}x\bar{n})}{\bar{m}.(\bar{n}x\bar{o})} \quad (5.10)$$

Bir başlangıç noktası p 'den, son CL noktası q şu şekilde hesaplanır.

Küre Haritalama Algoritması

1. Girdi: CL noktasının başlangıç P noktası
2. P ye en yakın $f(r,s)$ üzerindeki (r', s') domain noktasının bulunması.
3. P ye en yakın $g(t,u)$ üzerindeki (t', u') domain noktasının bulunması
4. P ye en yakın $h(v,w)$ üzerindeki (v', w') domain noktasının bulunması
5. m, n, o birim normal vektörlerin ve f^o, g^o, h^o ofset noktalarının değerlendirilmesi

6. Üç teğet ofset düzlemin 5.10 denklemi ile kesişim noktasının bulunması.

7. Eğer $|p - q| < \varepsilon$ ise q döner, değilse $p=q$ alınır ve adım 2 ye dönülür.

Yukarıdaki algoritmada, en yakın domain noktası, P noktasının $r(u,v)$ yüzeyindeki en yakın noktanın (u',v') domain değerini belirlemektir. (u',v') nin bulunması için kullanılan Jakobiyen dönüşümü ise aşağıdaki gibidir.

1. Giriş: P noktası ve en yakın domain noktasının başlangıç değeri (u',v')

2. Hesapla:

$$d = p - r(u',v') \quad r_u = \frac{\partial r}{\partial u} \quad r_v = \frac{\partial r}{\partial v} (u',v')$$

3.

$$\Delta u = \frac{[(r_u \cdot d)(r_v \cdot r_v) - (r_v \cdot d) - (r_u \cdot r_v)]}{[(r_u \cdot r_u)(r_v \cdot r_v) - (r_u \cdot r_v)^2]}$$

4.

$$\Delta v = \frac{[(r_v \cdot d)(r_u \cdot r_u) - (r_u \cdot d) - (r_u \cdot r_v)]}{[(r_u \cdot r_u)(r_v \cdot r_v) - (r_u \cdot r_v)^2]}$$

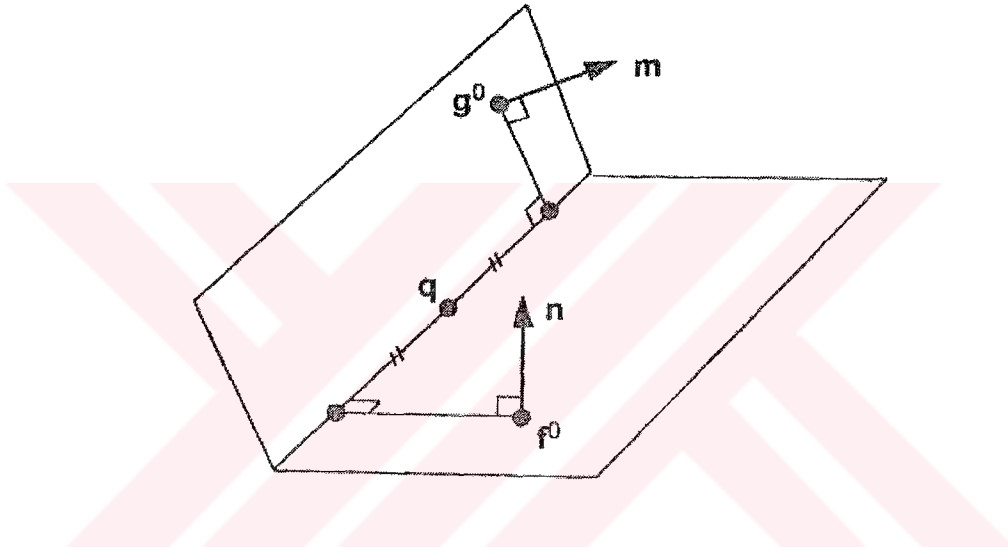
5. Güncelle $u' = u' + \Delta u$, $v' = v' + \Delta v$

6. Eğer $|\Delta u| < \varepsilon$ ve $|\Delta v| < \varepsilon$ ise (u',v') çıktıdır. Değilse adım 2 ye git.

5.5.2. İlerleme

Küresel uçlu parmak freze için bir yüzey, yüzey arakesiti problemi gibi tanımlanabilmektedir. İki yüzey arasındaki arakesit eğrisi nümerik olarak hesaplanabilmektedir. Bir CL noktası (q) ve domain değeri (r',s',t',u') den başlayarak, sonraki CL noktası q şu şekilde hesap edilmektedir.

1. Girdiler: Mevcut CL noktası, q : domain değeri (r',s',t',u') , λ ileri artış miktarı
2. Birim normal vektörler m ve n , $f(r',s')$ ve $g(t',u')$
3.
$$p = q \pm \frac{\lambda \cdot (m \times n)}{|m \times n|}$$
4. Ji algoritması kullanılarak p noktasından $g(t,u)$ ve $f(r,s)$ ye olan en yakın mesafelerin (r',s') ve (t',u') bulunması
5. m ve n normal vektörleri ile g^0 ve f^0 ofset noktalarının yeni domain noktasında bulunması



Şekil 5.5. Ofset yüzeyleri arakesiti

6. Şekil 5.5 de verilen yapıya uygun olarak sonraki CL noktası q' nun hesaplanması
7. Eğer $|p - q| < \epsilon$ ise arakesit noktası p dir. Aksi halde $p=q$ alınır ve adım 4 de gidilir

5.5.3. Yan artış miktarı

Mevcut bir yol boyunca ilerleme tamamlandıktan sonra, sürücü yüzey S_2 yan artış miktarı (w) kadar kaydırılır.

$$g(t, u) = g(t, u) + w.d \quad (5.11)$$

Burada d sürücü yüzey vektörüdür (Şekil 5.4.a). Daha sonra haritalama ve ilerleme adımları tekrarlanır.



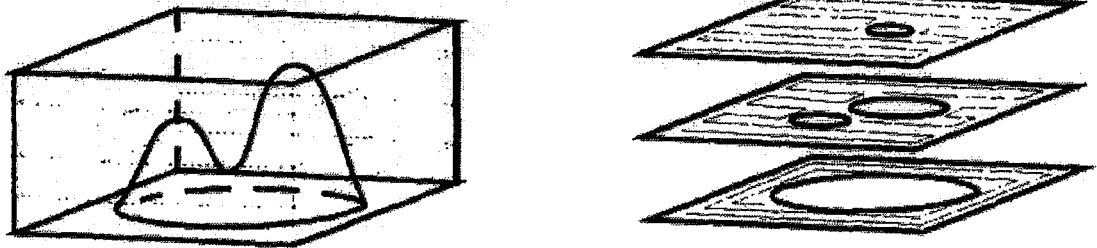
BÖLÜM 6

KABA BOŞALTMA İŞLEMLERİ İÇİN TAKIM YOLU OLUŞTURMA

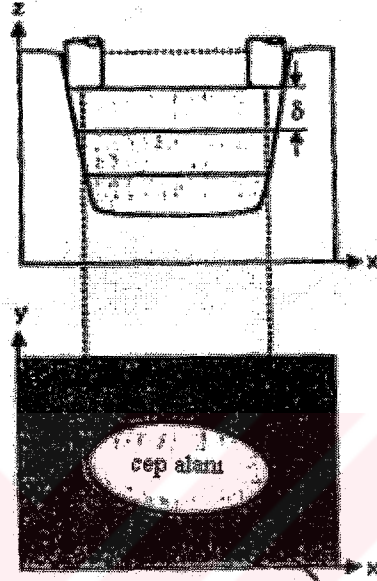
6.1. Kaba Boşaltma İşlemleri İçin Takım Yolu Geliştirilmesi

Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi kaba, yarı 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.

Tez çalışmasında, kaba kesme işlemi için kontur haritaları yaklaşımı kullanılmıştır. (Dong,1993) (Şekil 6.1). Bu yaklaşımda, model eşit aralıklı yatay düzlemler ile dilimlenmektedir. Kesme tabakalarının kalınlığı kesme derinliği (δ)'ya karşılık gelmektedir. (Şekil 6.2) Kaba boşaltmada her bir kesme tabakası, küresel yada düz uçlu parmak freze takımları kullanılarak işlenmektedir.

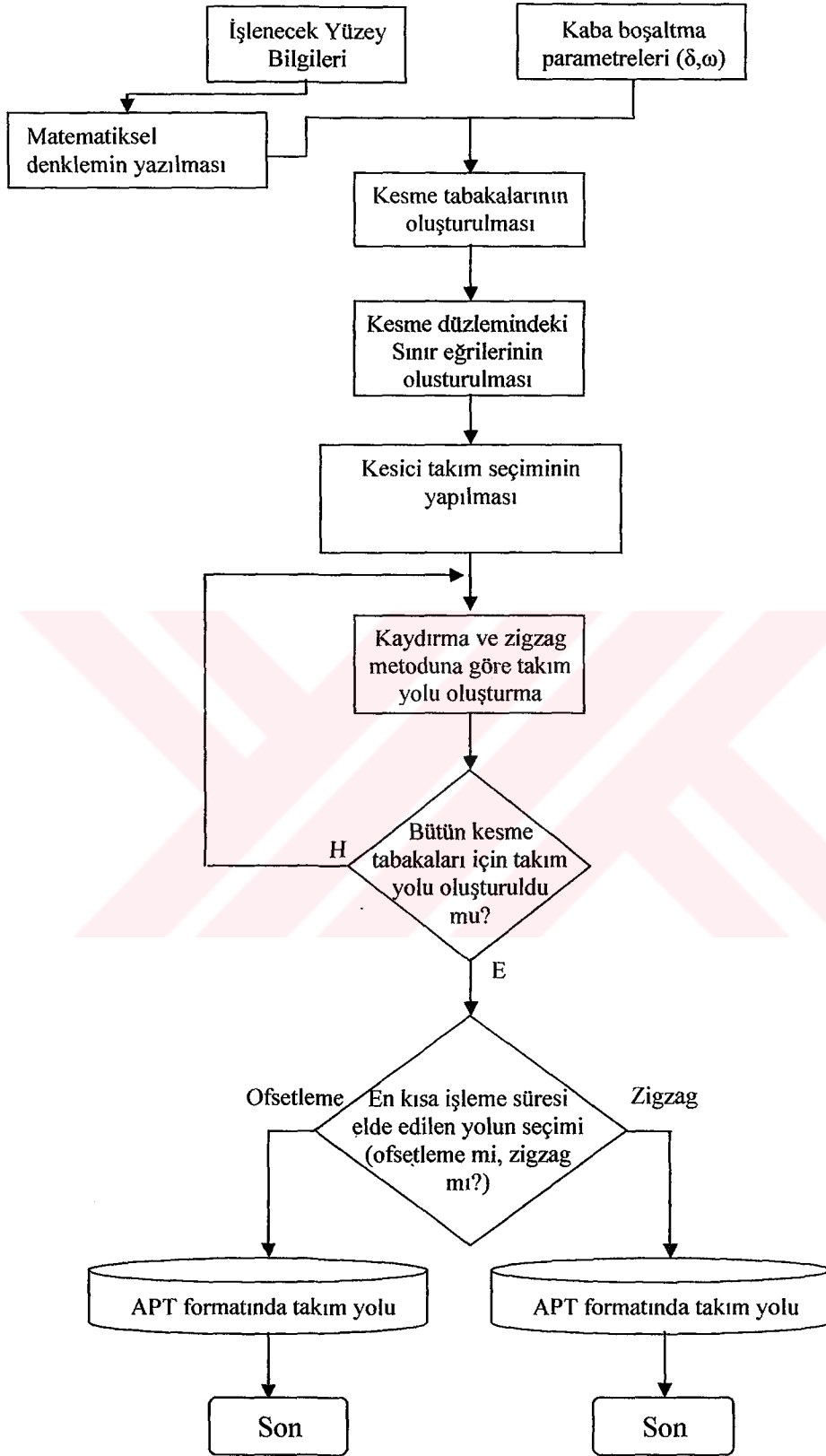


Şekil 6.1. Kontur haritaları yaklaşımı



Şekil 6.2. Kaba kesmede kesme tabakaları

Tez çalışmasında, serbest şekilli yüzey bilgilerini kullanarak, kaba kesme işlemi için gerekli takım yollarını bulan, en kısa işleme süresi ile sonuçlanacak olan takım yolu şablonunu öneren bir sistem geliştirilmiştir. Sisteme ait genel yapı şekil 6.3. de verilmiştir.



Şekil 6.3. Geliştirilen sisteme ait genel yapı

6.2. IGES veri dosyasından alınan yüzey bilgilerinin matematiksel denklemlere dönüştürülmesi

IGES (Initial Graphics Exchange Specification - İlk Grafik Değişirme Tarifnamesi) veri değişim formatı, 1979 yılında Amerika BDT/BDÜ satıcıları tarafından geliştirilmeye başlanmış ve 1981 yılında ANSI standardına adapte edilmiştir. Bugünkü versiyonu 6.0'dır. (Bradford S., Gaylen R. R, Wright T., 1998) Tez çalışmasında STEP standardı da kullanılabilirdi, fakat IGES dosyasından NURBS denklemindeki katsayıların alınması daha basit ve NURBS'un yapısına daha uygun veriler verdiği, çok fazla karmaşık olmadığı için tercih edildi. IGES ile ilgili detaylı bilgi için EK 1'e bakınız.

Tez çalışmamızda, bir yüzeyin matematiksel olarak ifadesini mümkün kılan NURBS modelleme tekniği genel denklemine ait, kontrol noktaları, düğüm noktaları vektörü, ağırlıklar vs. gibi bilgileri içermekte olan 128 Oransal B-spline yüzeyi varlığını kullanılacaktır.

6.2.1 Oransal B-spline yüzey varlığı (Varlık türü 128)

Oransal B-spline yüzey, değişik analitik yüzeyleri göstermekte ve yüzeyi oluşturan sistem ve bilgiyi alan sistemlerin her ikisi için de önemlidir. Adres bilgileri, form numaraları, parametrik veriler gibi bilgilerin farklı sistemler arasında iletilmesini sağlar.

Eğer oransal B-spline yüzey, çok bilinen bir yüzey türünü gösterirse, form numarası çok bilinen türlerden birisi olarak ayarlanır ve 0,1,...,9 olabilir. Örneğin,

yüzey düzgün dairesel silindir ise, form numarası 2 olarak, dönel yada bir torus ise form numarası 5 olarak yada yüzey bilinen yüzeylerden birisi değil ise form numarası 0 olarak ayarlanmaktadır.

PROP1-PROP5 parametrelerinin her biri yüzeyin niteliği hakkında son işlemciye bilgi sağlamaktadır. Eğer ilk parametrik değişkenin herhangi bir değeri için, ilk parametrik değişken sabit tutulup ikinci parametrik değişkene artışlar verildiğinde oluşan eğriler kapalı ise PROP1 değeri 1, aksi durumda 0 olmaktadır. Aynı şekilde ikinci parametrik değişkenin herhangi bir değeri için, ikinci parametrik değişken sabit tutulup ilk parametrik değişkene artışlar verildiğinde oluşan eğriler kapalı ise PROP2 değeri 1, aksi durumda 0 olmaktadır. Yüzey oransal (tüm ağırlıklar eşit değil ise) ise, PROP3 0 olarak ayarlanmaktadır. Tüm ağırlıklar birbirine eşit ise yüzey polinomsal bir denklem ile ifade edilebilir ve PROP3 değeri 1 yapılmaktadır. Yüzey polinomsal olduğu zaman tüm ağırlıklar 1 alınmaktadır. Ağırlıklar pozitif gerçek sayılardır.

Yüzey ilk parametrik değişken ile ilgili olarak periyodik bir yüzey ise, PROP4 değeri 1 olarak ayarlanır, aksi durumda PROP4 0 olarak ayarlanmaktadır. Yüzey ikinci parametrik değişken ile ilgili olarak periyodik ise, PROP5 değeri 1, aksi durumda 0 olarak ayarlanmaktadır.

Adres bilgilerinin 15. alanı bir form numarası içermektedir. Bu varlık için seçenekler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.1. IGES içerisindeki geometrik formlar

Form	Anlamı
0	Yüzey formu oransal B-spline parametreleri ile tanımlanmalıdır.
1	Düzlem
2	Düz dairesel silindir

3	Koni
4	Küre
5	Torus
6	Dönel Yüzey
7	Cetvellenebilir yüzey
8	Kurallı yüzey
9	Genel kuadratik yüzey

Çizelge 6.2. Parametrik veri bölümü

<u>İndeks</u>	<u>İsim</u>	<u>Tür</u>	<u>Tanım</u>
1	K1	Tam sayı	Nurbs denklemindeki ilk toplam sembolünün üst indisidir
2	K2	Tam sayı	Nurbs denklemindeki ikinci toplam sembolünün üst indisidir
3	M1	Tam sayı	İlk temel fonksiyonun en yüksek derecesidir
4	M2	Tam sayı	İkinci temel fonksiyonun en yüksek derecesidir
5	PROP1	Tam sayı	1: İlk parametrik değişken yönünde yüzey eğrileri kapalı 0: Yüzey eğrileri kapalı değil
6	PROP2	Tam sayı	1: İkinci parametrik değişken yönünde yüzey eğrileri kapalı 0: Yüzey eğrileri kapalı değil
7	PROP3	Tam sayı	0: Oransal yüzey, 1: Polinom yüzey
8	PROP4	Tam sayı	0: İlk parametrik değişken

			yönündeki yüzey periyodik değil 1: İlk parametrik değişken yönündeki yüzey periyodik
9	PROP5	Tam sayı	0: İkinci parametrik değişken yönündeki yüzey periyodik değil 1: İkinci parametrik değişken yönündeki yüzey periyodik
10	S(-M1)	Gerçek sayı	İlk düğüm serisinin ilk değeri
..	..		
..	..		
..	..		
..	..		
10+A	S(N1+M1)	Gerçek sayı	İlk düğüm serisinin son değeri
..	..		
..	..		
..	..		
..	..		
11+A	T(-M2)	Gerçek sayı	İkinci düğüm serisinin ilk değeri
..	..		
..	..		
..	..		
..	..		
11+A+B	T(N2+M2)	Gerçek sayı	İkinci düğüm serisinin son değeri
12+A+B	W(0,0)	Gerçek sayı	İlk ağırlık
13+A+B	W(1,0)	Gerçek sayı	

..	..		
..	..		
..	..		
..	..		
11+A+B+C	W(K1,K2)	Gerçek sayı	Son ağırlık
12+A+B+C	X(0,0)	Gerçek sayı	İlk kontrol noktasının X değeri
13+A+B+C	Y(0,0)	Gerçek sayı	İlk kontrol noktasının Y değeri
14+A+B+C	Z(0,0)	Gerçek sayı	İlk kontrol noktasının Z değeri
15+A+B+C	X(1,0)	Gerçek sayı	
16+A+B+C	Y(1,0)	Gerçek sayı	
17+A+B+C	Z(1,0)	Gerçek sayı	
..	..		
..	..		
..	..		
..	..		
9+A+B+4*C	X(K1,K2)	Gerçek sayı	Son kontrol noktasının X değeri
10+A+B+4*C	Y(K1,K2)	Gerçek sayı	Son kontrol noktasının Y değeri
11+A+B+4*C	Z(K1,K2)	Gerçek sayı	Son kontrol noktasının Z değeri
12+A+B+4*C	U(0)	Gerçek sayı	İlk parametrik yön için başlangıç değeri
13+A+B+4*C	U(1)	Gerçek sayı	İlk parametrik yön için bitiş değeri
14+A+B+4*C	V(0)	Gerçek sayı	İkinci parametrik yön için başlangıç değeri
15+A+B+4*C	V(1)	Gerçek sayı	İkinci parametrik yön için bitiş değeri

Yukarıda kullanılan yardımcı değişkenler;

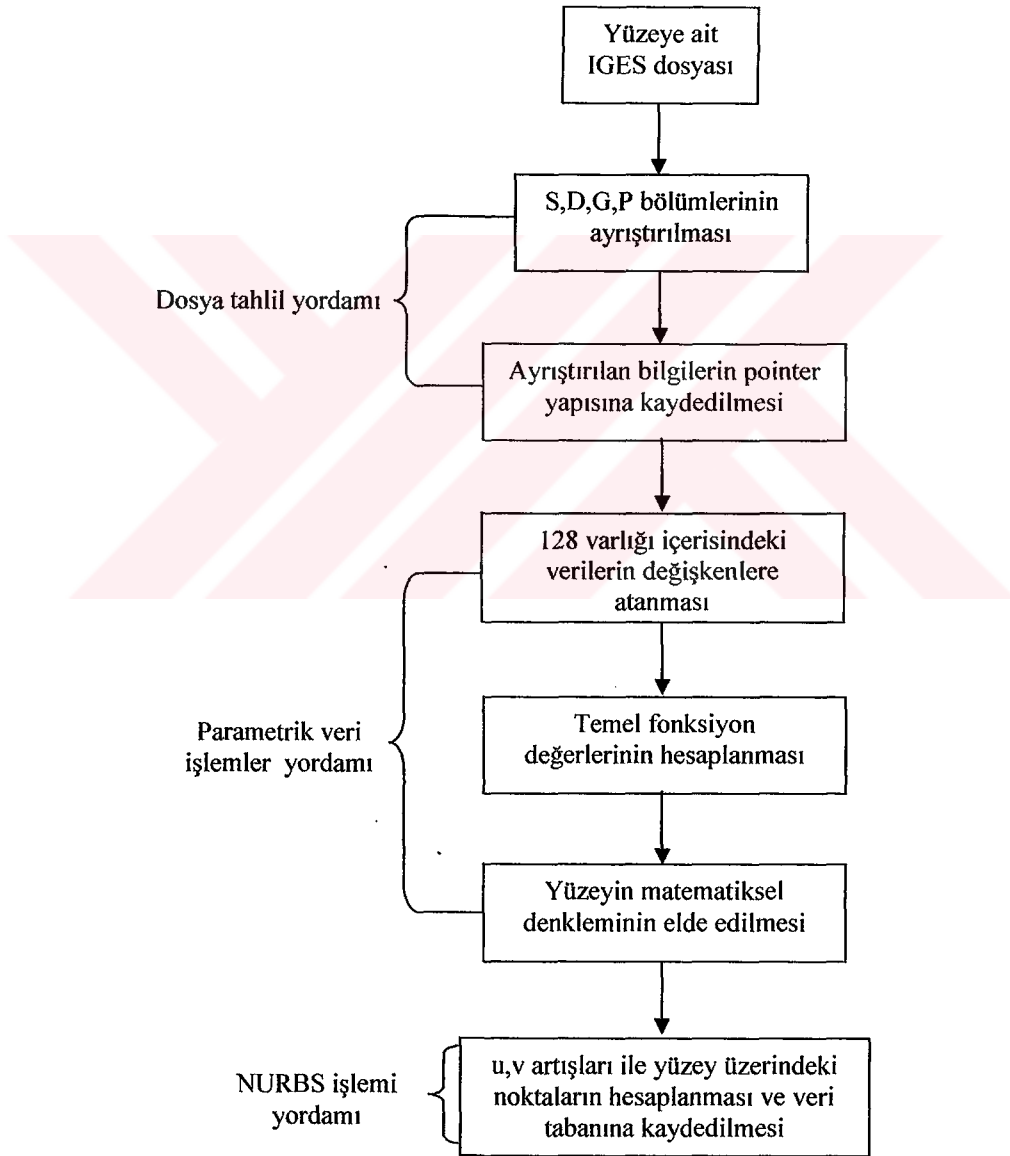
$$N1 = 1 + K1 - M1$$

$$N2 = 1 + K2 - M2$$

$$A = N1 + 2 * M1$$

$$B = N2 + 2 * M2$$

$$C = (1 + K1) * (1 + K2)$$



Şekil 6.4. Yüzey bilgilerinin okunması ve matematiksel ifadenin elde edilmesi

Yazılım içerisinde yer alan dosya tahlil yordamı ile, yüzey bilgilerinin bulunduğu IGES dosyası, S,D,G,P bölümlerine ayrıştırılmakta ve her bir bölümdaki bilgiler pointer yapısına kaydedilmektedir. Daha sonra bu pointer yapısında yer alan bilgiler, parametrik veri işlemleri yordamına gönderilmektedir.

Parametrik veri işlemleri yordamında, 128 varlığını takip eden veriler, yukarıda verilen yapıya göre, ardışık bir şekilde taranmakta, ilgili bilgiler alınarak belirtilen değişkenlere atanmaktadır.

Yüzeyle ait bu bilgilerin bir kısmı aşağıdaki denklemde yerine konularak yüzeyin parametrik ifadesi için gerekli temel fonksiyon değerleri hesaplanmakta ve veri tabanına kaydedilmektedir.

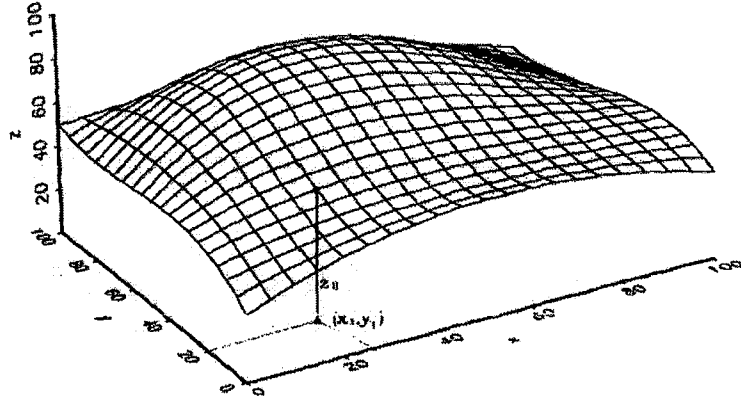
$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u)$$

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

Daha sonra aşağıdaki ifade oluşturularak yüzeye ait parametrik ifade bilgisayar ortamında elde edilmektedir.

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

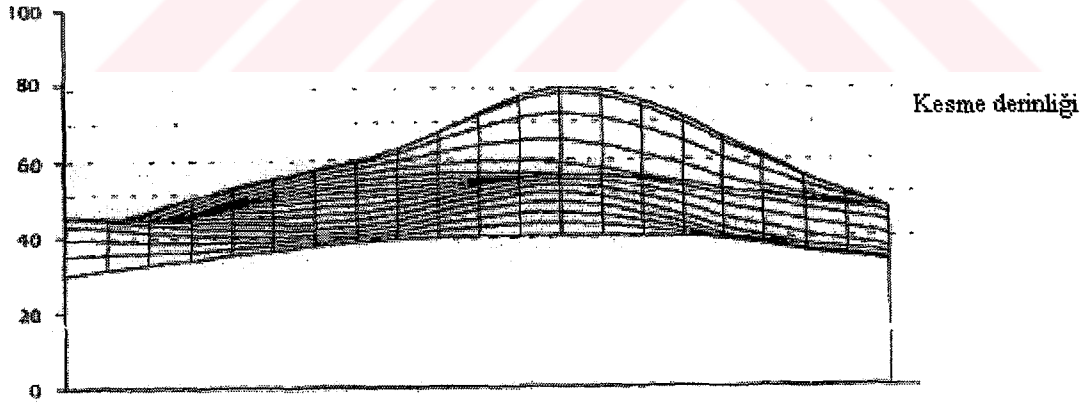
Daha sonra elde edilen bu yüzey denklemi, NURBS işlemi yordamına gönderilmektedir. Bu yordam içerisinde, u ve v parametrelerine artışlar verilerek yüzeye ait noktalar üretilmekte ve veri tabanına kaydedilmektedir.



Şekil 6.5. Yüzeyle ilgili noktaların şematik gösterimi

6.3. Kesme tabakalarının oluşturulması

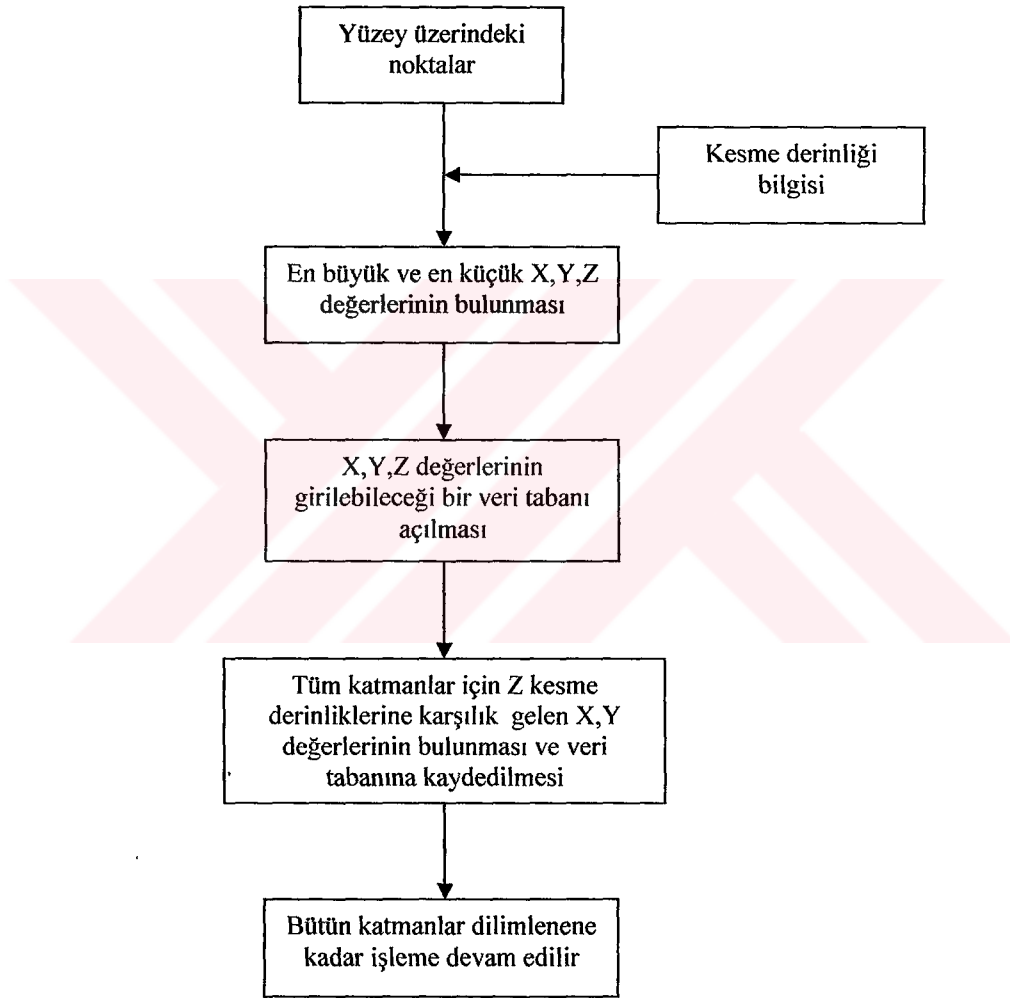
Daha önce de bahsedildiği üzere, kontur haritaları yaklaşımında model kesme derinliğine eşit kalınlıklarda dilimlere ayrılmaktadır ve böylece kesme tabakaları oluşturulmaktadır. (Şekil 6.2 ve 6.6)



Şekil 6.6. Kesme tabakaları

Kesme tabakalarının oluşturulması işleminde öncelikle NURBS işlemi yordamından elde edilen yüzey koordinatlarından, yüzeye ait en büyük ve en küçük Z değerleri bulunmaktadır. Daha sonra en büyük ve en küçük Z değerleri arası, kesme derinliği göz önünde bulundurularak kademelere bölünmektedir. Her bir

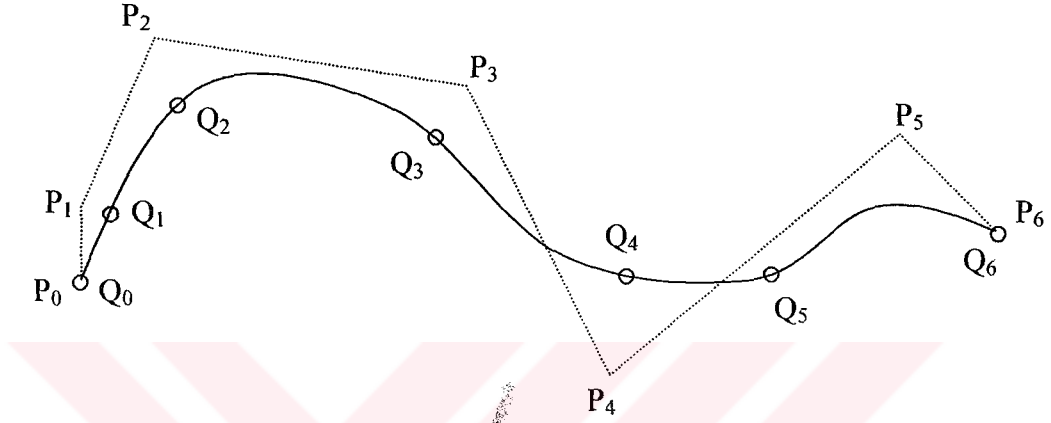
kademenin Z koordinat değerine karşılık gelen X,Y koordinat değerleri araştırılmakta, yakın değerler bulunması halinde belirli bir tolerans değeri göz önünde bulundurularak interpolasyon yapılmaktadır. Daha sonra bulunan bu X,Y,Z değerleri veri tabanına kaydedilmektedir. Kesme tabakalarının oluşturulmasına ait genel yapı şekil 6.7. de görülmektedir.



Şekil 6.7. Kesme tabakalarının oluşturulması

6.4 Kesme tabakasındaki sınır eğrilerinin oluşturulması

6.4.1 Eğri İnterpolasyonu



Şekil 6.8 Eğri interpolasyonu

$\{Q_k\}$, $k=0, \dots, n$ için eğrinin geçeceği noktalar setidir. Bu noktalardan geçen p . dereceden B-spline eğrisini oluşturmak isteyelim. Eğer her bir Q_k değerine karşılık bir \bar{u}_k parametre değeri atarsak ve uygun bir düğüm noktası vektörü seçersek ($U = \{u_0, \dots, u_m\}$), $(n+1) \times (n+1)$ bir denklem sistemi oluşturabiliriz. (Les P., Wayne T., 1997)

$$Q_k = C(\bar{u}_k) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(\bar{u}_k) \cdot P_i \quad (6.1)$$

P_i : $n+1$ tane bilinmeyen kontrol noktasıdır.

\bar{u}_k ve U'ların seçimi problemi ve bunların seçimi, eğrinin şeklini ve parametrisasyonunu etkilemektedir. \bar{u}_k 'nın seçimi için kullanılan metotlar, eşit aralıklı, kiriş uzunluğu ve merkezi metotlarıdır.

Eşit aralıklı metot:

$$\begin{aligned} \bar{u}_0 &= 0 & \bar{u}_n &= 1 \\ \bar{u}_k &= \frac{k}{n} & k &= 1, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (6.2)$$

Bu metot düzensiz şekiller ürettiği için tavsiye edilmemektedir.

Kiriş uzunluğu metodu:

Toplam kiriş uzunluğu d ile temsil edilmektedir.

$$d = \sum_{k=1}^n |Q_k - Q_{k-1}| \text{ ile hesaplanmaktadır.} \quad (6.3)$$

Burada;

$$\begin{aligned} \bar{u}_0 &= 0 & \bar{u}_n &= 1 \\ \bar{u}_k &= \bar{u}_{k-1} + \frac{|Q_k - Q_{k-1}|}{d} & k &= 1, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (6.4)$$

Bu metot yaygın olarak kullanılmaktadır ve genel olarak yeterli görülmektedir. Ayrıca iyi bir parametrisasyon vermektedir.

Merkezi metotta:

$$d = \sum_{k=1}^n \sqrt{|Q_k - Q_{k-1}|} \quad (6.5)$$

Burada;

$$\begin{aligned} \bar{u}_0 &= 0 & \bar{u}_n &= 1 \\ \bar{u}_k &= \bar{u}_{k-1} + \frac{\sqrt{|Q_k - Q_{k-1}|}}{d} & k &= 1, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (6.6)$$

Bu metot en yeni metottur ve veriler çok keskin dönüşler içerdiği durumda kiriş uzunluğu metoduna göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

$$\begin{aligned} u_0 &= \dots = u_p = 0 & u_{m-p} &= \dots = u_m = 1 \\ u_{j+p} &= \frac{1}{p} \sum_{i=j}^{j+p-1} \bar{u}_i & j &= 1, \dots, n-p \end{aligned} \quad (6.7)$$

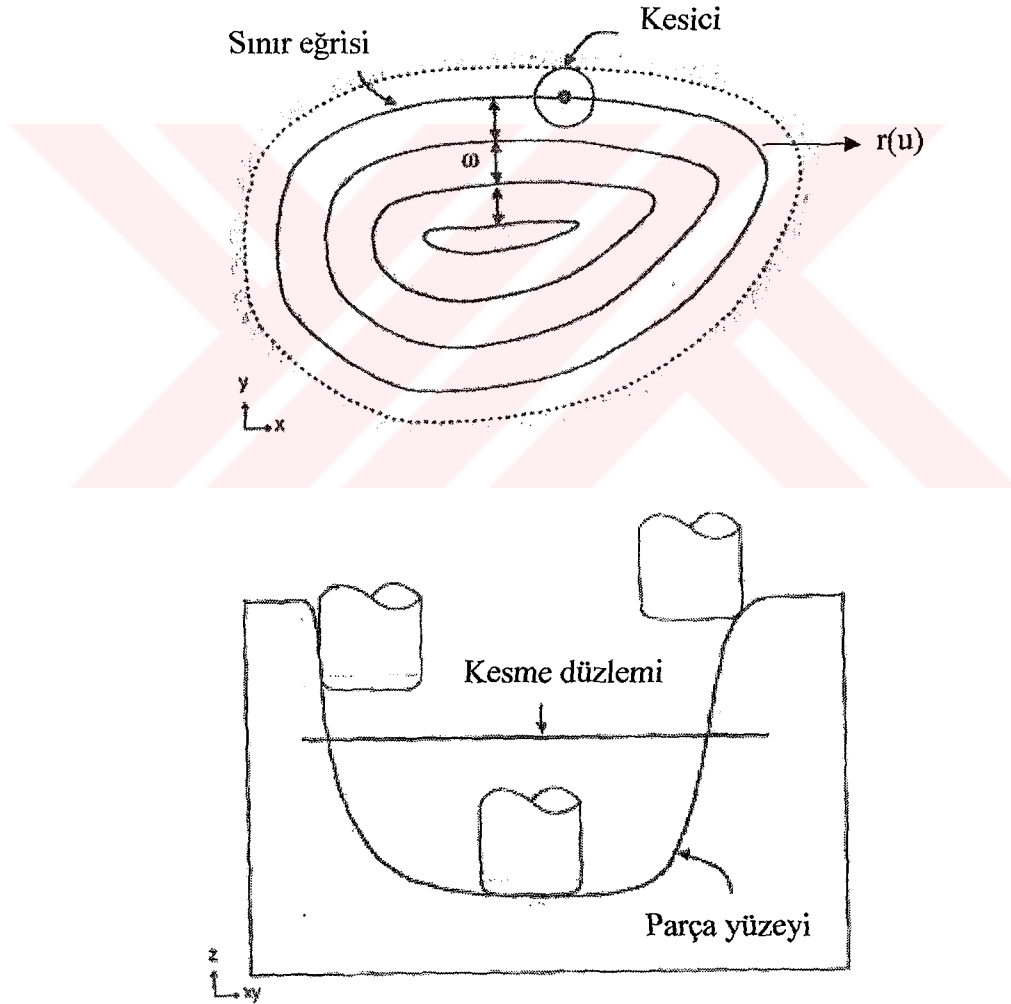
\bar{u}_k 'lar belirlendikten sonra, $(n+1) \times (n+1)$ katsayılar matrisi sistemi düzenlenir ve denklem sistemi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{array}{cccccccc|c|c} N_{0,3}(\bar{u}_0) & N_{1,3}(\bar{u}_0) & N_{2,3}(\bar{u}_0) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n,3}(\bar{u}_0) & P_0 & Q_0 \\ N_{0,3}(\bar{u}_1) & N_{1,3}(\bar{u}_1) & N_{2,3}(\bar{u}_1) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n,3}(\bar{u}_1) & P_1 & Q_1 \\ N_{0,3}(\bar{u}_2) & N_{1,3}(\bar{u}_2) & N_{2,3}(\bar{u}_2) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n,3}(\bar{u}_2) & P_2 & Q_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{0,3}(\bar{u}_{n-1}) & N_{1,3}(\bar{u}_{n-1}) & N_{2,3}(\bar{u}_{n-1}) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n-1,3}(\bar{u}_{n-1}) & P_{n-1} & Q_{n-1} \\ N_{0,3}(\bar{u}_n) & N_{1,3}(\bar{u}_n) & N_{2,3}(\bar{u}_n) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n,3}(\bar{u}_n) & P_n & Q_n \end{array} \quad (6.8)$$

P_i kontrol noktaları hesaplanıp, $Q_k = C(\bar{u}_k) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(\bar{u}_k) \cdot P_i$ denkleminde yerine konularak eğri denklemi yazılabilir.

6.4.2. Eğri interpolasyonunun sisteme uyarlanması

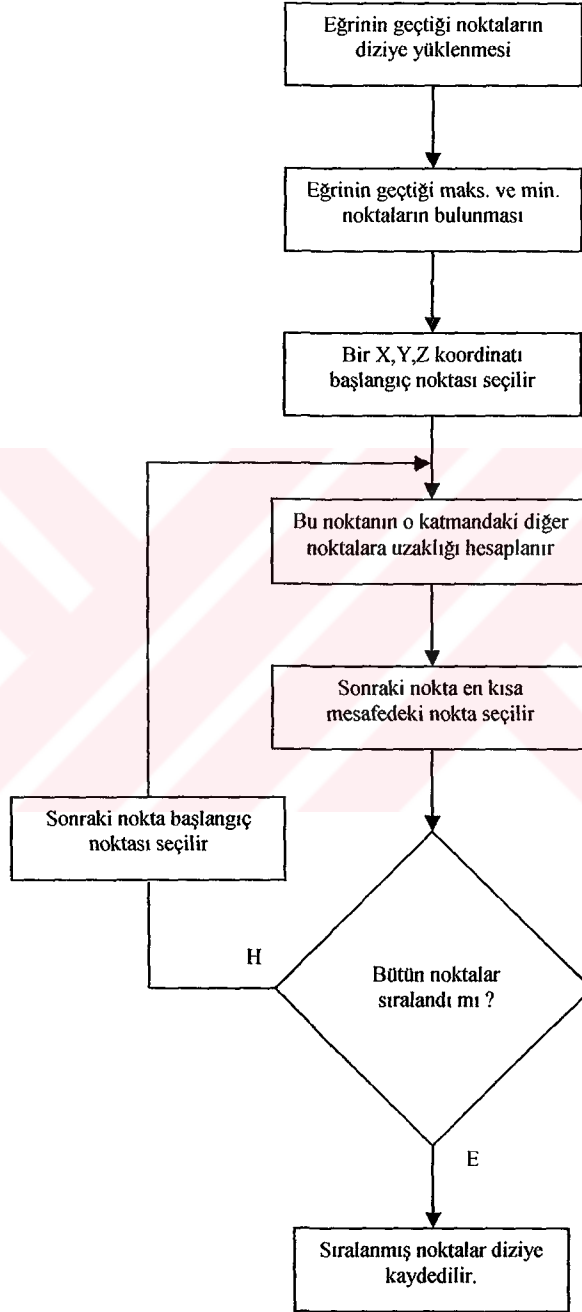
Bir önceki aşamada belirlenen kesme tabakalarında takım yolu oluşturabilmek için, veri tabanına kaydedilen X,Y,Z koordinat değerleri kullanılarak her bir tabakadaki sınır eğrilerinin matematiksel olarak tanımlanması gerekmektedir.(Şekil 6.9) Bu tanımlamanın yapılabilmesi için öncelikle, tabakadaki noktaların ardışık olarak sıralanması gereği açıktır.



Şekil 6.9 Sınır eğrilerinin oluşturulması

6.4.2.1. Kesme tabakasındaki noktaların ardışık olarak sıralanması

Her bir kesme tabakasındaki koordinat değerlerinin sıralandırılabilmesi için aşağıdaki algoritma kullanılmıştır.



Şekil 6.10. Kesme tabakasındaki noktaların sıralandırılması

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.

6.4.2.2. Noktalardan geçen eğrinin matematiksel ifadesinin bulunması

Her bir katmandaki noktalar ardışık olarak sıralandıktan sonra eğri interpolasyonu işlemi aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$\text{Adım 1: } Q_k = C(\bar{u}_k) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(\bar{u}_k) \cdot P_i \quad (6.1) \text{ denklemini genel denklem olarak}$$

alınmaktadır.

Adım 2: Veriler çok keskin dönüşler içerdiği durumda kiriş uzunluğu metoduna göre daha iyi sonuçlar verdiği için merkezi metot kullanılmıştır. Toplam

kiriş uzunluğu $d = \sum_{k=1}^n \sqrt{|Q_k - Q_{k-1}|}$ (6.5) denklemine göre hesap edilir.

Adım 3: Düğüm noktası vektörü U,

$$\begin{aligned} \bar{u}_0 &= 0 & \bar{u}_n &= 1 \\ \bar{u}_k &= \bar{u}_{k-1} + \frac{\sqrt{|Q_k - Q_{k-1}|}}{d} & k &= 1, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (6.6)$$

$$u_0 = \dots = u_p = 0 \qquad u_{m-p} = \dots = u_m = 1$$

$$u_{j+p} = \frac{1}{p} \sum_{i=j}^{j+p-1} \bar{u}_i \qquad j = 1, \dots, n-p \quad (6.7)$$

ifadelerine göre hesaplanmaktadır.

Adım 4: 3.2 denklemleri kullanılarak \bar{u}_k 'lara karşılık gelen temel fonksiyon değerleri hesaplanmaktadır.

Adım 5: \bar{u}_k 'lar belirlendikten sonra, $(n+1) \times (n+1)$ katsayılar matrisi sistemi düzenlenir ve denklem sistemi 6.8. deki gibi oluşturulmaktadır.

$$\begin{vmatrix} N_{0,3}(\bar{u}_0) & N_{1,3}(\bar{u}_0) & N_{2,3}(\bar{u}_0) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n,3}(\bar{u}_0) \\ N_{0,3}(\bar{u}_1) & N_{1,3}(\bar{u}_1) & N_{2,3}(\bar{u}_1) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n,3}(\bar{u}_1) \\ N_{0,3}(\bar{u}_2) & N_{1,3}(\bar{u}_2) & N_{2,3}(\bar{u}_2) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n,3}(\bar{u}_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{0,3}(\bar{u}_{n-1}) & N_{1,3}(\bar{u}_{n-1}) & N_{2,3}(\bar{u}_{n-1}) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n-1,3}(\bar{u}_{n-1}) \\ N_{0,3}(\bar{u}_n) & N_{1,3}(\bar{u}_n) & N_{2,3}(\bar{u}_n) & \dots & \dots & \dots & \dots & N_{n,3}(\bar{u}_n) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ P_{n-1} \\ P_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Q_0 \\ Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ Q_{n-1} \\ Q_n \end{vmatrix} \quad (6.8)$$

Adım 6: Denklem sistemi Gauss eliminasyon yöntemi ile çözülerek P_i kontrol noktaları hesaplanmaktadır.

$$\text{Adım 7: Bulunan değerler } Q_k = C(\bar{u}_k) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(\bar{u}_k) \cdot P_i \quad (6.1) \text{ ifadesinde}$$

yerine konularak eğri denklemi oluşturulmaktadır.

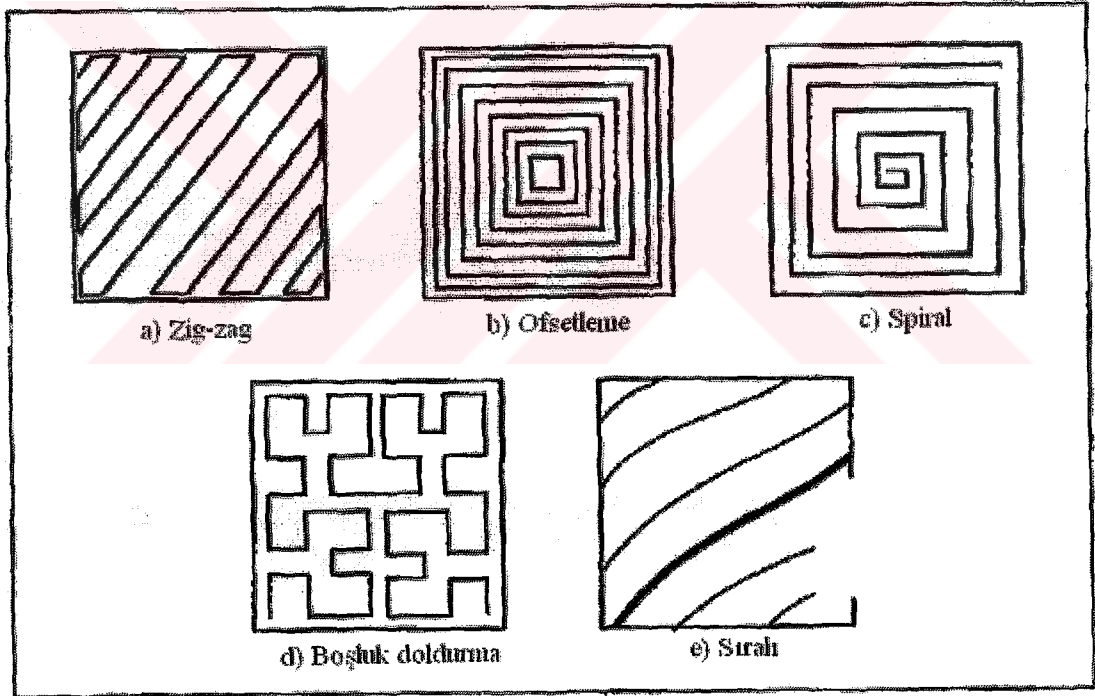
6.5. Takım Yolu Oluşturma

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. Düzlemsel işleme operasyonları için (Held, 1995) takım yolu şablonu ile hesaplama stratejilerini ayırt etmeye gerek yoktur. Bununla birlikte, serbest şekilli yüzeyler içeren parçalarda takım yolu oluşturmada her iki stratejiyi ayırt etmek gereklidir.

6.5.1. Takım Yolu Şablonları



Şekil 6.11 Takım yolu şablonları

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 6.11)

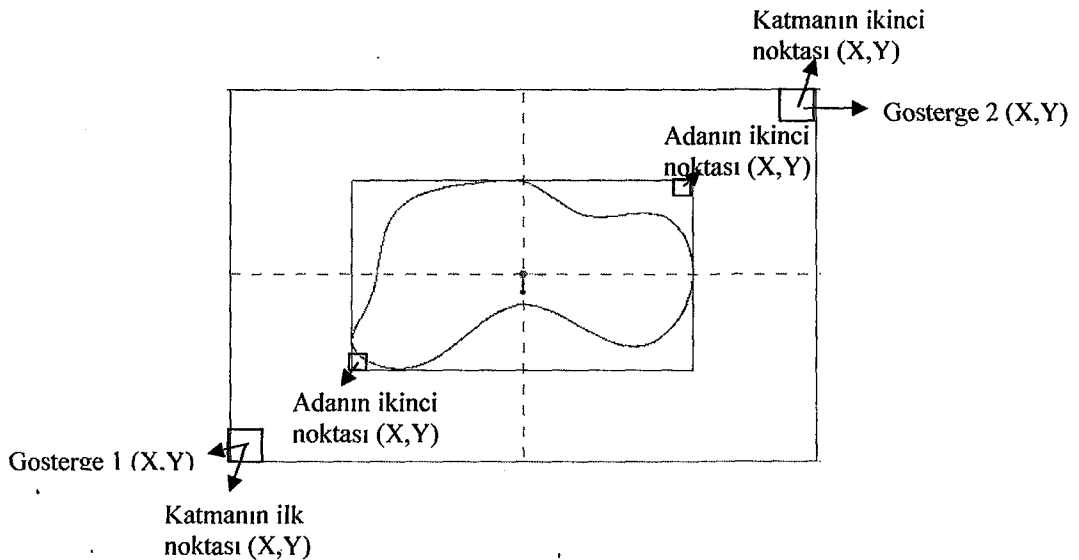
Bu tezin temel bir çalışma olması, hedeflenen sistem için en az iki şablonun gerekliliği ve yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle zig-zag ve kaydırma yöntemleri kullanılmıştır.

6.5.2 Takım seçimi

6.5.2.1. Adaları çevreleyen dikdörtgen ve modeli çevreleyen dikdörtgenlerin arasındaki kısmın işlenmesi için takım seçimi

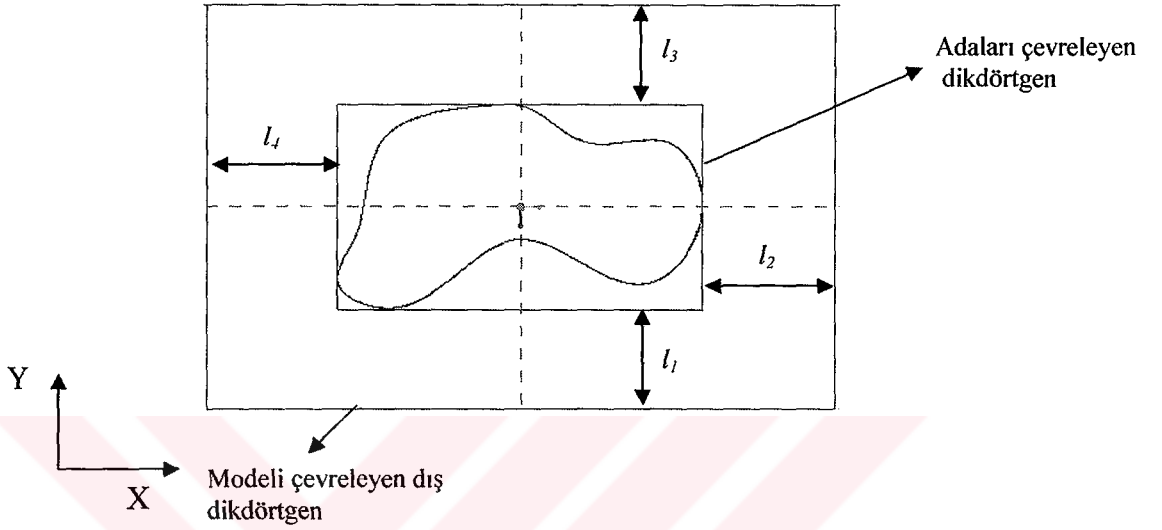
Kaba kesme işleminde işleme zamanının büyük çoğunluğunu işlenecek malzemenin kaldırılması almaktadır. Özellikle, işleme zamanının büyük bir miktarı, ham malzemenin boş kısımlarının işlenmesi esnasında harcanmaktadır. Bu nedenle tez çalışmasında, büyük kısımların büyük takımla, küçük kısımların ise daha 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 6.12’de görüldüğü gibi, her bir katmandaki modelin dış sınırı ve adaları çevreleyen dış dikdörtgen sınırlar belirlenmektedir.



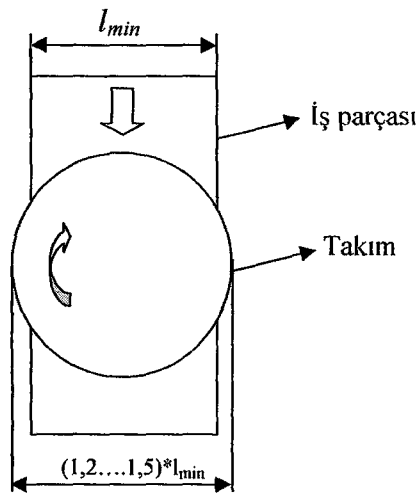
Şekil 6.12. Katmandaki modelin dış sınırı ve adaları çevreleyen dış dikdörtgen sınırlar

Daha sonra adaları çevreleyen dikdörtgen ve modeli çevreleyen dikdörtgenlerin kenarları arasındaki en kısa mesafeler hesaplanmaktadır.



Şekil 6.13. Kenarlara olan mesafeler

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



Şekil 6.14. Frezeleme genişliği ve takım boyutu arasındaki ilişki

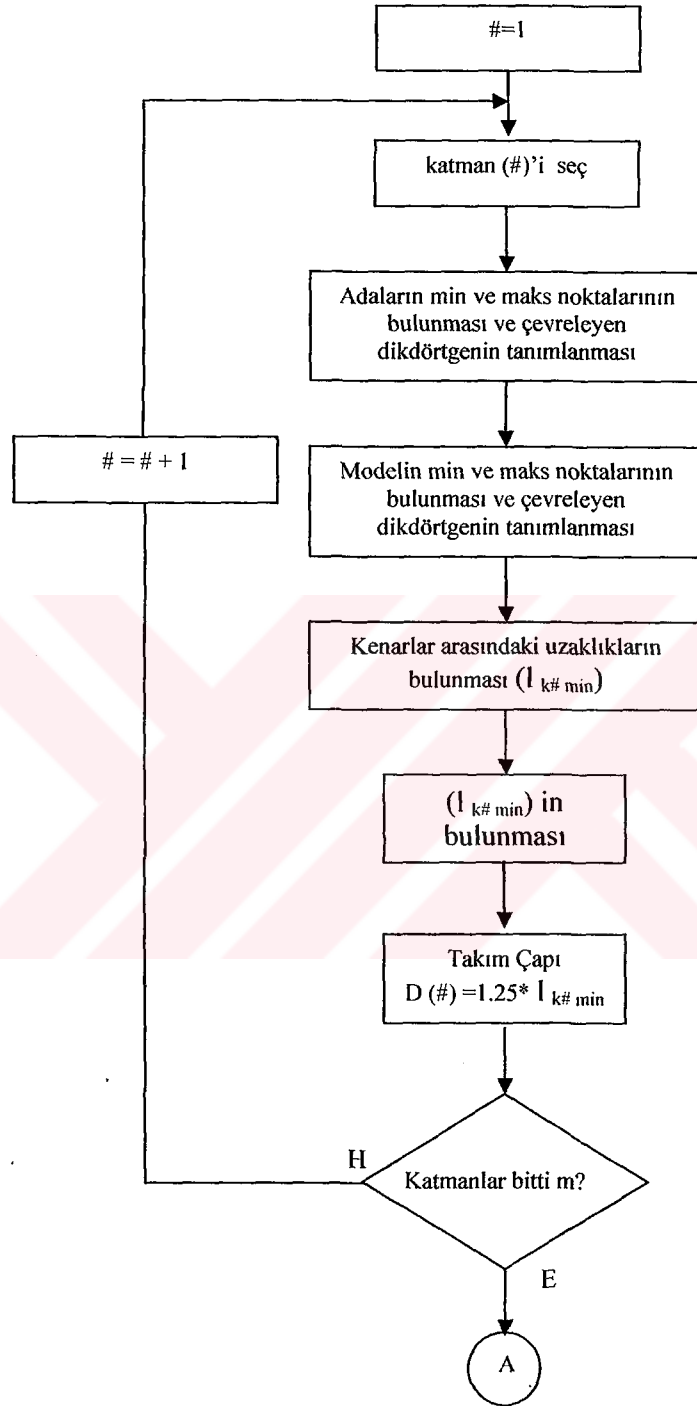
Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere, frezelemede takım çapının frezeleme genişliğinden %20 ile %50 daha fazla olması önerilmektedir. (Sandvik, 2001)

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

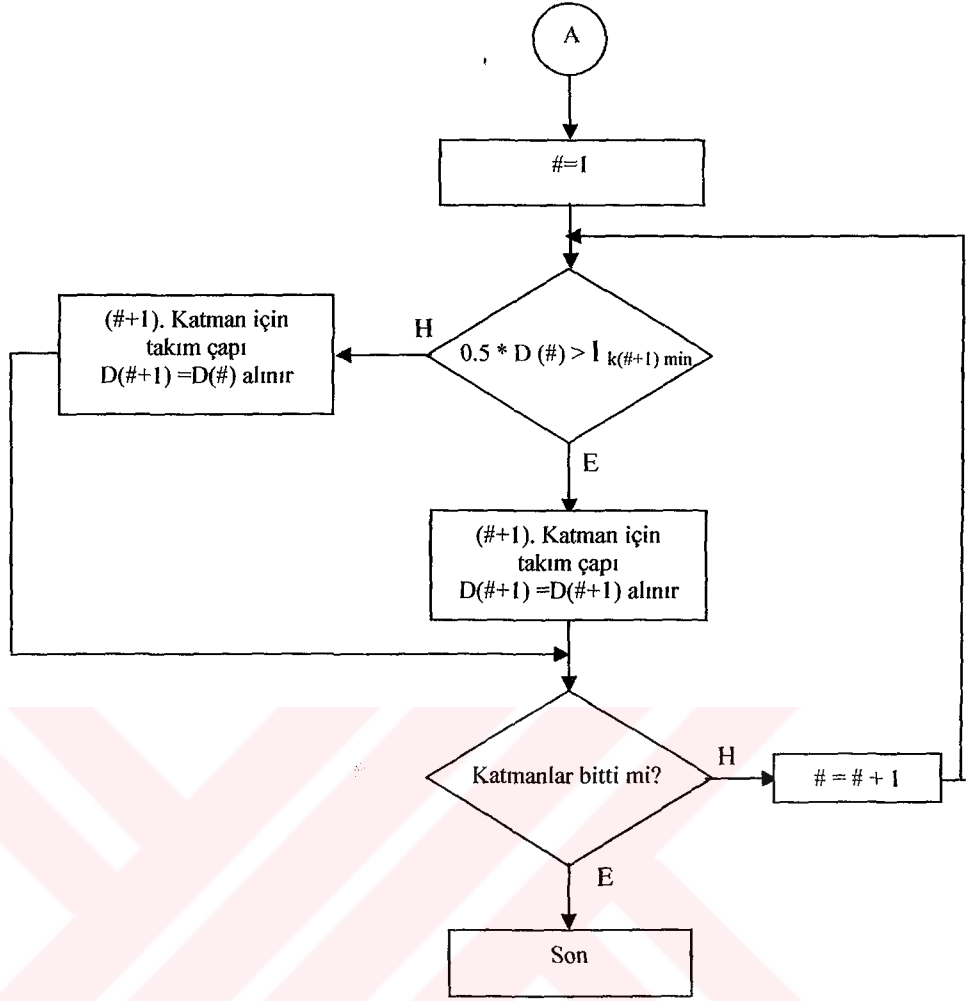
$$D = 1,25 * I_{kl_min} \quad (6.8)$$

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 I_{k_min} dikkate alınarak ve 6.8 denklemleri kullanılarak yeniden hesaplanmaktadır.

Algoritmanın şematik gösterimi aşağıda verilmiştir.

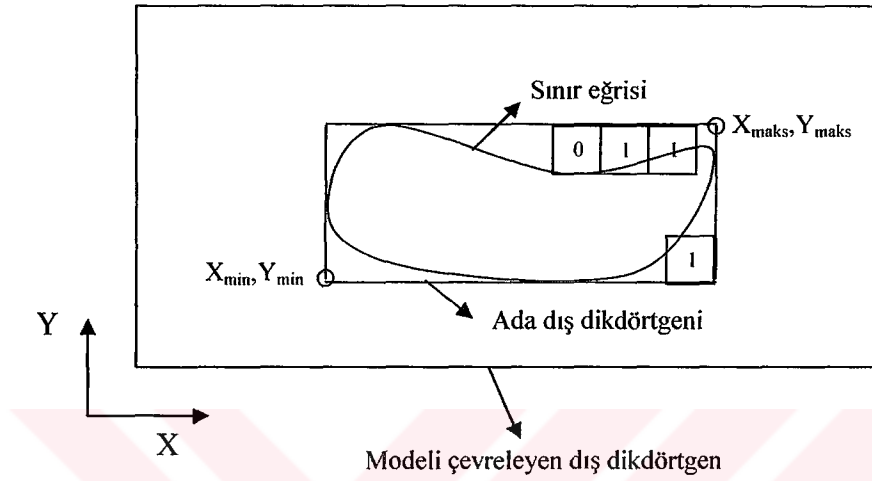


Şekil 6.15. Adaları çevreleyen dikdörtgen ve modeli çevreleyen dikdörtgenlerin arasındaki kısmın işlenmesi için takım seçimine ait algoritmanın akış şeması (Devam)



Şekil 6.15. Adaları çevreleyen dikdörtgen ve modeli çevreleyen dikdörtgenlerin arasındaki kısmın işlenmesi için takım seçimine ait algoritmanın akış şeması

6.5.2.2. Adaları sınırlayan dikdörtgenin içerisinde kalan kısım için takım seçimi



Şekil 6.16. Kesme tabakasında sınır eğrisi poligonu

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, 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. Üç bölünmesinin nedeni, bölünmüş bir kenarı tekrar ikiye bölündüğünde daha küçük bir kenar elde edilebilir. Halbuki ilk kenarı üçe böler isek, belki daha büyük 0 etiketli bir ızgara elemanı bulunabilir. Bu nedenle öncelikle yapılan ikiye bölme işlemi sonuç alınmaz ise üçe bölme işlemi yapılmaktadır. Yine 0 etiketli ızgara bulunamaması durumunda üçe bölme işlemi iptal edilip, ikinci bölme işlemi olarak tekrar ikiye

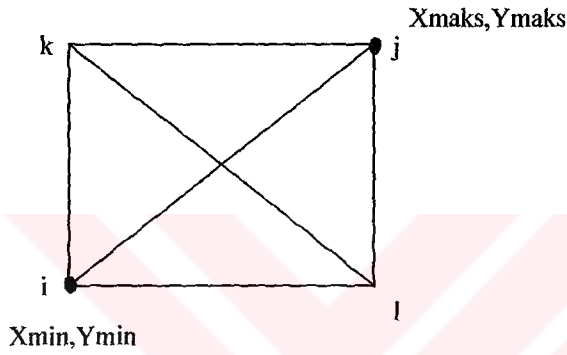
bölme şeklinde yapılmaktadır. Bu işlemler 0 etiketli ızgara elemanı bulunana kadar devam etmektedir.

Bu aşamada kullanılan nokta – poligon algoritması aşağıda verilmiştir.

Algoritma:

ADIM 1: Sınır eğrisi poligonunu tanımla;

XMAX, XMIN, YMAX, YMIN Değerlerini bul (ilk_nokta ve ikinci_nokta değişkenleri)



i-j doğrusu ile k-l doğrusunun kesişme problemini göz önüne alarak

J noktası olarak N Yardımcı Noktasını Al

Buna göre Xn ve Yn değerlerini bul

$$X_n = X_{MIN} - (X_{MAX} - X_{MIN})$$

$$Y_n = Y_{MIN} - (Y_{MAX} - Y_{MIN})$$

ADIM 2: Katmanda yer alan Tüm aranacak m noktası için Adım 7'ye kadar yap

KESISIM_NOKTA_SAYISI=0 YAP

Uc_B_ızgara tablosunu ilk kayıttan son kayıta kadar oku,

ADIM 3: Tüm Poligonu oluşturan noktalar için yap

Yukarıda yüklemiş olduğun Q dizisini (Ada eğrisini sınırlayan noktalar dizisi) baştan sona doğru ikili olarak ele al.

for a=0 to Katmandaki_Nokta_Adedi-1 için Q[a] ve Q[a+1] dizi elemanları

i=M olsun, K ve L noktaları Q[a] ve Q[a+1] dizi elemanları olsun

$$d = (X_j - X_i)(Y_k - Y_l) - (X_k - X_l)(Y_j - Y_i) \text{ Hesapla}$$

ADIM 4: d=0 kontrolü yap. EĞER d=0 ise İ-J ile K-L doğrusu paraleldir, adım 3 e git

ADIM 5: $d \neq 0$ ise $P1$ VE $P2$ hesapla

$$P1 = \frac{(XK - XL)(YI - YK) - (XI - XK)(YK - YL)}{d}$$

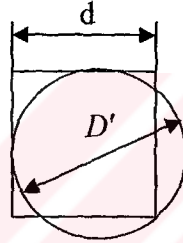
$$P2 = \frac{(XI - XK)(YJ - YI) - (XJ - XI)(YI - YK)}{d}$$

EĞER $0 \leq P1 \leq 1$ VE $0 \leq P2 \leq 1$ değilse adım 3 e git

ADIM 6: EĞER $0 \leq P1 \leq 1$ VE $0 \leq P2 \leq 1$ ise kesişim_nokta_sayısı'nı 1 arttır, adım 3' e dön.

ADIM 7: kesişim_nokta_sayısı değişkenini kontrol et, kesişim_nokta_sayısı tek ise m noktası poligon içindedir, kesişim_nokta_sayısı çift ise m noktası poligon içinde değildir.

0 etiketli ızgara bulunduktan sonra, takım çapı hesabı aşağıdaki şekle göre yapılmaktadır. (Lee, K. ve ark., 1994)



Şekil 6.17. Dikdörtgenin kısa kenarından oluşturulan kareye göre takım boyutu

Burada

d : 0 etiketli dikdörtgenin kısa kenarı boyutudur.

D' : Takım çapını belirtmektedir.

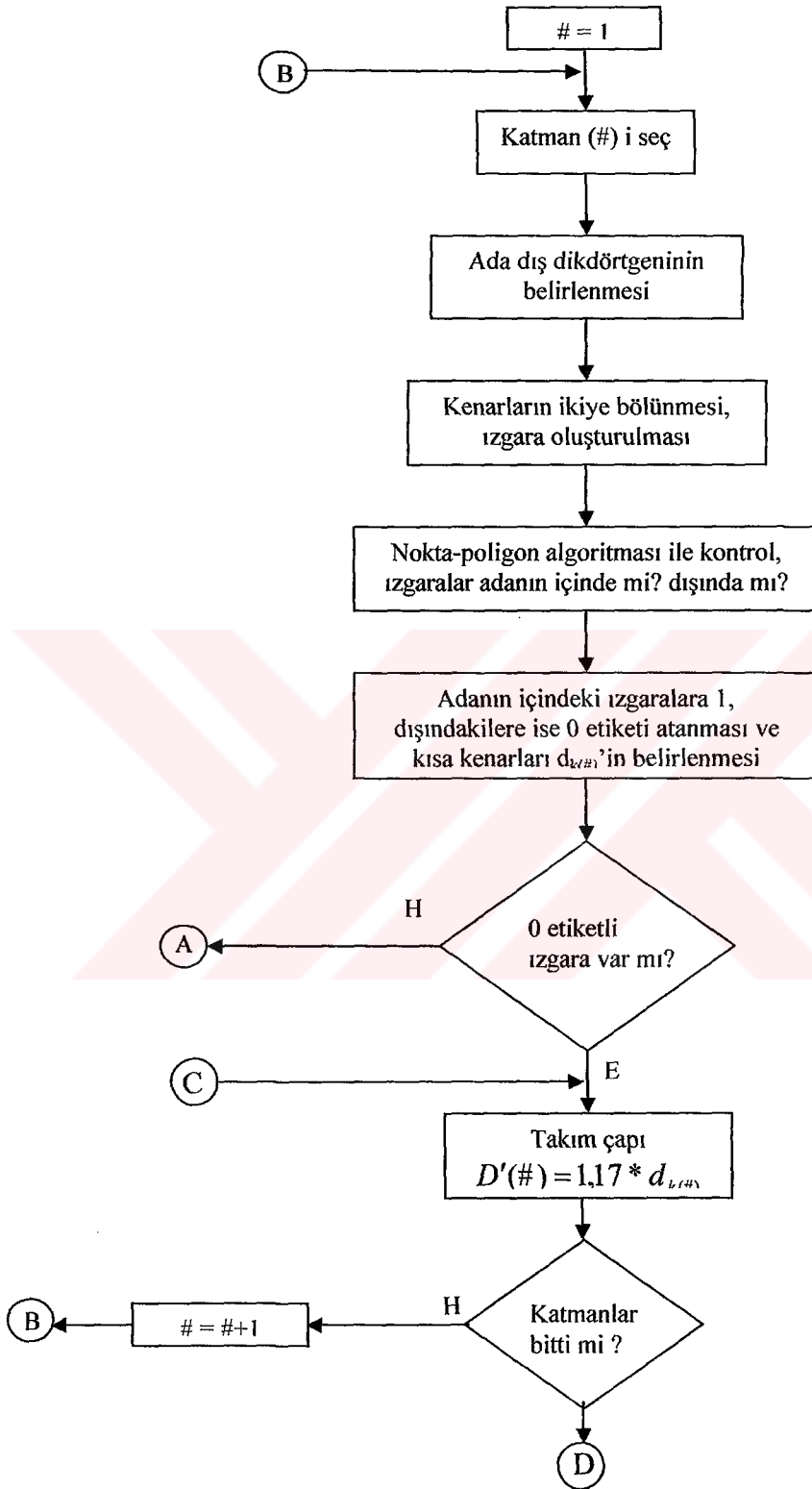
Burada

$$d = \frac{D'}{2} + \frac{D'}{2} * \cos 45^\circ \quad (6.9)$$

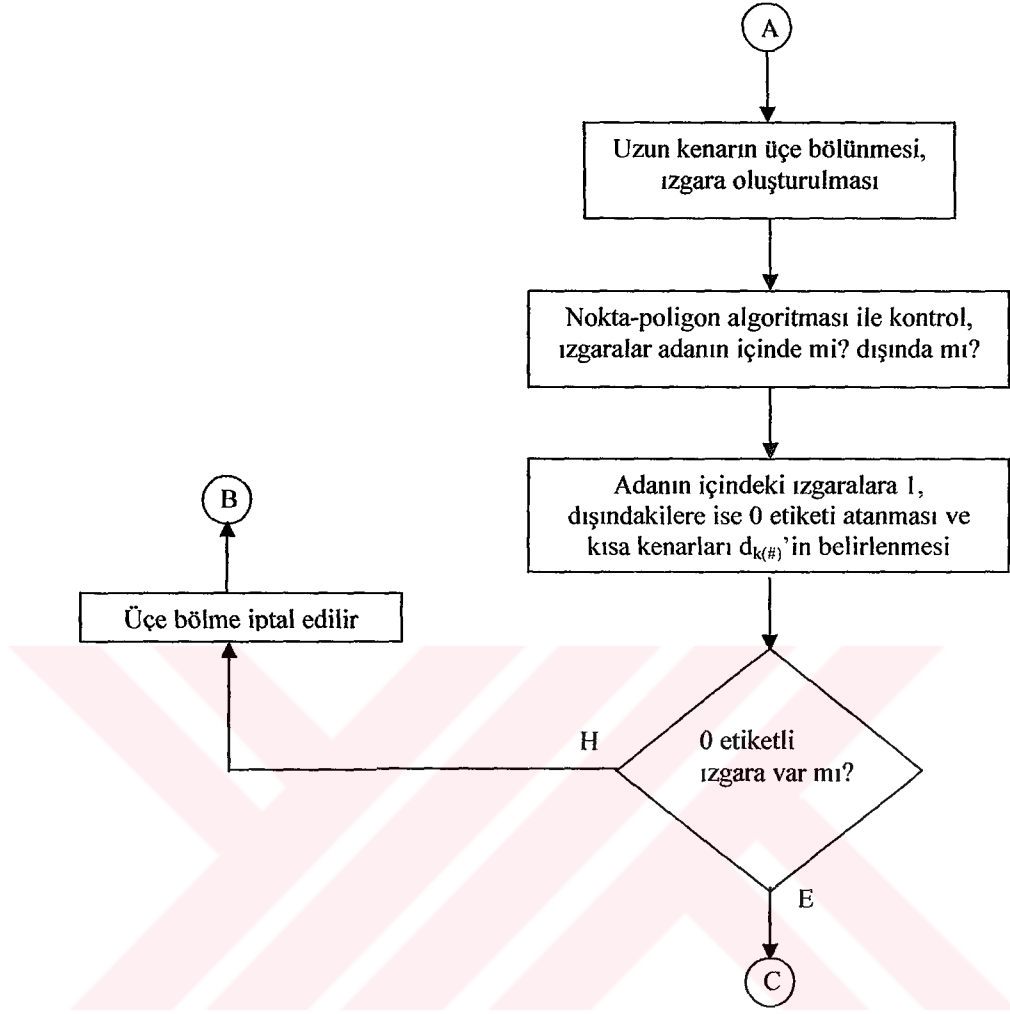
$$D' = 1,17d$$

olmaktadır. Her katman için D' ler hesaplanıp ortalaması alınmaktadır.

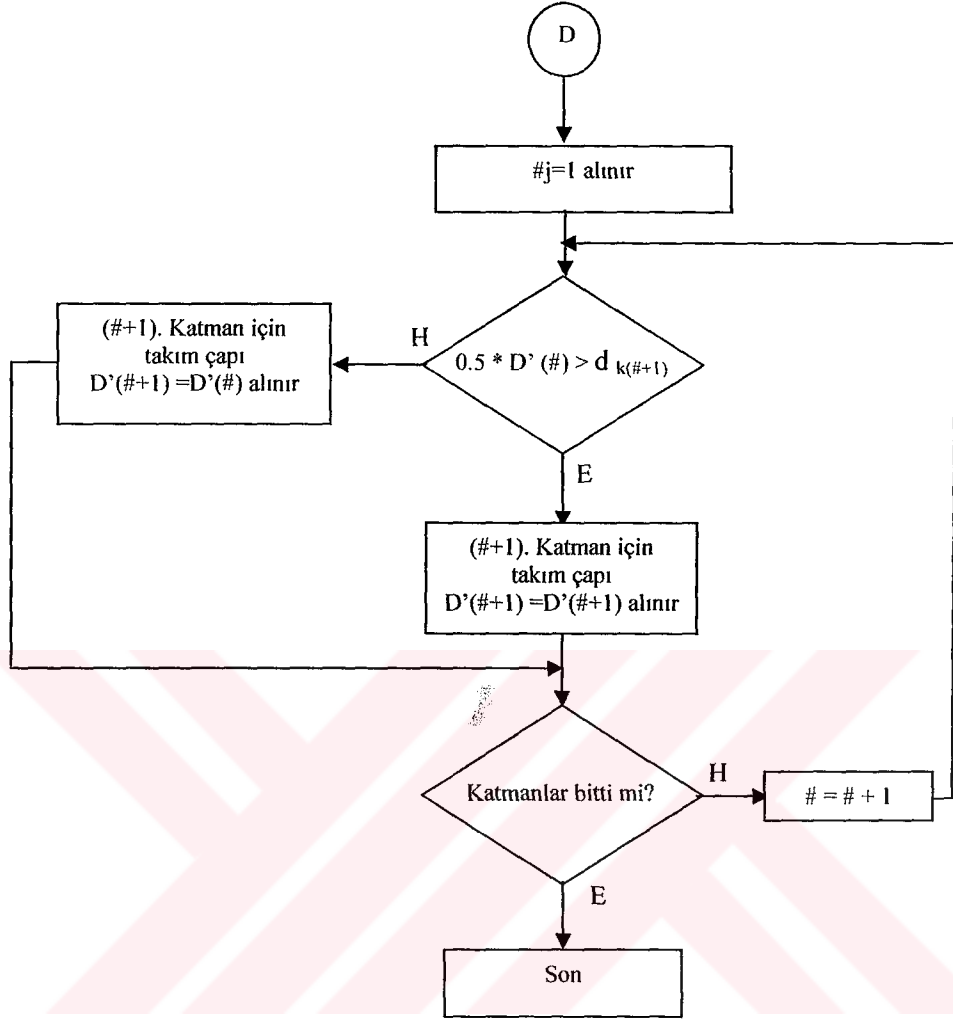
Algoritmaya ait akış şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.18. Adaları sınırlayan dikdörtgen ve sınır eğrisi arasında kalan kısmın işlenmesi için takım seçimine ait algoritmanın akış şeması (Devam)



Şekil 6.18. Adaları sınırlayan dikdörtgen ve sınır eğrisi arasında kalan kısmın işlenmesi için takım seçimine ait algoritmanın akış şeması (Devam)

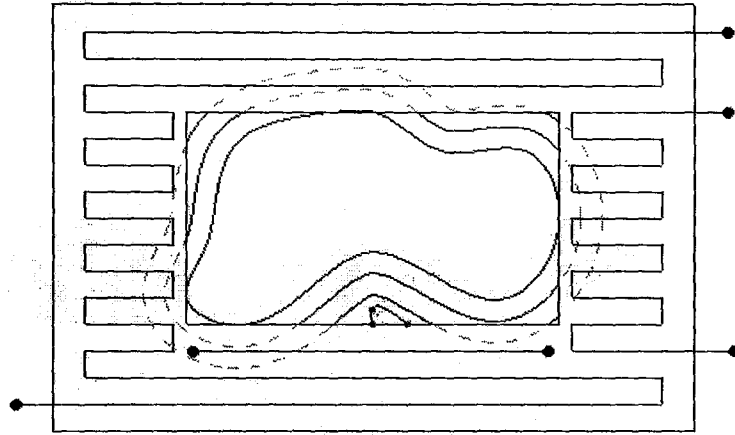


Şekil 6.18. Adaları sınırlayan dikdörtgen ve sınır eğrisi arasında kalan kısmın işlenmesi için takım seçimine ait algoritmanın akış şeması

6.5.3. Zig-zag takım yolları

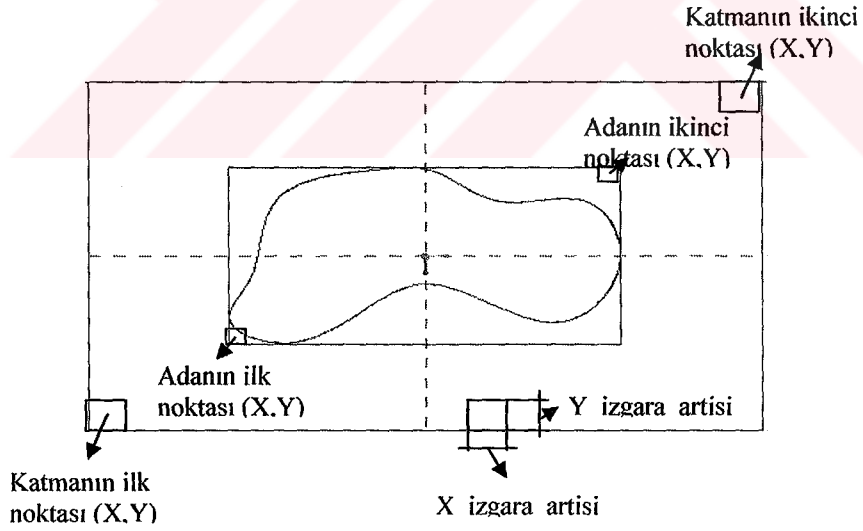
En çok kullanılan takım yolu şablonudur (Held, 1991). Bu şablon, paralel ışınlarla işlenecek alanın doldurulması esasına dayanmaktadır. Işınlar iş parçası kenarlarından birisine paralel olacak şekilde yerleştirilmektedir. (Şekil 6.12) Şekilde

görüldüğü gibi, adayı sınırlayan dikdörtgene kadar zigzag takım yolları, ada sınır eğrisi ise çevreleyen dikdörtgene kadar ofsetlenmektedir.



Şekil 6.19. Zigzag takım yolları (İç kısım ofsetlemeye göre yapılmaktadır)

6.5.3.1. Zigzag takım yolları için geliştirilen algoritma



Şekil 6.20. Zigzag algoritmasındaki değişkenler

Algoritma:

Adım 1:

Yon=1 alınır, katmanın sol alt köşesinden sağa hareketle başlanır

Adım 2:

Katmanı ve yamayı çevreleyen dikdörtgenin köşe noktaları alınır.

Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi, Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi,
Katman_Dortgeni_ilk_Noktasi, Katman_Dortgeni_ikinci_Noktasi,
alınır.

Adım 3:

Kesici hareketi için adım büyüklükleri verilen parametrelere atanır.

$X_Artis_Miktari=X_izgara_artisi=D/2$ // D takım çapıdır.

$Y_Artis_Miktari=Y_izgara_artisi=D/2$

olarak alınır.

Adım 4:

İlk hareket noktası olan sol köşeye konumlanılır.

Gosterge.X=Katman_Dortgeni_ilk_Noktasi.X;Gosterge.Y=Katman_Dortgeni
_ilk_Noktasi.Y
olarak belirlenir.

Adım 5:

Sağa hareket değişene kadar $yon=1$ dir.

$Yon!=2$ oluncaya kadar işleme devam edilir.

Adım 6:

Atılan adım katman dışına çıkmışa yön sola doğru değiştirilir.

Eğer(1) $Gosterge.Y > Katman_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y$ ise $YON=2$ olur, işlem bitmiştir.

Adım 7:

Adım büyüklüğü kadar sağa bir adım atılır.

Eğer (2) $Yon=1$ ise $Gosterge.X += X_Artis_Miktari$ alınır ve sağa doğru hareket edilir.

Adım 8:

Sağa hareketi sonlandıracak tüm şartlar kontrol edilir.

Eğer (3) $Gosterge.Y \geq Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y \ \&\& \ Gosterge.Y \leq Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y \ \&\& \ ((Gosterge.X > Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X) \ \&\& \ (Gosterge.X < Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X))) \ \parallel \ Gosterge.X > Katman_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X)$

ise sağa doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır.

Adım 9:

Sola harekete hazırlanılır.

Yon=0;

X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari

olarak alınır.

Adım 10:

Eğer katmanın sonuna ulaşılmadan sola döndü ise yamanın sağında işlenmemiş alan kalmıştır.

Eğer (4) Gosterge.X <= Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X)

YAMANIN_SAGINDA_ALAN_KALDI=1 olarak atanır , değilse takım yoluna eklenir.

Adım 11:

Değilse (3),

Eğer (5) Yon==0 ise,

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari olarak atanır.

Adım 12:

Sola hareketi sonlandıracak tüm değişkenler kontrol edilir.

Eğer (6) ((Gosterge.Y >= Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y && Gosterge.Y <=

Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y && ((Gosterge.X >

Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X)&&(Gosterge.X <

Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X))) || Gosterge.X <

Katman_Dortgeni_ilk_Noktasi.X)

ise sola doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır.

Adım 13:

Sola harekette yamanın sağında alan kalıp kalmadığı kontrol edilir.

YON=1;

X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari

olarak atanır.

Eğer (7) (Gosterge.X >= Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X)

YAMANIN_SAGINDA_ALAN_KALDI=0 ; şart sağlanırsa solunda kalmıştır

Değilse (7), takım yoluna ekle.

Adım 14:

Eğer var ise yamanın sağında kalan alan veya solunda kalan ama temizlenmemiş alan temizlenmelidir.

Eğer (8) YAMANIN_SAGINDA_ALAN_KALDI==1 ise (eğer yamanın sağındaki alan kaldı ise)

YON=1;

X_Artis_Miktari=X_izgara_artisi;

Gosterge.X=Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X;Gosterge.Y=Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y alınır.

Adım 15:

Yon!=2 oluncaya kadar işleme devam edilir.

Adım 16:

Eğer (9) Gosterge.Y>Katman_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y Yon=2 alınır, işlem bitmiştir.

Adım 17:

Eğer (10) $Yon=1$ ise,

$Gosterge.X+=X_Artis_Miktari$;

olarak alınır

Adım 20:

Eğer (11) $Gosterge.X > Katman_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X$ ise, (Sağa doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır)

$Yon=0$;

$X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari$;

$Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari$;

olarak atanır.

Değilse (9)

Takım yoluna kaydet.

Adım 21:

Eğer (12) $Yon=0$ ise,

$Gosterge.X+=X_Artis_Miktari$;

Adım 22:

Eğer (13) $Gosterge.X < Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X$ ise, (sola doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır)

$Yon=1$;

$X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari$;

$Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari$;

Değilse(13), takım yoluna ekle.

Adım 23:

Değilse (9), (eğer yamanın solundaki alan kaldı ise)

Yon=0;

$X_Artis_Miktari = -1 * X_izgara_artisi$

olarak atanır.

Gosterge.X=Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X;Gosterge.Y=Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y;

Adım 24:

Yon!=2 oluncaya kadar işleme devam edilir.

Adım 25:

Tüm katmanın işlenip işlenmediği kontrol edilir.

Eğer (14) Gosterge.Y>Katman_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y ise Yon=2, işlem bitmiştir.

Adım 26:

Eğer (15) Yon=1 ise,

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari

olarak alınır.

Adım 27:

Sağa doğru hareketin sonu olup olmadığı kontrol edilir.

Eğer (15) Gosterge.X > Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X ise sağa doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır.

YON=0;

$X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari$

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari

olarak alınır.

Değilse (15) takım yoluna kaydet.

Adım 28:

Eğer (16) Yon=0 ise

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari

olarak alınır.

Adım 29:

Sola doğru hareketin sonu olup olmadığı kontrol edilir.

Eğer (17) $Gosterge.X < Katman_Dortgeni_ilk_Noktasi.X$ (sola doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır)

Yon=1;

$X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari$

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari

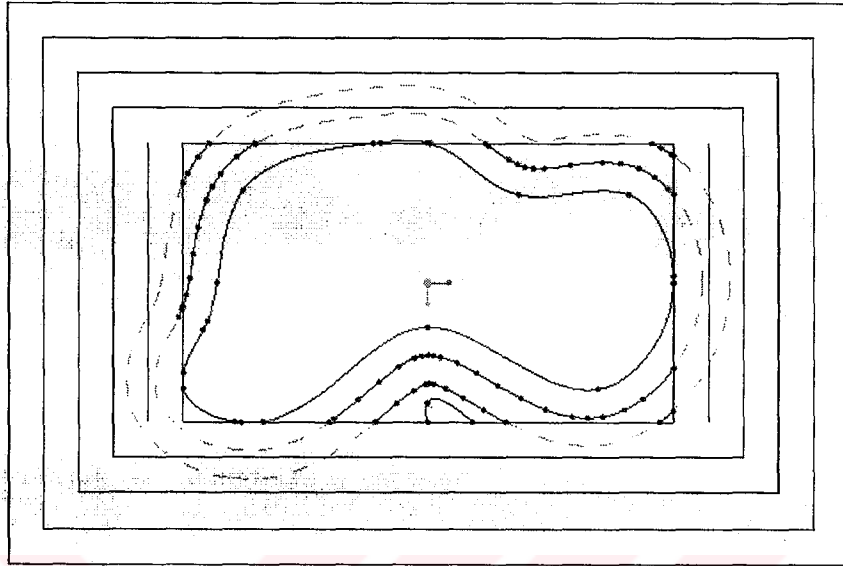
olarak atanır.

Değilse (17) takım yoluna kaydet.

6.5.4. Kaydırılmış takım yolları

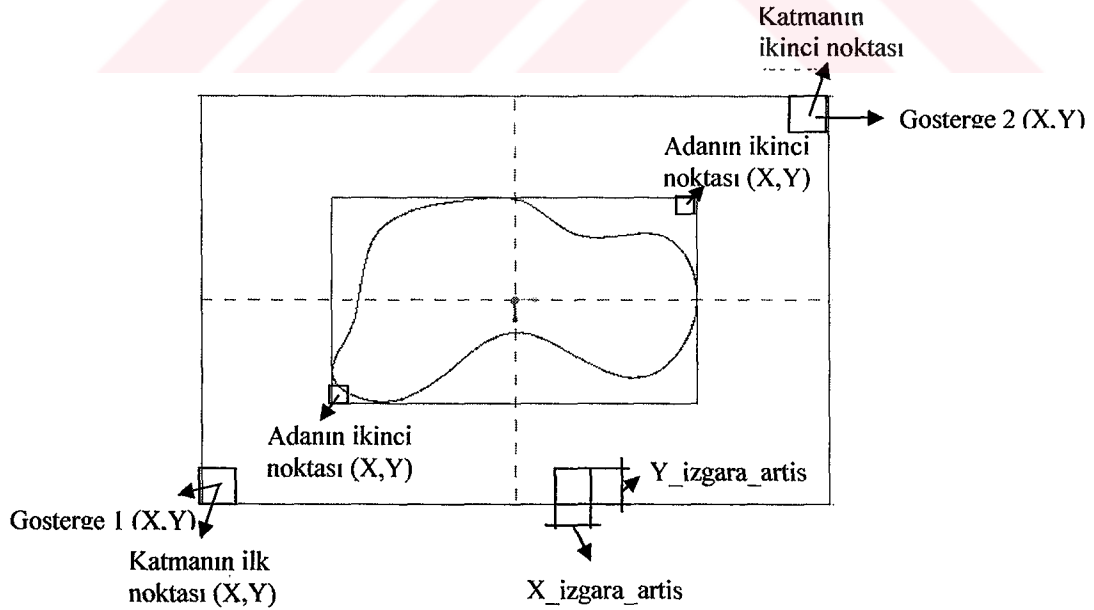
Kaydırma şablonu (Held, 1991 ve Farouki, 1994), sınır eğrilerinde üniform bir sonuç verdiği için avantajlıdır. Bu şablon, tüm alan taranana kadar sınır eğrilerinin büzülme – genişlemesi esasına dayanmaktadır. Bununla birlikte, hesaplama bakımından zig-zag metoduna göre daha karmaşıktır. (Şekil 6.14) Şekilde

görüldüğü gibi, dış sınır eğrisi içeriye doğru adayı sınırlayan dikdörtgene kadar, ada sınır eğrisi ise çevreleyen dikdörtgene kadar kaydırılmaktadır.



Şekil 6.21. Kaydırmada takım yolları

6.5.4.1. Sınır eğrisini çevreleyen dikdörtgenin dış kısmının işlenmesi için kaydırma takım yolları için geliştirilen algoritma



Şekil 6.22. Kaydırma algoritmasındaki değişkenler

Algoritma:

Adım 1:

İlk kesici hareketi sağa doğru atanır.

Yon=1 alınır

Adım 2:

Adım büyüklükleri parametrelere atanır.

$X_Artis_Miktari=X_izgara_artisi=D/2$ // D takım çapıdır.

$Y_Artis_Miktari=Y_izgara_artisi=D/2$

İlk hareket noktası olan sol köşeye konumlanılır.

Gosterge.X=Katman_Dortgeni_ilk_Noktasi.X;Gosterge.Y=Katman_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y;

Gosterge1.X=Katman_Dortgeni_ilk_Noktasi.X;Gosterge1.Y=Katman_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y;

Katmanın sınırları belirlenir.

Gosterge2.X=Katman_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X;Gosterge2.Y=Katman_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y;

Adım 3:

Yon!=2 olana kadar işlemlere devam edilir

Adım 4:

Yama dikdörtgen ile karşılaşıp karşılaşılmadığı kontrol edilir.

Eğer (1) (Gosterge1.X<=Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X &&

Gosterge1.Y<=Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y &&

```
Gosterge2.X>=Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X
Gosterge2.Y>=Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y)
```

&&

```
// Sol alt konum köşesinden sağa hareket edilir.
```

```
for (a=Gosterge1.X;a<=Gosterge2.X;a+=X_izgara_artisi)
{Gosterge.X=a;Katmandaki_Takim_yoluna_Ekle(Gosterge,2);
```

```
// Sağ alt konum köşesinden yukarı hareket
```

```
for (a=Gosterge1.Y;a<=Gosterge2.Y;a+=Y_izgara_artisi)
{Gosterge.Y=a;Katmandaki_Takim_yoluna_Ekle(Gosterge,2);}
```

```
// Sağ üst konum köşesinden sola hareket
```

```
for (a=Gosterge2.X;a>=Gosterge1.X;a-=X_izgara_artisi)
{Gosterge.X=a;Katmandaki_Takim_yoluna_Ekle(Gosterge,2);}
```

```
// Sağ üst konum köşesinden aşağı hareket
```

```
for (a=Gosterge2.Y;a>=Gosterge1.Y;a-=Y_izgara_artisi)
{Gosterge.Y=a;Katmandaki_Takim_yoluna_Ekle(Gosterge,2);}
```

```
// Bir kaydırma eğrisi döngüsü bittikten sonra bir sonraki kareye git
```

```
Gosterge1.X+=X_izgara_artisi; Gosterge1.Y+=Y_izgara_artisi;
Gosterge2.X-=X_izgara_artisi; Gosterge2.Y-=Y_izgara_artisi;
```

Adım 5:

Değilse (1)

Eğer (2) (Gosterge1.X<Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X)

Eğer (3) (Gosterge1.Y<Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y

Yon=3; sağa hareket olsun

X_Artis_Miktari=X_izgara_artisi;

Adım 6:

Yon!=5 olana kadar adım 6- 10 arasına devam edilir.

Adım 7:

Eğer (4) Gosterge.Y>Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y ise Yon=5 alınır

Adım 8:

Sağa doğru hareketin sonu olup olmadığı kontrol edilir.

Eğer (5) yon=3 ise

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari;

Eğer (6) ((Gosterge.X >= Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X&&Gosterge.Y >= Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.Y) ||Gosterge.X >=

Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.XZ (Sağa doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır)

YON=4;

X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari;

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari;

Adım 9:

Sağa doğru X_Artis_Miktari kadar hareket edilir.

Eğer (7) yon=4 ise

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari;

Adım 10:

Eğer (8) (Gosterge.X <= Gosterge1.X) ise sola doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır

Katmandaki_Takim_yoluna_Ekle(Gosterge,2);

Sola hareket ise;

Yon=3;

$X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari$;

$Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari$;

Adım 11:

Sağa hareket ise;

Değilse Yon=3

$X_Artis_Miktari=X_izgara_artisi$;

Adım 12:

Yon!=5 olana kadar adım 12- 17 arası devam edilir.

Adım13:

Yama dikdörtgeninin ikinci noktasına gelindi ise, yön değiştirilir.

Eğer (9) ($Gosterge.Y>Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y$) ise Yon=5;

Adım 14:

Eğer (10) yon=3 ise (sağa doğru hareket var ise)

$Gosterge.X+=X_Artis_Miktari$;

Adım 15:

Sağa doğru hareketin sonu olup olmadığı kontrol edilir.

Eğer(11) ($Gosterge.X \geq Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X$) ise sağa doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır

YON=4;

X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari;
Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari;

Adım 16:

Sağa doğru hareket için artış miktarı ayarlanır.

Eğer (12) yon=4 ise
Gosterge.X+=X_Artis_Miktari;

Adım 17:

Sola doğru hareketin sonu olup olmadığı kontrol edilir.

Eğer (13) (Gosterge.X <= Gosterge1.X) ise sola doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır
Katmandaki_Takim_yoluna_Ekle(Gosterge,2);
Yon=3;
X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari;
Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari;

Adım 18:

Eğer (14) (Gosterge2.X>Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X) (Yama dortgeni ikinci köşesi ile Gosterge2 arası çalışılmalıdır)

Eğer (15) (Gosterge2.Y>Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y) (Ters Kapalı L hareketi yapılmalıdır)

Yon=3; // sağa hareket olsun
X_Artis_Miktari=X_izgara_artisi;

Adım 19:

Yon!=5 oluncaya kadar adım 19-24 arası devam edilir.

Adım 20:

Eğer katmanın sol üst köşesine gelindi ise hareket yönü değiştirilir.

Eğer (16) (Gosterge.Y>Gosterge2.Y) ise Yon=5;

Adım 21:

Eğer (17) yon=3 ise (sağa doğru hareket ise)

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari;

Adım 22:

Eğer (18) (Gosterge.X >= Gosterge2.X) ise sağa doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır.

Yon=4;

X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari;

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari;

Adım 23:

Eğer (19) yon=4 ise

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari;

Adım 24:

Sola doğru hareketin sonu olup olmadığı kontrol edilir.

Eğer (20) (Gosterge.X <= Yama_Dortgeni_ilk_Noktasi.X ||
Gosterge.X<=Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X &&

Gosterge.Y<=Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.Y) ise sola doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır.

Yon=3;

X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari;

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari;

Adım 25:

Değilse

Yon=3; sağa hareket olsun

X_Artis_Miktari=X_izgara_artisi;

Adım 26:

Yon!=5 olana kadar adım 26-31 arası devam edilir.

Adım 27:

Eğer (21) (Gosterge.Y>Gosterge2.Y) ise Yon=5;

Adım 28:

Eğer (22) yon=3 ise

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari;

Adım 29:

Sağa doğru hareketin sonu olup olmadığı kontrol edilir.

Eğer (23) (Gosterge.X >= Gosterge2.X) ise sağa doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır.

Yon=4;

X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari;

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari;

Adım 30:

Eğer (24) Yon=4 ise

Gosterge.X+=X_Artis_Miktari;

Adım 31:

Sola doğru hareketin sonu olup olmadığı kontrol edilir.

Eğer (25) (Gosterge.X <= Yama_Dortgeni_ikinci_Noktasi.X) ise sola doğru hareketin sonudur hareket tersine doğru olmalıdır.

Yon=3;

X_Artis_Miktari=(-1)*X_Artis_Miktari;

Gosterge.Y=Gosterge.Y+Y_Artis_Miktari;

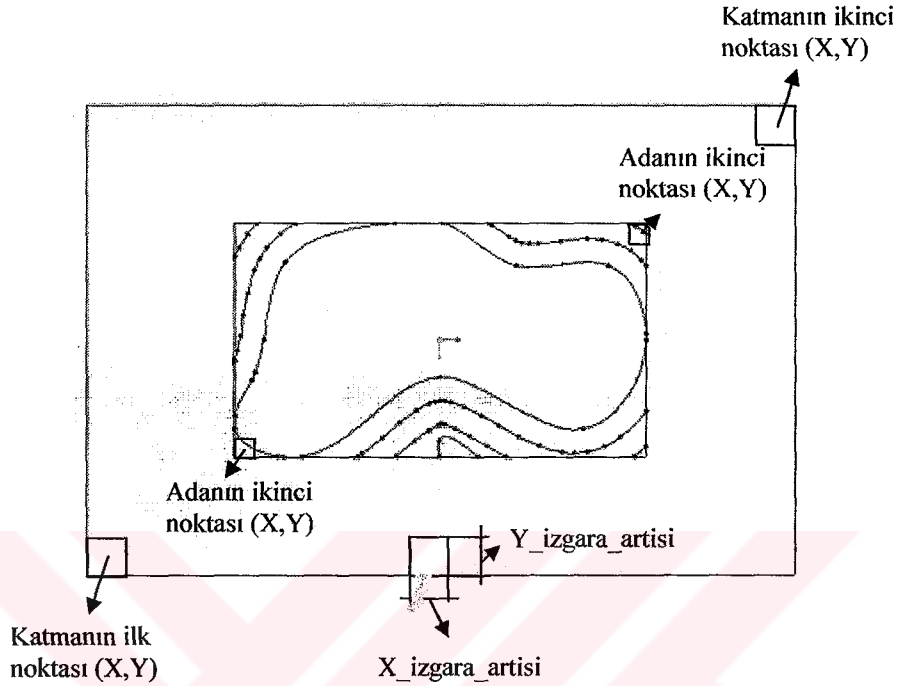
Adım 32:

Yon=2 işlemin sonu

6.5.4.2. Sınır eğrisini çevreleyen dikdörtgen ile sınır eğrisi arasında kalan kısmının işlenmesi için kaydırma takım yolları için geliştirilen algoritma

Bu uygulama küçük dikdörtgen içinde kalan kısmın işlenmesi için, eğrinin dışına doğru kaydırılması işlemidir. Kaydırmada içteki ilk_nokta-ikinci_nokta dikdörtgeninde X_izgara_artisi ve Y_izgara_artisi miktarları kadar dışarı açılmaktadır. (Şekil 6.16) Dışarı açılma esnasında, her noktanın normal vektörleri hesaplanmakta, kaydırma işlemi bu vektör doğrultusunda gerçekleşmektedir. En

içteki sınır eğrisi seviye 0, diğerler kaydırma eğrileri ise seviye 1, seviye 2.... şeklinde kodlanmaktadır.



Şekil 6.23. Algoritmaya ait değişkenler

Burada;

$$X_izgara_artisi=Y_izgara_artisi=\frac{D'}{2} \text{ dir}$$

Algoritma:

Adım 1:

Değişkenler belirlenir.

Nokta Yama_ilk_Noktasi,

Nokta Yama_ikinci_Noktasi,

Nokta Katman_ilk_Noktasi,

Nokta Katman_ikinci_Noktasi girdi olarak alınır.

Adım 2:

Kaydırma noktaları için iki boyutlu dizi oluşturulur ve dizinin tüm elemanlarına başlangıç değeri atanır.

Nokta Kaydırma_Noktaları[56][56] dizini açılır.

for (c=0;c<=55;c++) for (b=0;b<=55;b++)

Kaydırma_Noktaları[b][c].X=999.9;Kaydırma_Noktaları[b][c].Y=999.9

dizileri oluşturulur.

Adım 3:

Yamayı çevreleyen dikdörtgenin sınırları belirlenir.

Gosterge1.X=Yama_ilk_Noktasi.X;Gosterge1.Y=Yama_ilk_Noktasi.Y

Gosterge2.X=Yama_ikinci_Noktasi.X;Gosterge2.Y=Yama_ikinci_Noktasi.Y

Adım 4:

Bu adımda her bir noktanın kaydırılmış değerleri yamayı sınırlayan dikdörtgene kadar hesaplanmaktadır. Katman Turev Noktaları dosyasının sonuna kadar adım 4-8 arası işlemler devam eder.

Adım 5:

Eğer (1) ((Set_KatmanTurevNoktalari.m_Z==Set_KatmanFile.m_Z) &&

(Set_KatmanTurevNoktalari.m_DE_Numarasi==Set_KatmanFile.m_DE_Numarasi)&&

(Set_KatmanTurevNoktalari.m_Nurbs_Numarasi==Set_KatmanFile.m_Nurbs_Numarasi) &&

(Set_KatmanTurevNoktalari.m_Nokta_X<=Gosterge2.X) &&

(Set_KatmanTurevNoktalari.m_Nokta_X>=Gosterge1.X) &&

(Set_KatmanTurevNoktalari.m_Nokta_Y<=Gosterge2.Y) &&
(Set_KatmanTurevNoktalari.m_Nokta_X>=Gosterge1.Y)

ise noktaya dayanarak normal doğrultusunda kaydırma miktarı ile poligonun dışına çıkıncaya kadar yeni noktalar bulunur.

$r(u)$ = Gosterge dir, $n(u)$ =NORMAL ve d de kaydırma mesafesidir.

Adım 6:

Aşağıdaki atamalar yapılır.

Gosterge.X=Set_KatmanTurevNoktalari.m_Nokta_X;
Gosterge.Y=Set_KatmanTurevNoktalari.m_Nokta_Y;

Adım 7:

Gosterge.X>=Yama_ilk_Noktasi.X &&
Gosterge.X<=Yama_ikinci_Noktasi.X
&&Gosterge.Y>=Yama_ilk_Noktasi.Y &&
Gosterge.Y<=Yama_ikinci_Noktasi.Y olana kadar işlemlere devam edilir.

Adım 8:

Sınır eğrisinin maksimum kaç defa kaydırılabilir olduğu seviye değişkeni ile belirlenir. Adayı çevreleyen dikdörtgen dışına çıkılmamalıdır. Seviye ile kastedilmek istenen budur.

Kaydırma noktaları dizine kaydedilir.

Kaydırma_Noktaları[Seviye][a].X=Set_KatmanTurevNoktaları.m_Nokta_X+
Seviye*Kaydırma_Mesafesi*Set_KatmanTurevNoktaları.m_Normal_Nokta_
X;

Kaydırma_Noktaları[Seviye][a].Y=Set_KatmanTurevNoktaları.m_Nokta_Y+
Seviye*Kaydırma_Mesafesi*Set_KatmanTurevNoktaları.m_Normal_Nokta_
Y;

Gosterge.X=Kaydırma_Noktaları[Seviye][a].X;
Gosterge.Y=Kaydırma_Noktaları[Seviye][a].Y;
Seviye_Max=Seviye;Seviye++;

Adım 9:

Buraya gelindiğinde Kaydırma_Noktaları[Seviye,a] dizisi üzerinde işlemler yapılmalıdır. Dizinin birinci boyutu Kaydırma mesafesinin katlarıdır. Mesela Kaydırma mesafesi 10 birim ise Kaydırma_Noktaları[1,a] elemanı 10 birim ofsetli nokta, Kaydırma_Noktaları[2,a] elemanı 20 birim ofsetli nokta, Kaydırma_Noktaları[n,a] elemanı n*10 birim kaydırılmış nokta olmaktadır. Bu dizinin ikinci kolonunda yer alan "a" ifadesi ise 1..Eğrideki_Nokta_sayısı arasında değişmektedir. Eğer Deliği oluşturan eğri adedi 20 ise a=1..20 olmaktadır.

Şimdi Kaydırma_Noktaları[Seviye,a] dizisini Seviye parametresi açısından bir artan bir azalan şeklinde sıralandığı zaman Kaydırma ile Kesici kesiyormuş hissini uyandırılabilir..."a" parametresi 1,3,5,.. şeklinde tek sayı olduğu zaman dizi zaten seviyeye göre artandır. "a" parametresi 2,4,6,.. şeklinde çift sayı olduğu zaman dizinin bu "a" parametrelili elemanlarını seviyeye göre sondan başa sıralanmalıdır.

for (b=2;b<=a-1;b=b+2), önce Seviye'nin maksimum değerini bulalım
Seviye_Max=0;

Kaydırma_Noktaları[Seviye_Max+1][b].X!=999.9) olana kadar işlemlere devam edilir.

```
Seviye_Max++;}
```

Seviye durumuna göre, geçici ve kalıcı kaydırma noktaları hesaplanarak diziyeye kaydedilmektedir. Yama dikdörtgeninin dışına çıkan noktalar iptal edilmektedir.

```
for (c=1; c<=int((Seviye_Max+1)/2);c++)  
gecici=Kaydırma_Noktaları[c][b].X;  
Kaydırma_Noktaları[c][b].X= Kaydırma_Noktaları[Seviye_Max+1-c][b].X;  
Kaydırma_Noktaları[Seviye_Max+1-c][b].X=gecici;  
gecici= Kaydırma_Noktaları[c][b].Y;  
Kaydırma_Noktaları[c][b].Y= Kaydırma_Noktaları[Seviye_Max+1-c][b].Y;  
Kaydırma_Noktaları[Seviye_Max+1-c][b].Y=gecici;
```

6.6. 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. **APT (Automatically Programmed Tools)**: APT dili, SD programlama için tasarlanmış ve gelişmeye açık bir dildir. İlk defa 1959 yılında kullanılmıştır ve günümüzde hala ABD’de kullanılmaktadır. 5 eksene kadar SD programlama işlemlerinde kullanılmaktadır.

APT dili, kolay anlaşılması için İngilizce'ye benzeyen sözcüklerden oluşmaktadır. İşleme koşulları ile ilgili hesaplama sonuçları ve deyimler, APT formatında tanımlanmış sırada çıktı alınmaktadır. APT deyimleri ile ilgili detaylı bilgi için Ek 2'ye bakınız.



BÖLÜM 7

TEST ÇALIŞMALARINI VE SONUÇLAR

Önceki bölümlerde, serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi için takım yolu oluşturma stratejileri geliştirilmiştir. Bu bölümde yapılan simülasyon çalışmaları ile, geliştirilmiş metotların verimliliği gösterilecektir.

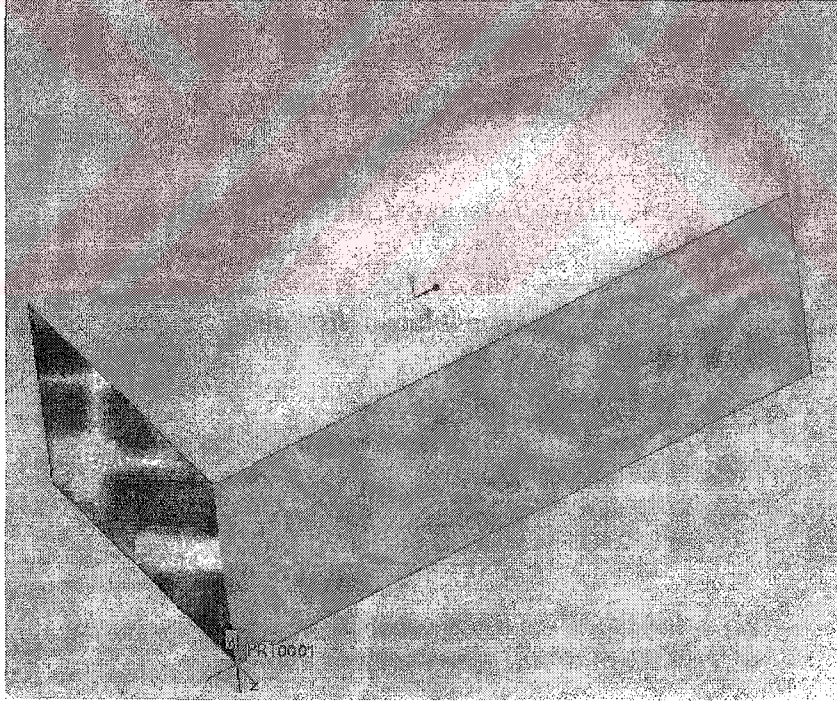
7.1. Seçilen modeller ve testler

Bu çalışmada seçilen serbest şekilli yüzey modelleri NURBS temelli olarak oluşturulmuştur. BDT veri tabanı modele ait geometrik bilgileri içerecek şekilde oluşturulmuştur. (Şekil 7.1, 7.5) Çalışmadaki parametreler aşağıdaki gibi alınmıştır. (Çizelge 7.1)

Çizelge 7.1. İşleme parametreleri

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

Elde edilen takım yollarına ait simülasyonlar Pathrace Engineering Systems Ltd. firması tarafından geliştirilmiş olan Edgecam Verify Lite V 4.0.2 programı vasıtasıyla yapılmıştır. Toplam yol uzunluğuna ait veriler de yine bu programın hesaplamış olduğu değerlerdir.



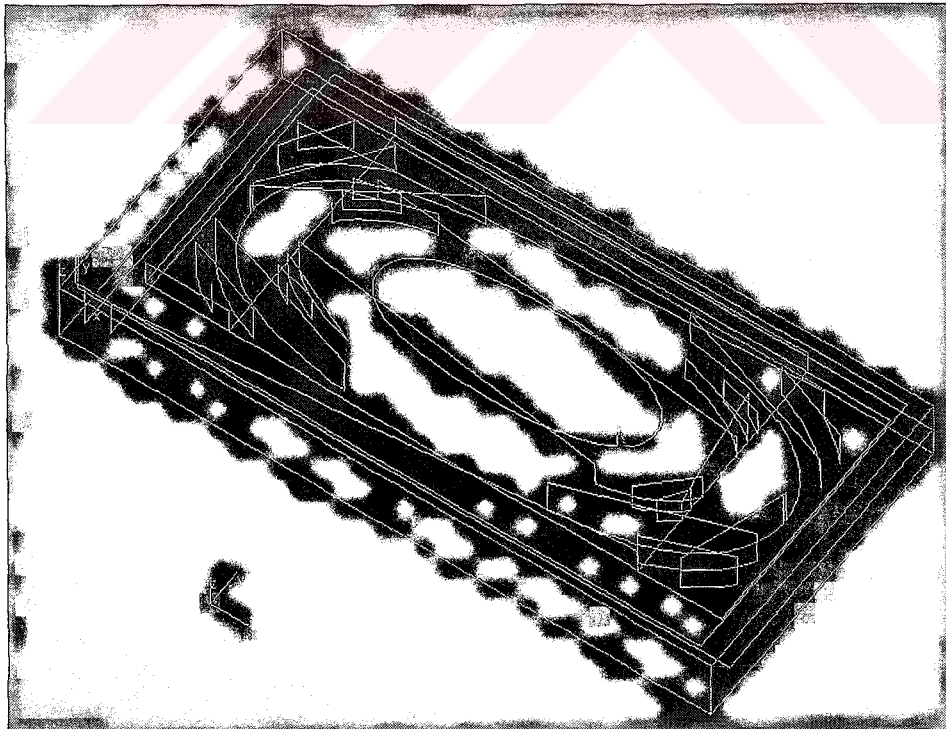
7.1. Birinci test modeli

Çizelge 7.2 Dış kısmı işlemek için gerekli takım çapları (32=<parmak freze, 32> alın frezeleme takımı)

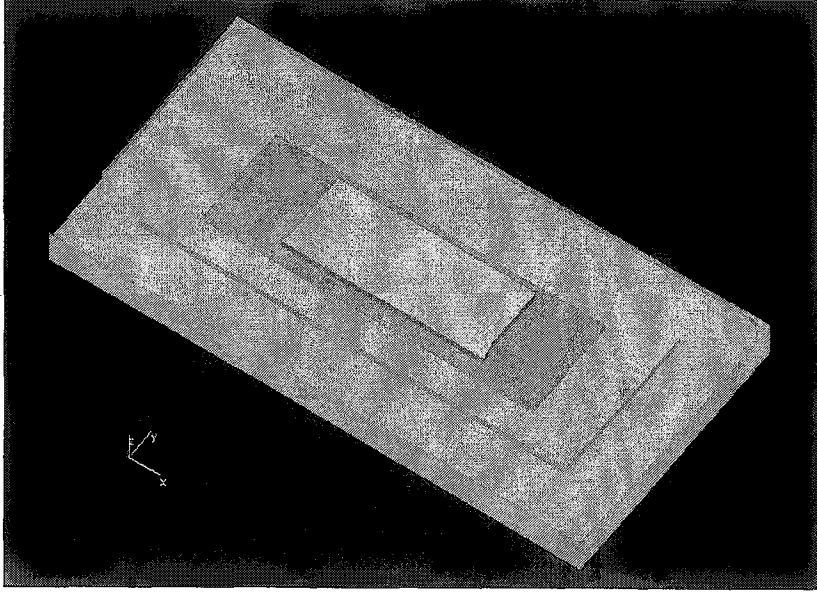
Katman no	En kısa frezeleme genişliği	Hesaplanan takım çapı Dk (mm)	Standart takım çapı (mm)	Uygun kullanılabilir takım çapı (mm)
1	39.7	49.625	50	50
2	31.7	39.625	40	50
3	19.97	24.96	25	25

Çizelge 7.3 Adaları çevreleyen dikdörtgen ve adalar arasının işlenmesi için takım seçimi (32=<parmak freze, 32> alın frezeleme takımı)

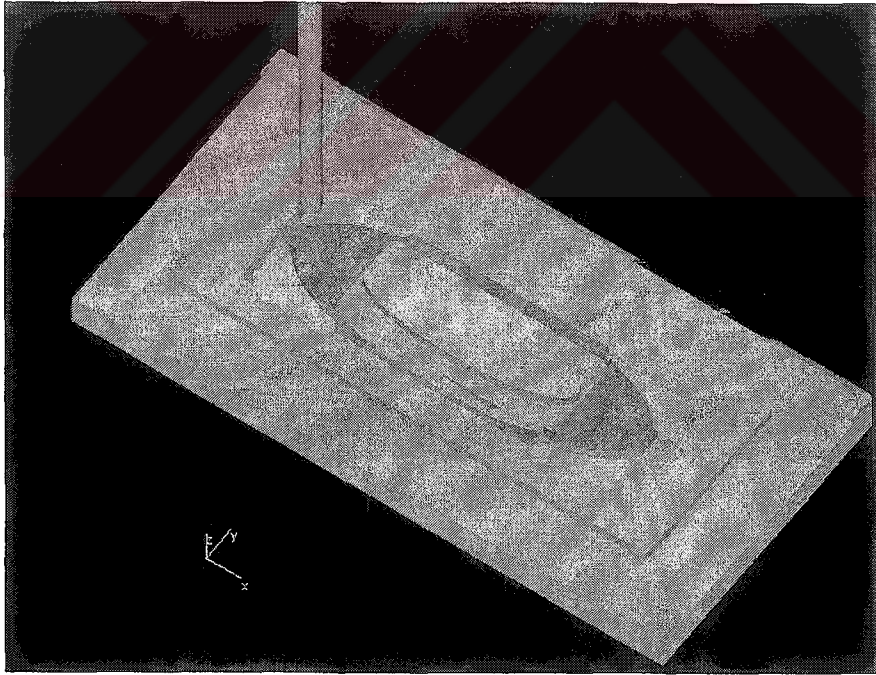
Katman no	0 Etiketli dikdörtgenin kısa kenarı	Hesaplanan takım çapı Dk (mm)	Standart takım çapı (mm)	Uygun kullanılabilir takım çapı (mm)
1	5.15	6.4	6.5	10
2	4.81	6.0	6.0	6.5
3	7.475	9.34	10	10



Şekil 7.2. Birinci test modeline ait takım yolları



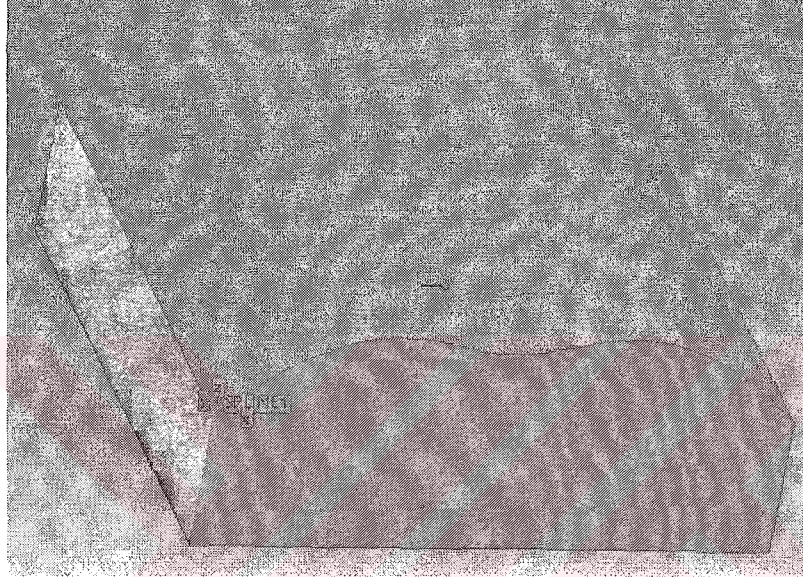
Şekil 7.3 Dış kısımlar zig-zag metodu ile işlendikten sonra



Şekil 7.4. Adaları çevreleyen dikdörtgen ve adalar arasının işlenmesi

Çizelge 7.4. Takım yolu uzunlukları

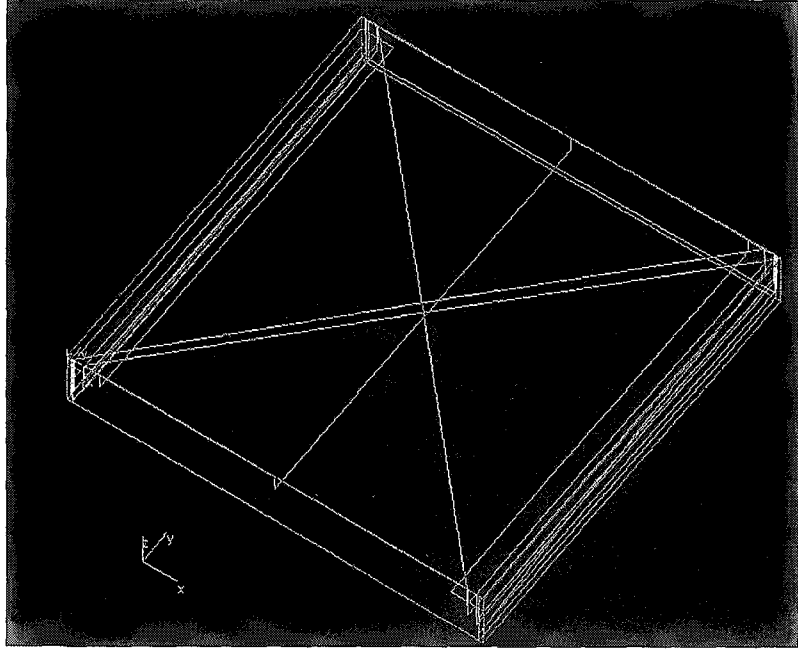
Takım yolu şablonu	Toplam Yol Uzunluğu (mm)	En uygun şablon
Zigzag	3800	Zigzag
Kaydırma eğrileri	4250	



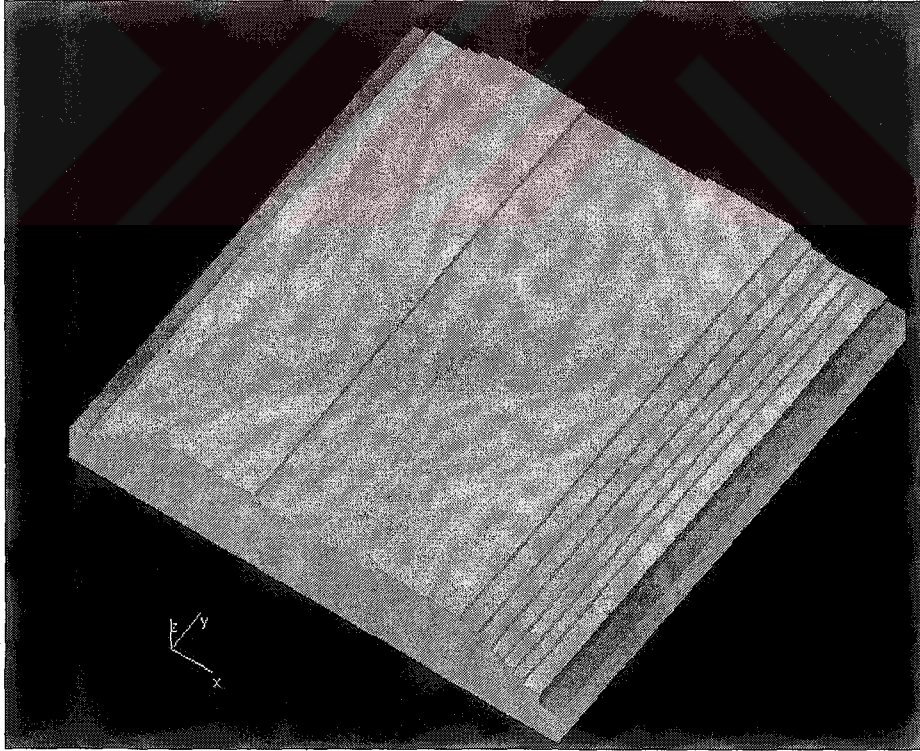
Şekil 7.5. İkinci test modeli, model eş iki üniform spline'nin blend yöntemiyle birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.

Çizelge 7.5 Dış kısmı işlemek için gerekli takım çapları (32=<parmak freze, 32> alın frezeleme takımı)

Katman no	En kısa frezeleme genişliği	Hesaplanan takım çapı Dk (mm)	Standart takım çapı (mm)	Uygun kullanılabilir takım çapı (mm)
1	37.2	46.875	50	50
2	33.203	41,503	50	50
3	27.543	34,428	40	50
4	22.709	28,386	32	32
5	18.401	23,001	25	32
6	14.464	18,080	25	25
7	10.807	13,508	15	15
8	7.371	9,213	10	10



Şekil 7.6.Dış kısmın işlenmesine ait takım yolları



Şekil 7.7. Dış kısım işlendikten sonra

Zigzag takım yolu için toplam yol uzunluğu 6876 mm'dir. Kaydırma eğrileri ile takım yolu üretmek için daha küçük çaplı bir takıma ihtiyaç vardır. Zigzag için kullanılan işleme parametreleri ile kaydırma eğrilerinden oluşan takım yolu üretilmemektedir. Takım çapının küçülmesinin toplam takım yolu uzunluğunu artıracığı da aşıkardır.



BÖLÜM 8

TARTIŞMA

Literatür incelemeleri sonucunda serbest şekilli yüzeylerin işlenmesi ile ilgili bir çok çalışma yapıldığı görülmektedir. Persson (1978) konkav ve konveks ceplerin nasıl işlenebileceğine ait bir prosedür vermiştir. Broomhead ve Edkins (1986) Bezier yüzey yamaları ile tanımladıkları serbest şekilli yüzeylerin işlenmesine ait bir algoritma vermişlerdir. B.K.Choi ve arkadaşları (1988) yapmış oldukları çalışmalarında kalıp boşluklarının işlenmesine ait bir metot sunmuşlardır. M.Bala ve T.C. Chang (1991) ise, optimum kesici boyutu seçimi ve takım yolu oluşturma ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Takım seçimi için bir işleme faktörü belirlemişler ve büyük işleme faktörüne sahip takımını büyük takım olarak almışlardır. Ayrıca çalışmalarında minimum kesici hareketini esas almışlardır. Dharmaraj ve Gau (1997) yaptıkları çalışmalarında çok boyutlu takımlar kullanarak $2 \frac{1}{2}$ B ceplerin boşaltılmasını ele almışlardır. Yukarı da kısaca özetlenen ve literatürde verilen diğer çalışmalara bakıldığında, büyük çoğunluğunda takım yolu oluşturma teknikleri için yeni modeller geliştirme amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmada ise imalat maliyetlerinin düşürülebilmesi için, işleme performansını direkt olarak etkileyen takım yolu şablonlarının ve takımların seçilmesi araştırılmıştır. Takım seçimi büyük kısımların büyük takımlarla işlenmesi düşüncesine göre yapılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak, işlenecek modele ait yüzey bilgileri NURBS formatında tanımlanmıştır. Yüzeye ait bilgiler IGES standardı ile sisteme aktarılmıştır. STEP standardının kullanılmamasının nedeni, IGES dosyasından NURBS denklemindeki katsayıların alınmasının daha basit olması ve NURBS denkleminin yapısına daha uygun veriler vermesi, yapısal olarak da çok fazla karmaşık olmamasıdır. Ayrıca ürün verisi değişimi yapılmadığı için STEP tercih edilmemiştir.

Kaba boşaltma işleminin verimliliğini artırmak için, takım seçimi ve takım yolu hesaplama ile ilgili algoritmalar verilmiştir. Algoritmalar, büyük boşlukların

büyük bir takım, küçük boşlukların ise daha küçük bir takım ile işlenmesi düşüncesi temel alınarak geliştirilmiştir. Öncelikle işlenecek yüzeye ait bilgiler IGES veri dosyası ile sisteme alınmakta, bazı işlemlerden sonra NURBS denklemleri oluşturulmaktadır. Belirli bir kesme derinliği dikkate alınarak bu yüzeyler katmanlara ayrılmaktadır ve katmanlardaki ada sınır eğrileri matematiksel denklemler ile ifade edilmektedir. Her bir katman için kesici takım seçimi yapıldıktan sonra ise gerekli takım yolları üretilmektedir. Takım çapı hesabında büyük kısımların işlenmesinde frezeleme genişliği esas alınmıştır. Şu açıktır ki, her bir katmandaki frezeleme genişlikleri farklı farklı olmaktadır ve her bir katman için ayrı takımlar kullanılması gereklidir. Çok fazla takım kullanılması ise frezelemede hem işleme performansını azaltmakta, hem de takımlama maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle, sadece frezeleme genişliğinin takım yarıçapından küçük olduğu bölgelerde, o genişliğe uygun bir çap hesap edilerek takım değiştirilmiştir.

Kaba boşaltmada işleme süresinin büyük bir kısmını model dış sınırı ile adaları çevreleyen dikdörtgen arasında kalan alanın işlenmesi almaktadır. Bu kısımların prizmatik şekilli olması nedeniyle büyük takımlarla işlenmesinin sağlanması ile işleme performansının artırılması, takım yolu oluşturma alanına getirilen yeni bir yaklaşımdır.

Yong J. Chon (1997) yapmış olduğu tez çalışmasında takım seçimi için bir işleme faktörü tanımlamıştır. İşleme faktörünü, işlenecek toplam hacmi her bir takım için işleme süresine oranlayarak elde etmiştir. İşleme faktörü en büyük olan takım büyük takım olarak almıştır. Yapılan bu çalışmada ise iş parçası modeli dış sınırı ile adaları çevreleyen dikdörtgen arasındaki kısımların büyük takım ile işlenmesi düşünülmüş ve frezeleme genişlikleri dikkate alınarak takım çapı hesaplanmıştır.

BÖLÜM 9

SONUÇ ve ÖNERİLER

Tez çalışmasında, 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 amaçlanmış, bu doğrultuda uygun takımları ve takım yolu şablonunu tespit eden bir sistem geliştirilmiştir.

Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

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 kaldığı görülmüştür.

Bu çalışma SSY işlemede, en uygun takım konfigürasyonlarının ve takım yolu şablonlarının seçilmesi esasına dayanmaktadır. 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.

İleriki çalışmalarda, yüzeyin şekline göre, bazı kısımlarda zigzag, bazı kısımlarda ise kaydırma şablonunu kullanan takım yolu oluşturma sistemleri de geliştirilebilir.

İşleme performansını takım yolu şablonu ve takım boyutları kadar, kesme parametreleri de etkilemektedir. Yüzeyin şekline göre değişken yan artış miktarı, kesme derinliği değerleri ile takım yolu hesaplayabilen bir sistem geliştirilebilir.

Takımın helis yönüne göre aşağı ve yukarı frezeleme yönlerini tayin eden takım yolu oluşturma algoritmaları ileriki çalışmalarda geliştirilebilir.

Parçanın şekline göre zigzag takım yolu şablonunda, X eksenine yada Y eksenine paralel zigzaglar mı yapılacağını belirleyen çalışmalar yapılabilir.

10. REFERANSLAR

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.

Balic J., Korosec M., 2000, Intelligent tool path generation for milling of free surfaces using neural Networks, *Int. J. of Machine Tools & Manufacture* 42, 1171-1179

Bradford S., Gaylen R. R, Wright T., 1998, Initial Graphics Exchange Specification (IGES), The CAD-CAM Data Exchange Technical Center, Leeds

Bildirici Ö., 2003, Mekansal Veri Analizinde Point in Polygon Testi, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, 24-25-26 Eylül 2003 Konya

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

Byoung, K. C., Bo, H.K., 1997, Die-cavity pocketing via cutting simulation, *Computer-Aided Design*, 29(12), 837-846

Chen W., Zeng J., Li L., Ding Q., 2003, An approach to gouging avoidance for sculptured surface machining, , *Journal of Materials Processing Technology* 138, 458-460

Chih- Ching Lo, 1998, A new approach to CNC tool path generation , *Computer Aided Design* 30(8), 649-655

Choi, B.K., 1991, Surface Modeling for CAD/CAM, Elsevier Science Publishers, Great Britain

Choi, B.K., 1998, *Sculptured Surface Machining*, Kluwer Academic Publishers, Great Britain.

Choi, B.K., Kim, B.H, 1997, Die-cavity pocketing via cutting simulation, *Computer-Aided Design*, 29(12), 837-846.

Choi, B.K., 1988, Compound surface modeling and machining, *Computer Aided Design*, 20(3), 127-136

Choi, B.K., Jun, C.S., 1989, Ball-end cutter interference avoidance in NC machining of sculptured surfaces, *Computer Aided Design*, 21(6), 371-378

Chon, Y.J., 1997, The optimal toolpath generation of rough cutting for sculptured surfaces, PhD thesis, University of Illinois, Chicago.

Choy H.S., Chan K.W., 2003, A corner – looping based tool path for pocket milling, *Computer Aided Design* 35,155-166

DeGarmo, E.P., 1988, *Materials and Processing in Manufacturing*, Macmillan Pub.Co., New York.

Dharmaraj, V., Gau, Y.S., 1997, Selection of an optimal set of cutting-tool sizes for 2 ½ D pocket machining, *Computer-Aided Design*, 29(12), 869-877.

Ding S., and et all., 2003, Adaptive iso-planer tool path generation for machining of free form surfaces, *Computer-Aided Design*, 35, 141-143

Ding S., and et all., 2004, The implementation of adaptive isoplaner tool path generation for the machining of free form surfaces, *Int. Journal of Adv. Manuf. Technology*

Ding X.M., Fuh J. Y. H., 2001, Interference detection for 3-axis mold machining, , K.S. Lee, Computer –Aided Design 33, 561-569

Duncan, J.P., Mair, S.G., 1983, Sculptured Surfaces in Engineering and Medicine, Cambridge University Pres, London

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

Elmar W., Bert Jütler, 2004, Generating tool paths on surfaces for a numerically controlled calotte cutting system, Computer –Aided Design 36,325-331

Eungki L., 2003, Contour offset approach to spiral toolpath generation with constant scallop height, Computer –Aided Design 35, 511-518

Faux, I.D., Pratt, M.J., 1979, Computational Geometry for Design and Manufacture, Ellis Horwood – John Wiles&Soons, New York.

Farouki, R.T., 1986, The Approximation of Non-degenerate Offset Surfaces, Computer-Aided Geometric Design, 3(1), 15-43

Georg G., Johannes W., Helmut P., 1999, Collision – free 3-axis milling and selection of cutting tools, Computer-Aided Design 31, 649-655

Hatna A. R., Grieve J., Broomhead P., 1998, Automatic CNC milling of pockets:geometric and technological issues, Computer Integrated Manufacturing Systems 11(4), 309-330

Held, M., 1991, A Geometry-based Investigation of Tool Path Generation for Zigzag Pocket Machining, The Visual Computer, 7, 296-308

Held, M., Lukacs, G., and Andor, L., 1994, "Pocket Machining Based on Contour-Parallel Tool Paths Generated by Means of Proximity Maps," *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 3, pp 189-203.

Hon-yuen T., Haiyin X., Peter W.T., 2003, An algorithm for the interpolation of hybrid curves, , *Computer Aided Design* 35(8), 267-277

Hon-yuen T., Haiyin X., Zude Z., 2002, Iso- planar interpolation for the machining of implicit surfaces, , *Computer –Aided Design* 34, 125-136

Hsi-Yung F., Huiwen L., 2002, Constant scallop-height tool path generation for three-axis sculptured surface machining, *Computer –Aided Design* 34:647-65

Jensen, C.G., Andersen, D.C, (1993), Accurate tool placement and orientation for finish surface machining, *Journal of Design and Manufacturing*, 3, 251-61

Jerard, R.B., Hussaini, S.Z., Drysdale, R.L., Schaudt,B., 1989, Aproximate methods for simulation and verification of numerically controlled machining programs, *The Visual Computer*, 5(6)

Jerard, R.B., Angleton, J.M., Drysdale, R.L., Su, P., (1989), The Use of Surface Points Sets for Generation, Simulation, Verification and Automatic Correction of NC Machining Programs, *Design and Manufacxturing Sys.Con*, SME, USA, 143-148

Jordan, J. C., Yasuko, T., Heleman, R.P.F, Kent, E. K, Eric, L.M, 1993, Space filling curves in tool-path applications, *Computer-Aided Design*, 26(3), 215-224

Kim, K. I., Kim, K., 1995, A new machine strategy for sculptured surfaces using offset surfaces, *Int. J.Prod.Res.*, 33(6), 1683-1697

Koren, Y., 1996, Efficient Tool-Path Planning for Machining Free-Form Surfaces, *Journal of Engineering for Industry*,118, 20-28

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.

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.

Lee, Y.S., Koc, Bahattin., 1998, Ellipse-offset approach and inclined zig-zag method for multi- axis roughing of ruled surface pockets, *Computer –Aided Design* 30,957-971

Les P., Wayne T.,1997, *The Nurbs Book*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York

Lin Y. J., ve Lee T.S., 1999, An adaptive tool path generation algorithm for precision surface machining, *Computer-Aided Design* 31, 237–247

Manuel, D., Liang, M., Kolahan, F., 1996, A Dynamic Offsetting Approach to Tool Path Generation for Machining Convex Pockets, *Computers Industrial Engineering*, 31 (1/2), 135-138.

Mansour S., 2002, Automatic generation of part programs for milling sculptured surfaces, *Journal of Materials Processing Technology* 127, 31–39

Marshall, S., Griffiths, J.G., 1994, A survey of cutter path construction techniques for milling machines, *International Journal of Production Research*, 32(12), 2861-2877.

Marshall, S., Griffiths, J.G., 1994, A new cutter path topology for milling machines, *Compuer Aided Design*, 26(3), 204-214

Marshall, S., Griffiths, J.G., 1995, A new cutter Path construction technique for milling machines, *International Journal of Production Research*, 33(6), 1723-1736.

Park S. C., Choi B. K., 2003 , Free-form die-cavity pocketing, *Int. Journal of Adv. Manuf. Technology*, 22, 864-872

Park S. C., 2003, Tool-path generation for Z-constant contour machining, *Computer-Aided Design*, 35, 27-36

Person, H., 1978, NC machining of arbitrary shaped pockets, *Computer-Aided Design*, 10(3), 169-174.

Sandvik Coramant, 2001, Frezeleme takımları kataloğu, A 212

Sang C. Park, 2004, Sculptured surface machining using triangular mesh slicing, *Computer-Aided Design* 36, 279–288

Saito, T., Takashashi, T., 1991, NC Machining with G-Buffer method, *Computer Graphics*, 25(4), 207-216

Sarma R. ve Dutta D., 1997, An Integrated System for NC Machining of Multi-Patch Surfaces, *Computer Aided Design*, 29(11), 741,749

Soritis L. O, (2004), A locus tracing algorithm for cutter offsetting in CNC machining, *Robotics and Computer-Integrating Manufacturing* 20, 49-55

Suh, Y.S., Lee, K., 1990, NC milling toolpath generation for arbitrary pockets defined by sculptured surfaces, *Computer-Aided Design*, 22(5), 273-284

Tao Chen ve Peiqing Ye, 2002, A tool path generation strategy for sculptured surfaces machining, *Journal of Material Processing Technology*, 127, 369-373

Tiler, W., Hanson, E.G., 1984, Offset of Two-Dimensional Profiles, IEEE Computer Graphics & Applications, 36-46

Yang D.C.H., Han Z., 1999, Interference detection and optimal tool selection in 3-axis NC machining of free-form surfaces, Computer –Aided Design 31, 303-315

Yin Z., Jiang S., 2004, Iso-phone based adaptive surface fitting to digitized points and its applications in region-based tool path generation, slicing and surface triangulation, Computer in Industry 55, 15-28

Yong J. Chon, 1997, The optimal tool path generation of rough cutting for sculptured surfaces, PHD thesis, University of Illinois at Chicago,

Yong, S. S, Kunwoo, L., (1990), NC milling tool path generation for arbitrary pockets defined by sculptured surfaces, Computer-Aided Design, 22(5), 273-283

Yongfu R., Hong T.Y., Yuan-Shin L., 2004, Clean –up tool path generation by contraction tool method for machining complex polyhedral models, Computer in Industry, 54,17-33

Z. Yin, 2004, Rough and finish tool-path generation for NC machining of freeform surfaces based on a multiresolution method, Computer-Aided Design 36, 1231–1239

Zezhong C.C., , Zuomin D., Geoffrey W.V., 2003, Automated surface subdivision and tool path generation for 3 ½ axis CNC machining of sculptured parts, Computer in Industry 50, 319-331

EK 1

IGES VERİ DEĞİŞİM STANDARDI

IGES (Initial Graphics Exchange Specification - İlk Grafik Değişirme Tarifnamesi) veri değişim formatı, 1979 yılında Amerika BDT/BDÜ satıcıları tarafından geliştirilmeye başlanmış ve 1981 yılında ANSI standardına adapte edilmiştir. Bugünkü versiyonu 6.0'dır. (Bradford S., Gaylen R. R, Wright T., 1998)

IGES dosyaları üç formda saklanabilirler; ASCII, Binary yada sıkıştırılmış. Bunlardan en sık kullanılan form ASCII'dir. Tez çalışmasında da ASCII yapısındaki IGES dosyaları kullanılmıştır. ASCII dosya, kendi içerisinde bir satırda 80 karakter olacak şekilde bölünmüştür. Alan sonlandırıcı olarak 'virgül', varlıklar arasındaki kayıt sonlandırıcısı olarak ta 'noktalı virgül' kullanılmaktadır. Her iki sonlandırıcı da değişebilir fakat bu çok nadir görülen bir şeydir.

Dosya kendi içerisinde 5 bölüme ayrılır; Başlangıç, Ayrıntı, Adres bilgileri, Parametrik Veri ve Sonlandırıcı bölümleridir. Her bölüm kendini tanımlayıcı S,G,D,P yada T karakterlere sahiptir ve bunlar bölümün her satırında 73. karakter pozisyonunda kayıtlıdır. Her bölüm 1'den ileriye doğru numaralanmıştır ve bu numarayı tanımlayan karakteri izler. Örnek olarak dosyanın her satırındaki 74-80 arası karakterler.

Başlangıç bölümü, dosyanın yaratıldığı sistem ve kullanıcı ayarları hakkında kullanışlı bilgiler içerir. Bu bölüm en az bir boş satır içermelidir fakat verilen sistem bilgilerini bulundurması için birden fazla satır içerebilir.

Ayrıntı bölümü, dosyanın bütününe etkileyen genel parametreleri içerir. IGES versiyon 6.0'da gerektiğinde birçoğu varsayılan olarak belirtilebilecek 26 alan vardır. Bu parametreler minimum çözünürlük (3 boyutta, objeler arası minimum

uygunluk mesafesi), dosya yaratma tarih ve saati, kullanılan birim, dosyayı yaratan sistemin versiyonu, IGES versiyonu vb. bilgileri içermektedir.

Adres bilgileri (DE) bölümü, her varlık için adres bilgisi içerir. Her DE bölümü iki satırdan oluşur, örnek olarak 160 karakter. Bu yüzden her DE satırı numarası tek sayılardan oluşur (örnek olarak 1,3,5) ve bu numara ile referanslanır. Örnek olarak DE33, 33 ve 34 numaralı satırların datalarından oluşmaktadır. Her DE varlığın tipine uygun data içerir, örnek olarak varlık tipi (Tablo 6.1), rengi, bulunduğu katman vs.

Varlık numarası ve DE numarası arasındaki haritalama şöyledir;

varlık numarası : DE numarası

$$n \quad (n*2) - 1$$

Örnek olarak, varlık 1, DE1'de; varlık 2, DE3'tedir.

Çizelge 6.1 Varlık tipine ait örnek

DEX PROCESSOR Ver 1.5								9	1	Başlangıç Bölümü
128	1	0	1	0	0	0	000000000	1	1	
128	0	8	175	0	0	0	000000000	2	2	
128	176	0	1	0	0	0	000000000	3	3	DE Bölümü
128	0	8	7330	0	0	0	000000000	4	4	
128	7506	0	1	0	0	0	000000000	5	5	

Parametrik veri bölümü, her varlık için gerçek veriyi bulundurur. Örnek olarak, koordinat değerleri, DE ve diğer varlıklara yönlendiren işaretleyiciler gibi. Her varlığın formatı farklıdır fakat özel bilgi gerekiyorsa her varlık IGES standardı içinde tam olarak tanımlanır.

Sonlandırıcı bölümü, dosyasının sonunu işaretler. Bu bölüm sadece bir kayda sahiptir ve her dört bölümde kaç satır yer aldığı bilgisini tutar. Bu bölüm kontrol amaçlı kullanılır.

-5.22104,24.88407,164.02591,-4.95451,24.75541,163.99087,	231P	9340	Parametrik Veri Bölümü
-4.68731,24.6351,163.95843,-4.41942,24.59411,163.93103,-4.17863,	231P	9341	
24.44012,163.90539,-3.53887,24.35287,163.88146,-3.70014,	231P	9342	
24.27212,163.8892,-3.46343,24.19763,163.83858,-3.22576,24.1292,	231P	9343	
163.81955,-2.99012,24.07169,163.8035,-2.77532,24.01905,	231P	9344	
163.78875,-2.56179,23.97114,163.7753,-2.34822,23.92782,	231P	9345	
163.76309,-2.1285,23.88898,163.75213,-1.92874,23.8545,163.74237,	231P	9346	
-1.72024,23.82428,163.7338,-1.513,23.79704,163.72606,-1.2967,	231P	9347	
23.77412,163.71954,-1.08045,23.75546,163.71423,-0.86425,23.741,	231P	9348	
163.7101,-0.64811,23.73049,163.70716,-0.43202,23.7248,163.70539,	231P	9349	
-0.21598,23.72241,163.70479,0.,25.06161,164.07241,0.,26.72354,	231P	9350	
164.49135,0.,26.11734,164.81369,0.,29.65292,165.13969,0.;	231P	9351	
142,0,221,229,231,0;	233P	9352	
S 1G 3B 234P 9352	T	1	

Yukarıdaki örneğin DE bölümünde de görüleceği üzere, satır başlarında bulunan rakamlardan IGES dosya içerisinde bulunan varlıkların tipleri saptanabilmektedir. Bu örneğin ilk 5 satırında Rational B-Spline Surface'in adreslemeleri yapılmıştır.

Bir IGES dosyanın içerisinde herhangi bir editör ile bakacak olursak, dosyayı import etmeden önce de oluşturulacak varlıklar hakkında bilgi sahibi olabiliriz.

IGES Tipi	Açıklaması
000	Null
100	Circular Arc
102	Composite Curve
104	Conic Arc
106	Copious Data
108	Plane
110	Line
112	Parametric Spline Curve
114	Parametric Spline Surface
116	Point
118	Ruled Surface
120	Surface of Revolution
122	Tabulated Cylinder
124	Transformation Matrix
125	Flash Entity
126	Rational B-Spline Curve
128	Rational B-Spline Surface
130	Offset Curve Entity
132	Connect Point
134	Node
136	Finite Element
138	Nodal Displacement and Rotation
140	Offset Surface Entity
141	Boundary
142	Curve on a Parametric Surface
143	Bounded Surface
144	Trimmed Parametric Surface
146	Nodal Results
148	Element Results
150	Block Entity

152	Right Angular Wedge
154	Right Circular Cylinder
156	Right Circular Cone Frustum
158	Sphere
160	Torus
162	Solid of Revolution
164	Solid of Linear Extrusion
168	Ellipsoid
180	Boolean Tree
182	Selected Component
184	Solid Assembly
186	Manifold Solid B-Rep Object
190	Plane Surface
192	Right Circular Surface
194	Right Circular Conical Surface
196	Spherical Surface
198	Toroidal Surface
202	Angular Dimension
206	Diameter Dimension
208	Flag Note
210	General Label
212	General Note
213	New General Note
214	Leader
216	Linear Dimension
218	Ordinate Dimension
220	Point Dimension
222	Radial Dimension
228	General Symbol
230	Sectioned Area
302	Associativity Definition
304	Line Font Definition
308	Subfigure Definition
310	Text Font Definition
312	Text Display Template
314	Color Definition
316	Units Data
320	Network Subfigure Definitions
322	Attribute Table Definition
402	Associativity Instance
404	Drawing
406	Property
408	Singular Subfigure Instance
410	View
412	Rectangular Array Subfigure Instance
414	Circular Array Subfigure Instance
416	External Reference
418	Nodal Load/Constraint
420	Network Subfigure Instance
422	Attribute Table Instance
430	Solid Instance
502	Vertex
504	Edge
508	Loop
510	Face
514	Shell

Ek 2

APT DEYİMLERİ

PARTNO

PARTNO

Bu deyim bir CLDATA dosyasında ilk deyim olarak tanımlanmalıdır. Parça programın ismini belirtir.

Örnek:

PARTNO DISLI

FINI DEYİMİ

Bu deyim parça işleme programının sonunu tanımlamaktadır ve en sonda yer alan komuttur.

Örnek

GOTO / -109.1863006898, 132.9001764290, -29.0434476924

GOTO / -116.6247231005, 126.4226829327, -12.0000010546

GOTO / -116.6247231005, 126.4226829327, 5.0000000000

COOLNT / OFF

SPINDL / OFF

REMARK -> END /

FINI

UNITS DEYİMİ

Bu deyim kullanılan ölçü birimini belirtmek için kullanılmaktadır.

$$UNITS / \left\{ \begin{array}{c} INCHES \\ MM \end{array} \right\}$$

ÖRNEK:

UNITS / MM

CUTTER DEYİMİ

Kesici takımın belirtilmesi için kullanılan deyimdir.

CUTTER/d,r

Burada d kesici çapını, r ise köşe radyüsünü belirtmektedir. R kullanılmazsa takım düz uçlu parmak freze olduğu anlaşılmaktadır.

Örnek:

CUTTER/10,2 (10 mm çapında ve köşe radyüsü 2 mm)

CUTTER/10 (10 mm çapında düz uçlu parmak freze)

LOADTL DEYİMİ

Takım değiştirmek için kullanılır.

LOADTL / n1, OSETNO, n2

n1: Takım numarasını

n2: Kaydırma numarasını belirtir.

Örnek:

LOADTL / 2, OSETNO, 2

SPINDL DEYİMİ

İş mili devir sayısını belirtmek için kullanılmaktadır.

$$SPINDL / RPM, S, \left\{ \frac{CLW}{CCLW} \right\}$$

Burada S: İş mili devir sayısını,

CLW: Dönme yönünün saat yönünde olduğunu

CCLW: Dönme yönünün saat tersi yönünde olduğunu

Örnek:

SPINDL / RPM, 750.000000, CLW

COOLNT DEYİMİ

Soğutma sıvısının açılıp kapanması için kullanılan deyimdir.

$$COOLNT / \left\{ \frac{ON}{OFF} \right\}$$

Örnek:

COOLNT / ON

COOLNT / OFF

RAPID DEYİMİ

Kesici hareketinin hızlı olduğunu belirtmektedir. Boşta yapılan hareketler için (kesme işlemi olmadığındaki hareketler için) kullanılmaktadır. Sonraki satırlardan birinde FEDRAT komutu ile karşılaşıncaya kadar geçerlidir.

FEDRAT DEYİMİ

Takımın ilerleme hızını belirtmektedir.

$$FEDRAT \left\{ \begin{matrix} mpm \\ mpr \end{matrix} \right\}, f$$

mpm: İlerleme miktarının mm/dakika olduğunu

mpr: İlerleme miktarının mm/devir olduğunu belirtmektedir.

Örnek:

FEDRAT/mpm,200 (İlerleme miktarı 200 mm/dakika)

FEDRAT/mpr,0.2 (İlerleme miktarı 0,2 mm/dv)

FEDRAT/mpm,200 seçeneğini kullanacağız.

GOTO DEYİMİ

Noktadan noktaya hareketi belirtmek için kullanılmaktadır.

GOTO/x,y,z

GOTO/10,25,-9 ([10,25,-9] noktasına doğrusal hareket)

Örnek bir kesici konum verileri dosyası

```
PARTNO / 30_DERECE
UNITS / MM
LOADTL / 2, OSETNO, 2
CUTTER / 16.000000
SPINDL / RPM, 750.000000, CLW
COOLNT / ON
RAPID
GOTO / -120.4267959969, 86.5462717361, 5.0000000000
FEDRAT / 100.000000, MMPM
GOTO / -120.4267959969, 86.5462717361, -2.0000000000
GOTO / -125.2492705250, 86.5462717361, -2.0000000000
GOTO / -131.1964389200, 91.3979091110, -2.0000000000
GOTO / -116.7874659772, 91.3979091110, -2.0000000000
GOTO / -93.0717985402, 135.0626454852, -2.0000000000
GOTO / -96.7853975185, 139.9142828601, -4.0000000000
GOTO / -93.0717985402, 135.0626454852, -4.0000000000
GOTO / -106.0140139686, 135.0626454852, -4.0000000000
GOTO / -106.0140152496, 135.0626468371, -4.0000000000
COOLNT / OFF
SPINDL / OFF
FINI
```