



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARMAŞIK ŞEKİLLİ KALIP BOŞLUĞUNUN İŞLENMESİNDE OPTİMUM TAKIM SEÇİMİ

Mehmet METİN

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KARMAŞIK ŞEKİLLİ KALIP BOŞLUĞUNUN İŞLENMESİNDE OPTİMUM TAKIM SEÇİMİ

Mehmet METİN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr.Ali ÜNÜVAR

2016, 138 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR
Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI
Yrd. Doç. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN
Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Karmaşık şekilli kalıp boşluğunun işlenmesinde takım seçimi, genellikle tecrübeye dayanarak yapılmaktadır. Bu işlemde uygun seçilmeyen her bir takımın parça üzerinde bıraktığı kalıntı hacmi, başka bir takım tarafından uzun bir sürede kaldırılmaktadır. Böylelikle her seçilen uygun olmayan takım, artan takım yaklaşması ve geri çekilmesi süreleri ve uygun olmayan takım setlerinin kullanılmasından dolayı işleme sürelerinin uzun olmasına neden olmakta ve istenilen parçanın elde edilmesi için gereken süre artmaktadır. Bu durum parça başına üretim maliyetlerini de artırmaktadır. Sayısal denetimli tezgâhlarda işlemede uygun takım seçimi, işleme zamanını bir hayli azaltabilir. Sınırlı bir takım sayısı kullanılabilir. Bu çalışmada karmaşık kalıp boşluğunun 2 ½ eksende kaba işlenmesi için yeni bir takım seçimi metodolojisi geliştirilmiştir. İş parçasının 3 boyutlu katı modeli STL verisi olarak kaydedilmiştir. Takım seçimi için gerekli veri tabanı ile bilgi tabanı oluşturulmuş ve kesici takım seçiminin sistematik modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımla aday çakılar için uygun bölgeler takım yolu oluşumu öncesi belirlenmiştir. Sonra farklı takım kombinasyonları için işleme zamanı, takım ilerleme hızı ve uygun bölge alanları esas alınarak tahmin edilmiştir. İş parçasını minimum zamanla işleyebilen takım seti optimal aday takımlar olarak belirlenmektedir. Sistem çeşitli endüstriyel parçalarla test edilmiş ve etkin ve efektif olarak seçildiği kanıtlanmıştır. Takım seçiminin sayısal denetimli olması işin kalitesini artıracağı gibi işleme zamanını ve toplam maliyetleri de minimize edecektir.

Anahtar Kelimeler: kaba işleme, karmaşık şekilli kalıp, optimal aday takımlar, STL,

ABSTRACT

Ph.D THESIS

OPTIMUM TOOL SELECTION IN COMPLEX SHAPE DIE/MOULD CAVITY MACHINING

Mehmet METİN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof.Dr.Ali ÜNÜVAR

2016, 138 Pages

Jury
Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR
Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI
Assist. Prof. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU
Assist. Prof. Dr. Ahmet CAN
Assist. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ

In machining of complex die/mold cavity, tool selection generally is performed based on experience. In this process, residual volume on part left behind by any inapropriate tool is machined by another tool in prolong time. So any selected inappropriate tool causes to long machining time because of tool approach and retreat times and use of inappropriate tool sets and machining time of die/mold increases. Also production cost per part increases. Therefore selection of proper tool highly decreases machining time in machining on NC machine tool. Number of tool to be used can be decreased. In this study, a new tool selection methodology for 2 ½ axis rough machining of complex die/mold cavity was developed. STL data obtained from 3D solid model of die was recorded and uploaded to the developed software. The required information and data for tool selection was created and the systematic modelling of tool selection was realized. In this approach candidate tools for feasible regions determined ago from tool path creation. Hence machining time for different tool combinations estimated based on tool feed rate and feasible region areas. Tool sets that machine in the minimum machining time define optimal candidate tools. System was tested on industrial parts and It has proven that the effective and efficient selection for tool sets was made. Tool selection for NC machining increases quality of work and also minimize machining time and cost per part.

Keywords: Rough machining, complex shaped die/mold, optimal candidate tool, STL

ÖNSÖZ

Uzun süren uğraşlar sonunda meydana getirilen optimum takım seçimi programının ülkemiz için bir katkı sağlamasını temenni ediyorum. Bu çalışmada danışman hocam Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR hocama beni disiplinli bir şekilde çalışmaya sevk etmesinden ve tecrübelerini benden esirgememesinde dolayı, ayrıca Yrd. Doç. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN hocama bilgilerinden yararlanmış olmamdan dolayı, programın yapımında emeği geçen GM Bilişim firması yetkilileri Mehmet ÖZCAN bey, Bahadır ÇEKİRGE bey ve Esra ÇEKİRGE hanıma teknik desteklerinden dolayı, aile bireylerimden eşime ve çocuklarıma sabırlarından ve yardımlarından dolayı, annem, babam ve ablamın ise her türlü desteklerinden dolayı teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mehmet METİN
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

1 GİRİŞ **1**

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3 TEORİK ESASLAR **18**

3.1 Kontur Çizgileri Arası Kritik Mesafe Tesbitine Göre Takım Seçimi 18
3.1.1 Optimizasyon Metodolojisi 20
3.1.2 Optimizasyon Matematiksel Modeli 21
3.1.3 İlgili Çözüm Algoritmaları 23
3.1.4 Sistem Modüllerinin Oluşturulması 28
3.2 İzafi Kalıntı Hacim İşleme Miktarına Göre Takım Seçimi 31
3.2.1 Takım Sıralama ve Takım Seçimi 32
3.2.2 Takım Erişim Hacmi(Tool Access Volume(TAV)) Hesaplaması 33
3.2.3 TAD ve DVCD Eğrileri 35
3.2.4 Takım Seçim Metodolojisi 38
3.2.5 İzafi Kalıntı Hacim İşleme (RDVC) Grafiği 38
3.2.6 Optimum Takım Sıralaması 39
3.3 Optimum Takım ve İşleme Düzlemlerinin Belirlenmesi 41

4 MATERYAL VE YÖNTEM **48**

4.1 CAD Verisinin STL Verisi Haline Dönüştürülmesi 51
4.2 STL Verisinin C Sharp Programına Aktarılması 53
4.3 Kesme Düzleminin Belirlenmesi ve Tabakalandırma İşlemi 54
4.4 Tabakalarda İlgili STL Üçgenlerinin Tespiti 55
4.5 Tabakalarda STL Üçgenleri ile Düzlem Kesiştirme İşlemi 55
4.6 Tabakalarda Loop Oluşturulması 59
4.7 İç ve Dış Loop'ların Belirlenmesi 60
4.8 İç ve Dış Loop'ların Ofsetlenmesi 62
4.9 Loop Alanlarının Belirlenmesi 68
4.10 Loop'lar Arası Kritik Mesafelerin Belirlenmesi 70
4.11 Tabakalarda Kullanılacak En Büyük ve En Küçük Takımların Belirlenmesi 72
4.12 Tabakalarda Takım Yollarının Oluşturulması 73
4.13 Veri tabanının Oluşturulması 77
4.13.1 İş parçası malzeme bilgileri 78
4.13.2 Kesici takım malzeme bilgileri 82
4.13.3 Kesme parametreleri 84
4.13.4 Kesici takım geometri ve diğer bilgileri 87
4.14 Bilgi Tabanının Oluşturulması 91
4.14.1 Kesme parametreleri seçim kuralları 92

4.14.2 Hesaplamalar 96
4.15 Sonuç Motoru 105
4.16 Takım Seçimi ve Optimizasyonu Programı 107
4.16.1 Dosya Menüsü(STL dosya formatının programa aktarılması) 107
4.16.2 Parametreler(Takım, Tezgah ve İş Parçası Bilgilerinin Girilmesi) 108
4.16.3 Başlat Menüsü(Programın çalıştırılıp durdurulması) 110
4.16.4 Çıktı(Hesaplama Sonuçları, Takım seçimleri, Optimizasyon Sonuçları) 111

5 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 112

5.1 Hesaplamalarda kullanılacak parametreler 112
5.2 Hesaplamalar Sonucu Elde Edilen Parametre Sonuçlar 113
5.3 Dilimleme Katmanlarında Takım Uygunluklarının Belirlenmesi 113
5.4 Dilimleme Katmanlarında Optimum Tekli Takım Seçimi 115
5.5 Dilimleme Katmanlarında Optimum Çoklu Takım Seçimi 115
5.6 Kesme Tabakalarının Belirlenmesi ve İşleme Verilerinin Revize Edilmesi .. 117
5.7 Tecrübeye Dayalı Takım Seçimi Verilerinin Kıyaslanması 118
5.8 Tecrübeye Dayalı Takım Seçimi ile Geliştirilen Sisteme Dayalı Takım Seçimi Verilerinin Kıyaslanması 119

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 121

6.1 Sonuçlar 121
6.2 Öneriler 122

KAYNAKLAR 123

7 ÖZGEÇMİŞ 138

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ϑ	Kesme hızı	m/dk
D	Takım çapı	mm
V_f	İlerleme	mm/dk
f_z	Diş başına ilerleme	mm/diş
z	Diş sayısı	Adet
κ	Takım temas açısı	Derece
a_p	Eksenel kesme deriniği	mm
a_e	Radyal kesme deriniği	mm
k_s	Özgül kesme gerilmesi	N/mm^2
n	Tezgah devri	d/dk
b	Talaş genişliği	mm
h_m	Talaş ortalama kalınlığı	mm
k_s	Özgül kesme gerilmesi	N/mm^2
F_z	Ortalama kesme kuvveti	N
P_m	Tezgah gücü	kW
η	Tezgah verim	%
I	Atalet momenti	mm^4
L	Takım bağlama boyu	mm
E	Elastiklik Modülü	N/mm^2
δ	Deformasyon miktarı	mm
MRR	Malzeme kaldırma debisi	cm^3/dk
α	Titanyum alaşım türü	
β	Titanyum alaşım türü	

Kısaltmalar

IP	Sayısal Programlama
DP	Dinamik Programlama
NC	Nümerik Kontrol
CMC	Sandvik Malzeme Kodu
CNC	Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol
CAD	Bilgisayar Destekli Çizim
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim
NUBS	Düzensiz B-Spline
NURBS	Düzensiz Rasyonel B-Spline
STL	Yüzeyin Üçgenlerle temsili
MRR	Malzeme Kaldırma Debisi
HSS	Yüksek Hız Çeliği
TS	Türk Standartları
EN	Avrupa Standartları
ISO	Dünya Standartları
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
SAE	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
DIN	Alman Standardlar Enstitüsü
Al	Alüminyum
Si	Silikon
Ti	Titanyum

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Dilimleme ve Kesme Düzlemleri 21
Şekil 3.2 Segmentlerden Oluşan Loop'lar..... 25
Şekil 3.3 Amaçlanan Algoritmaya Dayalı Loop'ların Oluşturulması 25
Şekil 3.4 İç ve Dış Loop'lar 26
Şekil 3.5 Kritik Mesafenin Şematik Gösterimi..... 27
Şekil 3.6 Sistemin Girdi ve Çıktıları..... 28
Şekil 3.7 CATS Sisteminin Ana Modülleri 29
Şekil 3.8 Takım Seçiminde Hangi Takımların Optimum Olduğu Çelişkisi 32
Şekil 3.9 TAV Prosedürü..... 34
Şekil 3.10 Parça 3'ün Seçilen 2 Unsuru için Takım Ölçüleri 35
Şekil 3.11 Takım Erişim Dağılımı ve Parça Örnek İşleme Hacmi 36
Şekil 3.12 Kalıntı Hacim İşleme Dağılım Eğrisi(DVCD) 37
Şekil 3.13 Parça için İzafi Kalıntı Hacim İşleme Diyagramı 39
Şekil 3.14 Seçilen 1 Set Unsur için Optimum Takım Sıralamasını Gösteren Takım Seçim Arayüzü..... 40
Şekil 3.15 Önerilen Optimum Takım Seçimi ve Takım Değişim Sıralaması..... 41
Şekil 3.16 Dilimleme(HP) ve İşleme Düzlemleri(MP) 42
Şekil 3.17 İşleme düzlemindeki kritik takım çapının belirlenmesi 43
Şekil 3.18 Dilimleme tabakalarının birleştirilmesi ile kesme tabakalarının oluşturulması ve takım seçimi 44
Şekil 3.19 2 Aşamalı optimizasyon algoritması 46
Şekil 3.20 Ters planlama prosesi şematik gösterimi..... 47
Şekil 4.1 3 boyutlu kalıp boşluğu örneği 51
Şekil 4.2 3 boyutlu cismin STL dosyası olarak kaydedilmesi 51
Şekil 4.3 STL dosyasının hassasiyetinin ayarlanması 52
Şekil 4.4 3 boyutlu cismin STL olarak temsili 52
Şekil 4.5 3 boyutlu cismin STL verilerinin kaydedilmesi 53
Şekil 4.6 3 boyutlu cismin STL verilerinin C Sharp programına aktarılması 53
Şekil 4.7 3 boyutlu cismin "z" ekseninde kesme düzleminin oluşturulması 54
Şekil 4.8 3 boyutlu cismin "z" ekseninde tabakalandırma işlemi..... 54
Şekil 4.9 3 boyutlu cismin "z" ekseninde tabakalandırma işlemi esnasında oluşturulan kesme düzlemlerinin kesiştiği üçgenlerin tesbit edilmesi gösteren temsili şekil..... 55

Şekil 4.10 Tabakalarda ilgili STL üçgenlerinin tespiti için geliştirilen algoritma..... 56
Şekil 4.11 Tabakalarda STL üçgenleri ile düzlem kesiştirme işlemi 57
Şekil 4.12 Tabakalarda ilgili STL üçgenlerinin düzlemle kesişiminden meydana gelen temas noktalarının tesbiti için geliştirilen algoritma..... 58
Şekil 4.13 Tabakalarda loop'ların oluşturulması algoritması 59
Şekil 4.14 İç ve dış loop'ların belirlenmesi için temsili çizim 60
Şekil 4.15 İç ve dış loop'ların belirlenmesi için geliştirilen algoritma..... 61
Şekil 4.16 İç ve dış loop'ların küçük takım çapı ile ofsetlenmesi 62
Şekil 4.17 İç ve dış loop'ların büyük takım çapı ile ofsetlenmesi 63
Şekil 4.18 Loop'ların farklı takım çapları ile ofsetlenmesi 63
Şekil 4.19 Temsili bir kalıp parçasına ait iç ve dış loop'lar 64
Şekil 4.20 İç loop'ların içe doğru dış loop'ların ise dışa doğru ofsetlenmesi 64
Şekil 4.21 Ofsetlemede oluşan süreksizliklerin ve fazlalıkların tesbit edilmesi..... 65
Şekil 4.22 Ofsetlemede oluşan süreksizliklerin sürekli hale getirilmesi 66
Şekil 4.23 Ofsetlerde dönüş yönü ve kesişimlerin belirlenmesi..... 66
Şekil 4.24 İç ve dış ofsetlerdeki kesişimler sonrasında ofsetlerin birleştirilmesi..... 67
Şekil 4.25 İşlenecek alanların belirlenmesi 67
Şekil 4.26 İşlenecek alanlarda temsili takım yollarının oluşturulması 68
Şekil 4.27 Loop alanlarının belirlenmesi için örnek çizim..... 68
Şekil 4.28 Loop'ların alanlarının belirlenmesi için geliştirilen algoritma..... 69
Şekil 4.29 Loop'lar arası kritik mesafenin belirlenmesi için geliştirilen algoritma 71
Şekil 4.30 Seçilen takımlar arasından en küçük çapa sahip takım 72
Şekil 4.31 Seçilen takımlar arasından en büyük çapa sahip takım 73
Şekil 4.32 Seçilen takımlar arasından kalıntı hacmi istenilen seviyede tutan en büyük takım 73
Şekil 4.33 Takım yollarının şematik gösterimi..... 74
Şekil 4.34 Çarpma ve dalmaya karşın kontur tipi işleme 74
Şekil 4.35 Karmaşık şekilli bir cismin tabakalandırılması ve her bir tabakada karma takım yolları oluşturulması 75
Şekil 4.36 Takım yolu oluşturulması algoritması 76
Şekil 4.37 Zig-Zag takım yollarının oluşturulması..... 77
Şekil 4.38 Kesici takımların özeliklerinin karşılaştırılması..... 83
Şekil 4.39 Parmak frezeler ve takım tutucuları..... 87
Şekil 4.40 Parmak freze geometrisi 89

Şekil 4.41 Takma uçlu freze geometrisi 89
Şekil 4.42 Takma uçlu tarama çakısı geometrisi 90
Şekil 4.43 Takma uçlu tarama çakısı uç geometrileri 90
Şekil 4.44 Takma uçların işleme türüne göre kodlamaları 91
Şekil 4.45 Takma uçların iş parçası malzeme türü, uzunluk ve uç radüsüne göre sınıflandırılması 91
Şekil 4.46 Parmak frezeler ve takma uçlu frezeler için kesme hızı ve diş başına ilerleme parametrelerinin tesbitinde kullanılan algoritma 93
Şekil 4.47 Kesici takımın kesme işlemi esnasındaki kesme parametrelerinin gösterim 96
Şekil 4.48 Kesici takımın eğilme deformasyonu gösterimi 99
Şekil 4.49 Kesici takımın diş başı ilerleme ve devir başına ilerlemenin gösterimi 99
Şekil 4.50 Eğilme deformasyonu ve tezgah gücü sınırlamaları hesaplamalarının yapılarak optimum diş başı ilerlemenin ve minimum çaplı takımın tesbit edildiği algoritma 102
Şekil 4.51 Tüm tabakalardaki takım setlerinin belirlenmesi 104
Şekil 4.52 Tabakaların birleştirilerek takım setlerinin optimize edilmesi algoritması . 105
Şekil 4.53 Kaba işlemede kalıp boşluğunun dilimleme sonucu oluşan dilimleme tabakaları ve bu tabakaların birleştirilmesi ile oluşan kesme tabakaları 106
Şekil 4.54 3 boyutlu kalıp boşluğuna ait dilimleme tabakaları, bu tabakaların birleştirilmesinden oluşan ,kesme tabakaları ve tabakalara ait takımların şematik gösterimi 106
Şekil 4.55 Takım seçimi programına iş parçası koordinat bilgilerinin aktarılması 107
Şekil 4.56 Program tezgah tanımlama arayüzü 108
Şekil 4.57 Program kesici takım ve iş parçası tanımlama 109
Şekil 4.58 Takım yolları oluşturulması arayüzü 110
Şekil 4.59 Takım seçimi ve hesaplama sonuçları arayüzü 111
Şekil 5.1Üzerinde çalışma yapılan örnek kalıp 112
Şekil 5.2 Büyük takımdan kaynaklanan kalıntı alanların daha küçük takım kullanılarak işlenmesi 116

TABLOLAR

Tablo 2.1 Kaynak araştırmasında 1991-2011 yılları arası yapılan çalışmalardaki izlenen yöntemler 16
Tablo 4.1 İş parçası malzemesi ve sınıflandırma kodu seçimi tablosu..... 81
Tablo 4.2 Sıcak iş takım çelikleri ve kimyasal bileşimleri 82
Tablo 4.3 Sıcak işlem çelikleri ısıl işlem durumu ve mekanik özellikleri..... 82
Tablo 4.4 Parmak frezeler için uc kalitesi seçim tablosu 84
Tablo 4.5 Takma uçlu frezeler için uç kalitesi seçimi 84
Tablo 4.6 20mm çap'a kadar ki parmak frezeler için kesme hızı(Ve) tayini 85
Tablo 4.7 20mm çap'a kadar ki parmak frezeler için diş başı ilerleme(fz) tayini 85
Tablo 4.8 20-150mm çap'a kadar ki parmak frezeler için kesme hızı(Ve) tayini 86
Tablo 4.9 20-150mm çap'a kadar ki parmak frezeler için diş başı ilerleme(fz) tayini... 86
Tablo 4.10 Özgül kesme gerilmesi seçimi tablosu 87
Tablo 4.11 Takım çapı, diş sayısı, takım boyu tablosu..... 88
Tablo 4.12 Genel parmak frezeler ile yüksek hızlı parmak frezeleri karşılaştırma 89
Tablo 5.1 4-25mm çap'a sahip takımlar için hesaplamalarda kull. parametreler 112
Tablo 5.2 4-25mm çap'a sahip takımlar için hesap. sonucu elde edilen parametreler.. 113
Tablo 5.3 Dilimleme katmanları(HP) için takım uygunluk tablosu 114
Tablo 5.4 Dilimleme Katmanlarında(HP) optimum tekli takım seçimi tablosu..... 115
Tablo 5.5 Dilimleme Katmanlarında(HP) optimum çoklu takım seçimi..... 116
Tablo 5.6 Dilimleme Katmanlarının(HP) birleştirilmesi ile Kesme Tabakalarının(MP) ve işleme verilerinin oluşturulması..... 117
Tablo 5.7 Tecrübeye dayalı takım seçimi 118
Tablo 5.8 Program tarafın oluşturulan takımlar ile diğer yöntemlerle bulunan takımların oluşturduğu işleme zamanlarının karşılaştırılması 120

1 GİRİŞ

İmalat sanayiinde bir parçanın üretim maliyeti parçanın imalat zamanına büyük ölçü de bağlıdır. Talaş kaldırma parametrelerinin ve takımların seçimi imalat zamanını azaltmak ve takım ömrünü artırmak için uygun olarak seçilmelidir. İmalat mühendisleri için takım seçiminin oldukça zor olduğu kanıtlanmıştır. Kullanılan ve önerilen metotlar takım değişim sayısı ve toplam işleme zamanını minimize etme eğilimi göstermektedir. İşleme zamanında herhangi bir azalma doğrudan üretim maliyetinde tasarruf sağlayacağından dolayı, böyle bir problemi çözmek imalat mühendisleri ve proses planlamacıları için bir görevdir.

Plastik ve hafif metallerden parçalar üretiminde kullanılan kalıplarda genellikle karmaşık şekilli yüzeylerle temsil edilirler. Düzensiz eğriliklere sahip bu yüzeylerden dolayı karmaşık yüzeyli parçaların işlenmesi güçtür. Bilgisayar destekli teknolojilerin gelişimi ile, karmaşık şekilli yüzeylerin tasarım ve imalatı son yıllarda çok önem kazandı. Bu teknolojiler arasında yer alan nümerik kontrollü tezgâhlar karmaşık yüzeylere sahip parçaların işlenmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. NC tezgahlarında parçaların ve kalıpların dolu malzemeden işlenmesi günler ya da haftalar alabilmektedir.

Karmaşık yüzeyli kalıpların işlenmesi kaba ve son işlemeyi içerir. Kaba işleme ham maddeden fazla malzemeyi kaldırmak, son işlem ise kaba işleme sonu kalan kalıp yüzeylerinde artık malzemeyi kaldırmaktır. Genel olarak kaba işlemde kaldırılan hacim son işlemde kaldırılan hacmin beş on mislidir. Böylece kaba işlem zamanında azalma prodüktiviteyi bir hayli artırır ve daha düşük imalat maliyetlerine yol açar. Bu nedenle kaba talaş kaldırmanın işleme verimliliği NC işlemede ana amaç olmaktadır. Kaba işlem verimliliğini artırmak için takımın maksimum kesme derinliklerinde işlem yapabileceği bir işleme düzleminde çalışması için en büyük takımı seçmek gerekir. Karmaşık yüzeyler nedeniyle farklı işleme düzlemleri farklı sınır konturlarına sahiptir. Bu da takım seçimini sınırlandırır. Üstelik işleme düzleminin derinliği kaba işlem derinliğini sınırlandırabilir. Bu nedenle NC işleme problemlerinde takım seçimi ve işleme düzleminin tayininin her ikisini de birlikte düşünmek gerekir. Alışılmış şekilde işlem plancıları veya NC operatörleri geçmiş tecrübe ve deneyimlerine bağlı olarak takımları seçerler ve işleme düzlemlerini tayin ederler. Problemin karmaşıklığı nedeniyle tecrübeye dayalı metodun hata verme eğilimi fazladır. Ek olarak kalıp yüzeylerinin karmaşıklığı artarken kalıbın işleme zamanı da artar. NC işleme için

işleme zamanını minimize etmek için bir optimizasyon metodu ile alışılmış tecrübeye dayalı metodun değişimi arzu edilir.

Takım seçimi alanında kurallaştırılmış matris metodu, tam sayılı programlama ve grafik teorisi gibi minimum talaş kaldırma hacmi zamanı amaçlı teknikler uygulanmıştır.

Kalıp boşluğunun işlenmesinde takım seçimi, işleme zamanını ve maliyetleri etkilediği gibi bunun yanında proses kalitesini de etkilemektedir. Karmaşık bir kalıbın son halini alması haftaları bulabilmektedir. Bu sürenin %50'si talaş kaldırma zamanını içermektedir. Bu talaş kaldırma zamanının ise %50-65'ini kaba işleme prosesi oluşturmaktadır. Görüldüğü gibi kalıp boşluğu işlemesinde en fazla işleme zamanı, kaba işleme prosesine ayrılmaktadır. O nedenle kaba işlemenin en kısa sürede yapılması gerekmektedir.

Yapılacak çalışma ile kesici takım seçiminin sistematik modellemesi gerçekleştirilecektir. Her bir işlem (kaba işleme) için istenilen toleranslar dahilinde en kısa zamanda ve en az takım setlerinin (takım tipi ve ebatlarının) oluşturulması amaçlanmaktadır.

Kalıp boşluğunun işlenmesi işlemlerinde iş parçasının şekillendirilmesi için takım seçimi genellikle tecrübeye dayanarak seçilmektedir. Bu yöntem tipi karmaşık şekilli kalıp boşluklarında, uygun seçilmeyen her bir takımın kalıp boşluğu içerisinde talaş kaldırma işlemi esnasında parça üzerinde bıraktığı kalıntı hacim, diğer seçilen takımlarla giderilmeye çalışılmaktadır. Böylelikle her seçilen takım, takım bağlama süreleri, taretin veya takım magazinin dönmesi, takım yaklaşması ve geri dönmesi gibi prodüktif olmayan takım hareketleri boşta geçen süreler ve ek kullanılan takımın işleme süreleri nedeni ile istenilen parçanın elde edilmesi için gereken süreyi artırmaktadır. Bu durum parça başına üretim maliyetlerini de artırmaktadır.

Bazen uygun olmayan yanlış seçilen takımın meydana getirdiği kalıntı hacim, diğer seçilecek takımlar ile kaldırılamayacak bir hal almakta ya da istenilen yüzey pürüzlülük değeri sağlanamamaktadır.

Takım seçiminin tecrübeye göre yapılması, kalifiye işçilik gerektirmektedir. Bazı kompleks parçaların işlenmesinde tecrübe de işi sınırlandırmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı yapılacak talaş kaldırma işleminde takım seçimi bilgisayar destekli bir yazılım ile olmalıdır. Takım seçiminin bilgisayar destekli bir yazılım ile olması işin kalitesini artıracağı gibi işleme zamanını ve toplam maliyetleri de minimize edecektir.

Bu çalışmada NC işleme problemlerinde kaba işleme için minimum işleme zamanı ve maksimum talaş hacmi optimizasyon kriterlerini temel alan bir iteratif yöntem kullanılarak takım seçimi ve işleme düzlemlerinin tayini için algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalara uygun olarak C Sharp programında kodlama yapılarak bir bilgisayar yazılımı ile optimal takım seçimi yapılmış ve işleme düzlemleri belirlenmiştir. Tasarım verileri bir CAD ortamında STL formatında alınarak kalıp boşluğunu içeren parça dilimleme ile düzlemler oluşturulmuş ve takım ve tezgah verileri kullanılarak her dilimlenen düzlem için elde edilen konturların oluşturduğu alanların işlenmesinde kullanılacak takımlar zig-zag ve kontur paralel takım yolları kullanılarak elde edile takım yolu uzunlukları ve işleme zamanı minimizasyonu esas alınarak belirlenmiştir. İşleme düzlemleri, dilimleme düzlemleri maksimum talaş hacmini verecek kesme derinlikleri bulunarak belirlenmiştir.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bala ve Chang (1991) tarafından geliştirilen CUSP sistemi takım seçimi için sınırlama tabanlı bir yaklaşım kullanmaktadır. Sistemde öncelikle kullanıcı tarafından cep geometrisi köşe radüsleri oluşturulduktan sonra takım seçimi yapılmıştır. Sınır çizgi loop'larının ofsetlenmesi, kesiştirilmesi ve birleştirilmesi gibi işlemlerle uygun takım hareket alanları oluşturmuşlardır. Finish takımı seçimi ile tek pasoda kaldırılacak kalıntı hacmi veren en iyi kaba işleme takımı belirlenmiştir.(Bala ve Chang, 1991)

Lee ve Chang(1992; 1995) Bala ve Chang'in yüzey işlemede takım seçim yöntemini yeniden iterasyona tabi tutmuşlardır ve çalışmalarına takım optimizasyonunu da eklemişlerdir. Seri halindeki dilimleme düzlemlerinin(Hunt Plane(HP)) kullanımı ile geometrik bilgileri ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca çalışmada kaba, yarı-kaba ve finish işlemleri için kuralların, işleme prosedürlerinin ve takım seçiminin belirlendiği ifade edilmiştir. Kuralların ise oyuk yüzey işlenmesinde yaygın bilgi ve deneyimi temsil ettiğini belirtmişlerdir. Lee(1994), Lee ve Daftari (1996) unsur tabanlı dizayn ve üretim ortamında takım seçimi modelini tekraren uyguladılar. Metod düzensiz şekilli gerçek ceplerde kaldırılacak hacimlerin ortaya çıkarılması ve birleştirilmesi için gerçek sınırları ve unsur tanıma sistemini kullanmaktadır. Takım veri tabanında sınır şartlarını sağlayan uygun takım ebatları bulunmaktır. Bu çalışmalarda yaygın olarak takım seçiminde malzeme kaldırma debisi ve bir adet finish takım ile tek pasoda kaldırılacak kalıntı hacim esas alınmaktadır. Belirlenen geometrik ve takım sınırlama şartları altında MRR'ın belirlenmesindeki majör faktörün takım ebatı olduğu düşünüldüğü durumda işlemeyi yapacak takım olarak en büyük çaplı takımın belirlenmesinin yeterli olduğunu ifade etmişlerdir. Seçilen takım için takım yolu optimize edilmekte ve toplam işleme zamanı belirlenmektedir.(Lee ve ark., 1992; Lee ve Chang, 1994; 1995; Lee ve Daftari, 1996)

Eversheim ve ark.(1994) tarafından yapılan çalışmada geometrik, teknolojik ve proses-stratejisi gibi değişkenleri hesaba katarak unsur odaklı bir yaklaşım ile işleme prosesi için takımlar seçilmektedir. Üretim kalitesini belirleyen özellikler takım seçiminin temelini oluşturmaktadır. Çalışmada ön şart olarak kullanıcıların takım kullanım şartlarından takım parametrelerinin ortaya çıkarmak zorunda olabilecekleri ifade edilmektedir. Bu nedenle takım seçimi, sistem kullanıcısının ampirik bilgisi

tarafından kabaca belirlenmiş olacağı da belirtilmiştir. Yaptıkları sistem, takım seçimi yapmasına rağmen seçimin optimum olup olmadığını göstermemektedir.(Eversheim ve ark., 1994)

Mizugaki ve ark.(1994) kompleks yüzeylerde takım seçimi problemi üzerinde çalıştılar. Takım ile iş parçası arasındaki temas noktasını tesbit etmek için *uzay kafes* modelini probleme adapte ettiler. Bu model, kesici takım ile işlenen alanın hesaplanmasına olanak sağladığı ifade edilmiştir. Takım seçimi, toplam işleme zamanını ve artık alanları minimize eden genetik algoritmalar ile yapılmıştır.(Mizugaki ve Hao, 1994)

Charlesworth ve Anderson(1995) çalışmalarında cep işlemede herbir takım ile erişilecek alanların belirlenmesinde ayrık modelleme tekniklerinin uyguladılar. Guyder(1990) tarafından yapılan çalışmada kaba işlem takımlarının kullanımı sonrasında kalan artık malzemeler adapte edilen sözde *kapsama bölgeleri* ile çevrelenmiştir. Kapsama bölgesi, kalıntı hacmin katı modeli ve offset bölgesinden oluşmaktadır. Kapsama bölgesi özellikleri daha sonra katı modele ve offset yüzeylere atanmaktadır. Cep işleme ile ilgili çalışmalarında çoklu takım kullanıldığı durumlarda finish takım yolu oluşturulması amaçlanmasına rağmen takım seçimi ve optimizasyonunun öneminden bahsetmemişlerdir.(Guyder, 1990; Charlesworth ve Anderson, 1995)

Dereli ve Filiz(1997) tarafından geliştirilen OPT-TOOL sistemi maksimum üretim miktarı kriterine göre en iyi takımları seçmektedir. Bilgi tabanlı bir sistem her bir unsur için oluşturulan takım veri tabanından belirlenecek takımlarını seçerken, unsur tanıma sistemi de işlenecek unsurları ortaya çıkarmaktadır. Öncelikle optimum paso sayısını ve kesme derinliğini sonra diğer kesme parametreleri belirlemişlerdir. Unsura göre takım seçimi yapılmıştır. Takım çapı seçiminde ise adalar arası kritik mesafe dikkate alınmıştır. Cep işlemelerde köşe radüsüne uyan radüse sahip takımlar seçilmiştir. Büyük çaplı takımın seçiminde sürekli bir kesme işlemi olabilmesi ve kısa zamanda işlenebilmesi için kesme genişliği ile takım çapı arasında 1,25 ila 1,6 kat oran olacak şekildeki bir yaklaşım dikkate alınmıştır. Takım değişimini minimize etmek için her bir unsur için tek bir takım seçilmekte ve kesme parametreleri dinamik olarak optimize edilmektedir. Takım seçimi otomatik ya da interaktif olabilmektedir ve

işlenecek unsurun geometrisine göre değişmektedir. Herhangi bir şekle sahip cebin birçok takım ile işlenmesi durumu tariflenmemiştir. Yapılan çalışma yüzeyde düzlem frezeleme alanında yapılmıştır. Takım değişimi ve takım hareket mesafesini minimize etmişlerdir. Maksimum üretim kriterine göre çalışılma yapmışlardır.(Dereli ve Filiz, 1997)

Kyoung ve arkadaşları(1997) yaptıkları çalışmada cep işlemede optimum proses planlamanın oluşturulması için takım seçimi, takım yolu, her bir takım yolu için kesme genişliği ve işleme zamanı önemli faktörler olarak ele alınmıştır. Takım boyutlarının çok önemli olduğunu zira diğer faktörlerin de takım ebatlarına bağlı olduklarını belirtmişlerdir. Bu nedenle cep işlemenin proses planlamasında en önemli iş optimum takım ebatlarının seçimi olduğunu ifade etmişlerdir. İşleme zamanını minimize edecek optimum takım seçimi için *Dal* ve *Sınır* (*Branch* ve *Bound*) metodlarını geliştirmişlerdir. Optimum takım seçimi için alanı işleyecek takım kombinasyonu ağacı oluşturmuşlardır. En kısa işleme zamanını veren takım seti seçimi yapılmıştır. İç ve dış ofsetlerde takım yolu üst üste binme durumları dikkate alınmışlardır. Tek ve basit bir şekil üzerinde çalışılmışlardır. 5 adet takımın tüm kombinasyonlarını denenmişler ve işleme zamanlarını hesaplanmışlardır. En küçük çaplı takımın belirlenmesi ve işlenecek tüm kombinasyonlarda bu takımın kullanılmasını sağlamışlardır. Minimum çaplı takım dışbükey köşe radüsünün minimum 2 katı, maksimum çaplı takım ise ofset çizgi aralığının maksimum 2 katı olarak belirlemişlerdir. Uygun takım aralığı ise minimum ve maksimum olarak belirlenen miktarların arasındaki çaplara sahip takımlar tarafından oluşturulduğunu ifade etmişlerdir. Katmanlara göre takım seçiminden bahsedilmemiştir. Sadece takım çapının belirlenmesi üzerinde durulmuştur, kesme parametrelerinin nasıl belirlendiği ve optimizasyonun yapılıp yapılmadığı bilgisi verilmemiştir.(Kyoung ve ark., 1997)

Veeramani ve arkadaşları(1997) modern CNC işleme merkezlerinde yüksek hızlı otomatik takım değiştirme mekanizmalarının olması 2 ½ eksen cep işlemelerinde çoklu takım(özellikle düz uçlu parmak frezelerde) kullanımını pratikleştirdiğini ancak cep işlemelerde mevcut CAD/CAM sistemleri çoklu takım kullanımını desteklemediğini ifade etmişlerdir. 2½ eksende kaba ve finish işleme üzerinde çalışmışlardır. Başlangıç aşamasında(stage 0) en büyük çaplı takım son aşamada(stage N) da en küçük köşe radüsüne sahip en küçük çaplı kullanmışlardır. Buradaki amacın 0

dan N e kadarki aşamalarda ceb şeklindeki parçanın işlenmesindeki toplam işleme zamanını minimize eden yolu bulmak olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun için dinamik bir programlama geliştirilmişlerdir. Voronoi Dağı yöntemi kullanılarak uygun takımlar ve takım yolları belirlemişlerdir. Cep geometrisi köşeleri yuvarlatılmış prizmatik cep ile sınırlı tutulmuştur. İş parçası radüsleri en küçük çaplı takım radüsü ile uyumlu belirlenmiştir. Her bir takımın oluşturduğu takım yolu uzunluğu ve kalıntı bıraktığı hacim için oluşturulan takım yolu uzunluğu belirlenerek işleme zamanları hesaplanmış ve dinamik programlama ile optimum takımlar seçilmiştir. Maksimum kesme derinliği ve ilerleme izin verilen miktarda seçilmiştir. Çalışmada 2 ½ eksen köşeleri yuvarlatılmış üçgensel ceplerdeki işlemelerde optimum takım setlerinin seçiminde 2 fazlı metodolojiyi tanımladılar. İlk faz Voronoi dağı şeklinde ifade edilmektedir ve belirli ebatlardaki takımların kaldırdığı hacimlerin hesaplanması, takım yollarının oluşturulmasından ibaret olduğunu; ikinci fazda ise işleme zamanını esas alan dinamik programlama yaklaşımı kullanılarak optimum takım ebatlarının belirlenmesi yöntemini uyguladıklarını belirttiler. Hesaplamasal olarak yaptıkları deneylerde 2 ½ eksen cep işlemesinde birçok ebattaki takımın kullanılması işleme zamanının kısalmasını sağladığı belirtilmektedir.(Veeramani ve Gau, 1997)

Chen ve arkadaşları(1998) NC işleme ve proses planlamada optimum kesici takım ve işleme düzleminin belirlenmesi ile ilgili bir çalışma yaptılar. İki optimizasyon metodu kullandılar. Bunlar Tamsayı Programlama(IP) ve Dinamik Programlama(DP)'dır. IP metodu uzun hesaplama zaman maliyeti sınırların üzerinde sonuç verirken DP metodu optimum çözümü sunmaktadır. Her iki metodda geleneksel yöntemin ve tecrübeye dayalı kesici takım seçiminin bir arada kullanılması ile takım seçimin otomatik hale getirilebileceğini ve toplam işleme zamanının azaltmışlardır. Her iki yöntemi ifade etmek için nümerik örnekler sundular. Yaptıkları çalışmada kesme derinliği değişmesine rağmen takımın maksimum kesme derinliği kadar ki tabakaların birleştirilmesinde işleme zamanının değişmediği ön görülmüştür yani ilerleme değerinin değiştiği dikkate alınmamış ve ilerleme optimizasyonu yapılmamıştır. İşleme için dilimleme tabakaları oluşturmuşlardır. Dilimleme tabakaları için fizıbıl takımlar dar boğaz mesafeleri dikkate alınarak tabakalara uygun en büyük çaplı takım seçimi yapılmıştır. Dilimleme tabakaları için tek takım seçimi yapılmıştır. Kalıntı hacim hesaplaması ve optimizasyonu yapılmamıştır, sadece işleme zamanı minimize edilmeye çalışılmıştır. Bitişik tabakalardaki takımların benzer olmaları durumlarında tabakalardan

büyük çaplı takım ile tek pasoda her iki tabakanın da işlendiği durum ele alınmış ve işleme zamanının azaldığı ifade edilmiştir. Bitişik tabakaların kaç tanesinin birleştirileceği ve birleştirilen tabakaların tek pasoda büyük takımla işlenmesi tamsayı ve dinamik programlama yöntemi kullanılmıştır.(Chen ve ark., 1998)

Lin ve Gian(1999) yaptığı çalışmada temaslı ya da temassız ölçüm cihazlarından türetilen 3D nokta verilerinden doğrudan elde edilebilecek işleme şartlarını metodsal hale getirmişlerdir. 3D nokta verilerinden B-Spline yüzey modeli oluşturulması ile başlamak suretiyle NC işleme prosesleri için gereken detaylı bilgileri kapsayan proses planının oluşturulması işlemini otomatik hale getirmek için birkaç algoritma geliştirdiler. Özellikle aşağıdaki işlemler dikkate aldılar:

1. Düzgün bir yüzeye uydurmak için verilen veri noktalarının kullanımı
2. Çoklu kesici takımların otomatik olarak seçilmesi
3. Kaba işleme için takım yollarının oluşturulması

Düzgün yüzeye uyarlanan belirlenmiş veri noktaları için düzgün olmayan kübik B-Spline(NUBS) matematik modeli kullandılar. Yüzey modeline dayalı proses planlama için kesici takımların seçimi ve optimizasyonu için maksimum malzeme kaldırma ve minimum takım değişimi kriterlerini esas aldıkları çalışmada oluşturulan NC takım yolu ile hızlı işleme ve istenilen yüzey kalitesinin sağlandığından emin olmuşlardır. NUB(Non Uniform B Spline) yüzey modeli oluşturulmuş buradan elde edilen veri noktalarından sınır ve ada loop'larını oluşturmak için diktörtgen ağ yöntemi ile yüzeyler temsil etmişlerdir. İşlenecek hacim için "z" ekseninde sabit dilimleme yapmışlardır. Sınır loopları ön kontrollü ada lopları ise son kontrollü olarak oluşturulmuşlardır. Sınır ve ada kenarları kontur işleme ile iç kısımlar ise lineer cep işleme şeklinde takım yolları oluşturmuşlardır. Ana işlenecek alanlar ve kalıntı alanları belirlemişlerdir. Kesme tabakaları oluşturmuşlardır. Kesme tabakalarında çoklu takımlar belirlenmiş ve bu çoklu takımlara ait farklı takım yolları oluşturmuşlardır. Kesme tabakalarının işlenmesi maksimum MRR göz önünde bulundurularak yapmışlardır ve izin verilen en büyük kesme derinliğini kullanmışlardır.(Lin ve Gian, 1999).

Yang ve Han (1999) optimum takımların seçiminde kullanılan mevcut takımlara ait toplam müdahale alanlarını(Total Interference Areas(TIAs)) belirlemek

için bir algoritma sistemi geliştirdiler. Sonuç olarak seçilmiş bir takım seti ve bu takımlara uygun toplam müdahale alanları(TIAs) oluşturulmuştur. Her bir takım için takım erişim alanları, dalma alanları, iç ve dış sınır takım yolu uzunlukları toplam müdahale alanları(TIAs) ile belirlendiği ve takım yollarının oluşturulduğu ifade edilmiştir. Kullanıcı istenilen takım değişim sayısını belirleyebilmekte ve seçilmiş takımlardan takım kombinasyonları oluşturulmaktadır. Genel ve yerel dalmaların tesbit edilmesi sonrasında takım seçim optimizasyonu yapmışlardır. 8 adet takım kullanılmış, bu takımlara ait ilerleme değerleri sabit kabul edilmiş, takımların köşe radüsleri verilmiştir. Kullanılan tüm takımların takım değişim ve işleme zamanları da hesaplamak suretiyle toplam minimum zamanı veren takımlar belirlenmesini amaç edinmişlerdir. İşleme zamanı hesaplamasında yer alan takım yollarının uzunluklarının belirlenmesinde işlenecek alanları, takım yolları arasındaki mesafeleri ve iç-dış lopların çevre mesafelerini dikkate almışlardır. Takım yolu aralıklarının belirlenmesinde ise takım yarıçapı ve kalıntı hacim yüksekliklerinden yararlanılarak yaklaşık sonuç elde etmişlerdir. Çalışma finish işlemeyi de kapsamaktadır. Her bir oluşturulan takım kombinasyonlarında işlemeyi garanti etmek için en küçük çaplı takım yer almaktadır. İşleme zamanı, takım yolu bilgisi kullanılarak hesaplanmaktadır ve minimum toplam işleme zamanına sahip bir takım seti optimum takım seti olarak belirlenmektedir.(Yang ve Han, 1999)

Balasubramaniam ve arkadaşları(2001) 3 eksenli kaba işlemede takım seçimi ve sıralamasına bir yaklaşımda bulundular. Takım seçiminde daha büyük takım daha az erişebilir alan sağlarken daha küçük takımlar daha düşük kesme hızlarına uygun oldukları göz önünde bulundurmuşlardır. Bununla birlikte her bir takım değişimi bir zaman gecikmesi meydana getirdiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı kaba işleme zamanını minimize edecek takım sıralaması seçimidir. Yaklaşımlarında kaldırılan hacim 2,5 boyutlu işleme katmanları şeklinde tabakalara ayrılmaktadır. 3 boyutlu cisim “z” ekseninde eşit aralıklı dilimlere ayrılmıştır. Takımın kesen kısmının ve takım tutucunun şekli ve iş mili montajını göz önünde bulundurarak her bir takım için her bir katmandaki ulaşılabilecek alanlar hesaplanmaktadır. Takımlar çaplarına göre ve MRR’larına göre gruplandırılmıştır. İşleme zamanını azaltmak için MRR’ı büyük olan takım tercih edilmiştir. Takımların takım tutucuları da dikkate alınmaktadır. İşleme zamanı içerisinde takım değiştirme zamanları da eklemişlerdir. Adaların ve sınır çizgilerinin etrafı kontur tip geriye kalan alanlar zig-zag işleme yapılacak şekilde takım

yolu oluşturulmuştur. Kalıntı alanlar ve bu alanların nasıl işlendiği hesaba katılmıştır. Takımların eriştiği alanların işleme zamanlarının hesaplanmasından bahsedilmemiştir. Ayrıca işleme zamanı hesaplanırken kalıntı alanların işlenmesinden dolayı meydana gelen işleme zamanlarından da bahsedilmemiştir.(Balasubramaniam ve ark., 2001)

Edalev ve arkadaşları (2001) tarafından yapılan çalışmada kesme prosesi ve eş zamanlı mühendislik ortamındaki takımların otomatik seçimi için bilgisayar tabanlı akıllı bir sistemi sunulmaktadır. Çalışmanın ana amacı takım seçimi için bir yöntem geliştirmek ve toplam parça maliyetini ve kesme parametrelerini belirlemek için sezgisel verileri ve matematiksel modüllerden faydalanan dinamik programlama tabanlı sistem geliştirmek olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışma sayesinde farklı malzeme özelliklerinde kesme koşulları ve optimum kesici takım setlerinin seçimi ile maliyet ve işleme zamanın nasıl azaltılacağı konusunda kullanıcıya alternatifler sunmada tasarımcılara ve üretim planlamacılarına kolaylık sağlayacağı belirtilmiştir. Sistem birkaç modülden oluşmaktadır. Bunlar *Bilgi Edinme Modülü, Bilgi Tabanı Modülü, Sonuç Motoru, Kullanıcı Arayüzü* ve *Veritabanı*'dır. Geliştirilen sistem çoklu parçalardan oluşan karmaşık ürünler ile ilgili potansiyele sahip geleneksel ve az geleneksel gibi farklı tipteki işleme tekniklerini ile prizmatik, silindirik gibi farklı parça şekillerini kapsayacak şekilde dizayn edilmiştir. Sistem takım seçimi yapabilmektedir. Kesme koşullarını hesaplamakta, parça maliyetlerini tahmin etmekte, iş parçası malzemesi özelliklerini ve yüzey bitirme ve toleransları içeren unsur özelliklerini esas almakla birlikte malzeme kaldırma debisi, takım ömrü, işleme zamanı ve maliyet gibi bir dizi işleme kriterlerini kullanmaktadır. Otomatik takım seçiminin programsal alt yapısı oluşturulmuştur. Veri tabanı, bilgi tabanı ve sonuç motoru oluşturulmuş, gerekli veriler malzeme el kitaplarından ve takım kataloglarından programa aktarılmıştır. Unsur tabanlı(unsur tipi ve şekline göre işleme tekniği) takım seçimi dikkate alınmıştır. Sadece frezeleme işlemi ile sınırlı kalınmamış talaş kaldırmanın hangi yöntemle yapılacağının(delme, tornalama, elektro erozyon, lazer vs.) da belirlenmesi için unsur yapılarından faydalanılmıştır. Unsurların her birinin işleme maliyetleri de hesaba katılarak toplam maliyet program tarafından belirlenmiştir. Farklı kesme derinliklerinde ve ilerleme değerlerindeki takım ömrü hesaplamaları yapılmıştır.(Edalew ve ark., 2001)

Lim ve arkadaşları(2001) yaptıkları çalışmada 2 boyutlu profiller ile 3 boyutlu hacimler için verilen takım setlerinin teorik optimum kombinasyonunu

belirlemektedirler. Optimum takımların büyük çaplı takımların ulaşamadığı alanlardaki kalıntı hacimler ve bu hacimlere ulaşabilecek takımların izafi temizleme miktarları göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Tasvir edilen bu çalışma takım yolu uzunluğu ve dalma miktarı vs. işleme parametrelerin ihmal edilmesi nedeni ile tam sonuç vermediği ifade edilmektedir. Çalışmada kullanılacak takımların erişeceği alanlar ve kalıntı alanları belirlenmiştir. Her bir takımın işleme yapmasından kalan kalıntı hacmin bir başka takımla kaldırıldığı düşünülmüş ve en kısa işleme zamanını veren takım setleri belirlenmiştir. Takım setleri tabakalarda oluşturulmamış, toplam işlenecek hacim için belirlenmiştir. Takım kesme hızı ve ilerleme optimizasyonundan bahsedilmemiştir. Malzeme seçimi tezgah seçimi gibi hesaplamalar ile ilgili ana unsurlar tanımlanmamıştır. Takım seçiminde eğilme deformasyonu ve tezgah sınırlamaları göz önünde bulundurulmamıştır. İşlenecek hacmin %100'üne erişebilecek takım en küçük çaplı takım olarak belirlenmektedir. Böylelikle kalıntı hacimsiz işleme garanti edilmiş olmaktadır. Teorik hesaplamaları doğrulamak için deneysel çalışmaların yapıldığını ve takım yolu uzunluğu ve dalma miktarı vs. işleme parametrelerin hesapları etkilemesine rağmen genel olarak izafi takım sıralamasına etkilerinin önemsiz olduğu belirlemişlerdir. Burada sunulan sonuçlarda doğru takım kombinasyonlarının işleme zamanını önemli derecede azalttığını belirtmişlerdir.(Lim ve ark., 2001)

Hinduja ve arkadaşları(2004) takım yolu hesaplamasında kullanıcı tarafından belirlenen kesme radyal genişliği ve kesici çap değerlerinin kullanıldığı bir hesaplama yöntemi kullandılar. Çoğu araştırmacı ve uygulama mühendisleri toplam takım yolu uzunluğunda diğer kesme parametrelerini hesaplarken radyal kesme genişliğinin kesici takım çapına oranını yani b/D'yi sabit kabul ettiklerini belirtmişlerdir. Ancak pratikte cep işlemede ve "window frame" tip takım yollarının bulunduğu diğer bir çok unsurlarda b/D oranı sabit kalmadığı görülmüştür. Çalışmada kesici takım yolu boyunca b/D değişimi göz önünde bulundurularak optimum takım çapı seçimi yapılmıştır. Daha küçük takım çapı seçimi daha tercih edilebilir bir değişim sergilemiştir. Bu da daha uzun bir takım yolu oluşumuna önderlik etmiştir. Optimum takım çapı seçiminin daha büyük takım çapı ile daha kısa takım yolu ve daha küçük çaplı takım ile daha uzun takım yolu arasında bir optimum denge kurulması olduğu ifade edilmiştir. 2 ½ eksen işlemede 2 takımlı ve tek takımlı işleme maliyeti dikkate alınmıştır. Takım seçiminde, tezgah güç sınırlaması ve Voronoi diyagramından belirlenen geometrik sınırlamalar(minimum iç bükey radüsü, dar boğaz genişliği vs) dikkate alınmıştır.

Voronoi diyagramına göre büyük ve küçük çaplı takımlar ile işlenecek alanlar belirlenmiştir. Bu iki farklı alan için bu alanları işleyecek 2 farklı takım grubu oluşturulmuştur. Bu takımlara ait işleme maliyeti, kesme derinliği, paso sayısı, takım yolu uzunluğu gibi bilgilerden kesme hızı ile ilerleme değerleri optimize edilmeye çalışılmış, optimize edilmiş değerlerden daha düşük değerler elde edilmiştir. Her iki gruptan 1 er takım seçmek sureti ile 2 takım ile işleme maliyeti optimizasyonu yapılmış, toplam işlemeyi garanti eden tek takım ile oluşacak işleme maliyeti ile kıyaslanmıştır. İş parçası malzemesi, takım malzemesi, takım tezgahı gücü verilmiş, takım boyları verilmemiştir(takım eğilme deformasyonu için bir hesaplama yapılmamıştır).(Hinduja ve Sandiford, 2004)

D'Souza ve arkadaşları(2004) 3 boyutlu freze tezgahında serbest şekilli ceplerin kaba işlenmesi için en düşük takım sıralama maliyetinin bulunması için bir metod geliştirilmiştir. Önceden belirlenmiş tolerans ve arzulanan yüzeyin 2,5 boyutlu ve değişken kalınlıktaki tabakalar ile yaklaşık olarak oluşturulmaya çalışılan serbest şekilli cebin düz uçlu parmak freze ile işlenebileceğini ifade edilmektedir. Cebin kaba işlenmesinde optimum takım sıralaması grafik tabanlı bir metod ile elde edilmiştir. Burada kullanılan algoritma mevcut herhangi bir takım setine ve arzu edilen maliyet modellerine uyarlanabilmektedir. Takım sıralaması seçimi yaklaşık optimum olmasının yanı sıra takım aşınmasını ve maliyetlerin aşırı artmasını da göz önünde bulundurmaktadır. Yapılan çalışmada takımların erişebileceği alanlar belirlenmiştir. Takım dalma yapmaksızın hacmi işlediği ifade edilmiştir. Mikro dilimleme işlemi yapılmıştır. Mikro dilimlerin birleştirilmesinde δ mesafesi göz önünde bulundurulmuştur. Bu mesafeden küçük mesafeye sahip mikro dilimler birleştirilerek tek pasoda işlenmektedir. Birleştirilen dilimlerin derinliği kullanılan takımın maksimum kesme derinliğinden küçük olması durumunda maksimum talaş kaldırma debisini sağlamak için işleme verileri optimize edilmiştir. En kısa takım yolu oluşturmak için Djkstra'nın algoritması kullanılmıştır. Farklı takımların farklı değerdeki maksimum kesme derinliklerinde işlemeler yapılmıştır. Maksimum kalıntı hacim yüksekliğine göre takım işleme parametreleri seçimi yapılmıştır. Finish işlemenin tek pasoda yapılması sağlanmıştır. Kaba ve finish takımlar ile takım kombinasyonları oluşturulmuştur. İşleme zamanının minimize edilmesinden bahsedilmemiştir. Takım deformasyonu ve tezgah güç sınırlamaları doğrultusunda işleme parametreleri optimizasyonu yapılmamıştır.(D'Souza ve ark., 2004)

Wang ve arkadaşları(2005) yaptıkları çalışmada kaba, yarı-kaba ve finish işlemleri gibi her bir operasyon için takım tipi ve ebatını içeren takım seçimi için CATS adında bir sistem geliştirilmiştir ve yapılan çalışmanın fizıbıl olduğunu göstermek için adacıklara sahip 2 farklı kalıp üzerinde çalışılmıştır. İşlenecek hacim dilimleme yöntemi ile katmanlara ayrılmıştır. Her bir katmanda işleme alanlarının oluşturulması gerekmesi sebebi ile işlenecek alanların belirlenmesi için öncelikle çizgi segmentleri oluşturulmuştur. Bu çizgi segmentlerinin kesişiminden loop'lar meydana getirilmiştir. Meydana getirilen loop'ların iç ve dış loop olup olmadıkları belirlenmiştir. İç ve dış loop'lar arası kritik mesafeler hesaplanmıştır. Dilimleme tabakalarının(HP) birleştirilmesi için algoritmalar oluşturulmuştur. Dilimleme tabakalarının birleştirilmesi işleminde kullanılan yöntem; kritik mesafesi, belirlenen tolerans mesafesinden küçük olan bitişik dilimleme tabakalarının birleştirilmesinden ibarettir. Herbir takım için kesme tabakaları oluşturulmuş ve kalıntı hacimleri hesaplattırılmıştır. Geliştirilen CATS sistemi 3 ana modülden oluşmaktadır. Bunlar kaba işleme, yar-kaba işleme ve finish işlemedir. Her bir modülün altında 5 alt modül bulunmaktadır. Bunlar; takım tip seçimi modülü, takım bilgileri kontrolü modülü, takım parametreleri öneri modülü, işleme zamanı tahmini modülü ve 3 ana modülden oluşan takım seçim raporlamasıdır. Takım tip seçimi modülü, takım bilgileri kontrol modülü, takım parametreleri öneri modülündeki veriler kullanıcı el kitapları ve kataloglardan elde edilerek programa yüklenmekte ve kullanıcı tarafından istenildiğinde müdahale edilerek değiştirilebilmektedir. Sistem ile kaba işleme için takım setleri optimizasyonu yapılabilmekte, yarı-kaba ve finish işlemleri için ise sadece takım ebatı belirlenmektedir. Kesme parametrelerinin seçimi tavsiye edilen değerleri kullanıcıya göstermekle birlikte son olarak seçimi yine kullanıcıya bırakmıştır. Belirlenen takım setleri için işleme zamanları hesaplatılmış ve raporlama bölümünde de bu bilgilere yer verilmiştir.(Wang ve ark., 2005)

D'Souza(2006) tek başına yapmış olduğu çalışmada bir önceki çalışmalarındaki grafik tabanlı algoritmanın genişletilmesi ile geniş bir işleme için verimli takım seçimi sağlamıştır. Parçanın belirli yönlerde işlenmesi ile oluşan birincil sınırlamalar ve unsur setlerinden oluşan bir düzenlemedir. Araştırmada algoritmanın uzantısı olan metodlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmada takımların erişeceği alanların belirlenmiştir. Uygun bir takım kesme derinliği cep derinliğinden büyük olan ve erişebilirlik şartını sağlayan takım olduğu ifade edilmiştir. Takım işleme sıralaması

üzerinde durulmuştur ve 4 farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler *Unsur Seviye Optimizasyon Stratejisi*, *Kompozit Takım Sıralama Grafiği*, *Sınırlandırılmış Grafik Yaklaşımı* ve *Alt Grafik Yaklaşımı*'dır. Bu dört yöntemde de grafik tabanlı takım seçimi ve sıralaması yapılmıştır. Takım ilerleme değeri sabit seçilmiş, optimize edilmemiştir. İşleme zamanının minimize edilip edilmediği belirtilmemiştir.(D'Souza, 2006)

Zhang ve Ge(2009) Çalışmalarında nümerik kontrol kodlarının oluşturulması için bir yaklaşımda bulundular. Bu yaklaşımda çok unsurlu işlemeye unsur tabanlı proses planlama sisteminin entegrasyonu yapılarak optimum takım sıralamasını belirlediler. Her bir takımın işleme verilerinin hesaplanması için sabit spindle devri ve sabit ilerleme değeri alınmıştır. Takım kombinasyonları oluşturulmuş ve işleme zamanları hesaplanmıştır. Herbir takımın iş parçasının işlenmeyecek kısımlarına dalma yapıp yapmadığını kontrol için hesaplamalar yapılmıştır. Her bir takımın işleme yapacağı alanlar belirlenmiştir. Tezgah ve takımın maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmış ve toplam maliyet bulunmuştur. Amaçladıkları metodu deneylerle doğrulamışlardır.(Zhang ve Ge, 2009)

Vatani ve arkadaşları(2010) tarafından yapılan çalışmada STL dosya formatı yapısının basitliği ve yaklaşık olarak tüm yüzeylerin kaplanabilmesi nedeni ile hızlı prototipleme endüstrisinde eski bir standart olarak yaygın bir şekilde kullanıldığı bildirilmektedir. Karmaşık modellerin hesaplama işleminde dosyanın boyutları ve dosyanın hataları aşırı şekilde arttığı ve bu nedenle STL dosyasının doğrulanmasının zorlaştığı ifade edilmektedir. Çalışmada yüzeyi temsil eden tüm STL üçgenlerinin hesaba katılması yerine üzerinde çalışma yapılacak dilimleme düzlemine ait STL üçgenlerinin tesbit edilmesi ile dosyanın boyutları ve bu dosyanın hesaplanası için kullanılan bilgisayarın hafızası da azaltılmıştır. STL dosyaları içerisindeki hataların tipi ve uzunluğuna rağmen *sondan başlangıca doğru araştırma metodu* ve *son ile başlangıç arasındaki en yakın mesafe teknikleri* analizi kullanılmıştır. STL modelleri hızlı bir şekilde dilimlenmiş, verimli ve hatasız bir şekilde tamamen kapalı konturlar oluşturulmuştur.(Vatani ve ark., 2010)

Ahmad ve arkadaşları(2010) Yapılan çalışma ceb geometrisini, parça geometrisini, kesme parametrelerini ve takım tutucu geometrisini dikkate almaktadır. Cep şeklindeki parçanın 2,5 eksende işlenmesini gerçekleştirdiler. Tipik olarak kaba

şekli hızlı bir şekilde oluşturmak için büyük bir takım seçilmiş ve bir sonraki şekil için daha küçük bir temizleme takımı kullanılmıştır. Optimum takım sıralama seçimi için grafik tabanlı sistematik bir metod sundular. İşlemeyi garanti etmek için 1 adet takım bütün alanlara erişebilecek şekilde seçilmiştir. Bu takım her bir takım sıralamasında yer almaktadır. Kullanılan metod ile toplam maliyeti yada işleme zamanı minimize edilebilmektedir. Takım tutucular göz önünde bulundurularak ulaşılabilecek alanlar ve cebin içerisindeki malzemenin kaldırılması için gereken geometrik konstrüksiyonların hesaplanması için algoritmalar oluşturulmuştur. Optimum takım sıralaması için genetik algoritma formülasyonu kullandılar. 2 metod kullandılar. Bunlar *En İyi Seçim Metodu* ve *Rulet Seçim Metodu*'dur. En iyi seçim metodu, rulet seçim metodundan doğru sonuca daha hızlı bir şekilde yakınsamıştır. Amaçlanan metod yazarın daha önce geliştirmiş olduğu en kısa yol grafik metodu ile kıyaslanmıştır. GA Metodu, Grafik Formülasyonu Metoduna kıyasla hesaplamayı %30'a kadar azalması ile yaklaşık optimal sonucu oluşturmuşlardır.(Ahmad ve ark., 2010)

Ramaswami ve arkadaşları(2011) yaptıkları çalışma ile ada bulunan yada ada bulunmayan konveks olmayan poligonal ceplerde parmak freze kullanmak suretiyle kademeli işleme stratejisi ile toplam işleme zamanını minimize edecek optimum takım sıralaması metodolojisini sunmuşlardır. Çok pasolu işlemelerde istenilen kesme derinliklerinde, takım değişim zamanı, takım yolları arasındaki geçiş zamanı, takım yaklaşma ve geri çekilme zamanlarını bir araya getirerek işleme zamanının optimize etmişlerdir. İşleme alanları poligon ayrıştırma yöntemi kullanılarak dış bükey alanlar haline getirilmiştir. Her bir dış bükey alan erişebilirlik durumlarına göre mevcut olan takım setleri arasından seçilecek takımlar ile işlenmektedir. Optimum takım seçimi için takım değişim zamanı, takım yolları arasındaki geçiş zamanı, takım yaklaşma ve geri çekilme zamanlarının hesaplanmasından sonra dinamik programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Dinamik programlama ile işleme zamanları minimize edilmiştir. Takım yolları ana paso işleme, üçgensel köşe işleme, poligonal köşe işleme ve final paso işleme olarak sınıflandırılmıştır. Radyal kesme derinliği takım çapının %50 si eksenel kesme derinliği takım çapının %150 si olarak kabul edilmiştir. Kesme hızı sabit seçilmiştr. Diş başına ilerleme için değer aralığı verilmiştir. Toplam zamanı takım yolları arasındaki geçiş zamanın çok fazla etkilemediği ancak takım değişim zamanı ile takım yaklaşma ve geri çekilme zamanlarının etkilediğini ifade etmişlerdir.(Ramaswami ve ark., 2011)

Kaynak araştırması bölümünde belirtilen çalışmalarda izlenen yöntemlere ait bilgiler **Tablo 2.1**'de verilmiştir. Burada "√" yazarların çalışmalarında yaptıkları işlemleri, "-" ise çalışmalarında yapmadıkları yada makalelerinde açıkça belirtmedikleri işlemleri temsil etmektedir.

Tablo 2.1 Kaynak araştırmasında 1991-2011 yılları arası yapılan çalışmalardaki izlenen yöntemler

Kaynak Araştırması Tablosu	**Çalışmayı Yapan Yazarlar**	Bala ve Chang(1991)	Lee ve Chang(1992; 1995)	Lee ve Daftari (1996)	Eversheim ve ark.(1994)	Mizugaki ve ark.(1994)	Guyder(1990)	Dereli ve Filiz(1997)	Kyoung ve ark.(1997)	Veeramani ve ark.(1997)	Chen ve ark.(1998)	Lin ve Gian(1999)	Yang ve Han (1999)	Balasubram. ve ark.(2001)	Edalev ve ark.(2001)	Lim ve ark.(2001)	Hinduja ve ark.(2004)	D`Souza ve ark.(2004)	Wang ve ark.(2005)	D`Souza(2006)	Zhang ve Ge(2009)	Vatani ve ark.(2010)	Ahmad ve ark.(2010)	Ramaswami ve ark.(2011)
Yapılan İşlemler																								
Parça geometrisi basit		-	-	-	-	-	-	√	√	√	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√
Parça geometrisi serbest şekilli ceb		√	√	√	-	√	-	-	√	√	√	√	√	-	√	√	√	√	√	√	√	-	√	-
Yüzeyde düzlem frezeleme		-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cep frezeleme		√	√	√	√	√	√	-	√	√	√	√	√	√	-	√	√	-	-	√	√	-	√	√
NUB yüzey temsili		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NURBS yüzey temsili		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STL yüzey temsili		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-
Kalıntı alan hesaplaması		-	-	-	-	√	√	-	-	-	-	-	-	√	-	√	-	-	√	-	-	-	-	-
Dilimleme Düzlemleri(HP)		-	√	-	-	-	-	-	-	-	√	√	-	√	-	-	-	√	√	-	-	√	-	-
Takım erişebilirlik analizi		-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	√	-	√	-	√	-	√	√	-	-	√
Köşe radüsü kriterine uygun takım seçimi		√	-	-	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	√
Adalar arası mesafeye dayalı takım seçimi		-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-
Darboğaz mesafesine dayalı takım seçimi		-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-	√	-	-	-	-	-
Takım yolu uzunluğuna bağlı takım seçimi		√	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kalıntı hacme dayalı takım seçimi		-	-	-	-	-	√	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-
Max.üretim kriterine dayalı takım seçimi		-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MRR tabanlı takım seçimi		-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	√	-	√	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-
Unsur tabanlı takım seçimi		-	√	√	√	-	-	√	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	√	√	-	-	-
Unsur için tekli takım seçimi		-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaba işlemede en büyük çaplı takımın belirlenmesi		-	-	√	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-
Tüm kalıp boşluğunda istenilen kalıntı hacmi veren en iyi tek kaba işlem takımı		√	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-
Kesme tabakalarında istenilen kalıntı hacmi veren en iyi tek kaba işlem takımı		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-
Tüm kalıp boşluğunda istenilen kalıntı hacmi veren en iyi çoklu kaba işlem takımı		-	-	-	-	-	√	-	-	√	-	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kesme tabakalarında istenilen kalıntı hacmi veren en iyi çoklu kaba işlem takımı		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yarıkaba takım seçimi		-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-
Finish takım seçimi(Tekli)		√	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	√	√	√	√	-	-	-	√	-
Finish takım seçimi(Çoklu)		-	-	-	-	-	√	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Takım seçimi optimizasyonu		√	√	-	-	√	-	√	√	√	√	√	-	-	√	√	√	-	√	-	√	-	√	-
Takım yanal ilerleme miktarı		-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Takım yolu optimizasyonu		√	-	√	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	√	-
Maksimum kesme derinliği		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-
Kesme derinliği ve paso sayısı optimizasyonu		-	-	-	-	-	-	√	-	-	√	-	-	-	√	-	-	√	-	-	-	-	-	-
Kesme parametreleri(kesme hızı ve ilerleme) optimizasyonu		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-
Kalıntı alan optimizasyonu		-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	-
İşleme zamanı optimizasyonu		-	-	-	-	√	-	-	√	√	√	√	√	√	-	√	√	-	√	-	√	-	-	√
Takım değişimi ve takım hareket mesafesi minimizasyonu		-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	√	-	-	√
Takım seçiminde eğilme deformasyonu sınırlaması		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Takım seçiminde tezgah güç sınırlaması		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-

Kesme tabakalarında çoklu takım seçimi, kesme parametreleri(kesme hızı ve ilerleme) katalog değerlerinin optimizasyonu, takım seçiminde eğilme deformasyon ve tezgâh güç sınırlaması gibi parametreler yapılan çalışmalarda hemen hemen yok denecek kadar az değinilen konular olduğu görülmektedir.

3 TEORİK ESASLAR

Kalıp boşluğunun işlenmesi için işlem planlamasında takım boyutu, takım yolu, her bir takım yolunda kesme genişliği, ve işleme zamanı gibi parametreler optimal işlem planlama için çok önemli faktörlerdir. Diğer talaş kaldırma faktörleri takım boyutuna bağlı olduğu için takım boyutunun belirlenmesi çok önemli bir faktör haline gelmiştir. Bu nedenle kalıp boşluğunun işlenmesinde optimum takım boyutunun seçimi temel görevdir. Kesici takım seçimi, işleme operasyonlarının seçimiyle de yakından ilgilidir ve seçilen takımların sayısının minimizasyonu veya kesme zamanı ve maliyetinin minimizasyonu gibi amaçlara göre yapılabilir. Aşağıda daha önceden yapılmış olan çalışmalara ait 3 ayrı yöntem ile optimum takım seçimi hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışmaların avantaj ve dez avantajları mevcuttur. Yeni yapılan çalışmada bu çalışmaların avantajlı olan kısımları alınarak ve bazı optimizasyonlar yapılarak takım seçimi optimum hale getirilmiştir.

3.1 Kontur Çizgileri Arası Kritik Mesafe Tesbitine Göre Takım Seçimi

Genel olarak takımlar 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar kaba, yarı-kaba ve ince işleme takımlarıdır. Ayrıca takımlar çapına, boyuna ve köşe radüsüne göre belirlenirler. Köşe radüsü takım yarıçapına ait takımlar küresel uçlu, köşe radüsü olmayan ya da köşe radüsü takım yarıçapından daha küçük olan takımlar düz uçlu parmak freze olarak sınıflandırılmaktadır. (Wang ve ark., 2005)

Düz uçlu takımlar yüksek MRR nedeniyle kaba işlemlerde tercih edilirler. Küresel uçlu takımlar ise kompleks yüzeylerde kaba ve yarıkaba işlemlerin finish işlemleri ile beraber yapıldığı durumlarda tercih edilmektedir. Kalıpçılıkta takım seçimi çoğunlukla geometrik unsurlara bağlıdır. Endüstriyel uygulamalardaki takım tipinin seçiminde sıklıkla operatörün deneyimi baz alınmıştır.

Yu Wang ve ark.(2005) vermiş oldukları sezgisel temelli takım tipi seçiminde uzman ve deneyimli operatörlerlerin görüşleri doğrultusunda aşağıda belirtilen sorulara verilecek cevaplarla kullanılacak takımın tipi belirlenmektedir.

1. İşlenecek oyuk içerisinde adacıklar var mı?
2. Oyuğun yan duvarı dikey mi? yada eğimli mi?
3. Adanın yüksekliğinin oyuğun yüksekliğine oranı yüksek mi?
4. Oyuğun yan duvarının eğimi uniform mu?
5. Oyuğun tabanı düz yada serbest şekilli mi?

Geometrik unsurlar bazı parametreler şeklinde sıralanabilir. Bunlar:

- Kaldırılan hacmin toplam derinliği H_c
- Adanın toplam yüksekliği His
- Kaldırılacak hacim duvarının eğim derecesi Sw
- Toplam kaldırılacak hacim Vc
- Ada üzerindeki toplam kaldırılacak hacim Vt
- Kaldırılacak hacmin duvar ve taban yüzey radüsü Rb

Yukarıdaki belirlemelere dayanarak kalıp işlemesinde takım tip seçim kuralları oluşturulabilir.

Burada;

- 1 nolu sorunun cevabı HAYIR ise ve
- 2 nolu soru nun cevabı DİKEY ise ve
- 5 nolu sorunun cevabı DÜZ ise ve
- R_b=0 ise kaba ve finish işlemler için "Düz Uçlu Freze" kullanılır.

- 1 nolu sorunun cevabı EVET ise ve
- 2 nolu soru nun cevabı DİKEY ise ve
- H_{is}/H_c önceden belirlenen bir değerden daha büyükse(sistem varsayılan değeri 0.5 ve kullanıcı bu değeri modifiye edebilir.)
- $R_b \neq 0$ ise kaba işlemler için "Düz Uçlu Freze" yada "Yuvarlatılmış Uçlu Freze", Yarıkaba ve finish işlemler için "Küresel Uçlu Freze" kullanılır.

Kaba işleme toplam işleme zamanının yaklaşık %50 sini oluşturmakta ve genellikle finish işleme zamanının 5-10 katı kadar uzun bir zaman dilimini kaplayabilmektedir. (Hatna ve ark. 1998) bu nedenle kaba işleme süresinin azaltılması üretkenliği artırdığı gibi üretim maliyetlerini de azaltmaktadır. Bu durumda kaba işlemenin optimize edilmesi önemli bir durum haline gelmektedir. Kaba işlemenin amacı yüksek miktardaki kaldırılacak hacmin genel olarak tabaka tabaka işlenmesidir. (Wang ve ark., 2005)

3.1.1 Optimizasyon Metodolojisi

Önerilen metodolojinin detaylı bir şekilde belirlenebilmesi için aşağıda tanımlamalar ve terminolojiler verilmiştir. (Wang ve ark., 2005)

Tanımlama 1(dilimleme düzlemi)(hunting plane)

Tanımlama 2(döngü)(loop)

Tanımlama 3(kritik mesafe)(key distance)

Tanımlama 4(kesme düzlemi)(cutting plane)

Tanımlama 5(uygun takım seti)(feasible tool set)

Tanımlama 6(kalıntı hacim)(residual volume)

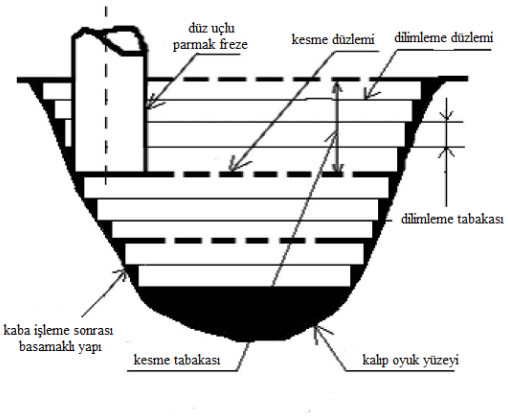
Yukarıda belirtilen tanımlamalar baz alınmak suretiyle kaba işlemedeki optimum takım seçimi için amaçlanan optimizasyon metodolojisi prosedürü aşağıda yer almaktadır. (Wang ve ark., 2005)

1. Basamak ebatlarını (kesme derinliği) ayarla
2. İç ve dış loop'ları oluştur
3. Her bir basamak için kritik mesafe(geometrik sınırlama)'yi hesapla
4. Kritik mesafe farkı belirli bir değerden küçük olan bitişik basamakları birleştir.
5. Kesme düzlemlerini ve bunlara uyan en uygun takım gruplarını belirle.
6. Bir takım kombinasyonu oluşturmada her bir kesme tabakası için takım ebatlarını belirle.
7. Takım el kitaplarından tavsiye edilen kesme parametrelerine göre (yani kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme) malzeme kaldırma debisini (MRR) hesapla.
8. Her bir kesme düzlemi için pratik olarak kaldırılan hacim ve MRR ye dayalı işleme zamanını hesapla.
9. Toplam işleme zamanını ve kalıntı hacmi hesapla
10. Takım sıralamasındaki takım ebatlarının işleme verimliliğine etkisini değerlendir.
11. Basamak ebatlarını değiştir ve 11. Maddeye kadarki tüm işlem basamaklarını optimum takım ebatlarını oluşturuncaya kadar tekrarla.

3.1.2 Optimizasyon Matematiksel Modeli

3.1.2.1 İşleme zamanı

İşleme zamanı(t)'nın amaç olarak ele alınması halinde kesme tabakalarında optimum kesici takım ebatlarının(**Şekil 3.1**) elde edilmesi için toplam kaba işleme zamanının minimize edilmesi gerekmektedir. Optimizasyonun matematik modellemesi aşağıdaki şekilde formüle edilir. (Wang ve ark., 2005)



Şekil 3.1 Dilimleme ve Kesme Düzlemleri**(**Wang ve ark., 2005)

$$\min t = \sum_{i=1}^{n} t_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{v_i}{MRR_i} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\sum_{j=1}^{m} a_j c_{ij}}{MRR_i} \qquad (3.1)$$

v_i: i. Tabakadan kaldırılan hacim

a_j: j. Kesme düzleminin taban alanı

C_{ij}: i. Tabakadaki j. Kesme derinliği

MMR_i: i. Tabakadan kaldırılan malzeme kaldırma debisi

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} < H_c \qquad (3.2)$$

C_{ij}: i. Tabakadaki j. Kesme derinliği

Hc: kesme derinliği

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_j c_{ij} < V_c \qquad (3.3)$$

a_j: j. Kesme düzleminin taban alanı

C_{ij}: i. Tabakadaki j. Kesme derinliği

V_c: toplam kaldırılması gereken hacim

$$d_i \leq r_{ik} \text{ , k=1,…..,} l \tag{3.4}$$

$$d_i = max\left\{\frac{d}{d_i}, p = 1, \dots, T_f\right\} \tag{3.5}$$

r_{ik}: i. Tabakadaki k. Basamagın key-distance miktarı

d_i: i. Kesilen tabakada kullanılan takım çapı

$$\frac{|r_{ik} - r_{i,k+1}|}{r_{ik}} \leq \varepsilon_1, \; i=1,\dots,n; \; k=1,\dots,l \tag{3.6}$$

r_{ik}: i. Tabakadaki k. Basamagın key-distance miktarı

$r_{i,k+1}$:i. Tabakadaki k+1. Basamagın key-distance miktarı

ε_1: basamakların birleşmesini kontrol eden sabit

$$\frac{\Delta V}{V_c} = \frac{V_c - \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_j c_{ij}}{V_c} \leq \varepsilon_2 \tag{3.7}$$

ΔV: kaba işlemeden sonraki kalıntı hacim

V_c: toplam kaldırılması gereken hacim

a_j: j. Kesme düzleminin taban alanı

C_{ij}: i. Tabakadaki j. Kesme derinliği

ε_2: kalıntı hacmi kontrol eden sabit

$$MRR = \left(d_i c_{ij}\right) \times (Nfz) \tag{3.8}$$

MMR_i: *i*. Tabakadan kaldırılan malzeme kaldırma debisi

N: iş mili devri

z: diş sayısı

f: diş başına ilerleme

C_{ij}: i. Tabakadaki j. Kesme derinliği

d_i: *i*. Kesilen tabakada kullanılan takım çapı

3.1.2.2 İşleme verimliliği

Optimizasyon için düzgün bir basamak ebadı seçimi işleme zamanını minimize edecek yada işleme verimliliğini maksimize edecektir.

Sadece zamanın optimize edilmesi çok bilimsel değildir. Çünkü kaba işleme süresi kısa olan bir işlemede kalıntı hacim daha büyük olabilir. Buda yarı kaba ve finish işlemlerinin süresini artırabilmektedir. Bu nedenle kaba işlemin süresini ve kalıntı hacmi aynı anda hesaba katılmalıdır. İşleme zamanı ve kalıntı hacim ne kadar küçükse işleme verimlilik katsayısı o kadar yüksektir. (Wang ve ark., 2005)

$$\mathrm{Q} = \frac{t}{\frac{V_c - \Delta V}{V_c}} \times \frac{\Delta V}{V_c} = \frac{t\frac{\Delta V}{V_c}}{1-\frac{\Delta V}{V_c}} = \frac{tk}{1-k} \tag{3.9}$$

$$\mathrm{k} = \frac{\Delta V}{V_c} \tag{3.10}$$

$$q = \frac{1}{Q} \tag{3.11}$$

Q:kalıntı hacmin işlenmesi için zaman katsayısı

V_c: toplam kaldırılan hacim

ΔV: kaba işlemeden sonraki kalıntı hacim

k: kalıntı hacim yüzdesi

q: verimlilik katsayısı

3.1.3 İlgili Çözüm Algoritmaları

3.1.3.1 Çizgi segmentlerinden loop'ların oluşturulması

Loop, bir grup çizgi segmentinin birbiri ile birleşiminden oluşan kapalı bir eğri olarak düşünülür. Yani bir segmentin başlangıç noktası diğer bir segmentin son noktası ile birleştirilmesidir.

Genel olarak kapalı bir loop 2 özellik içerir. (Wang ve ark., 2005)

1. Her bir çizgi segmentinin son noktası diğer iki çizgi segmentlerinin son noktaları ile sırası ile çakışır. Yani bir segmentin son noktası diğer segmentin başlangıç noktasıdır. Böylece sıralanmış bir dizi çizgi segmenti kapalı bir loop oluşturur.
2. Bir loop içindeki herhangi iki çizgi segmenti sınırlanmadıkça kesişemez. Dolayısı ile kapalı bir loop ta bireysel kesişim yoktur. Bu loop özelliklerine göre bir loop elde etmek için esas fikir kontrol noktası olarak belli bir segment son noktasının alınmasıdır.

Tekrarlı olarak bunların yapılması ve belirli segmentlerin son noktası ile ilk segmentin başlangıç noktası aynı olduğu zaman loop'un tamamı elde edilir. Bağlantılı liste formunun adapte edilmesi ile loop'ların veri yapısı aşağıdaki gibi oluşturulabilir. (Wang ve ark., 2005)

Algoritma aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

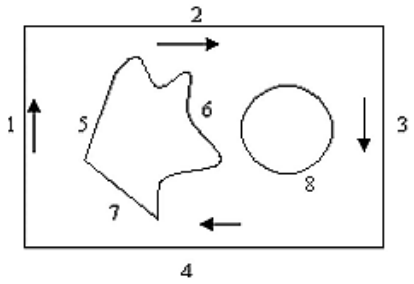
1. Aynı loop a ait çizgi segmentlerini bul ve bir düzenleme kullanarak bu segmentlerin ID numaralarını kaydet.
   - Kontrol noktası olarak bir çizgi segmentinin son noktasını seç
   - Bu nokta segmentin diğer son noktası ile aynı nokta ise segmentin kendisi bir loop oluşturur. Aynı nokta değilse kalıcı çizgi segmentlerinin son noktalarını araştır.
   - Kontrol noktası bir çizgi segmentinin son noktası ile aynı nokta ise loop'un bağlantı listesine kontrol noktasını kaydet. Kontrol noktası olarak çizgi segmentinin diğer son noktasını oluştur.
   - Eğer kontrol noktası bu loop'un başlangıç noktası ile aynı nokta ise loop numarasını ve bağlantı liste verisini kaydet. Eğer kalıcı çizgi segmentleri var ise o zaman loop bulma prosedürünü yeniden başlat. Değilse bir sonraki çizgi segmentini araştır.
2. Segmentlerin aynı loop a ait olup olmadığına göre elemanın depolanan segment ID'lerinin sıralamasını yeniden düzenle
3. İlk elemanın adresleme ve çizgi segmentleri sayısını kaydet

Şekil 3.2 örnek alınabilir. 8 çizgi segmentinden oluşan 3 kapalı loop vardır(lopp 1-2-3-4, loop 5-6-7, loop 8) bunların son noktalarının koordinatları ve ID

numaraları elde edildi, fakat bu Id numaralarının sıralamaları yapılmamıştır. (Wang ve ark., 2005)

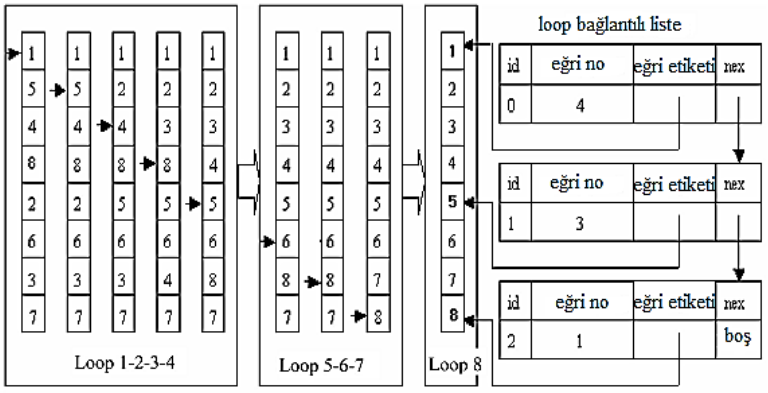
Segment 1 in son noktası(saat yönünde) kontrol noktası olarak alınabilir. Çizgi segmentlerinin son noktaları 5-4-8-2-6-7-3 sıralamasına sahip kontrol noktaları ile çakıştığı tahmin edilir.

İlk olarak segment 2 bulunur sonra segment 5 ile segment 2 nin ID adreslemeleri değiştirilir. Yukarıdaki işlemleri tekrar ederek segment 4 ün son noktası ile segment 1 in başlangıç noktasının aynı olduğu değerlendirilmesinin yapılması ile loop 1-2-3-4 elde edilir.



Şekil 3.2 Segmentlerden Oluşan Loop'lar(Wang ve ark., 2005)

3 loop'un hepsinin tanımlama işlemi **Şekil 3.3** de gösterilen algoritmaya dayanmaktadır.

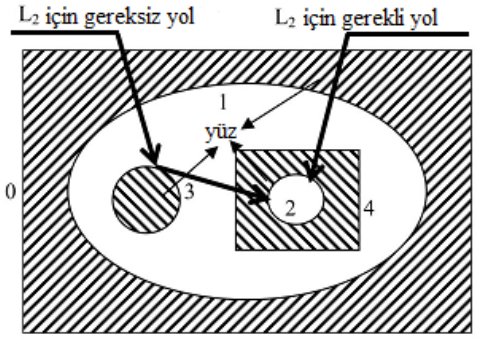


Şekil 3.3 Amaçlanan Algoritmaya Dayalı Loop'ların Oluşturulması(Wang ve ark., 2005)

3.1.3.2 İç ve dış loop'ların belirlenmesi

Bir çok loop un elde edilmesine rağmen loop lar arasındaki ilişki için loop A nın loop B yi kapsayıp kapsamadığı hala açık değildir. Loop özelliklerine göre ne loop ların kendi içinde bir kesişim ne de loop lar arasında bir kesişim yoktur. Dolayısı ile loop A loop B nin bir noktasını kapsıyor ise o zaman loop A loop B yi kapsar sonucu

elde edilebilir. Yani A ⊃ B. Eğer A ⊃ B ⊃ C, o zaman A ⊃ C. Doğrudan içermek ilişkisini ayırmak için (A ⊃ B ya da B ⊃ C) A ⊃ C doğrudan olmayan içerik ilişkisi olarak düşünülür. **Şekil 3.4** iç ve dış loop ların tanımlanmasını göstermektedir. Şekilde 5 loop vardır(L_0, L_1, L_2, L_3, L_4). Tanımlama işlemi aşağıdaki gibidir.



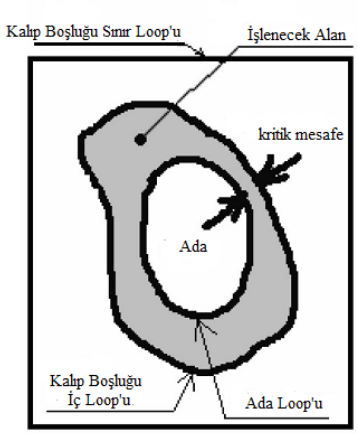
Şekil 3.4 İç ve Dış Loop'lar(Wang ve ark., 2005)

1) L_0 ın diğer dış loop lar tarafından içerilip içerilmediğini teyit et. L_0 ın bir noktasını alarak(genellikle son noktası) bu noktayı içeren diğer loop ların olup olmadığına bak.
2) L_0 ın diğer iç loop ları içerip içermediğini teyit et. L_1, L_2, L_3, L_4 elde edilir.
3) Diğer loop lar içinde aynı işlemi uygula. Sonuçlar: tüm set F ⊃ { L_0, L_1, L_2, L_3, L_4}, L_0⊃ {L_1, L_2, L_3, L_4}, L_1 ⊃{L_2, L_3, L_4}, L_2 ⊃ ø, L_3 ⊃ ø, L_4 ⊃ L_2
4) Sonuçlar arasından doğrudan olmayan içerme ilişkilerini kaldır. L_1 kapsar L_2(çünkü L_1 kapsar L_4 ve L_4 ⊃ L_2 den elde edildiği için) dolayısı ile yeni sonuçlar F ⊃ L_2, L_0 ⊃ L_1, L_1 ⊃ { L_3 L_4}, L_2 ⊃ ø, L_3 ⊃ ø ve L_4 ⊃ L_2.
5) Aşağıdaki kriterlere göre iç ve dış loop ları belirle(Wang ve ark. 2001)
    - Tüm setler tarafından doğrudan içerilen loop lar dış loop lardır.
    - Dış loop lar tarafından doğrudan içerilen loop lar iç loop lardır.
    - İç loop lar tarafından doğrudan içerilen loop lar dış loop lardır.

Dolayısı ile sonuçlar elde edilir: L_0 dış loop tur. Çünkü tüm set tarafından doğrudan içerilir. L_1 iç loop tur çünkü dış loop L_0 tarafından doğrudan içerilir. L_3 ve L_4 dış loop lardır. L_2 iç loop tur. (Wang ve ark., 2005)

3.1.3.3 Kritik mesafelerin hesaplanması

İşleme esansında takım ve parça arasındaki dalmadan kaçınmak için seçilen takım çapı geometrik sınırlamaya örneğin *kritik mesafeye*(**Şekil 3.5**) eşit yada küçük olmalıdır. *Kritik mesafeyi* hesaplamak için oluşturulan prosedür yukarıda bahsedilen iç ve dış loop ları elde etmeyi ve tanımlamayı esas alan algoritmalardan oluşmaktadır. Bu prosedürün taslağı aşağıdaki gibi oluşturulabilir. (Wang ve ark., 2005)



Şekil 3.5 Kritik Mesafenin Şematik Gösterimi(Wang ve ark., 2005)

1. Dilimleme Düzlemi(HP) basamak ebatını gir. Örneğin düzlem aralığı
2. İşlenecek cismin CAD modelini seç ve takım yaklaşım yönünde (z ekseninde) minimum ve maksimum koordinatları elde etmek için sınırlarını hesapla.
3. Kalıp boşluğu derinliğini ve kalıp boşluğu üst yüzeyinden ada üst yüzeyine kadar ki mesafeyi hesapla. Eğer kalıp boşluğunun tabanı düz değilse yüzeyin en düşük noktası referans olarak alınabilir.
4. Dilimleme Düzlemi(HP) ile oyuk yüzeyinin kesişimi ile ara kesit çizgi segmentlerini elde et.
5. Arakesit çizgi segmentlerinden loop ları elde et.
6. İç ve dış loop lar tanımla
7. Loop lardan yüzeyleri oluştur.
8. İki yüzey arasındaki minimum mesafeyi UG/Open API fonksiyonu ile hesaplayarak kritik mesafeyi(key distance) hesapla(Wang ve ark., 2005)

3.1.3.4 Dilimlenen tabakaların birleştirilmesi

Toplam işleme zamanının azaltılması için bitişik bitişik dilimleme tabakaları birleştirerek kaba işleme için takım kombinasyonu optimize edilebilir.

Birleştirme işlemi yalnızca seçilen takımın birleştirilen tabakaya uygun olması durumunda mümkündür.

Şekil 3.5'de gösterildiği gibi dilimleme tabakaları için uygun takımların çapları kritik mesafeden küçük yada eşit olan takımlardır.

Kritik mesafeleri birbirine yakın olan dilimleme tabakalarını birleştir. Birleştirilen bu tabakalar kesme tabakası ismini alacaktır.

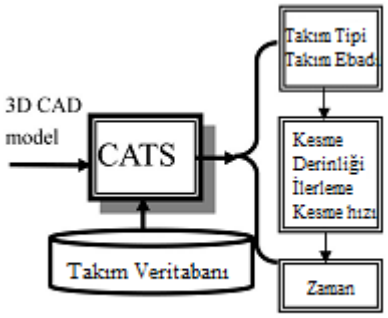
Kesilecek tabakaların sayısı makul seviyede olmalıdır.

Birleştirme işlemlerinin tamamlanmasından sonra kesme düzlemleri sayısı ve her bir kesme düzlemi için dilimleme tabakalarının sayısı belirlenir. (Wang ve ark., 2005)

3.1.4 Sistem Modüllerinin Oluşturulması

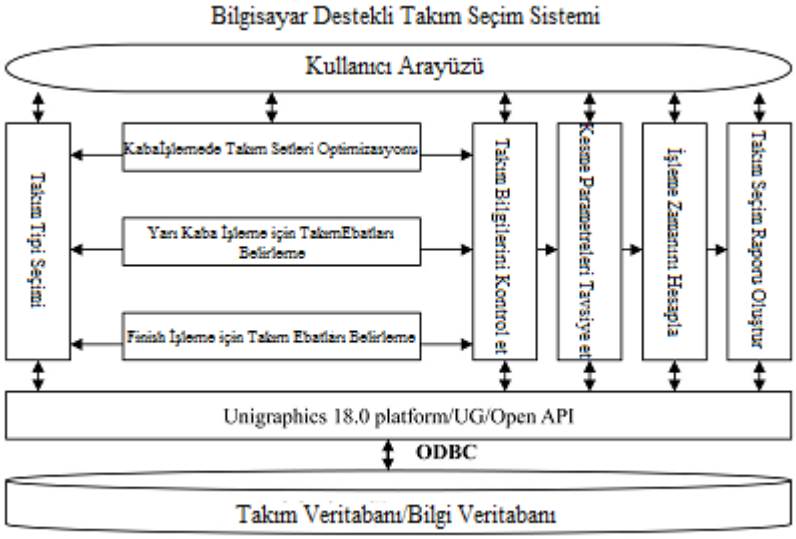
Çalışmada bilgisayar destekli takım seçimi(CATS) sistemi Unigraphics 18.0 CAD/CAM platformu ile UG/Open API sistemlerinden oluşmaktadır. Takım veri tabanı, takım bilgileri ve takım kesme parametrelerini kaydeden "Oracle 8i" veri tabanı yönetim sistemi tarafından desteklenmektedir. UG yazılımı ile veritabanı arasındaki iletişim ODBC(Open Database Connectivity) tarafından sağlanmaktadır. Tüm takımların verileri kalıpçılık endüstrisinde kullanılan WALTER şirketi tarafından yayınlanan karbür takım kataloğundan alınmıştır

Şekil 3.6 sistemin girdi ve çıktılarını şematize etmektedir. Sistemin giriş bilgisi kalıp CAD modelidir. Sistemin çıkış bilgisi takım tipi, takım ebatları, kesme parametreleri ve işleme zamanıdır. Burada takım seçimi ve kesme parametrelerinin program tarafından belirlenmesinden sonra takım yolu oluşturulmaktadır. (Wang ve ark., 2005)



Şekil 3.6 Sistemin Girdi ve Çıktıları(Wang ve ark., 2005)

CATS sistemi 3 ana modülden oluşmaktadır. Bunlar kaba işleme, yar-kaba işleme ve finish işlemedir(**Şekil 3.7**). Her bir modülün altında 5 alt modül bulunmaktadır. Bunlar; takım tip seçimi modülü, takım bilgileri kontrolü modülü, takım parametreleri öneri modülü, işleme zamanı tahmini modülü ve 3 ana modülden oluşan takım seçim raporlamasıdır. Her bir modül aşağıda detaylandırılmıştır. (Wang ve ark., 2005)



Şekil 3.7 CATS Sisteminin Ana Modülleri

3.1.4.1 Takım tipi seçimi modülü

Bu modülün fonksiyonu farklı tip operasyonlar için takım tipinin belirlenmesinde karar vermeye yardımcı olmaktadır. Takım tipi seçimi bilgileri, uzmanlar ve el kitaplarından elde edilmektedir. Modül kalıp boşluğu geometrisinin ana özelliklerinin belirlenmesinden sonra takım tipini önermektedir. Bilgisayar ve kullanıcı bilgilerinden en üst düzeyde istifade eden programda son karar yine de kullanıcıya bırakılmıştır. (Wang ve ark., 2005)

3.1.4.2 Takım bilgileri kontrol modülü

Kullanıcı takım tipini ve ebatlarını seçtikten sonra son karar için takımların detaylı teknik bilgilerinin kontrolünün yapılmasına bu modül tarafından izin verilir. Takım verileri takım üreticileri tarafından yayınlanan el kitaplarından alınmaktadır. (Wang ve ark., 2005)

3.1.4.3 Kesme parametreleri öneri modülü

Bu modül kullanıcının iş parçası malzemesi ve sertliği bilgilerini belirlemesinden sonra seçilecek takımlar için kesme parametreleri önerileri için dizayn edilmiştir. Burada iş parçası malzemeleri 6 grupta kategorize edilmiştir(Wang ve ark., 2005)

- Çelikler; alaşımsız takım çelikleri, ısıl işlem çelikleri, sertleştirilmiş çelikler ve nitrasyon çelikleri.
- Paslanmaz çelikler ve döküm çelikler; Örneğin korozyona dayanıklı çelik ve martenzitik sertleştirilebilir çelik
- Dökme demir; gri dökme demir, alaşımlı gri dökme demir, sfero grafitli dökme demir ve alaşımlı sfero grafitli dökme demir
- Demir dışı metaller; alüminyum, demir dışı malzemeler ve metal olmayan malzemeler.
- Zor işlenen malzemeler; titanyum alaşımları
- Sert metaller; sertleştirilmiş çelikler.

Farklı gruplar için ilgili gruba ait sertlik kaliteleri mevcuttur. Yani alaşımsız çelikler için farklı karbon miktarları ve ısıl işlem koşullarına bağlı olarak sertlik kaliteleri sırası ile 125, 190, 250, 270, 300HB'dir. Kullanıcı diğer faktörlerin sistem tarafından hesaba katılmasının iyi bir şey olduğunu düşünür ise sistem, önerilen değerlerin değiştirilmesine izin vermektedir. (Wang ve ark., 2005)

3.1.4.4 İşleme zamanı tahmini modülü

Bu modül MRR dan elde edilen kaldırılan hacim ve kesme parametrelerini kullanarak işleme zamanını hesaplamaktadır. İşleme maliyeti, kullanılan takımlar tarafından önemli derecede etkilenen işleme zamanının basit bir faktörüdür. Eğer maliyetler belirlenmesi istenilecek olursa işleme zamanı ile parça başına işleme maliyeti değeri ile çarpılır(Maropoulos ve ark. 2000 Part 2). Yapılan çalışmada CATS sistemi tarafından yarı kaba ve finish işlemleri için işleme zamanı tahmini gerçekleştirilmemiştir. (Wang ve ark., 2005)

3.1.4.5 Takım seçimi raporlaması

Bu modül takım seçimi sonuçlarını özetlemektedir. İçerik 2 parçadan oluşmaktadır: temel bilgiler ve teknik bilgiler. Temel bilgiler tarih, kullanıcı adı, parça adı vs., ve tesis bilgi yönetimi. Teknik bilgiler ise operasyonlar, takım tipi ve ebatları, kesme parametreleri, NC takım yolu bilgilerinin UG/CAM modülüne aktarılması ile belirlenen yaklaşık operasyonel ve toplam işleme zamanlarını içermektedir. Çıktı raporları 2 özelliği ihtiva etmektedir. Bunlar raporun bir dosyaya ve diğer kuruluşların uygulamalarına entegrasyonu kolaylaştırmak için *Ürün Veri Yönetimi* (PDM(Product Data Management)), *Kuruluş Kaynak Planı* (ERP(Enterprise Resource Planning)) gibi başka bilgi sistemleri tarafından kullanılabilecek bir veri tabanına kaydedilmesidir. (Wang ve ark., 2005)

3.2 İzafi Kalıntı Hacim İşleme Miktarına Göre Takım Seçimi

Bir iş parçasının üretimi planlamasında en önemli adımlardan bir tanesi kesici takım seçimidir. Takım çapı seçimi optimizasyonunda birkaç algoritma mevcuttur. Bu çalışmada 3 boyutlu hacimlerin ve 2 boyutlu profillerin işlenmesinde optimum takım seçimin belirlenmesi için geliştirilen bir metodu tanımlamaktadır. Algoritmalar büyük çaplı takımın işleyemediği kalıntı hacimleri ve belirlenen işlenecek unsurlara erişebilecek takımların izafi kalıntı hacim işleme sürelerini(Reltive Delta Volume Clerance Rate(RDVC)) dikkate almaktadır. Tanımlanan prosedür takım yolu uzunluğu, dalma miktarı vs. işleme parametrelerini içermemesi nedeni ile tam sonuç vermemektedir. Ancak belirtilen parametreler gerçek hesap değerlerinde değişiklik yapabilmesine rağmen takımların izafi sıralamasında yalnızca küçük farklılıklar meydana getirmektedir. Burada sunulan sonuçlar takım kombinasyonlarının doğru bir şekilde yapılması işleme zamanını kayda değer şekilde azaltmaktadır. Sonuç olarak ticari CAM sistemlerindeki takım yolu oluşturma işlemleri bu yapılan çalışma ile modifiye edilebilecektir. (Lim ve ark., 2001)

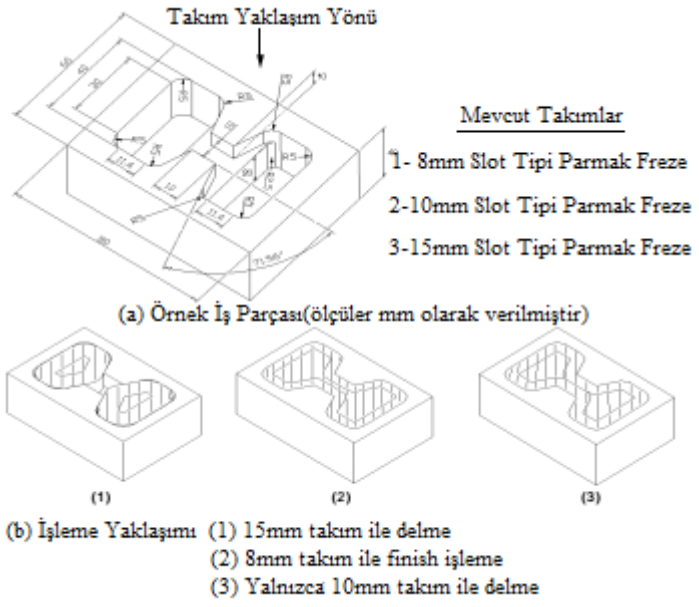
İşleme prosesleri bir çok denetimi içermektedir(tezgah sıralama organizasyonu, takım seçimi, kurulum vs.). İşleme zamanını etkileyen en temel karar muhtemelen takım seçimidir. Ancak mevcut ticari CAM yazılımları bu kritik kararı destekleyecek hiçbir geometrik analiz sağlamamaktadır. Bu çalışma daha önceki yapılmış olan *Takımın Erişebileceği Hacim*(Tool Access Volumes (TAV))'nden yararlanarak

otomatik takım sıralama ve optimum takım seçimi metodolojisini sunmaktadır. Bu takım erişebilirlik algoritması *Takım Erişebilirlik Dağılımı*(Tool Access Distribution (TAD)) oluşturulması için kullanılır ve otomatik hale getirilmiş optimum takım seçiminden elde edilen *İzafi Kalıntı Hacim İşleme Zamanı*(Reltive Delta Volume Clerance Rate(RDVC)) verileri oluşturulabilmektedir. (Lim ve ark., 2001)

3.2.1 Takım Sıralama ve Takım Seçimi

Proses planlamada takım seçimi önemli bir karar mekanizmasıdır. Esnek üretim sistemlerinin artması ile takım seçimini destekleyen yazımların önemi artmaktadır. Üretimin fırsata dönüştürülebilmesi için mevcut takımların zeki bir şekilde kullanılması esastır. Takım seçimindeki birçok çalışma farklı üretim kriterleri üzerinde etkilere yoğunlaşmıştır. Bu kriterlere öncülük edenler; yüzey bitirme işlemi, optimum kesme hızları, ilerlemeler ve kesme derinliğini gerektiren, takım ömrü yada düşük operasyon maliyetleri vs.'dir. Çalışma sadece iş parçası şekli tarafından etkilenen geometrik sınırlamaları dikkate almaktadır. (Lim ve ark., 2001)

Problemi iyi anlayabilmek için kelebek şeklinde cep işleme yapılacak parçayı dikkate alalım(**Şekil 3.8**). Burada planlamayı yapacak kişi için kaldırılacak malzemeyi en kısa zamanda hangi takım yada takım setlerini kullanarak sağlayabileceğine karar vermek önemlidir. Planlama yapan kişi tek bir iş parçası ve mevcuttaki takımlar ile sınırlı olunduğu varsayarak tek takım ile tüm cebi işlemeyi tercih edebilir (**Şekil 3.8 b(3)**). (Lim ve ark., 2001)



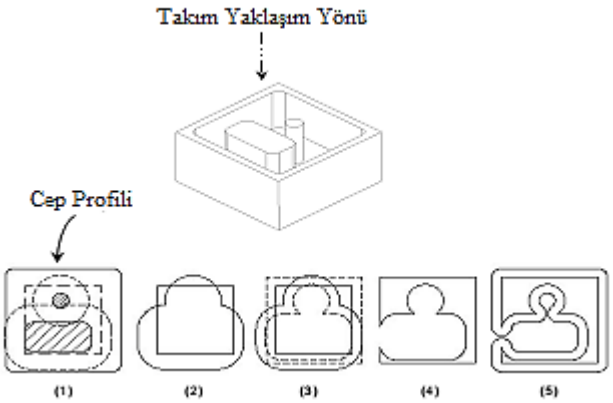
Şekil 3.8 Takım Seçiminde Hangi Takımların Optimum Olduğu Çelişkisi(Lim ve ark., 2001)

Ancak tek takım seçim yaklaşımı, her bir takımın çapıyla orantılı olarak değişen kalıntı hacim işleme miktarı nedeni ile verimsizdir. Küçük çaplı takım seçimi ile bütün alanlara erişebilir ancak küçük talaş debilerinde çalışılmak zorundadır, diğer taraftan büyük çaplı takım seçimi ile büyük talaş debilerinde çalışılırken bu takımlar ile erişilemeyecek alanların miktarı da büyük olacaktır. (Lim ve ark., 2001)

3.2.2 Takım Erişim Hacmi(Tool Access Volume(TAV)) Hesaplaması

Takım seçimi için sunulan metod, 3 boyutlu katı yada 2 boyutlu profillerde bir set işleme özellikleri ya manuel olarak yada otomatik olarak belirlenebileceğini dikkate almaktadır. Belirlenen bir set işleme özellikleri ve bir takım çapı ile *Takım Erişim Hacmi*(Tool Access Volume(TAV)) hesaplanabilir ve aynı zamanda cep ve delik vs.gibi oyuk unsurların içerisindeki ve çıkıntı şeklindeki unsurların etrafındaki kalıntı hacimlerin belirlenmesi için ve kullanılabilir. Lim ve ark. (2001) geliştirdiği Takım Erişim Hacmi oluşturma metodunun detayları **Şekil 3.9**'da verilmiştir. Ayrıca bu metod aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Seçilen takım çapları kullanılarak unsur profilleri üzerinde başlangıç ofseti oluşturulur. **Şekil 3.9(1)**'de gösterildiği üzere cep pofilleri iç kısma, ada profilleri dış kısma doğru ofsetlenir. Bunun 2 amacı vardır. İlk olarak ofsetleme takımın malzeme kaldırma için erişim yapıp yapmadığını belirlemesi. İkincil olarak takımın temas etmeksizin hareket edebileceği alanın belirlenmesidir. Eğer ofsetleme durumunda bir hata meydana gelirse takım büyük seçilmiş sayılmaktadır.
2. Eğer ada profillerinin ofsetlenmesinde kesişim meydana gelirse birleştirme yapılır(**Şekil 3.9(2)**)
3. Profiller takım yarıçapı kadar ofsetlenir. Ofsetleme yönü önceki bahsedilenin tam tersidir. Yani cepler dış kısma doğru, adalar iç kısma doğru ofsetlenir(**Şekil 3.9(3)**)
4. Maksimum takım yolu sınırlarının elde edilmesi için cep ve birleştirilmiş ada profilleri arasında kesişim operasyonu uygulanır(**Şekil 3.9(4)**).
5. Son olarak takım yolu sınırları takım yarıçapı kadar dışa doğru ofsetlenir ve Takım Erişim Hacmi(TAV) oluşturmak için süpürme işlemi gerçekleştirilir(**Şekil 3.9(5)**).

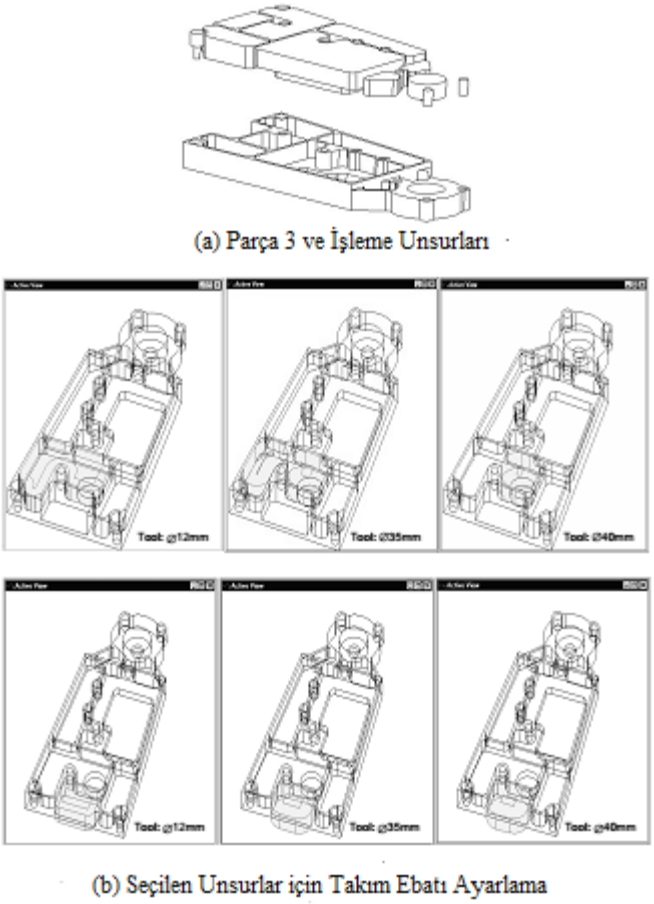


Şekil 3.9 TAV Prosedürü(Lim ve ark., 2001)

a) Cep ve ada profillerinin takım çapı kadar ofsetlenmesi(kesikli çizgiler)
b) Kesişen ada profillerinin birleştirilmesi
c) Birleştirilen ada ve cep profillerinin takım yarıçapı kadar ofsetlenmesi
d) Birleştirimiş ofsetler kağıt düzlemi ile profilleri birleştirir- sonuç olarak takım tarafından erişilebilir kesin bir takım yolu oluşturulur.
e) Bu takım yolunun takım yarı çapı kadar ofsetlenmesi ve unsurların sıralaması ile gerçekleştirilen süpürme işlemi ile Takım Erişim Hacmi(TAV)'ni meydana getirmesi(Lim ve ark., 2001)

Şekil 3.10(a)'da Heriot-Watt Unsur Tesbit Edici(Little ve ark.(1997, 1998)) kullanılarak bir set işleme unsuru tespit edildiği görülmektedir. **Şekil 3.10(a)**'da tespit edilen işleme unsurlarının 2 tanesinin Takım Erişim Hacmi(TAV) hesaplamasının sonuçları **Şekil 3.10(b)**'de gösterilmektedir.

Tüm *Takım Erişim Hacimleri*(TAV) ilgili takım çapı ile listelenir. Bu listenin içeriği *Takım Erişim Dağılımı*(Tool Access Distribution(TAD)) ve bir sonraki bölümde açıklanacak olan *Kalıntı Hacim İşleme Dağılımı*(Delta Volume Clearance Distribution(DVCD)) eğrileri oluşturmak için çıktı alınır.



(a) Parça 3 ve İşleme Unsurları

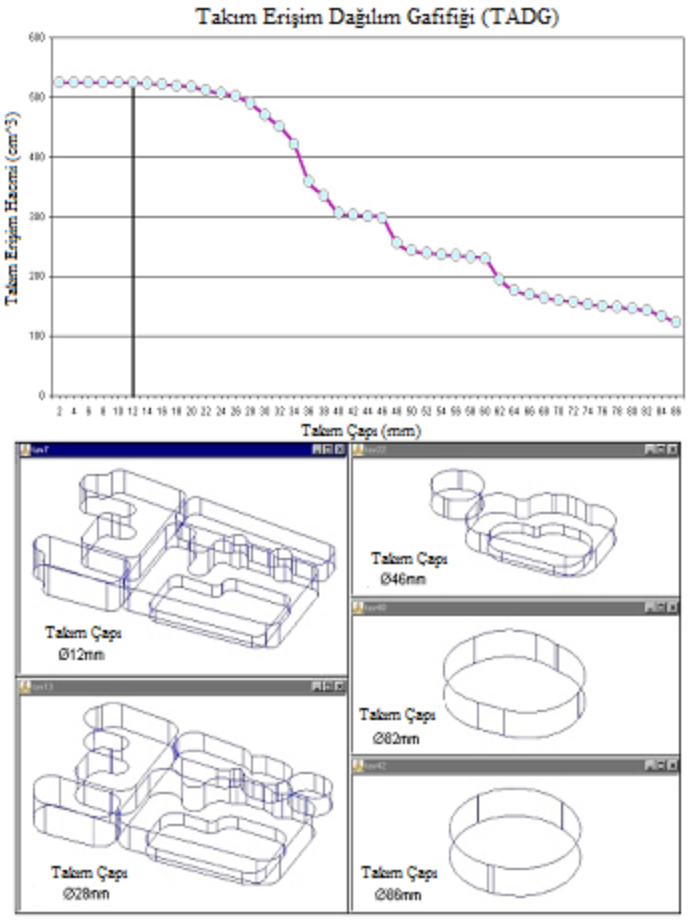
(b) Seçilen Unsurlar için Takım Ebatı Ayarlama

Şekil 3.10 Parça 3'ün Seçilen 2 Unsuru için Takım Ölçüleri(herbir farklı takım çapı için erişilebilecek hacim/ler değişimine dikkate alınmalıdır)(Lim ve ark., 2001)

3.2.3 TAD ve DVCD Eğrileri

TAD eğrileri erişilebilir hacimler ile takım çapı arasındaki değişimleri temsil etmektedir. Takım çapları, takımın erişilebilirliğinin mümkün olmadığı takım çapına kadar artan miktarda değişmektedir.(Lim ve ark., 2001)

Şekil 3.11.'de *Parça* için TAD eğrisi 12mm çap'a kadar ki takımların hepsi 525.174 cm3 hacimdeki malzemeyi tamamen işlediği açıkça göstermektedir. Diğer taraftan 32mm çapa'a sahip takım kalıntı hacmin yaklaşık %86 işleyebildiği görülmektedir.



Şekil 3.11 Takım Erişim Dağılımı ve Parça Örnek İşleme Hacmi

Kalıntı hacmin %100 ünü işleyecek en büyük çaplı takımın tesbit edilmesinden sonra bir sonraki adım sıralamadaki en etkin ikinci takımın belirlenmesidir. Bu proses toplam işleme zamanı yada izafi kalıntı hacim temizleme miktarının takım çapına bağlı olarak değişiminin bir grafik olarak çizilmesi ile görselleştirilebilir. Bu grafik *Kalıntı Hacim İşleme Dağılımı* grafiği olarak adlandırılır. Grafik üzerindeki ilk nokta tek bir takımla tüm malzemeyi işleyen takım ve bu takıma ait hesaplanmış işleme zamanı görülmektedir. (Lim ve ark., 2001)

Şekil 3.12.'da bu ilk noktayı takip eden her bir yeni nokta izafi kalıntı hacim işleme miktarının(RDVC) temsil etmektedir ve aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$RDVC = \frac{R_v}{C_1} + \frac{V_2}{C_2} \tag{3.12}$$

$$R_v = V_1 - V_2 \tag{3.13}$$

Burada;

RDVC: izafi kalıntı hacim temizleme süresi(dk)

R*v*: Kalıntı hacim(cm3)

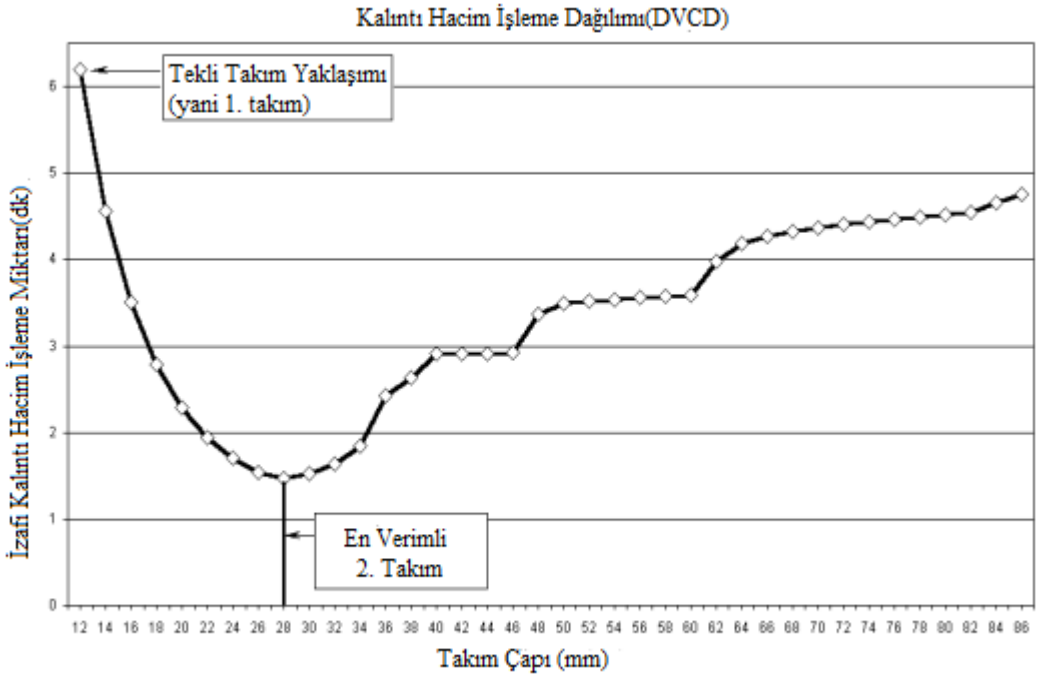
V_1: 1. Takımın erişebileceği hacim(%100 işleme yapacak)(cm3)

V_2: 2. Takımın erişebileceği hacim(cm3)

C_1: 1. Takımın malzeme kaldırma debisi(MRR)(cm3/dk)

C_2: 2. Takımın malzeme kaldırma debisi(MRR)(cm3/dk)

C_1 ve C_2 işleme merkezi default değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Yaptıkları bu çalışmada 2 dişli HSS delik matkabı ile alüminyum alaşımlarının işlenmesi için tavsiye edilen işleme verilerini ve düzeltmelerini içeren WADKIN V5-10 kullanılmıştır.(Lim ve ark., 2001)



Şekil 3.12 Kalıntı Hacim İşleme Dağılım Eğrisi(DVCD)

Parça 3'ün DVCD eğrisi(**Şekil 3.12**) tek takım yaklaşımının verimsiz olduğunu göstermektedir. Bu durumda DVCD grafiğinde tek takım ile 6 dk nın üzerinde olan işleme zamanı 2 takım ile 1,5 dk civarlarına düşmektedir.

İkinci en verimli takım çapından sonraki takımlarda takım çapı artarken RDVC değeri de artmaktadır. Daha büyük takım daha çok kalıntı hacim meydana getirecek ve

bu kalıntı hacim de daha küçük takımla daha uzun zamanda işlenecektir. (Lim ve ark., 2001)

3.2.4 Takım Seçim Metodolojisi

Takım seçimi ve optimizasyonu işlemleri aşağıda özetlenmiştir. (Lim ve ark., 2001)

1.Adım: verilen 3 boyutlu katı model yada 2 boyutlu profiller için belirlenen tüm takımlar ve bu takımların erişebileceği alan/ları hesapla. Takım çapı erişim için çok büyük olduğu durumda prosesi durdur. Erişim hesaplama sonuçları takım erişim dağılımı eğrisi(TAD) oluşturularak görsel hale getirilir(**Şekil 3.12**).

2.Adım: %100 erişimi sağlayacak en büyük çaplı takımı seç. Bu takım sonuncu takım olsun yani takım sıralamasında (0.) takım olsun

3.Adım: yeni bir takım sıralamasının belirlenmesinde (0.) takım ile bundan daha büyük çaplı takımlarının her biri ayrı ayrı takım kombinasyonu oluşturacak şekilde toplam işleme zamanları hesaplanır. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ile DVCD eğrisi oluşturulur. Buradan en verimli ikinci takım belirlenir.

4.Adım: DVCD eğrisi tarafından önerilen takım sırlamada(1.) olarak yer alır.(yani (0.) takım ile kombinasyon oluşturulmuş (0.) takımdan daha büyük çapta en verimli ikinci takım) DVCD eğri oluşturma ile ikinci büyük takım Takım Erişim Dağılımı(TAD) sıralamasından elde edilebilir.

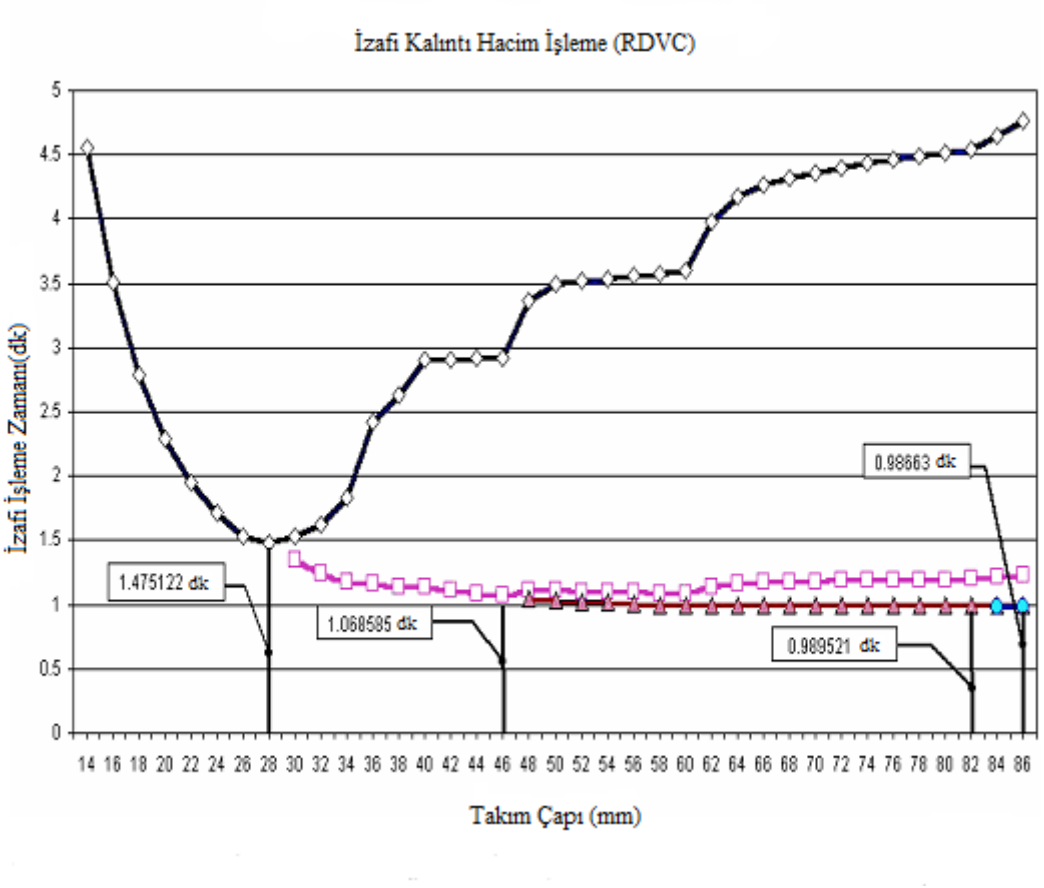
5.Adım: tüm DVCD eğrilerinin birleştirilmesi ile İzafi Kalıntı Hacim İşleme(RDVC) grafiği oluşturulur(**Şekil 3.13**)

3.2.5 İzafi Kalıntı Hacim İşleme (RDVC) Grafiği

Şekil 3.13'deki RDVC grafiğinde takımların seçimleri ile ilgili olarak DCVD eğrileri çizilmiştir. Burada amaç verimli işleme gerçekleştirecek takım çapları arasında izafi işleme miktarının ölçümünü gerçekleştirmektir. Her bir eğri için, eğrinin dönüm noktasında bir takım değişimi gerçekleştirilir.(Lim ve ark., 2001)

Bir noktaya dikkat etmek gerekir: bu izafi miktarların her birinin hesaplanması yalnızca her bir verimli takım ile yapılan işleme operasyonları arasındaki unsurların etrafında yada içinde kalan kalıntı hacmin işlenmesine bağlıdır. Her bir takıma uygun işleme alanlarının takım tarafından mümkün olduğunca tamamının işlediği var sayılmaktadır. Önce seçilen ilk takım ile alan temizlenir, bir sonraki takım bu alanları

işlemeye gerek duymaz. Ayrıca öngörülen işleme zamanına, adaların kalıntı hacimleri arasındaki takım geçişleri dahil edilmemektedir.(Lim ve ark., 2001)

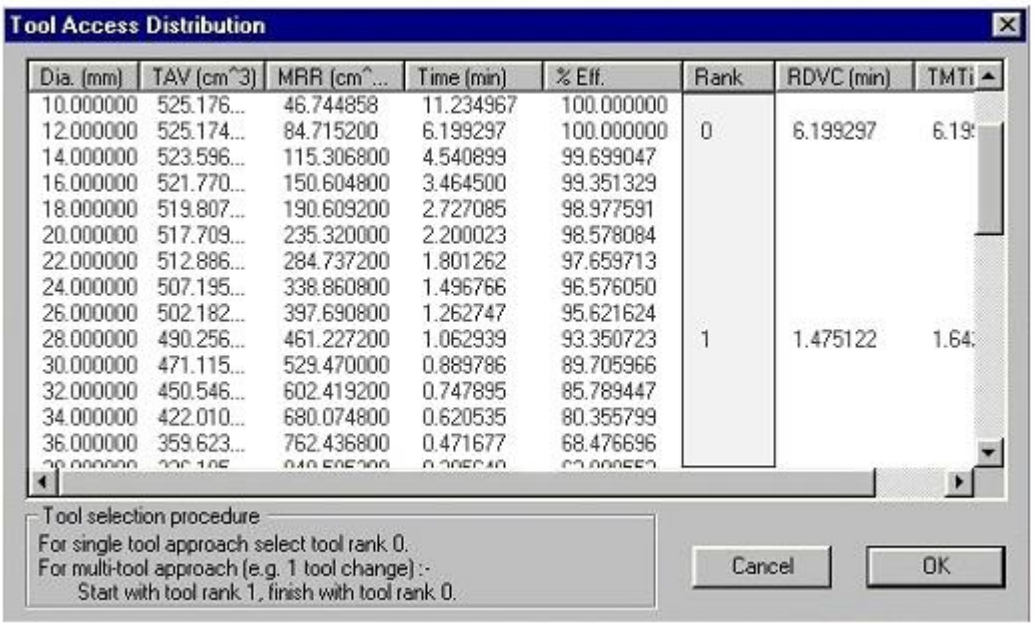


Şekil 3.13 Parça için İzafi Kalıntı Hacim İşleme Diyagramı(Lim ve ark., 2001)

3.2.6 Optimum Takım Sıralaması

Takım seçimi sonuçları kullanıcıya Optimum Takım Sıralama Numarası şeklinde sunulmaktadır. Buradaki proses esas olarak istenilen sayıda takım değişimi meydana getiren takım seçim tabanlı bir prosestir. RDVC verilerinin otomatik olarak ayrıştırılması ile takımlar, izafi alan temizleme miktarlarına göre sıralanırlar. (Lim ve ark., 2001)

Minimum izafi miktar tesbit edilince optimum takımlar sıralanır. Sıralama prosedürü tüm volumetrik temizlemeye uygun en büyük çaplı takım, finish takımları da dahil olmak üzere, sıralamada daima (0.)'dır. Ardışık bir loop, daha sonra ilk takıma(örneğin 1,2,3…) göre sıralamaya konulmak üzere yeni bir takımı belirlemek için kullanılır.



Şekil 3.14 Seçilen 1 Set Unsur için Optimum Takım Sıralamasını Gösteren Takım Seçim Arayüzü(Lim ve ark., 2001)

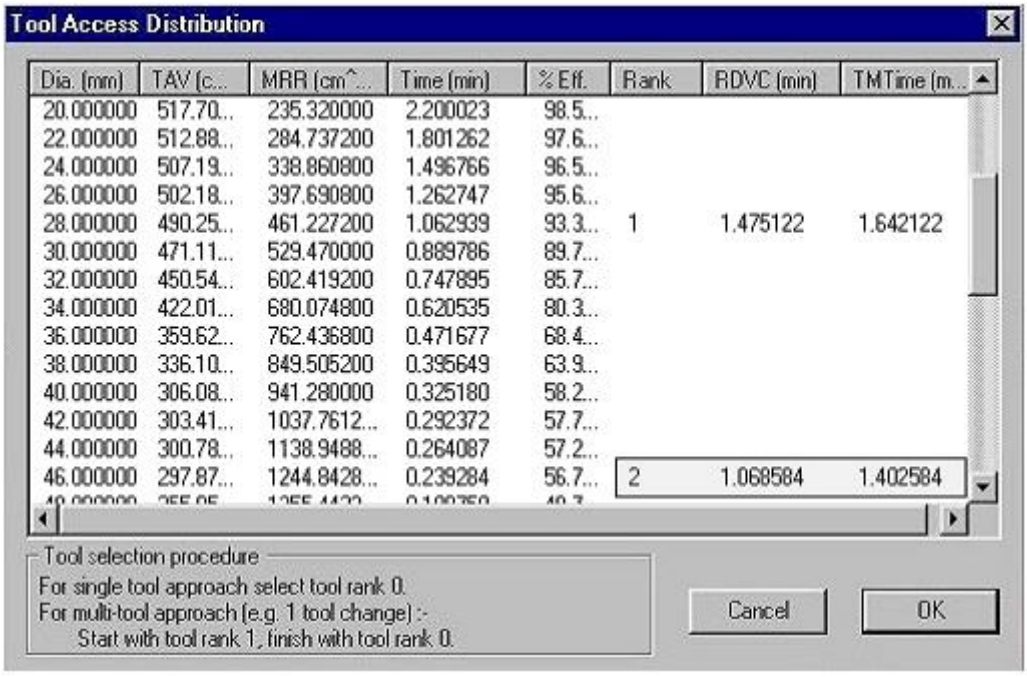
Örneğin tekli takım seçimi yaklaşımında en verimli takım seçimi sırlaması (0) olacaktır. Çoklu takım yaklaşımı için, bir takım değişimi gerektiren işleme sıralaması, takım sıralaması (1) ile başlayacak, takım sıralaması (0) ile sonuçlanacaktır. **Şekil 3.14** takım seçim sistemi ara yüz ekran görüntüsünü göstermektedir. Takım sıralaması taralı sütunda görülmektedir.

Otomatik takım değiştirmeli tipik bir CNC işleme merkezi için genellikle takım değiştirme zamanı işleme zamanından çok daha kısadır. İyi bir çalışmada takım değişim zamanı minimum olarak dikkate alınır. Üretimin boyutlarına, iş parçasının geometrisi ve parçanın planlanmış iş zamanına bağlı olarak proses planlamacısı sıklıkla minimum takım değişimini ve tüm üretim hızı arasında bir dengeye ihtiyaç duyar.(Lim ve ark., 2001)

Şekil 3.13'de RDVC malzeme kaldırmada büyük çaplı takımın etkisini göstermektedir. Test parçası için takım değiştirme zamanı 0 ve 4 adet takım değiştirmenin en verimli olduğu durum kabul edilecek olursa, İzafi Temizleme Süresi 0.987 dk. olmaktadır. Ancak bu işleme zamanlarındaki teorik kazançlar takım değişim zamanı göz önünde bulundurularak dengelenmesi gerekmektedir.

Tahmini toplam işleme zamanı hesaplandığı zaman, takım değiştirme zamanının yalnızca sabit işleme parametresi olduğu durumda takım değiştirme zamanı hesaba katılır. Bu işlem gerçek işleme operasyonları için iyi bir bağıntı oluşturur.

Tipik bir CNC tezgah takım değiştirme zamanını 0.167 dk (10 sn) varsayarsak, tahmini toplam işleme zamanı yaklaşık olarak 1.65 dk'dır. Ancak bu seçeneğin seçilmesinin uygun olmayacağı durumda mümkün olan en kısa zaman için bir defaya mahsus mekanik bir parça gerekecektir. (Lim ve ark., 2001)



Şekil 3.15 Önerilen Optimum Takım Seçimi ve Takım Değişim Sıralaması(Lim ve ark., 2001)

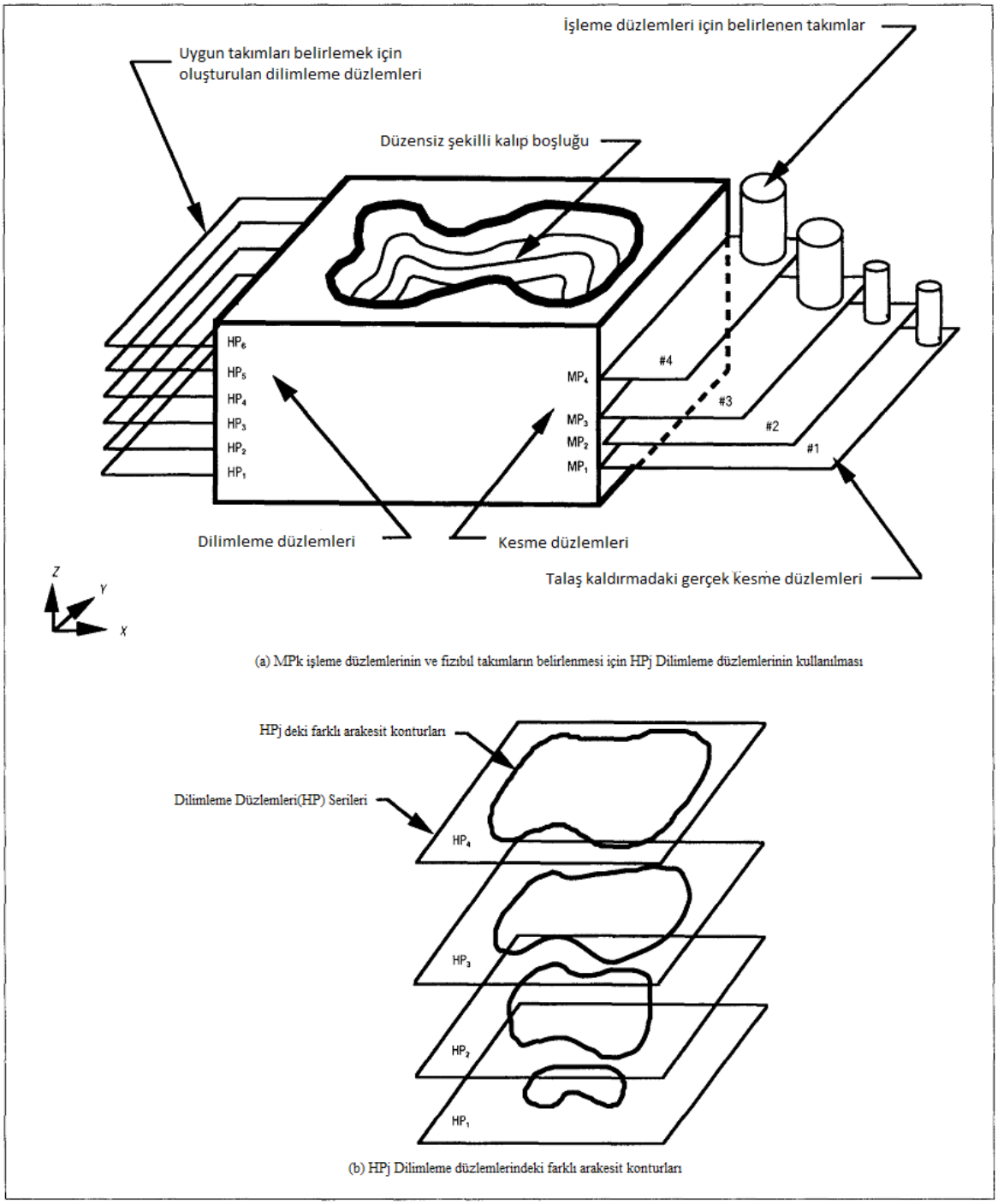
Tek takım değişimi seçilmesi işleme zamanını yaklaşık 1.64 dk olarak meydana getireceği için bu mevcut durumu iyileştirmeyecektir. En iyi çözüm takım seçim arayüz görüntüsü **Şekil 3.15**'de gösterildiği üzere 2 takım değişimli yaklaşımdır. Dikkat edilecek olursa toplam tahmini işleme zamanı yaklaşık 1.4 dk'ya kadar düşmektedir. (Lim ve ark., 2001)

3.3 Optimum Takım ve İşleme Düzlemlerinin Belirlenmesi

Kalıp boşluğu dilimleme düzlemlerine(HP(hunting plane)) ayrılmıştır. HP'ler sabit aralıklı düzlemlerdir. Bu HP'ler kalıp boşluğu tabanından kalıp en üst kısmına kadar artan sayıda numaralanmıştır(**Şekil 3.16(a)**).

Her bir HP'nin arakesit yüzeyinde oluşan sınır çizgileri(kontur) seçilecek takımları sınırlandırmaktadır. Gerçek işleme düzlemi(MP) dilimleme düzlemi(HP) ile aynı pozisyonda olmak zorunda değildir. (**Şekil 3.16(b)**)'de karmaşık şekilli kalıp boşluğu nedeni ile HP'lerde oluşan farklı şekillerde arakesit konturları görülmektedir.

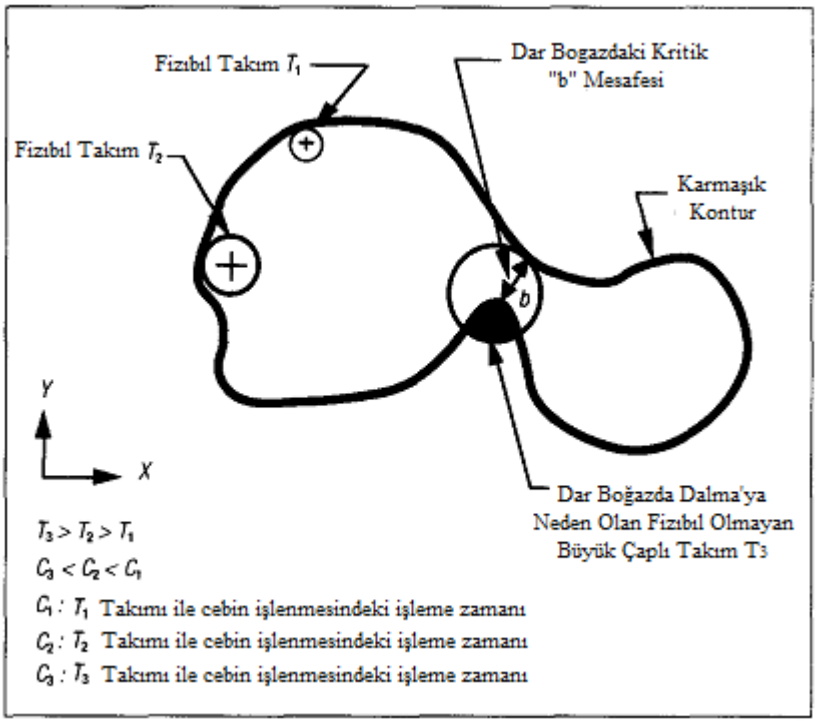
Sonuç olarak seçilen takımların bu konturlara uygun olması gerekmesi nedeni ile bitişik HP lerde seçilen takımlar aynı takım olmayabilir. (Chen ve ark., 1998)



Şekil 3.16 Dilimleme(HP) ve İşleme Düzlemleri(MP)

Şekil 3.17'de İşleme düzlemindeki kritik takım çapının belirlenmesi durumu gösterilmektedir. Burada takım çapı kritik kontur çizgisi mesafesinden(b) küçük olması gerekiyor. Büyük çaplı takım daha küçük çaplı takıma göre daha kısa zamanda işleme

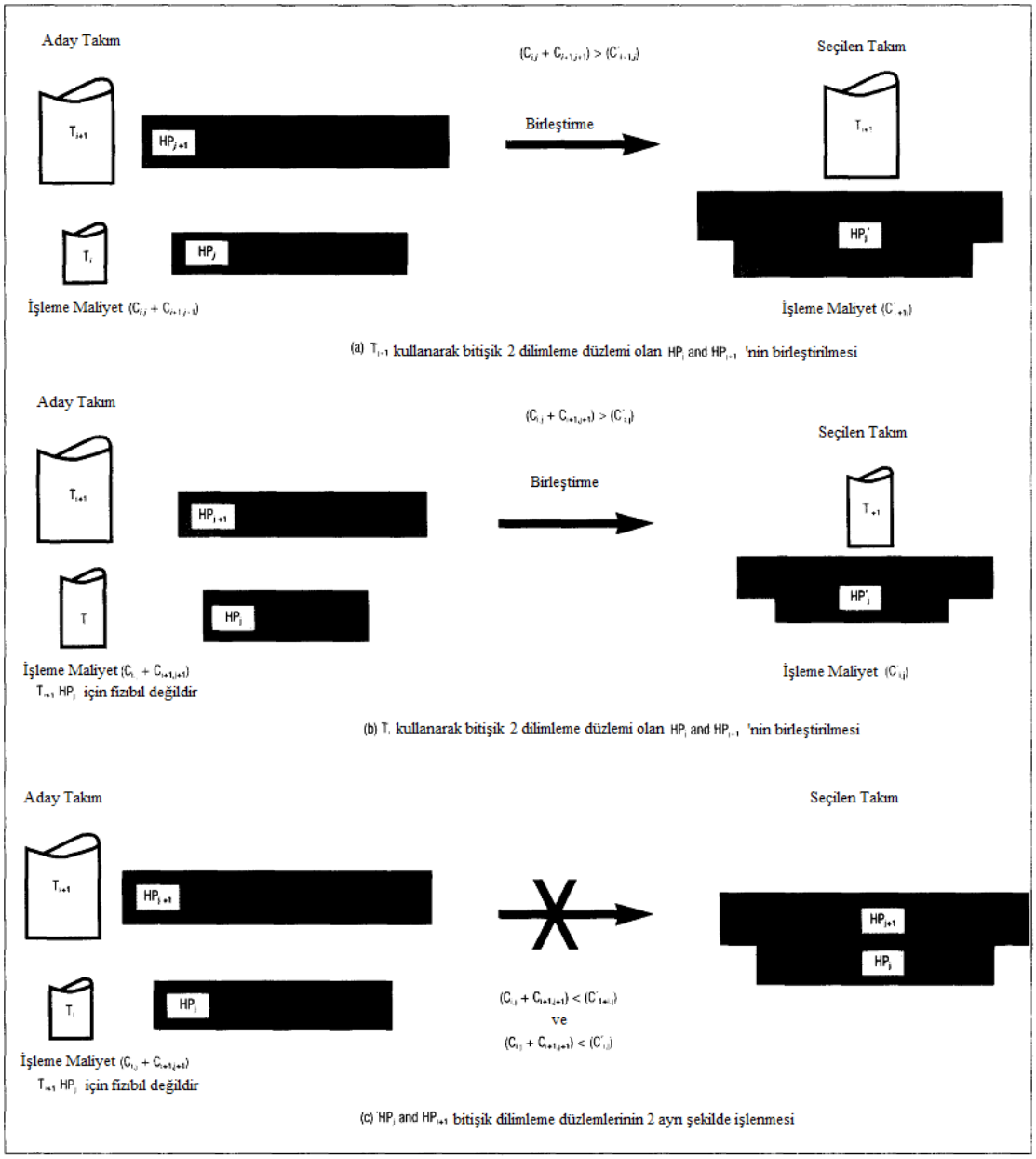
yapabilmesine rağmen daha büyük çaplı takımlar her zaman işleme düzlemi için uygun olmayabilir. **Şekil 3.17**'de T_3 takımı daha kısa zamanda işleme düzlemini işleyebileceği görülmektedir. Ancak bu takım çapı kritik bölgede dalmalara neden olduğu görülmektedir. Diğer taraftan farklı işleme düzlemlerindeki arakesit kontur şekilleri de farklı olabileceğinden dolayı her işleme düzlemindeki fizibıl takım setleri de aynı olmayabilir. Özellikle iç bükey kalıp boşluklarında **Şekil 3.18**'de gösterildiği üzere HP_j dilimleme katmanında belirlenen takım aynı zamanda HP_{j+1} dilimleme katmanını işlemek için uygun olabilir. Ancak HP_{j+1} dilimleme katmanını işlemek için kullanılan takım HP_j dilimleme katmanını işlemek için uygun olmaya bilir. (Chen ve ark., 1998)



Şekil 3.17 İşleme düzlemindeki kritik takım çapının belirlenmesi

Takım seçimi HP lerin birleştirilmesinden oluşan MP 'lerin belirlenmesi ile yakından ilgilidir. Bitişik HP'lerin toplam düşey derinliği, toplam işleme zamanını belirleyen kesme derinliği olarak adlandırılır. Birleştirilmiş HP'lerin işleme zamanı, birleştirilecek HP'lerin işleme zamanından daha düşük olduğu durumda, toplam düşey mesafe işleme zamanını azaltmak için takımın maksimum kesme derinliği mesafesinden daha küçük yada eşit olması gerekmektedir. Birleştirme işlemi yalnızca birleştirilecek HP'lerdeki takımların birbirine uygun olması ile yapılabilmektedir. Örneğin **Şekil 3.18** de HP_J ve HP_{j+1} iki bitişik HP'dir. Kesici takım T_i ve T_{i+1} sırası ile HP_J ve HP_{j+1} i

işlemek için uygun iki takımdır. T_i takımının HP_J dilimleme düzlemini işlemesindeki işleme süresi $C_{i,j}$ ve T_{i+1} takımının HP_{J+1} dilimleme düzlemini işlemesindeki işleme süresi $C_{i+1,j+1}$ olsun. Daha sonra bu ikidüzlem(HP_j ve HP_{j+1}) birleştirilerek aşağıda belirtilen 2 farklı durumunda doğru olduğu tek bir düzlem($HṔ_j$) haline getirilsin. (Chen ve ark., 1998)



Şekil 3.18 Dilimleme tabakalarının birleştirilmesi ile kesme tabakalarının oluşturulması ve takım seçimi

Durum 1: Büyük çaplı takım T_{i+1} ile $HṔ_j$ düzlemi işlemek için işleme zamanı $Ć_{i+1,j}$ olacaktır ($Ć_{i+1,j} \leq Ć_{i,j}+Ć_{i+1,j+1}$). Bu durum **Şekil 3.18(a)**'da gösterilmiştir.

Durum 2: Küçük çaplı takım Ti ile HP_j düzlemini işlemek için işleme zamanı $C_{i,j}$ olacaktır
($Ći,j \leq C_{i,j}+C_{i+1,j+1}$). Bu durum **Şekil 3.18(b)**'de gösterilmiştir.

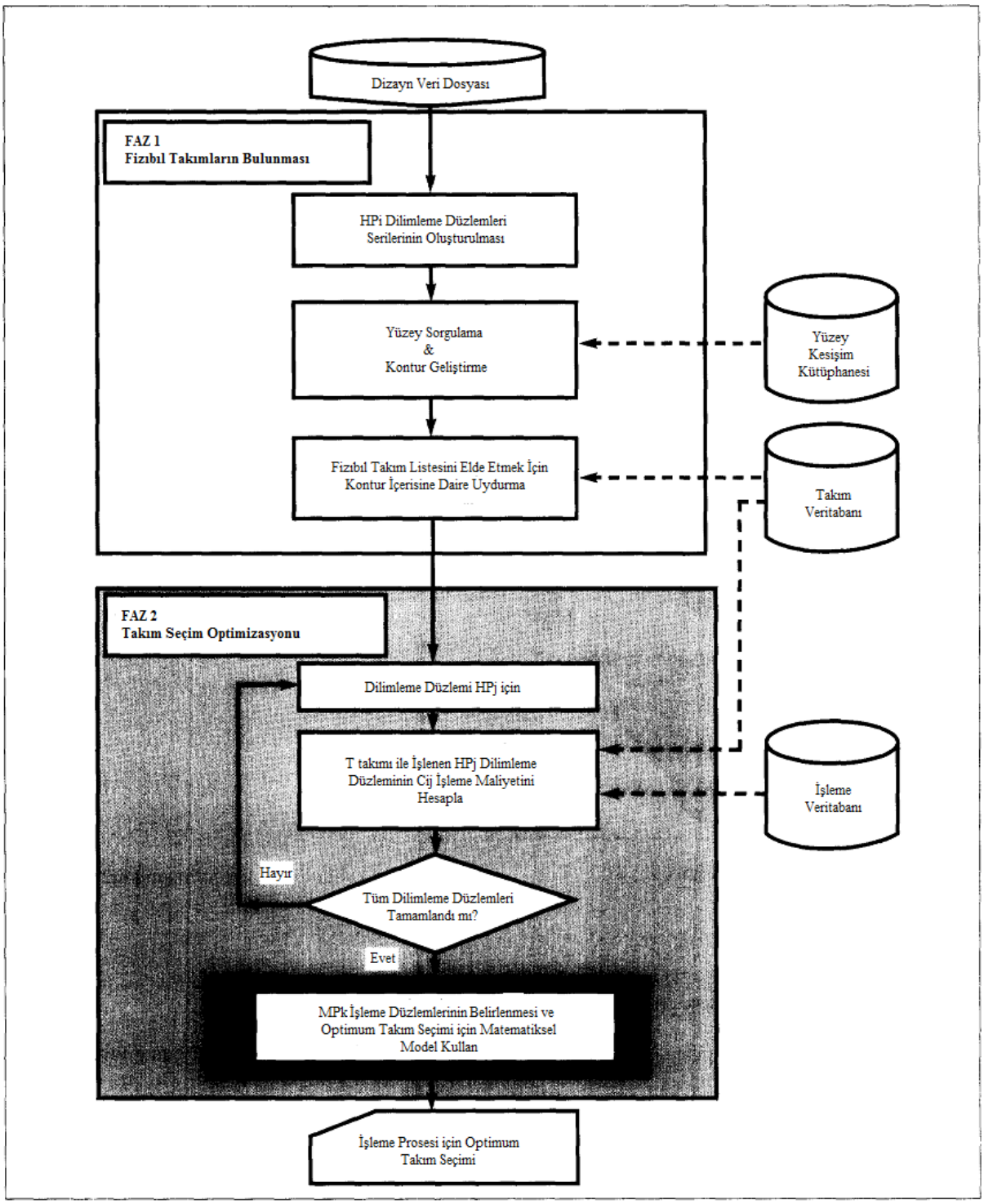
Toplam işleme zamanını minimize etmek için kesme işlemine uygun seçilen takımın maksimum kesme derinliğine eşit yada bu değerden çok az küçük değere sahip kesme derinliğini oluşturmak en iyi durumdur. Fakat bu durum nadiren oluşur. Bu nedenle NC işleme problemleri için işleme düzlemlerinin belirlenmesi önemli bir iştir. (Chen ve ark., 1998)

İki Aşamalı Yaklaşım

Çalışmanın amacı işleme sınırlamalarını ve kesici takım seçimi ile işleme düzlemlerinin seçimini belirlemek için iki aşamalı prosedür oluşturulmasıdır(**Şekil 3.19**). Prosedür 2 aşamaya ayrılmaktadır. İlk aşama dilimleme düzlemleri(HP)'nin kullanılarak işlemede geometrik sınırlamaların ortaya çıkarılması ve her bir dilimleme düzlem(HP) için uygun tüm takımların belirlenmesi. İkinci aşama ise takım seçim optimizasyonu ve işleme verimliliğini artırmak için işleme düzlemlerinin(MP) belirlenmesi. 1. aşama daha önceki çalışmalarda yapılması nedeni ile bu çalışmada 2. aşamadaki optimizasyon tekniklerine odaklanılmıştır. (Chen ve ark., 1998)

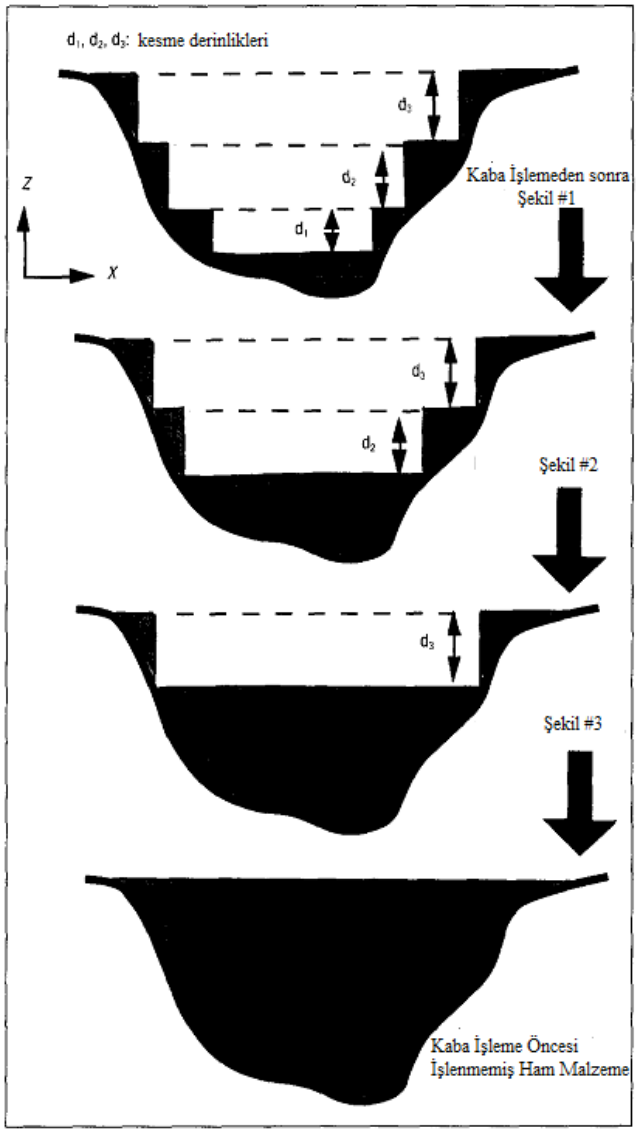
1.Aşamada yüzey sorgulama modülü kullanılmaktadır. Bu modül işleme prosesindeki geometrik sınırlamaları ortaya çıkartmak ve uygun takımların tesbit edilmesini sağlayacaktır. Takım ebatlarının ve işleme düzlemlerinin belirlenmesi, işlenecek alanın geometrik şekline, kaldırılacak hacme ve yüzey eğrilerin dağılımına bağlıdır. Bu bilgiler yüzey tanımlama dizaynında belli değildir dolayısı ile planlanan çalışmaları desteklemek için bunların önceden değerlendirilmiş olması gerekmektedir. 1. Aşamanın yüzey sorgulama modülünde **Şekil 3.16**'da gösterildiği gibi arakesit konturlarının bulunabilmesi için bir seri halinde HP ler oluşturulmuştur. Bu konturlara bağlı olarak geometrik sınırlamaları karşılayacak(daire eşleştirme yöntemi ile) takım veri tabanından seçilen takımlardan uygun olan takımların bir listesi oluşturulur. Her bir dilimleme düzlemi HP_J'ye ait işleme zamanı $C_{i,j}$, işlenecek yüzey, T_i takımları tarafından ayrılan tabakalar arasındaki mesafe, arakesit ve uygun ilerleme(takım ebatının bir fonksiyonu olarak)miktarı tarafından hesaplanabilmektedir. (Chen ve ark., 1998)

2.aşamada 1.aşamada elde edilen aday takımlar arasından takımlar seçilmekte ve HP lerin birleştirilmesi ile toplam işleme zamanını minimize edecek işleme düzlemleri belirlenmektedir. İşleme zamanının azaltılması için bitişik HP'lerin birleştirilmesi ile takım seçimi optimize edilebilmektedir. Her bir HP için aday takımlar ve bunlarının işleme maliyeleri değerlendirilir. (Chen ve ark., 1998)



Şekil 3.19 2 Aşamalı optimizasyon algoritması

Bu çalışmada **Şekil 3.19**'da gösterildiği gibi genel takım seçimi optimizasyonu ve işleme düzlemi belirlenmesi için bir optimizasyon modülü yapılması amaçlanmıştır. İşleme düzlemlerinin belirlenmesi için "*ters planlama prosesi*" kullanılmıştır. İşleme prosesi kalıp üst kısmından kalıp tabanına doğru olmasına rağmen ters planlama prosesi işleme düzlemlerini kalıp boşluğunun tabanından kalıp üst seviyesine doğru belirlemektedir(**Şekil 3.20**).



Şekil 3.20 Ters planlama prosesi şematik gösterimi

İki aşamalı prosedürde sonuç olarak son proses planı için son işleme düzlemleri ve optimum takım setlerinin oluşturulması gerçekleştirilmiştir. (Chen ve ark., 1998)

4 MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışma CAD ortamında oluşturulan 3 boyutlu cismin yüzey verilerinin alınması ile başlamakta, bir dizi işlem sonucu optimum takım setlerinin seçilmesi ve bu takımlara göre işleme zamanının hesaplanması ile sonuçlanmaktadır. Bu bir dizi işlemi aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- CAD Verisinin STL Verisi Haline Dönüştürülmesi
- STL Verisinin C Programına Aktarılması
- Kesme Düzleminin Belirlenmesi ve Tabakalandırma İşlemi
- Tabakalarda İlgili STL Üçgenlerinin Tespiti
- Tabakalarda STL Üçgenleri ile Düzlem Kesiştirme İşlemi
- Tabakalarda Loop Oluşturulması
- İç ve Dış Loop'ların Belirlenmesi
- Loop Alanlarının Belirlenmesi
- Loop'lar Arası Kritik Mesafelerin Belirlenmesi
- Tabakalarda Kullanılacak En Büyük ve En Küçük Takımların Belirlenmesi
- Tabakalarda Takım Yollarının Oluşturulması
- Veri tabanının Oluşturulması
- Bilgi Tabanının Oluşturulması
- Tabakalarda Kalıntı Hacim ve İşleme Zamanı Hesaplamaları
- Tabakalarda Takım Seçimi Optimizasyonu
- Aynı Takımların Kullanıldığı Tabakaların Birleştirilmesi
- Takım Setlerinin Belirlenmesi
- Optimum Takım Setlerine Göre İşleme Zamanının Hesaplanması

Bu işlemler hakkında öncelikle kısa bir bilgi verilecektir daha sonra alt başlıklar şeklinde detaylı olarak işlenecektir.

Geometrik şekiller bilgisayar destekli olarak modellenerek, belli veritabanlarında kaydedilebilmektedir. Bu alanda 2-3 boyutlu birçok modelleme tekniği ve standart veritabanı geliştirilmiştir. Birçok uygulamada bu teknikler kullanılmakta ve her geçen gün geliştirilmektedir. Bu tasarımların kaydedilmesi ise her ticari çizim programının kendine özel veritabanında yapılabileceği gibi, uluslararası bazı standart veritabanları (database) ile de gerçekleştirilebilmektedir. Bu standart veri tabanları, dosyaların programlar arasında takas yapılabilmesini sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Bu standartlar arasında en bilinenleri "DXF, ACIS-SAT, IGES, STEP,

ASCII, PARASOLID, STL" olarak sıralanabilir. Bu dosya tipleri tüm programlar arasında ortak bir veri paylaşımını sağlamak amacıyla oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmada öncelikle CAD ortamında oluşturulan katı model yukarıdaki standart veri tabanlarından STL (Stereolithography) formatında kaydedilmiştir. Bunun sebebi STL formatının kullanım kolaylığı ve ticari uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasıdır.

CAD ortamındaki iş parçası yüzey koordinat bilgileri üçgenleştirilmiş yüzey temsilini sağlayan STL dosyası ile alınmıştır. STL formatında alınan bu veriler ham verilerdir. Bu verilerin bir analiz programında işlemlerden geçirilerek işe yarar verilerin elde edilmesi sağlanmalıdır. Bu nedenle bu verilerin istenilen verilere dönüştürülmesi için C programı kullanılmıştır.

Kaba işlemede öncelikle kesme düzlemi belirlenir. Daha sonra belirlenen düzlemde tabakalandırma işlemi yapılır. Kesme düzlemi ve tabakalandırma işlemi genellikle "z" ekseninde yapılmaktadır. Kesme düzleminin "z" yönünde oluşturulmuş olup "z" yönünde tabakalandırma yapılmıştır.

Talaş kaldırma işlemi 3 kategoride gerçekleştirilmiştir. Bunlar kaba, yarı-kaba ve finish işlemleri şeklindedir. Kaba ve yarı-kaba işlemler 3 eksende, finish işlemi ise 5 eksende gerçekleştirilmiştir.

İşlenecek ve işlenmeyecek alanlar (iç ve dış loop'lar) belirlenmiştir. Bu sayede işlenecek kısımlar için takım yolları oluşturulmuştur. Her bir takım (çapları farklı, kesici uçları farklı(küresel, yarı küresel düz üçlü parmak frezeler)takımlar) için kataloglarda tavsiye edilen ilerleme, kesme hızı kesme derinliği ve takım ömrü değerleri de göz önünde bulundurulmak suretiyle yine her bir takım için malzeme kaldırma debisi (MRR) hesaplanmıştır. Bu takım yollarına ve MRR'a bağlı olarak işleme zamanı ve kalıntı hacim hesaplamaları yapılmıştır. Oluşturulan bu arayüz programı ile işleme zamanları ve kalıntı hacim oranları minimum olan takım setleri(kaba, yarı kaba ve finish takımları) algoritma geliştirilmek suretiyle otomatik olarak seçilmiştir. Takım seçimi normal CAM programlarında kullanıcının tecrübesine bırakılmışken yapılan bu çalışma ile takım seçimi daha doğru bir şekilde ve kullanıcı tecrübesine gerek kalmaksızın yapılabilmektedir.

Edalew ve arkadaşları(2001) yaptığı çalışmada optimum takım seçimi için öncelikle bir bilgi tabanı sistemi(knowledge base system) oluşturulmuştur. Bilgi tabanı sistemi 3 elemandan oluşmaktadır. Bunlar:

1. Veri tabanı
2. Bilgi tabanı
3. Sonuç motoru

Bu üç elemanın detaylı olarak içerikleri aşağıdadır.

1. Veritabanı (database) oluşturulmuştur. Veri tabanı aşağıdaki bilgileri içermektedir.

- İş parçası malzeme bilgileri(metal, seramik, kompozit)
- Kesici takım malzeme bilgileri(HSS, sementid karpid, seramik v.s)
- Kesme parametreleri(farklı malzeme ve kesici takımlar için kesme hızları, ilerlemeler)
- Kesici takım geometri ve diğer bilgileri(takım çapları, kesici uç bilgileri vs.)

Veri tabanı için gerekli bilgiler malzeme kitapları, talaşlı imalat kitapları, kesici takım katalogları gibi kaynaklardan sağlanmıştır.

2. Bilgi tabanı (knowledge base) oluşturulmuştur. Bilgi tabanı aşağıdaki bilgiler için gerekli kuralları içermektedir.

- Takım malzemesi seçim kuralları
- Kesme parametreleri seçim kuralları(optimize etmek için)
- İşleme zamanı hesaplamaları
- Belirlenen her bir takım için kalıntı hacim hesaplamaları
- Takım yolu uzunluğu, kalıntı hacim miktarı ve işleme zamanına göre en iyi takım setlerinin(kaba, yarı-kaba, finish takımlar) seçim kuralları

Bilgi tabanı için gerekli bilgiler de talaşlı imalat kitapları, kesici takım katalogları gibi kaynaklar kullanılmak sureti ile sağlanmıştır.

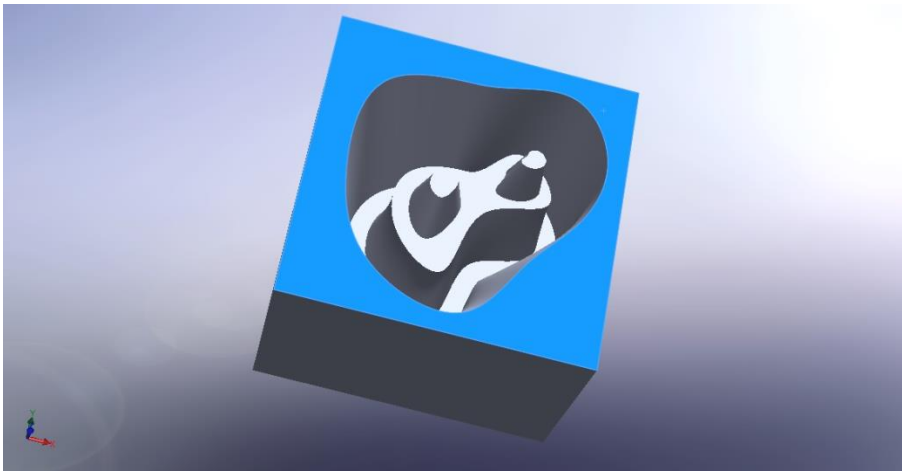
3. Sonuç motoru (inference engine)veritabanı ve bilgi tabanından aldığı kuralları uygulayarak istenilen sonuçları vermektedir.(Edalew ve ark., 2001)

Yapılan çalışmada sistematik kurgu olarak(veritabanı oluşturulması, bilgi tabanı oluşturulması ve sonuç motorunun oluşturulması) Edalew ve arkadaşları(2001)'nın yaptığı çalışma baz alınmıştır.

Oluşturulan program ile elde edilen sonuçlar ticari bir CAM programından elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır.

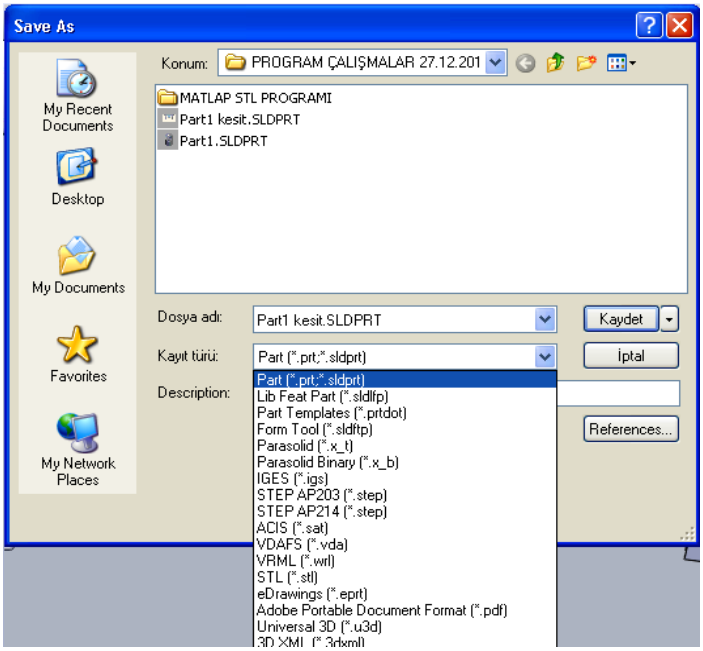
4.1 CAD Verisinin STL Verisi Haline Dönüştürülmesi

Şekil 4.1'de temsili bir kalıp boşluğun görüntüsü görülmektedir. Kalıp özelikle adalı tip olacak şekilde dizayn edilmiştir. Takım yollarının ada etrafında nasıl değiştiği ve karmaşık şekilli ve çok adalı kalıp boşluklarında takım yolu oluşturmada nasıl bir strateji geliştirileceğinin tesbiti basit adalı sistemin incelenmesinden geçmektedir.



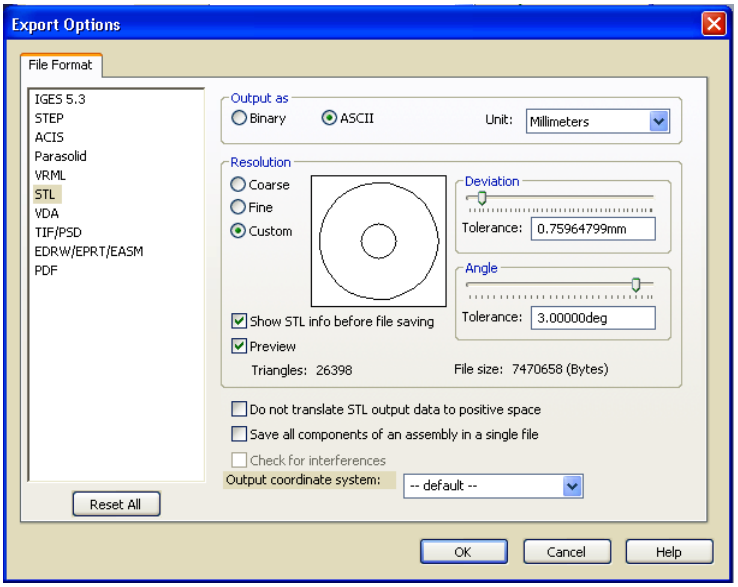
Şekil 4.1 3 boyutlu kalıp boşluğu örneği

SOLİD ticari programında oluşturulan 3 boyutlu cismin şekil ve koordinat verileri alabilmek için menüdeki "farklı kaydet" seçeneği ile farklı veri tabanlarında kaydedilebilmektedir. Burada STL dosyası şeklinde kaydedilecektir. STL dosyası şeklinde kaydedilmesi işlemi **Şekil 4.2.**'de gösterilmektedir.

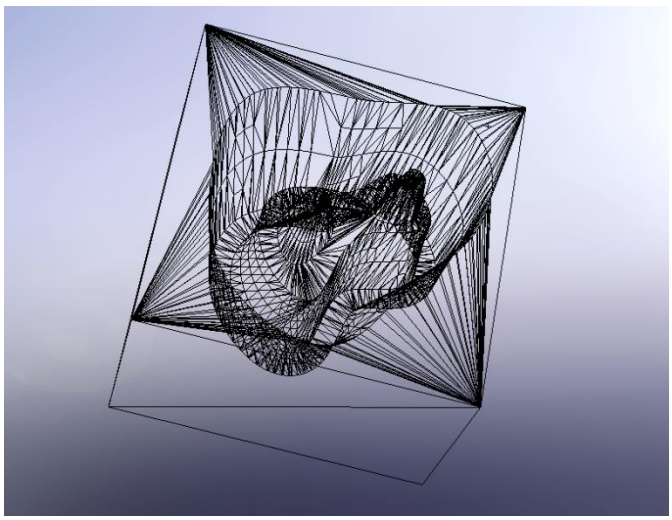


Şekil 4.2 3 boyutlu cismin STL dosyası olarak kaydedilmesi

STL verisi şeklinde kaydetmek için birkaç ayarlama gerekmektedir. Burada "Binary" ve "ASCII" dosya formatları şeklinde çıktı alınabilmektedir. 3 boyutlu parçanın yüzey hassasiyetine göre temsil edilen üçgen sayısı değiştirilebilmektedir. Çözünürlük kısmında kaba, hassas ve müşteri kullanımına uygun şekilde seçenekler bulunmaktadır. Kaba seçeneğinde az üçgen sayısı ile cisim kabaca temsil edilmeye çalışılır. Yüzey kalitesi düşük parçalarda kullanılır. Hassas seçeneğinde programın sağladığı en iyi yüzey kalitesi oluşturacak kadar üçgen kullanılarak cisim temsil edilir. Müşteri seçeneğinde üçgenlerin sapma ve açısal değerleri değiştirilerek istenilen sayıda ve özellikte üçgenlerle cisim temsil edilebilmektedir. **Şekil 4.3.**'de cismin temsil edileceği STL üçgenleri ile ayarlamanın yapılacağı ekran görüntüsü **Şekil 4.4.**'de ise cismin STL üçgenleri ile temsil edildiği resim mevcuttur.

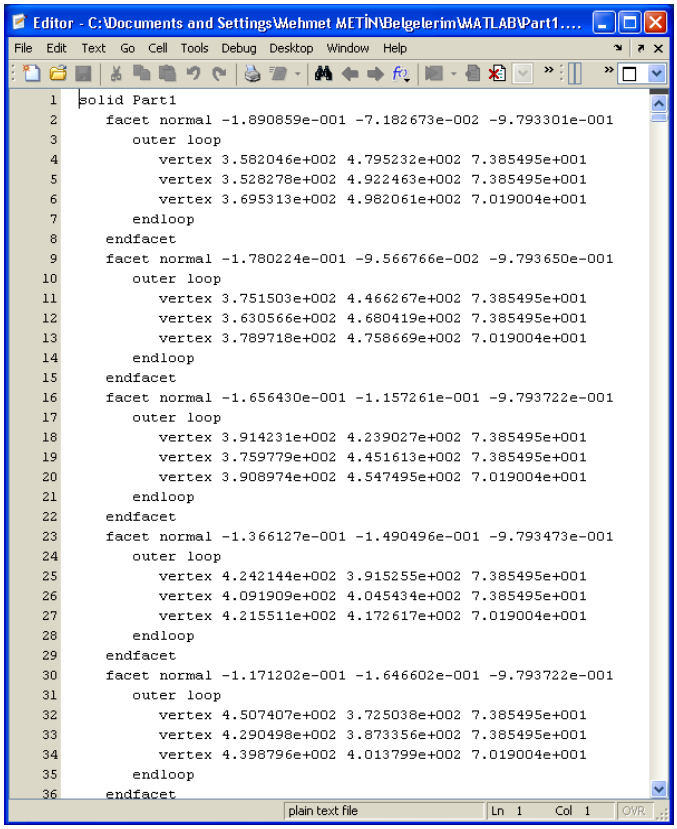


Şekil 4.3 STL dosyasının hassasiyetinin ayarlanması



Şekil 4.4 3 boyutlu cismin STL olarak temsili

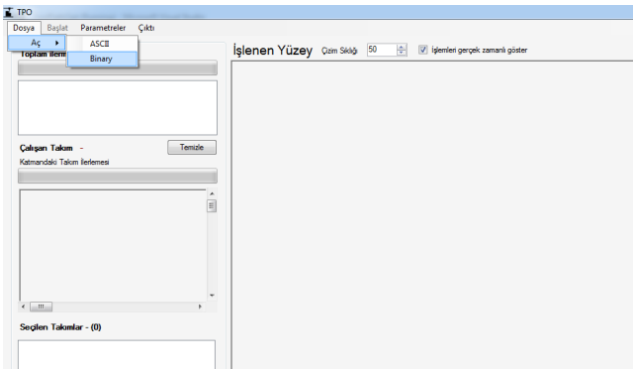
STL verisinin oluşturulmuş hali **Şekil 4.5.**'de gösterilmektedir. Burada 3 boyutlu cismi temsil eden tüm üçgenlerin köşe koordinatları ve yüzey normalleri verilmiştir



Şekil 4.5 3 boyutlu cismin STL verilerinin kaydedilmesi

4.2 STL Verisinin C Sharp Programına Aktarılması

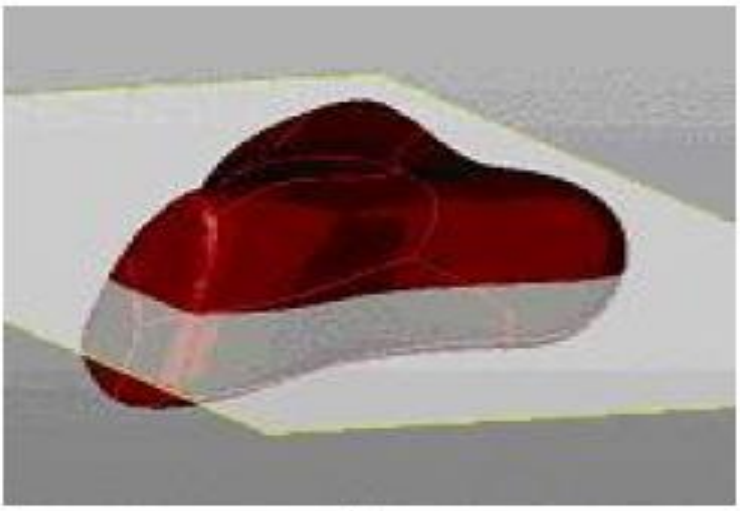
STL verileri ASCII ve Binary olarak iki veri tabanında da programa yüklenebilmektedir. **Şekil 4.6**'da STL dosyası hangi veri tabanında kaydedilmiş ise seçiminin buna göre yapılacağı görüntü verilmiştir.



Şekil 4.6 3 boyutlu cismin STL verilerinin C Sharp programına aktarılması

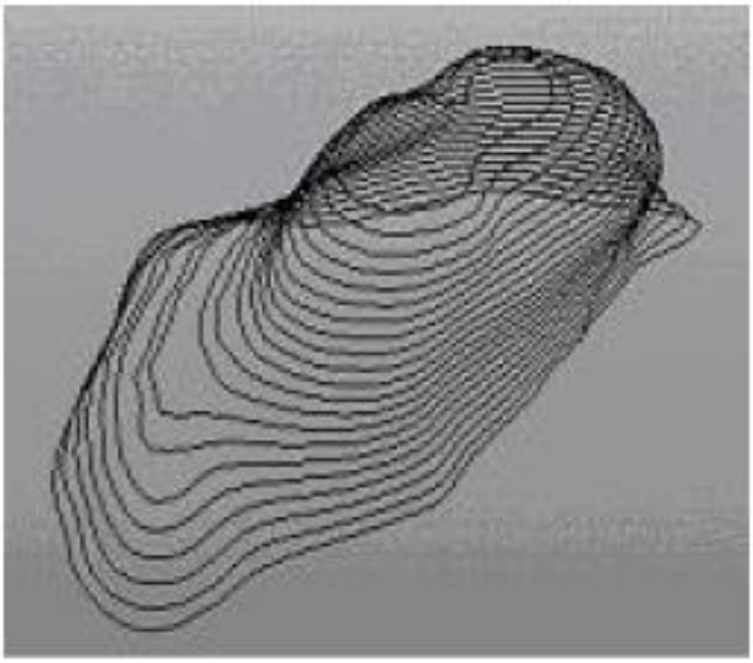
4.3 Kesme Düzleminin Belirlenmesi ve Tabakalandırma İşlemi

Kesme düzlemi kalıp imalatında genellikle "z" ekseninde yapılmaktadır. Yapılacak çalışmada kesme düzlemi "z" ekseni olarak belirlenmiştir. **Şekil 4.7.**'de temsili olarak "z" ekseninde kesme düzlemi oluşturulmuştur.



Şekil 4.7 3 boyutlu cismin "z" ekseninde kesme düzleminin oluşturulması

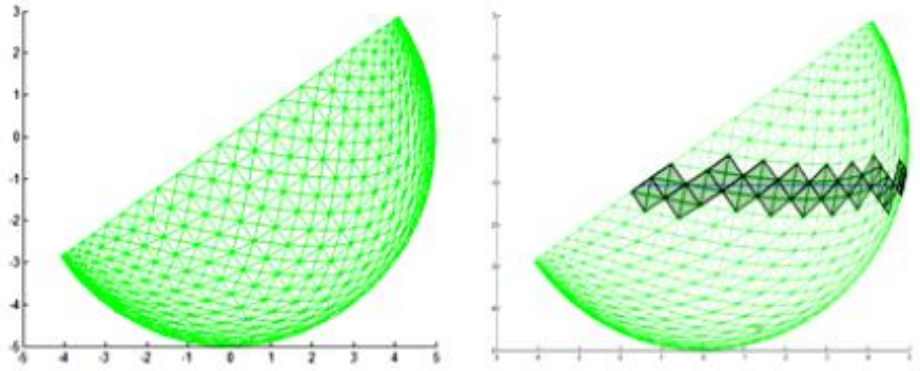
Tabakalandırma(kesme düzleminde tabakalara ayırma) işlemine örnek olarak **Şekil 4.8.**'de verilmiştir. Tabakalandırma işlemi "z" ekseninde sabit aralıklı olarak dilimleme şeklinde yapılmıştır.



Şekil 4.8 3 boyutlu cismin "z" ekseninde tabakalandırma işlemi

4.4 Tabakalarda İlgili STL Üçgenlerinin Tespiti

Cisim "z" ekseninde her bir tabaka için kesme düzlemleri oluşturulur. Bu kesme düzlemleri ile STL üçgenlerinin hangilerinin kesiştiğini bulmak gereklidir. Bunun nedeni tüm STL üçgenleri ile hesaplama yapmak işlem zamanını ve veri miktarını artıracaktır. Bu da istenilmeyen bir durumdur. Bu nedenle her bir tabaka ile kesişen STL üçgenlerinin tespit edilmesi ve bu üçgenlerle işleme devam edilmesi gerekmektedir. STL verisi köşe koordinatları ve yüzey normallerinden oluşmaktadır. Bu nedenle ilgili üçgenlerin bulunması kesme düzleminin bu köşe koordinatları arasında olup olmadığının kontrol edilmesi ve köşe koordinatları arasında kalan üçgenleri seçilmesi işlemlerini içerecektir.(Choi ve Kwok, 1999; Vatani ve ark., 2010) Düzlemlerle kesişen üçgenlere örnek olarak **Şekil 4.9.**'da verilmiştir. **Şekil 4.10**'da ise tabakalarda ilgili STL üçgenlerinin tespiti için geliştirilen algoritma verilmiştir.



Şekil 4.9 3 boyutlu cismin "z" ekseninde tabakalandırma işlemi esnasında oluşturulan kesme düzlemlerinin kesiştiği üçgenlerin tesbit edilmesi gösteren temsili şekil.(Vatani ve ark., 2010)

4.5 Tabakalarda STL Üçgenleri ile Düzlem Kesiştirme İşlemi

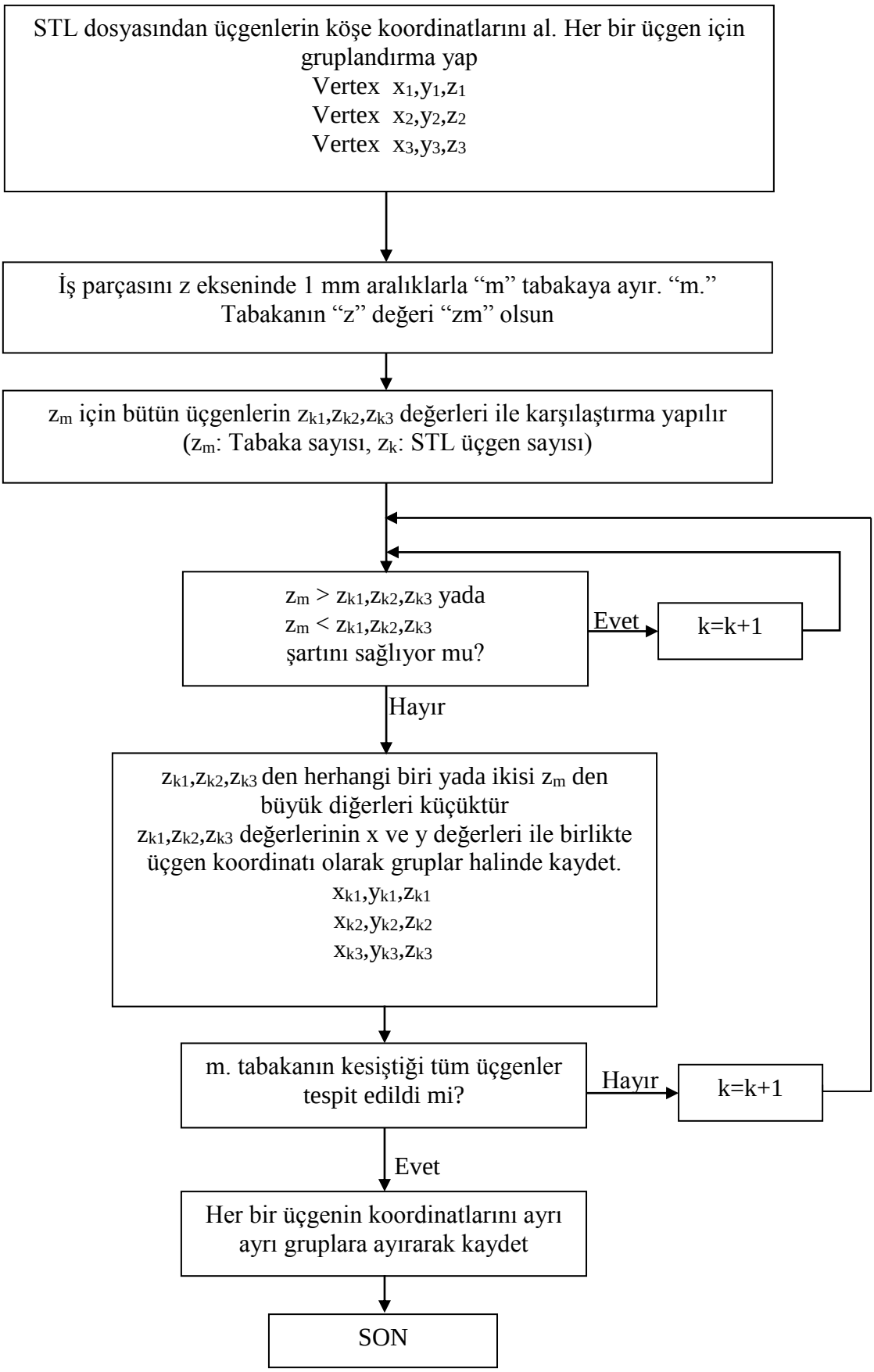
Düzlemin üçgeni kesmesinde 4 durum meydana gelmektedir.(Vatani ve ark., 2010) **Şekil 4.11**'de bu dört kesişme işlemi gösterilmiştir. Bunlar:

1. durum: kesme düzleminin üçgeni iki kenarı ile kesişmesi

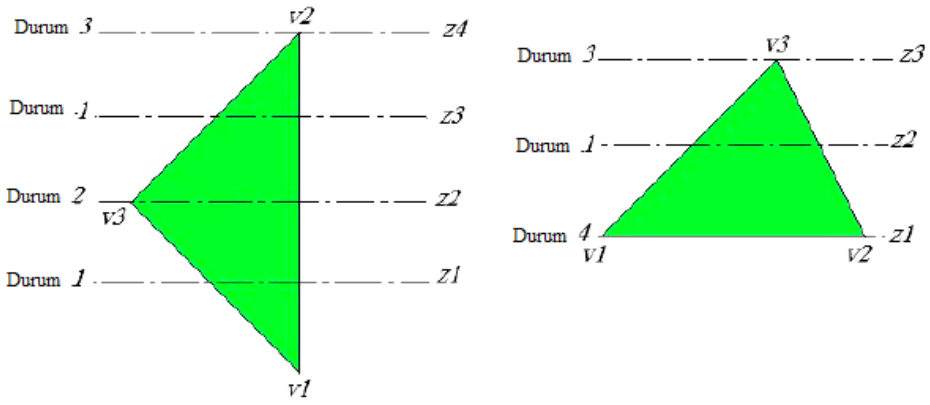
2. durum: kesme düzleminin üçgenin bir köşesi ve bir kenarı ile kesişmesi

3. durum: kesme düzleminin üçgenin sadece bir köşesi ile kesişmesi

4. durum: kesme düzleminin üçgenin iki köşesi ile kesişmesi



Şekil 4.10 Tabakalarda ilgili STL üçgenlerinin tespiti için geliştirilen algoritma



Şekil 4.11 Tabakalarda STL üçgenleri ile düzlem kesiştirme işlemi(Vatani ve ark., 2010)

Kesiştirme işlemindeki 4 durumun detayları aşağıdadır.

Denklem 1; 1. durum için düzlemin kesiştiği üçgenin kenarlarındaki kesişim noktalarını bulmak için kullanılmaktadır.

$$\frac{x-x_a}{x_b-x_a}=\frac{y-y_a}{y_b-y_a}=\frac{z-z_a}{z_b-z_a} \tag{4.1}$$

Burada;

$$(x_a,y_a,z_a),(x_b,y_b,z_b) \tag{4.2}$$

Kesişim noktalarının koordinatlarıdır.

$$z_{v1} \leq z_{cutting\ plane} \leq z_{v2} \tag{4.3}$$

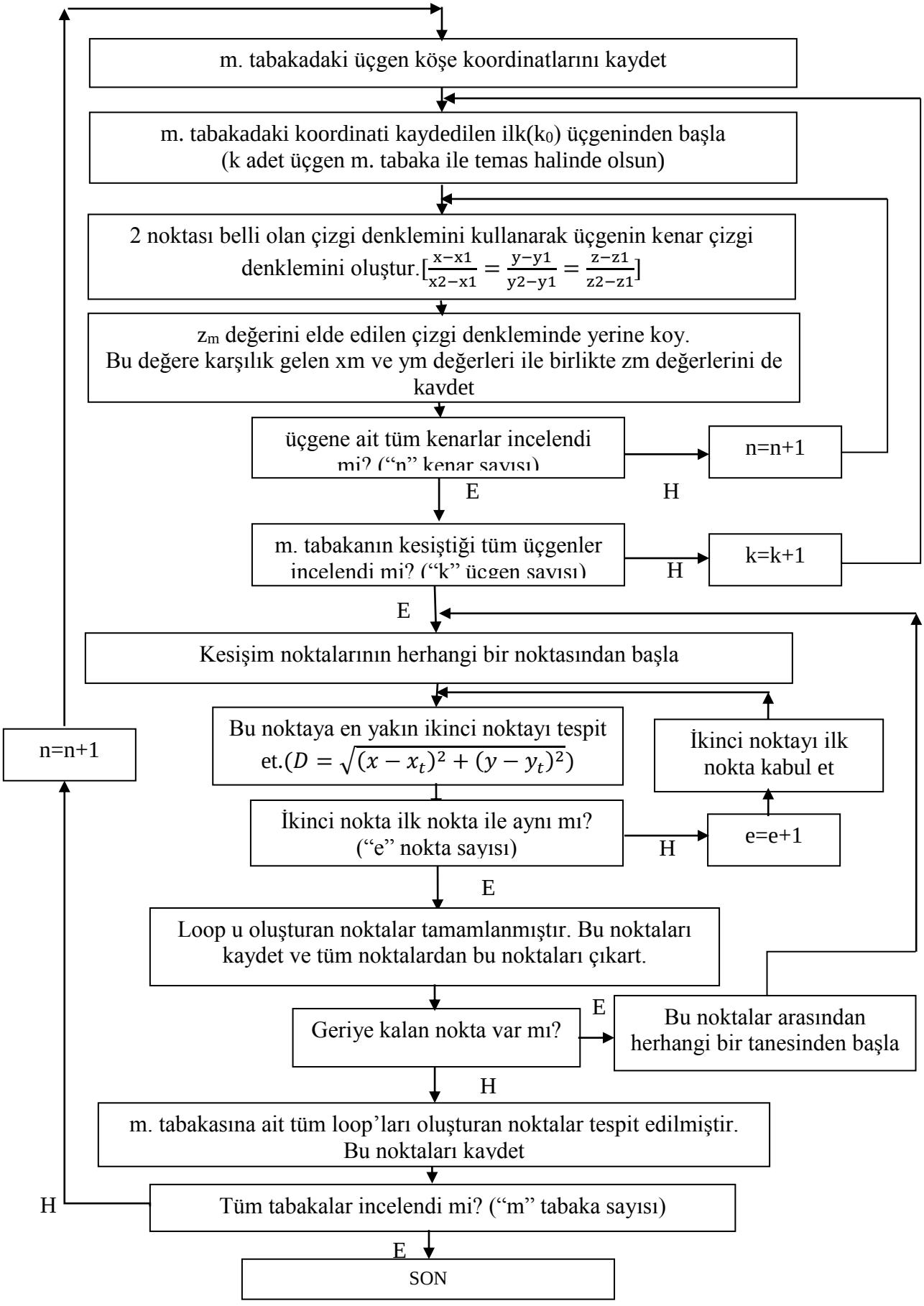
Denklem 2; 1. ve 2. durum bu eşitli sağlar. 2. durumda 3 noktada çakışma olması ve 2 sinin aynı nokta olması nedeniyle bir tanesi çizgi matrisinde depolanır. Burada Zv üçgenin köşe yüksekliğidir.

3. durum da tek köşe noktasının düzlem ile çakışması görülmektedir. Burada çizgi segmenti oluşamayacağından bu durum ihmal edilmiştir. Bu üçgenlere bitişik ve köşe noktasında kesişme yapmayan üçgenlerle işlemlere devam edilir.

4. durum da üçgenin her iki köşesi de kesme düzleminde yer almaktadır. Bu durum **Denklem (4.1)**'i sağlamaz. Kesişim noktaları üçgenin diğer iki kenarının uç noktalarından elde edilir.(Vatani ve ark., 2010)

Bulunan bu kesişim noktaları loop(kontur) oluşturmak için gerekli verileri oluşturacaktır.

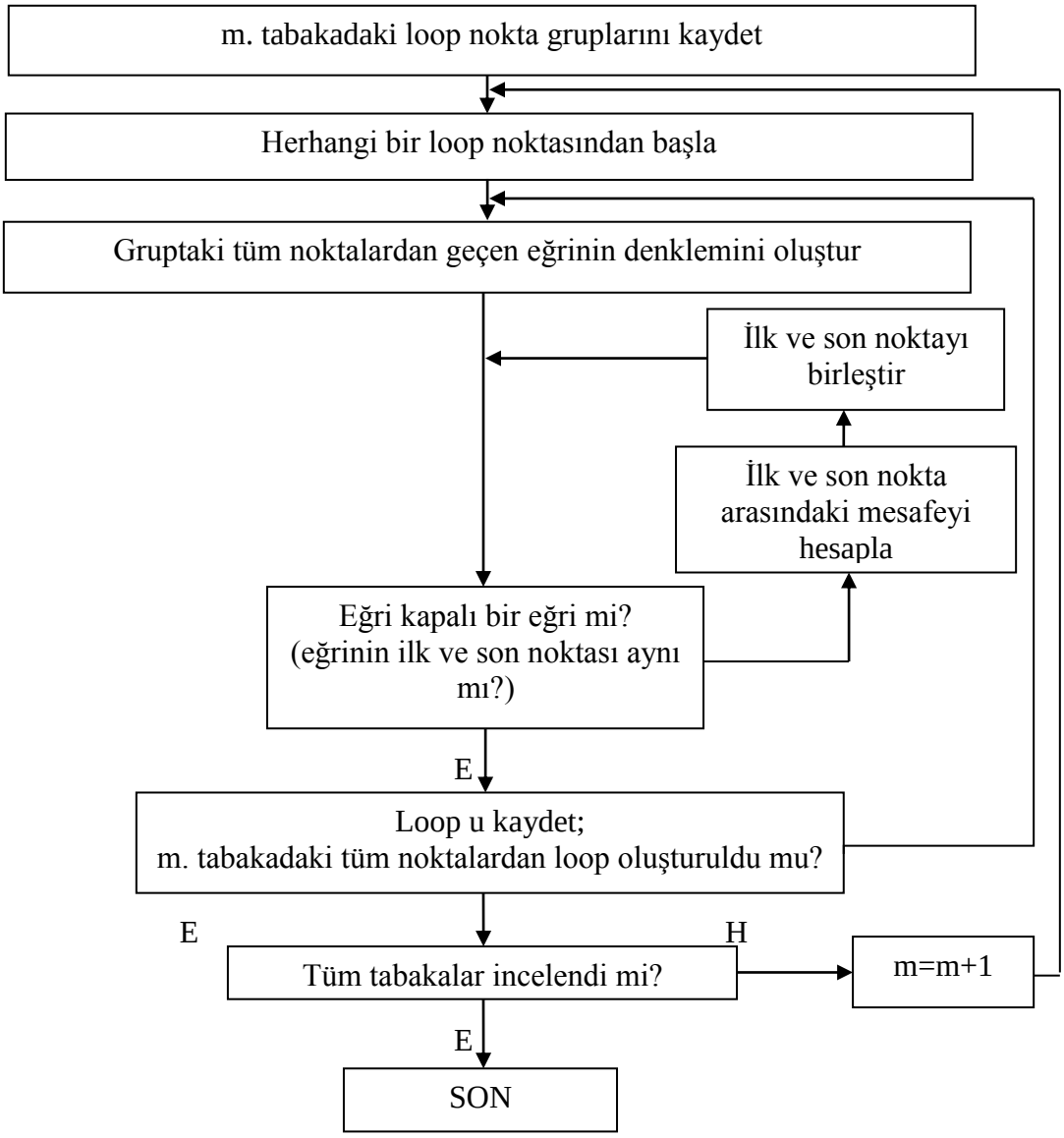
Şekil 4.12'de tabakalarda ilgili STL üçgenlerinin düzlemle kesişiminden meydana gelen temas noktalarının tesbiti için geliştirilen algoritma verilmiştir.



Şekil 4.12 Tabakalarda ilgili STL üçgenlerinin düzlemle kesişiminden meydana gelen temas noktalarının tesbiti için geliştirilen algoritma

4.6 Tabakalarda Loop Oluşturulması

Kesişim noktaları yakınlık derecelerine göre birleştirilmek suretiyle loop lar oluşturulmuştur. Yakınlık derecesinden kasıt herhangi bir noktaya en yakın diğer noktanın bulunması ve bu bulunan noktaların gruplandırılması işlemidir. Loop oluşturulmasından kasıt ise bu noktaların arasında çizgi denklemi oluşturularak birleştirilmesi ile bu işlemlerin tekrarlanarak kapalı bir poligon oluşturma işlemidir.



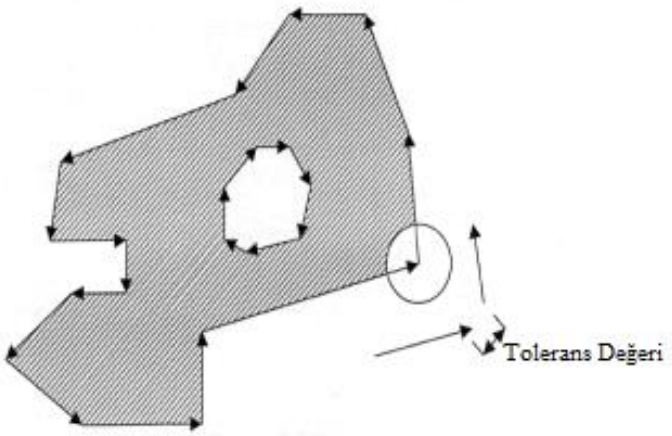
Şekil 4.13 Tabakalarda loop'ların oluşturulması algoritması

Loplar oluşturulurken bunların iç ve dış olmalarına göre birleştirme şekilleri farklılıklar meydana gelmektedir. İç ve dış loop'lar bölümünde bahsedilen işlemler detaylandırılmıştır. Loop oluşturma algoritması **Şekil 4.13**'de gösterilmektedir.

4.7 İç ve Dış Loop'ların Belirlenmesi

İç ve dış loop ları birbirinden ayırmak için iç loop u temsil eden noktaların birleştirilmesi saat yönünde, dış loop u temsil eden noktaların birleştirilmesi saat yönünün tersi yönündeki çizgi segmentleri ile yapılmaktadır.

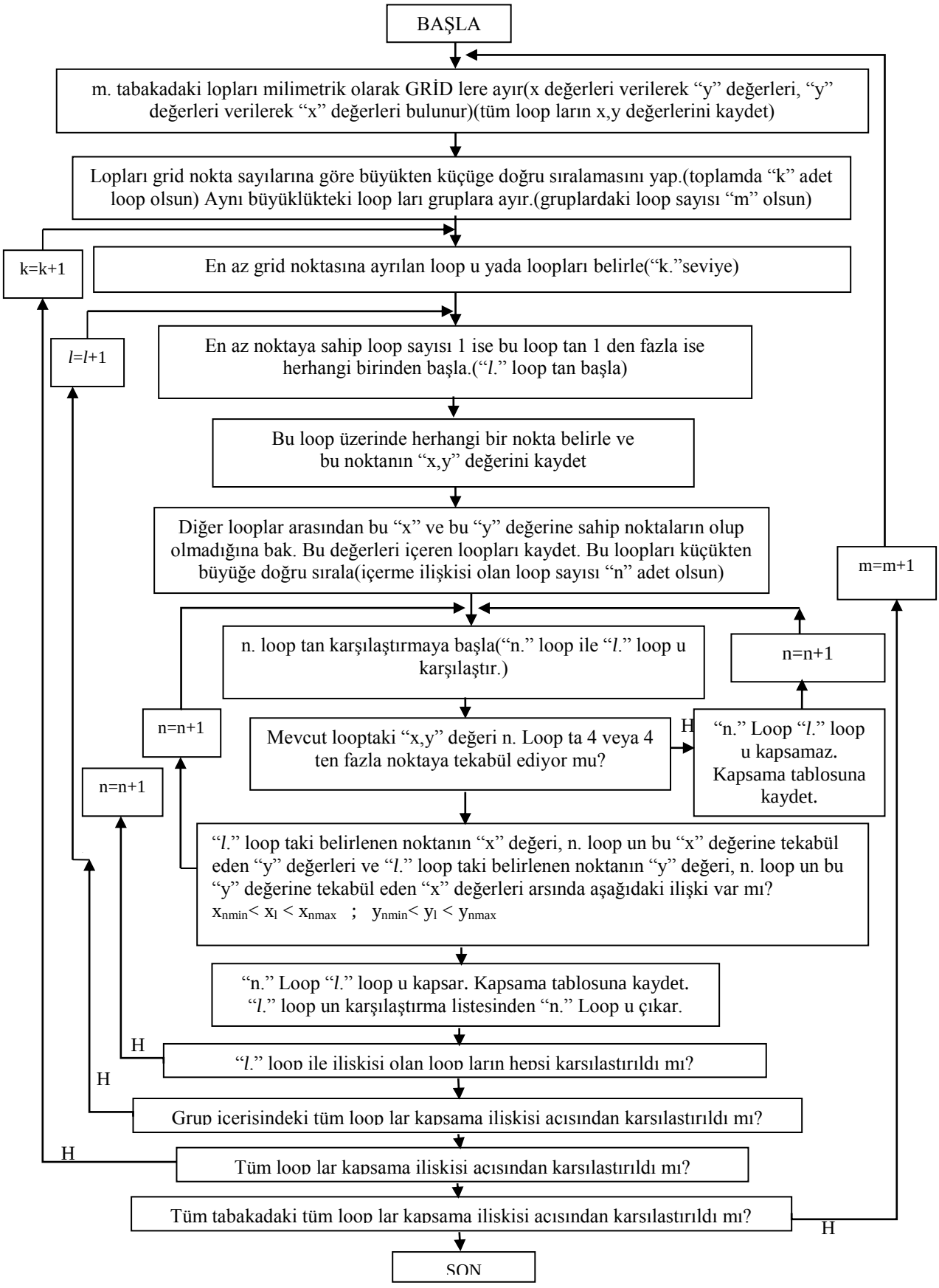
Aşağıda **Şekil 4.14.**'te iç ve dış loop'ların belirlenmesinde kullanılan yöntem şematize edilmiştir.



Şekil 4.14 İç ve dış loop'ların belirlenmesi için temsili çizim(Choi ve Kwok, 1999)

Burada uygulanan yöntem şu şekildedir:

- Tüm loop'lar sıralanır.
- En az kesişim noktasına sahip loop belirlenir
- Bu loop üzerindeki noktalar **Şekil 4.15**'deki algoritmaya göre diğer loop'lar üzerindeki noktalar ile kıyaslama yapılır. Kapsama-kapsamama durumları kontrol edilir.
- Kapsama durumuna göre loop'lar sıralanır
- En dış loop işlenecek alanı belirteceğinden bu loop'un doğrudan kapsadığı loop'lar dış loop(adacık) olacaktır. Dolaylı kapsama durumları değerlendirilmez, çünkü birçok loop iç içe yer alma durumu söz konusudur. Bu nedenle iç ve dış loop'ların belirlenmesi zorlaşacaktır.
- İşlenecek ve işlenmeyecek alanlar iç ve dış loop'ların tespiti ile belirlenecektir. Bu sayede işlenecek kısımlar için takım yolları oluşturulacaktır.

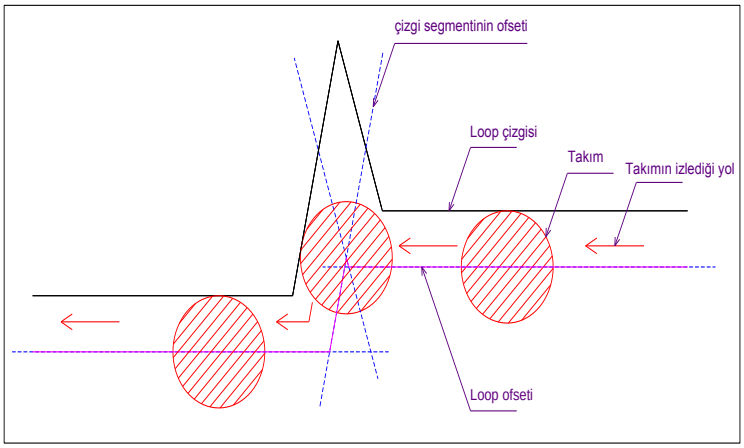


Şekil 4.15 İç ve dış loop'ların belirlenmesi için geliştirilen algoritma

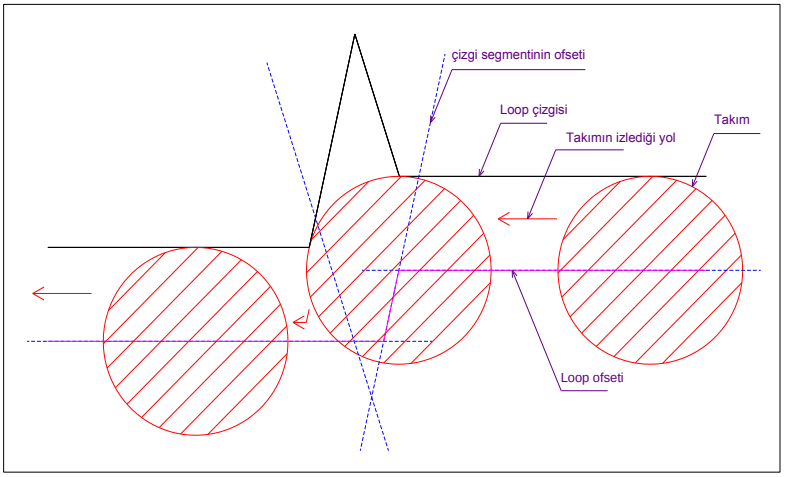
4.8 İç ve Dış Loop'ların Ofsetlenmesi

Ofsetlemenin yapılacağı yerlerde bazen takımın ulaşamayacağı yerler olabilmekedir. Böyle bir durumu gösteren 2 farklı şekil aşağıda verilmiştir. **Şekil 4.16**'da küçük çaplı takımın ofsetlemede izleyeceği yol, **Şekil 4.17**'de ise büyük çaplı takımın izleyeceği yol gösterilmektedir(Mevcut loop çizgileri beyaz, ofsetleme çizgileri sarı, takım çapı kırmızı ve takımın izleyeceği yol eflatun renkle gösterilmiştir). Takımın gideceği yolun belirlenmesinde şu şekilde bir yöntem izlenmektedir

- Çizgi segmentleri iç ve dış loop un bir parçası olarak iç loop ise içe doğru, dış loop ise dışa doğru ofsetlenir.
- Keskin köşeli dönüşlerde ofsetlenen çizgilerde kesişim noktası meydana gelmektedir.
- Her çizgi segmentinin ofseti, kendinden sonra gelen çizgi segmenti ofseti ile yapmış olduğu kesişim dikkate alınır.
- Bu kesişim noktasında takım yerleştirildiği zaman takımın ofsetlenmeden önceki loop a temas edip etmediği tesbit edilir.
- Takım loop a temas ediyorsa mevcut çizgi segmenti ofsetinin kendinden bir sonraki çzgi segmenti ofseti ile kesişim noktasına bakılmaz bundan bir sonraki çizgi segmenti ofseti ile kesişimine bakılır ve tekraren takımın loop a temas edip etmediği tesbit edilir.
- Temas yoksa bir sonraki çizgi segmenti ofseti ile kesişimine bakılarak işlemlere devam edilir.
- Temas tekraren oluşuyorsa temas oluşmayan çizgi segmenti ofseti kesişim noktası bulununcaya kadar ki tüm ofset çizgileri iptal edilir.

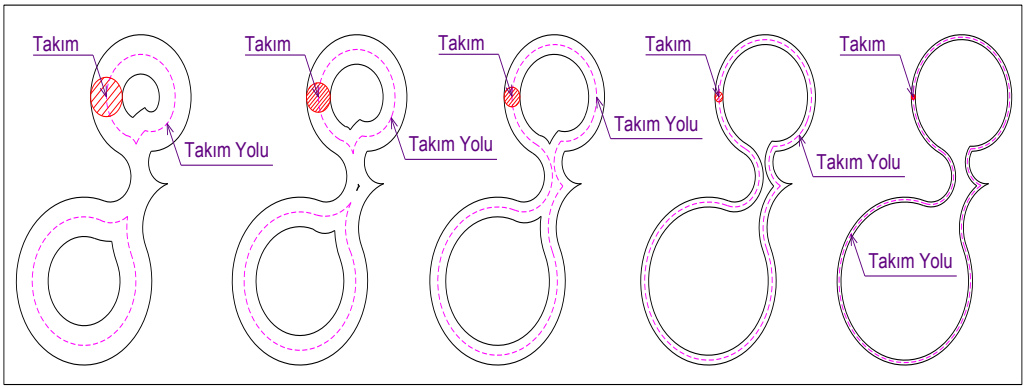


Şekil 4.16 İç ve dış loop'ların küçük takım çapı ile ofsetlenmesi



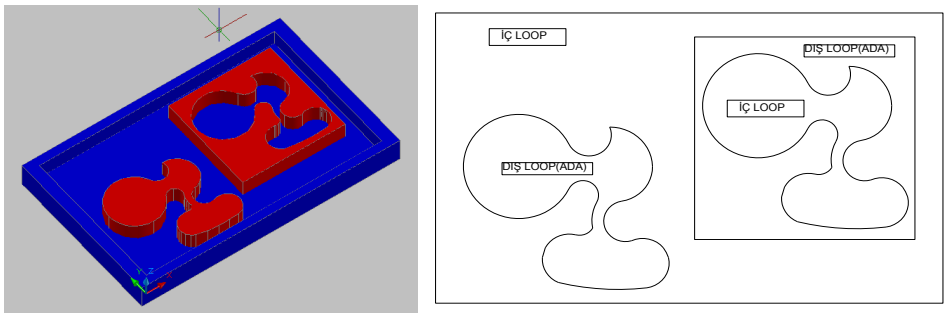
Şekil 4.17 İç ve dış loop'ların büyük takım çapı ile ofsetlenmesi

Şekil 4.18'de farklı takım çaplarında loop ların içe ofsetlenmesinde oluşan farklı takım yolları gösterilmektedir. Takım çapının geçemeyeceği dar boğazlarda takım yolları bölünmekte ve birden fazla takım yolu oluşabilmektedir.



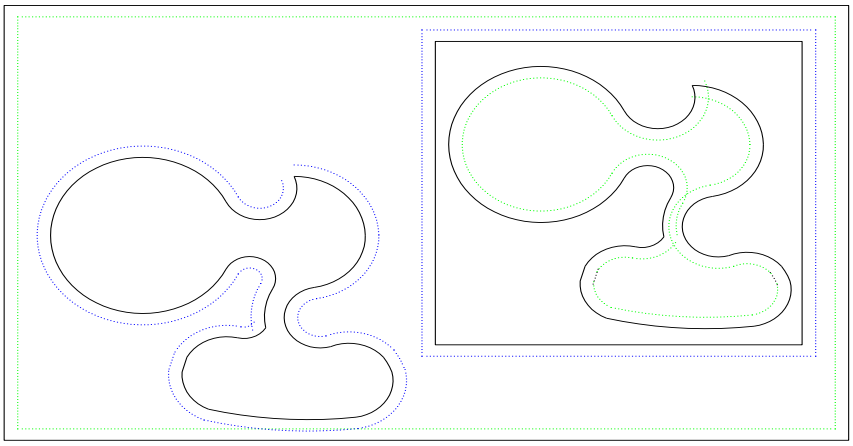
Şekil 4.18 Loop'ların farklı takım çapları ile ofsetlenmesi

Şekil 4.19'da temsili bir kalıp parçasına ait iç ve dış loop lar gösterilmiştir. Diktödrtgen ve kare çizgilerde birer loop u temsil etmektedir. İç loplar takım ile işlenecek alanların sınırını, dış loop lar ise takım ile işlenmeyecek alanların sınırlarını temsil etmektedir.



Şekil 4.19 Temsili bir kalıp parçasına ait iç ve dış loop'lar

Şekil 4.20.'de iç loop'lar içe doğru dış loop'lar ise dışa doğru ofsetlenmiştir. Burada iç loop'lar içe doğru dış loop'lar ise dışa doğru ofsetlenme nedeni, takımın öncelikle loop kenarlarındaki ofset çizgilerini takip ederek güvenli bir işleme alanı oluşturmasıdır. Daha sonraki işlemlerde takım bu ofset nokatalarını sınır kabul ederek loop'lara dalma işlemi meydana getirmemiş olacaktır.



Şekil 4.20 İç loop'ların içe doğru dış loop'ların ise dışa doğru ofsetlenmesi

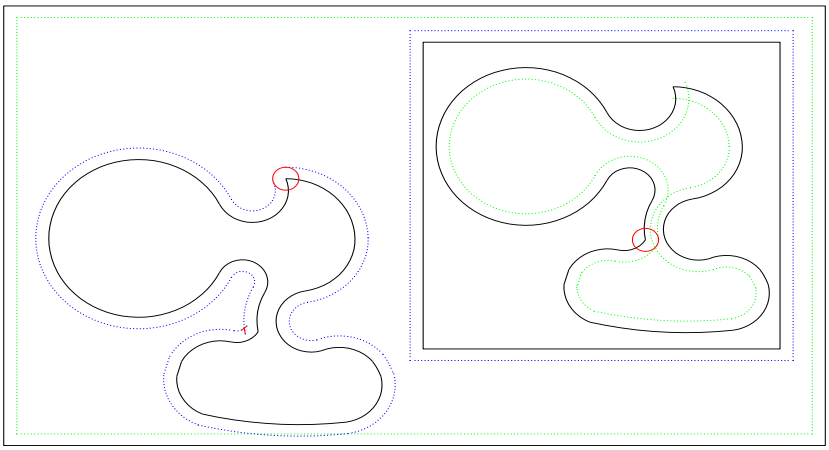
Loop'lara ait çizgi segmentlerinin ofsetlenmesi sırasında süreklilik sağlamayan(ofsetlenen çizgiler arasında bir bağlantı oluşmamması, boşluk olması) ofset çizgilerinin uç noktalarından önce kesişim meydana getirmeleri yada birleştirme sırasına göre ofset çizgileri birleştirilirken sıralamadaki çizgi segmentlerinden bir başkası ile kesişim meydana getirmesi durumları meydana gelebilmektedir.

Boşlukların tesbiti sıralamada bir çizgi segmentinin bitiş noktası diğer çizgi segmentinin başlangıç noktası olmak zorundadır. Bu nedenle sıralama sırasına göre sıralanan çizgi segmentleri arasında bu şartı sağlanmıyorsa boşluk oluşuyor demektir. Boşluklar iki çizgi segmentinin boştaki iki ucu arasındaki mesafe hesaplattırılarak bu

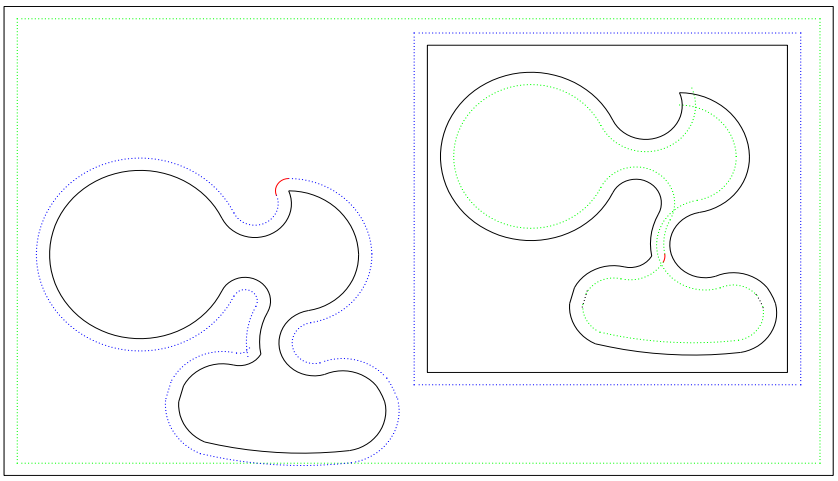
mesafeye sahip dairenin yarıçap yayı ile birleştirilir.(Chen ve McMains, 2005; Goktas ve ark., 2010)

Kesişim durumlarının tesbitinde ise sıralamadaki çizgi segmentlerinin herhangi birinden başlanır. Bitiş noktasınının diğer çizgi segmentinin başlangıç noktası olup olmadığına bakılır. Eğer bu şart sağlanmıyor ise her bir çizgi segmenti diğer çizgi segmentleri ile kesişim meydana getirip getirmediği kontrol edilir. Kesişim, sıralamada ard arda gelen çizgi seğmenleri arasında meydana gelmiş ise çizgi segmentlerinin kesişim sonrasındaki noktaları ofset noktaları arasından çıkarılır. Kesişim, sıralamada ard arda gelen çizgi seğmenleri arasında meydana gelmemiş ise yani bir başka çizgi segmenti ile kesişim meydana gelmiş ise kesişim noktasından ikinci çizgi segmentinin bitiş noktası yönünde devam edilir. Bu durumda birden fazla ofset loop'u meydana geleceği anlaşılmış olur. Ofset çizgi segmentlerinden kapalı bir loop oluşuncaya kadar birleştirme işlemine devam edilir. Loop oluştuktan sonra geride kalan çizgi segmentleri için işlemler tekrarlanır.

Ofsetlemede oluşan süreksizlikler ve fazlalıkların tesbit edilmesi **Şekil 4.21** ve süreksizlik olan kısımların sürekli hale getirilmesi **Şekil 4.22** de gösterilmektedir.

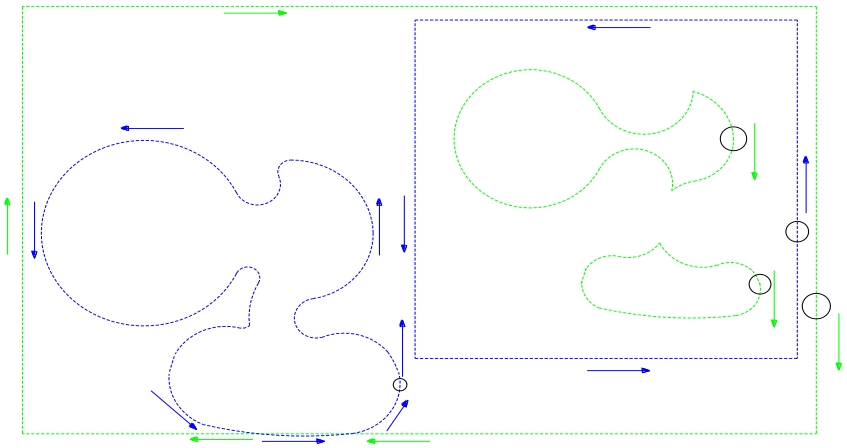


Şekil 4.21 Ofsetlemede oluşan süreksizliklerin ve fazlalıkların tesbit edilmesi



Şekil 4.22 Ofsetlemede oluşan süreksizliklerin sürekli hale getirilmesi

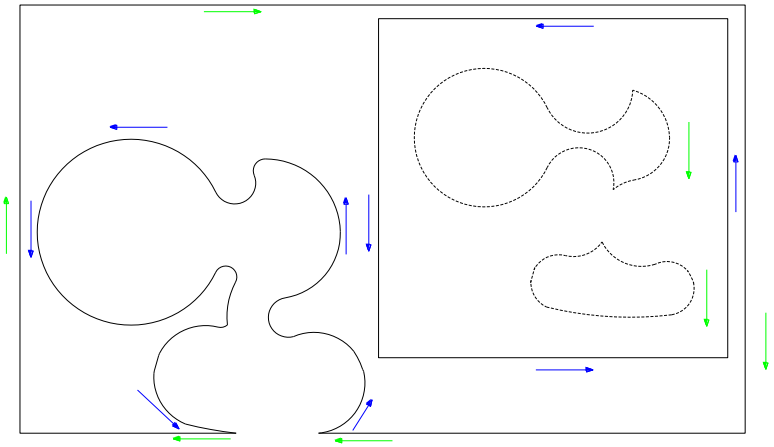
İç ve dış ofsetlerin oluşturulmasında çizgi segmentlerinin birleştirilme yönünün belirlenmesi önem arz etmektedir. İç ofsetlerde yer alan çizgi segmentleri saat yönünde dış ofsetlerin çizgi segmentleri saat yönünün tersi yönünde birleştirilmiştir. İç ve dış loopların ofsetlerinin oluşturulması esnasında iç ve dış ofsetler arasında kesişimler meydana gelebilmektedir.



Şekil 4.23 Ofsetlerde dönüş yönü ve kesişimlerin belirlenmesi

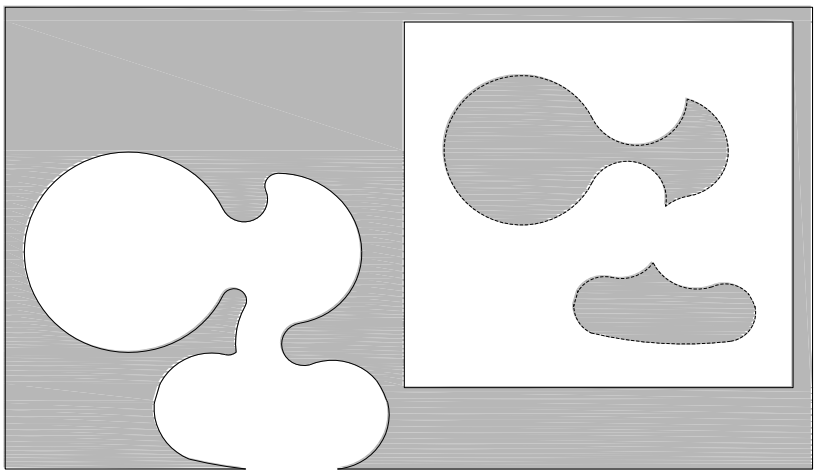
İşlenecek alanların belirlenmesi esnasında iç ve dış ofsetleme loop'ları arasında meydana gelen kesişim ve takip edilecek yolu temsil eden yöntem **Şekil 4.23**'de verilmiştir. Farklı ofset loop'ları arasında meydana gelen kesişimde hangi ofset loop'undan başlanmış ise kesişimden sonra diğer loop'un dönüş yönü dikkate alınarak çizgi segmentlerinin birleştirilmesi gerekmektedir. Bu sayede iç ve dış loop'lardan ortak kapalı bir loop oluşturulmuş olacaktır. Bu durumda işlenecek alanların sınırları da

belirlenmiş olur. **Şekil 4.24**'de İç ve dış ofsetlerdeki kesişimler sonrasında ofsetlerin birleştirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.24 İç ve dış ofsetlerdeki kesişimler sonrasında ofsetlerin birleştirilmesi

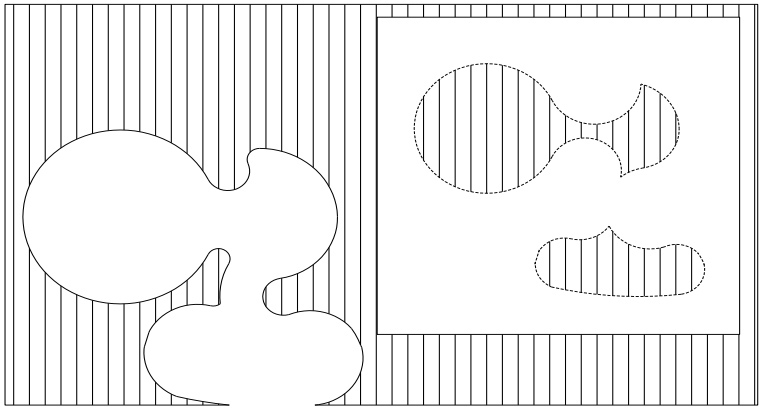
Şekil 4.25'de işlenecek(beyaz) ve işlenmeyecek(siyah) alanlar gösterilmektedir. İşlenecek alanlar iç loop, işlenmeyecek alanlar dış loop'lar ile temsil edilmektedir.



Şekil 4.25 İşlenecek alanların belirlenmesi

Yapılan çalışmada gridleme yöntemi kullanılarak işlenecek ve işlenmeyecek alanlar çok küçük kare parçalara(piksellere) ayrılır. Bu yöntem daha sonraki takım yolu oluşturmada kolaylıklar sağlayacaktır. Bu kare parçaların büyüklüğü kalıp alanının büyüklüğü, kalıp yüzeyi hassaslığı ve takım yolu hesaplamalarına yapacak olan bilgisayar işlemcisi hızına bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada 0,1mm kenar boyutuna sahip kareler(pikseller) kullanılmıştır. Bu pikseller ayrıca kalıntı hacim hesaplamada da kullanılacaktır.

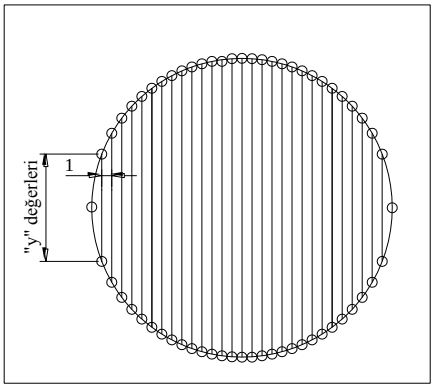
İşlenecek alanların iç kısımları takım çapına bağlı olarak takım yolları oluşturulur(**Şekil4.26**). Takım çapı değiştikçe işlenecek alanların şekillerinde de değişmeler meydana gelecektir. İşlenecek alanların şekillerinde meydana gelen bu değişiklikler takım yollarının değişmesine de neden olacaktır. Bu nedenle farklı çaplardaki takımlar için farklı takım yolları ve kalıntı hacimler, kesme parametreleri vs tüm hesaplamalar değişeceğinden bu bilgilerin hepsinin hesaplanması programı yavaşlatmaktadır.



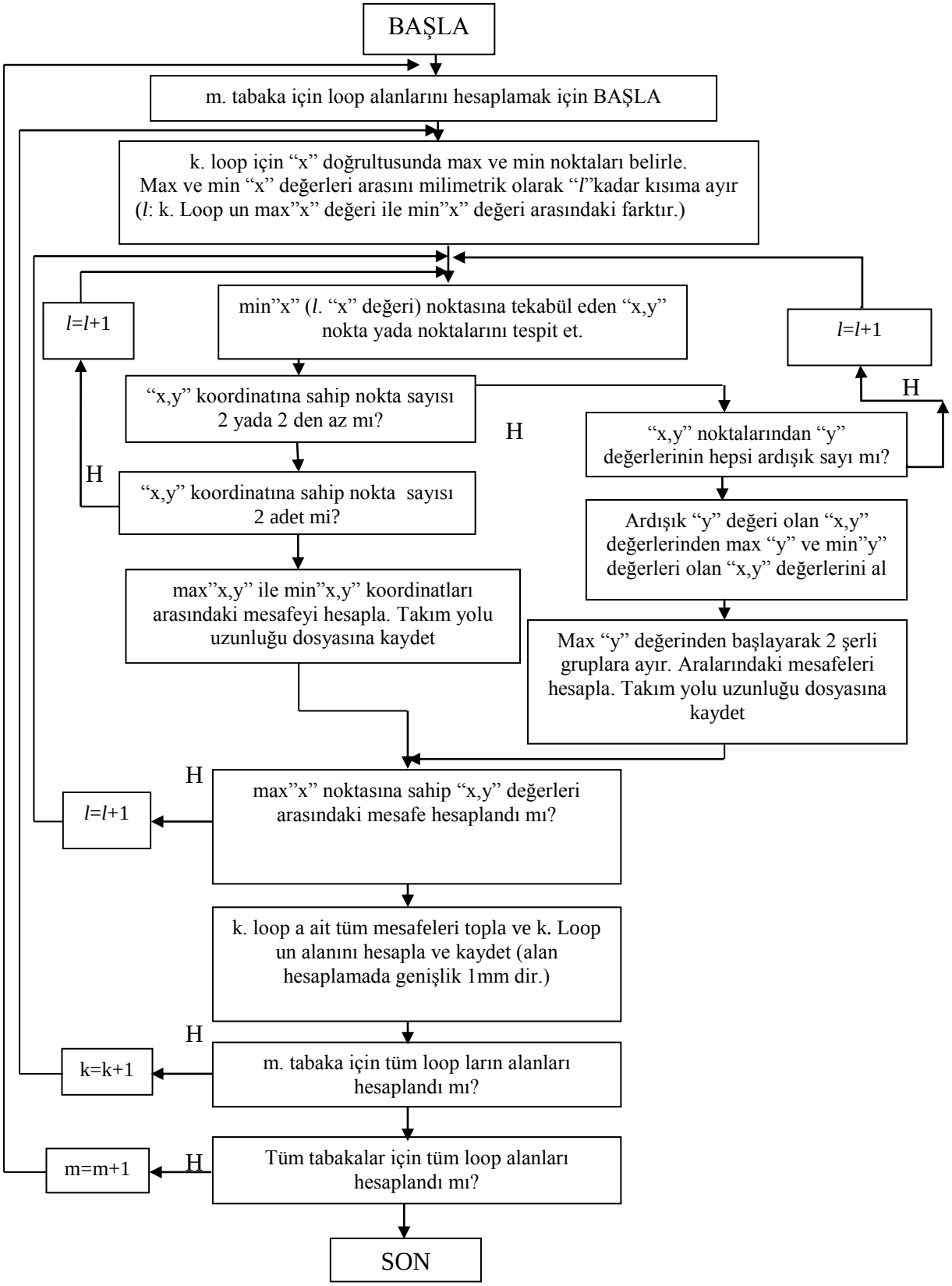
Şekil 4.26 İşlenecek alanlarda temsili takım yollarının oluşturulması

4.9 Loop Alanlarının Belirlenmesi

Loop alanlarının belirlenmesinde şu şekilde bir yöntem izlenecektir. Loop'un maksimum ve minimum "x" değerleri tespit edilecektir. Minimum "x" değerinden başlamak üzere birim artışlarla loop çizgi denklemlerinde bu "x" değerleri yerine koyularak bu "x" değerine tekabül eden "y" değerleri elde edilecektir. Her bir "x" değeri için elde edilen "y" değerleri arasındaki fark değerleri alınarak toplam fark değeri bulunur. Birim genişlik ile çarpımı ise bize loop alanını verecektir. Örnek olarak **Şekil 4.27**'de verilmiştir.



Şekil 4.27 Loop alanlarının belirlenmesi için örnek çizim



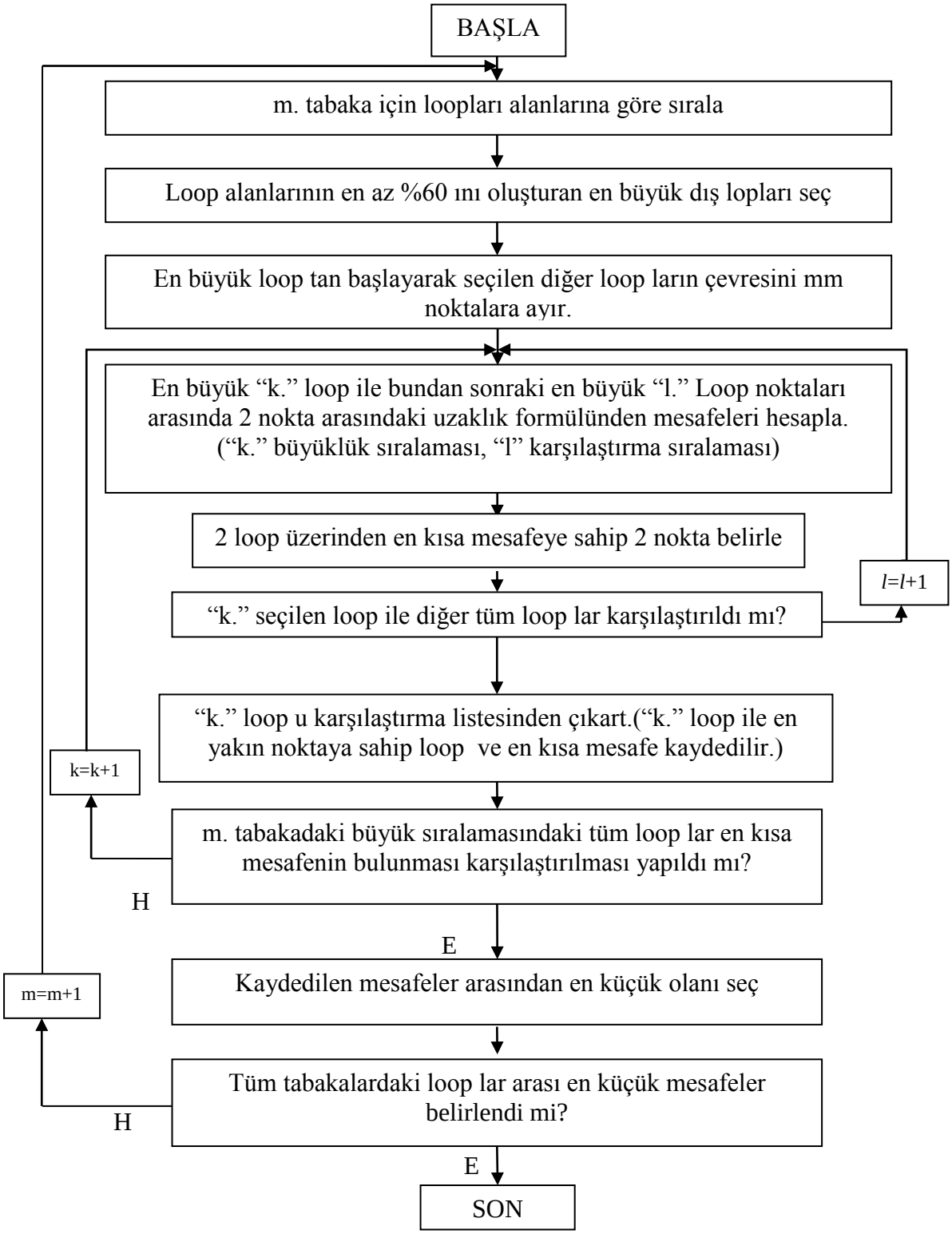
Şekil 4.28 Loop'ların alanlarının belirlenmesi için geliştirilen algoritma

Loop alanının bulunması için **Şekil 4.28**'de bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma aşağıda verilmiştir. Algoritmada loop için her bir "x" değerine tekabül eden "y" değerlerinin adedine göre hesaplamanın değiştiği görülmektedir. Burada her bir "x" değeri için elde edilen "y" değerlerinin 2 ve 2 den az olma durumu ile 2 den fazla olma durumu ayrı ayrı ele alınmıştır

4.10 Loop'lar Arası Kritik Mesafelerin Belirlenmesi

Looplar arası kritik mesafenin hesaplanmasında her bir tabakadaki looplar tespit edilir. Bu loopların alanları belirlenir. Loplar alanlarına göre büyükten küçüğe sıralanır. En büyük loop tan başlamak üzere büyüklük sıralamasına göre loplar karşılaştırılır. Karşılaştırma işlemi için her bir loop un sınır noktaları tespit edilir ve karşılaştırma yapılacak iki loop arasında sınır noktaların birbirine uzaklık hesaplamaları yapılır. En kısa mesafeye sahip noktalar bu iki loop arasında kritik mesafeyi belirler. Bu hesaplamalar tüm loop lar için tekrar edilir. Her bir loop un birbirine en yakın mesafeleri tespit edilir ve tabakadaki en kısa mesafe sahip loplar bulunmuş olur. Bu işlem tüm tabakalar için tekrar edilir.

Looplar arası kritik mesafenin bulunması için **Şekil 4.29**'da bir algoritma geliştirilmiştir.



Şekil 4.29 Loop'lar arası kritik mesafenin belirlenmesi için geliştirilen algoritma

4.11 Tabakalarda Kullanılacak En Büyük ve En Küçük Takımların Belirlenmesi

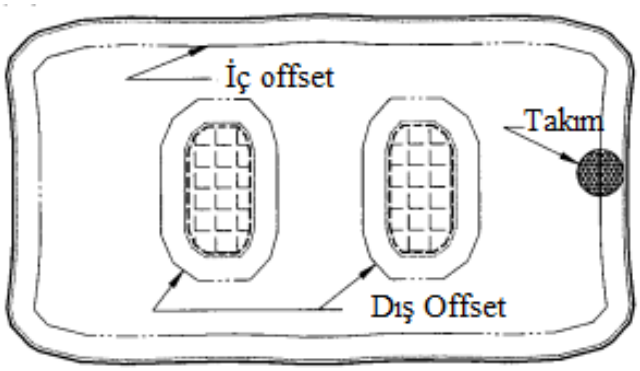
Tabakalarda kullanılacak en büyük ve en küçük çaplı takımların belirlenmesinde bir çok durum söz konusudur.

Büyük takım seçilirken izlenen yöntemde takım çapı sınır çizgilerinin işlenecek alan içerisine sığıp sığmadığı tespit edilir. Alana sığacak en büyük çaplı takım en büyük takım olarak adlandırılmaktadır.

En küçük çaplı takım ifadesi ise kullanılacak takımlar arasından en küçük çaplı takımı ifade etmemektedir. İşlenecek alanı istenilen kalıntı hacim toleransları dahilinde en kısa zamanda işleyecek en büyük çapa sahip takımıdır. Bu takımın tespit edilmesi takım yolu uzunluğu ve kalıntı hacim miktarları diyagramından elde edilir

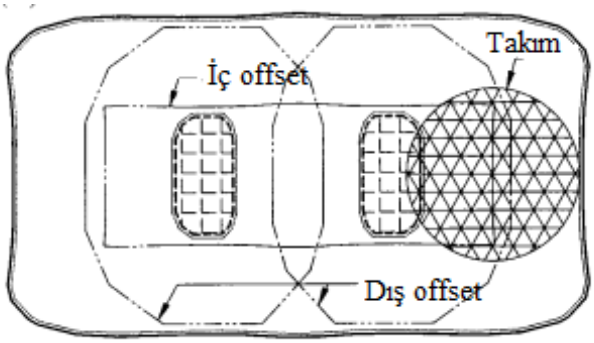
En büyük ve en küçük çaplı takımların belirlenmesindeki amaç, kullanılması gereksiz olan takımların listeden çıkartılarak hesaplama zamanının azaltılması ve kullanılacak takım setlerinin sınırlandırılmasıdır.

Şekil 4.30'da seçilen takımlar arasından minimum çapa sahip takımın işleme alanındaki temsili görüntüsü vardır. Burada takım çapının küçük olması nedeni ile takım yolu uzunluğu artacağı görülmektedir.



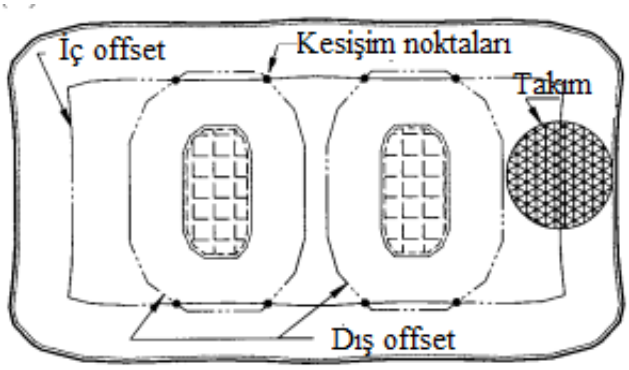
Şekil 4.30 Seçilen takımlar arasından en küçük çapa sahip takım(Lin ve Gian, 1999)

Şekil 4.31'de seçilen takımlar arasından işleme alanına sığmayan bir takım görülmektedir bu takımın işleme alanında hareket etmesi mümkün değildir. Bu nedenle geometrik şekillerin üzerindeki noktaların birbirine uzaklıkları, daha doğrusu farklı loop'ların birbirine olan uzaklıkların minimum değerlerinin belirlenmesi ve takım çapı belirlemelerinde bu hususunda göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 4.31 Seçilen takımlar arasından en büyük çapa sahip takım(Lin ve Gian, 1999)

Şekil 4.32'de kalıntı hacmi istenilen seviyede tutan takım yolu uzunluğu düşük olan takım gösterilmiştir. Bu takım hacmin tamamını işleyen maksimum çaplı takım(optimizasyonu yapılacak takım setleri içerisindeki minimum çaplı takım)'dır.

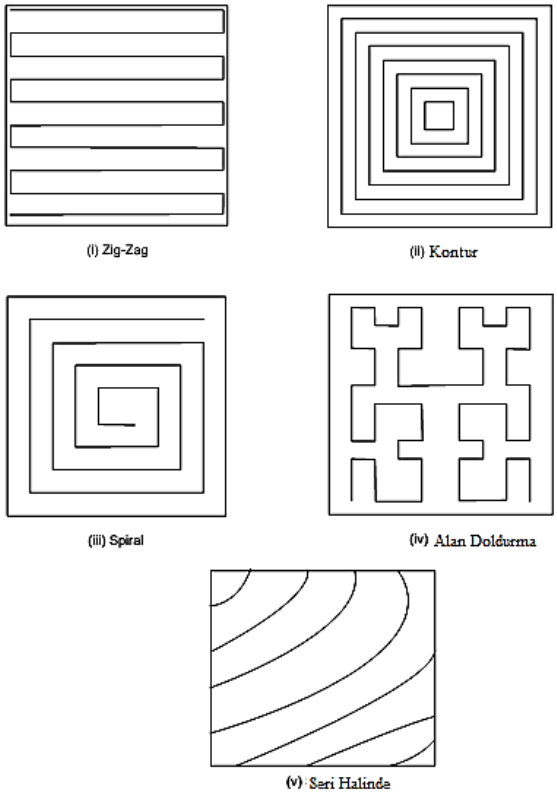


Şekil 4.32 Seçilen takımlar arasından kalıntı hacmi istenilen seviyede tutan en büyük takım(Lin ve Gian, 1999)

4.12 Tabakalarda Takım Yollarının Oluşturulması

Tabakalara ayrılmış cismin herbir tabakasının belirlenen takımlarla nasıl işleneceğinin belirlenmesi için literatürde birçok yöntem bulunmaktadır(**Şekil 4.33**). Bu yöntemlerden bazıları şunlardır:

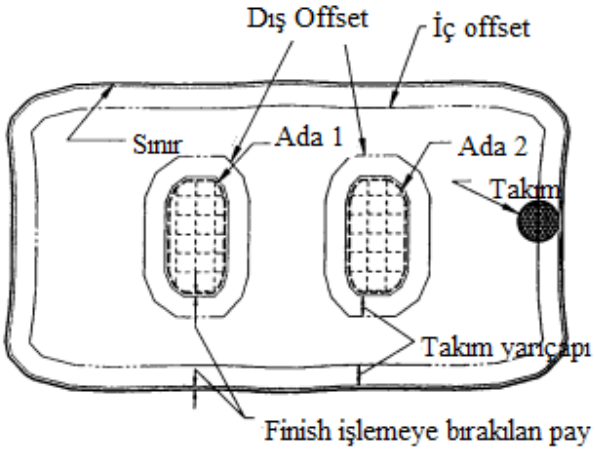
- Zig zag tipi takım yolu
- Kontur tipi takım yolu
- Sipral tipi takım yolu
- Alan doldurma tipi takım yolları
- Seri halindeki takım yolları
- Karma takım yolları



Şekil 4.33 Takım yollarının şematik gösterimi (a) Zig-Zag (b)Kontur (c)Sipral (d)Alan doldurma (e)Seri halinde(Choi ve Banerjee, 2007)

Yapılan çalışmada karma tip takım yolu kullanılmıştır. Karma tipi takım yolu kontur ve Zig-Zag takım yollarından oluşmaktadır. Burada ilk olarak ada ve cisim sınırlarının etrafları takım tarafından bir çarpma dalma meydana gelmemesi için kontur tipi işleme yapılmıştır. Ada ve cisim sınırlarında bu sayede güvenli işleme alanları oluşturulmuştur.

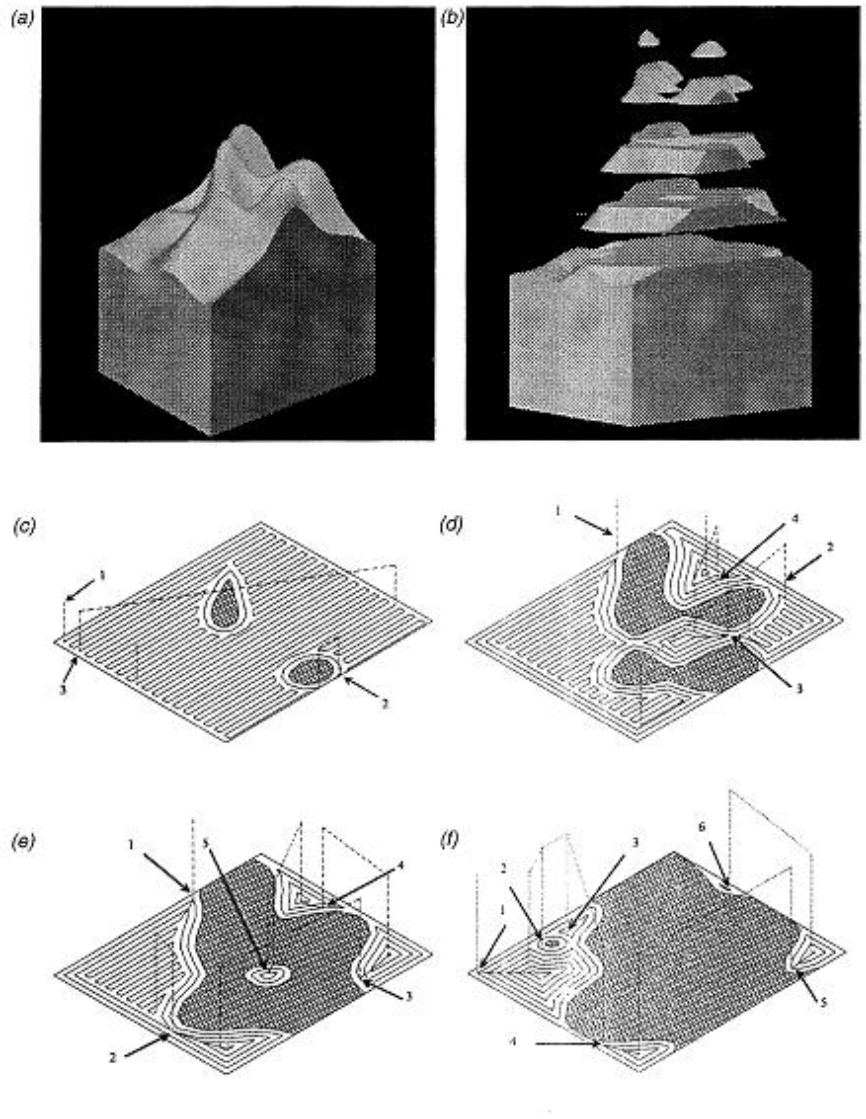
Şekil 4.34'de kontur tipi işlemeye örnek olarak temsili bir çizim verilmiştir.



Şekil 4.34 Çarpma ve dalmaya karşın kontur tipi işleme

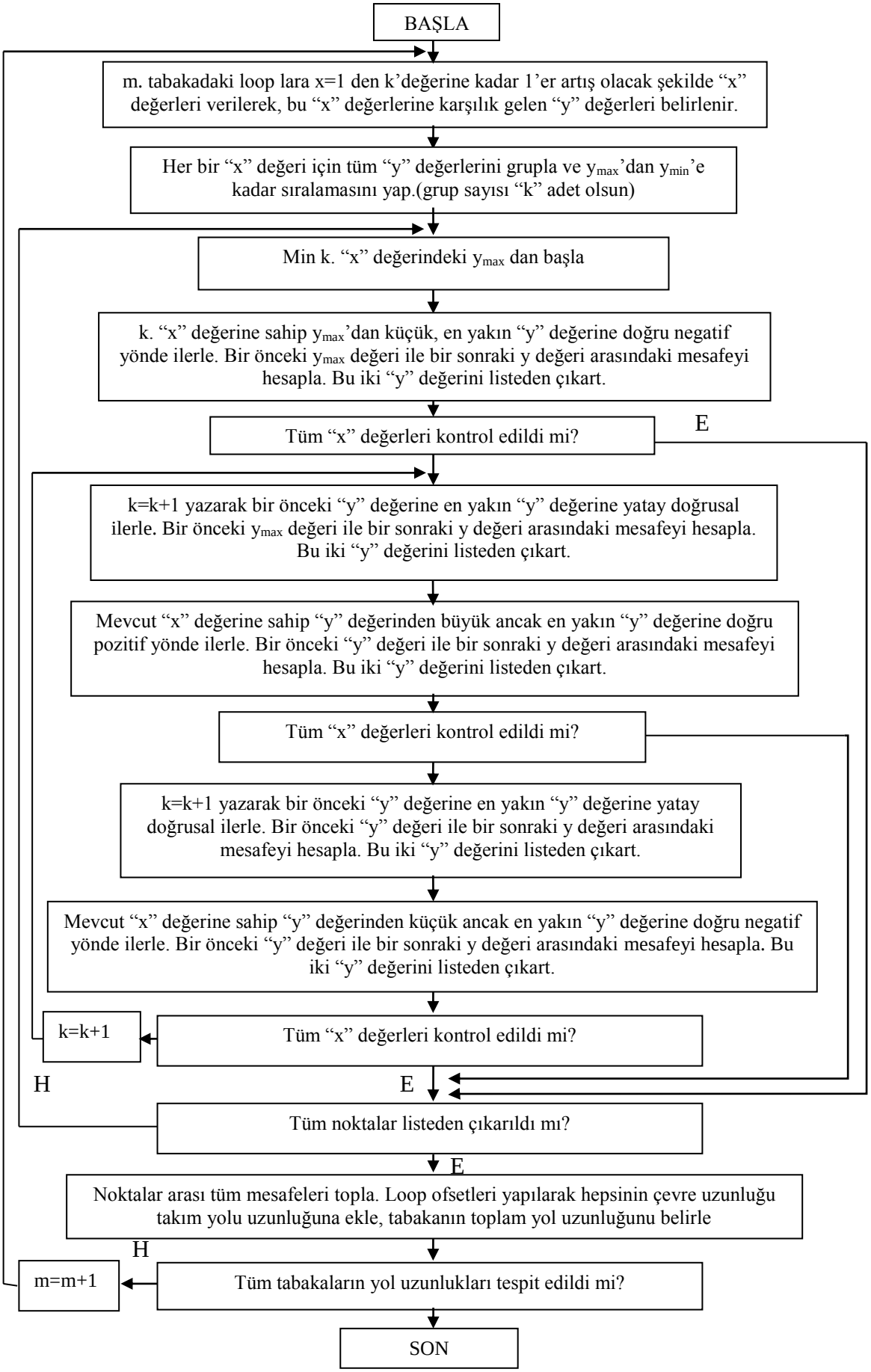
Bu güvenli işleme alanları ise Zig-Zag tipi işleme tekniği ile işlenmiştir. Karmaşık şekilli cisimlerin işlenmesinde kontur tipi takım yollarının oluşturulmasında bir çok zorluklar meydana gelmektedir. Örneğin ofsetleme işlemlerinde iç içe geçen takım yolları takım yolu hesaplamalarında programın hata vermesine neden olmaktadır. Zig-Zag işlemede cismin şekli ne kadar karmaşık olursa olsun takım yolunun oluşturulması çok daha kolaydır.

Şekil 4.35'de Karmaşık şekilli bir cismin tabakalandırılması ve her bir tabakada karma takım yolları oluşturulmasına örnek verilmiştir.



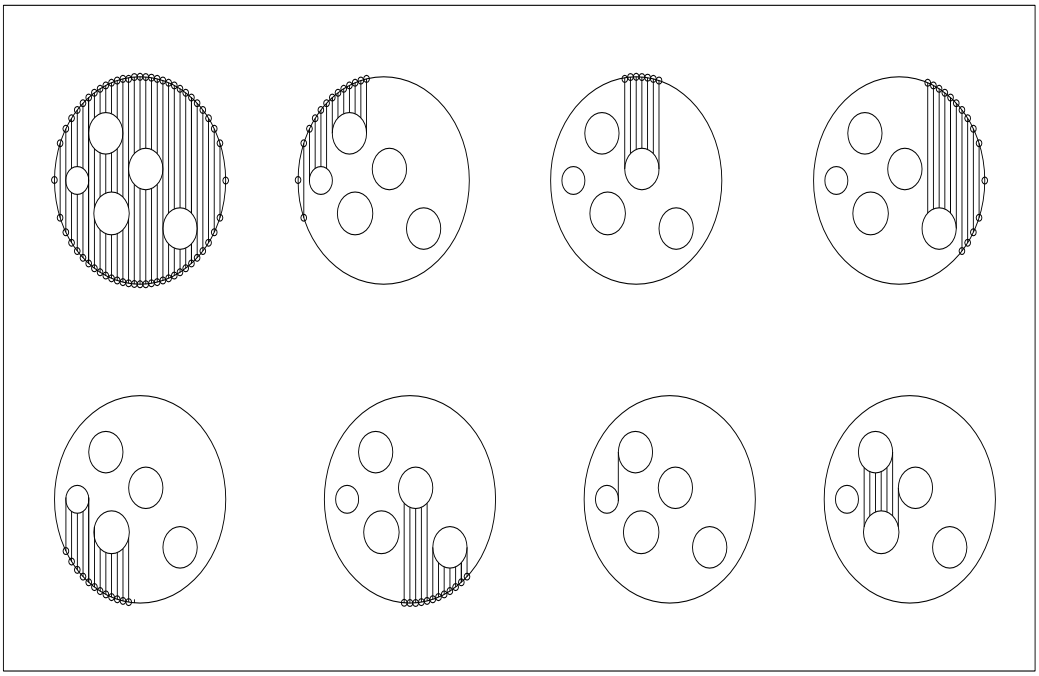
Şekil 4.35 Karmaşık şekilli bir cismin tabakalandırılması ve her bir tabakada karma takım yolları oluşturulması(Hu Y. N., 1998)

Zigzag takım yollarının belirlenmesi için **Şekil 4.36**'da bir algoritma geliştirilmiştir.



Şekil 4.36 Takım yolu oluşturulması algoritması

Aşağıda **Şekil 4.37.**'de zig-zag takım yollarının oluşturulmasında kullanılan algoritmaya göre oluşacak takım yolları basit bir cisim üzerinde gösterilmiştir. Burada sol üst kısımdaki şekil tüm takım yollarını göstermektedir. Diğer şekiller ise soldan sağa doğru ilerledikçe takımın izlediği yolları göstermektedir. Bu yollar kullanılan algoritma nedeni ile süreksiz oldukları görülmektedir. Her bir şekil sonunda takım yolu algoritması takım yolunu oluşturmak için hesaplamaya ilk defa takım yolu oluşturur gibi baştan başlamaktadır.



Şekil 4.37 Zig-Zag takım yollarının oluşturulması

4.13 Veri tabanının Oluşturulması

Veri tabanı için gerekli bilgileri ana başlıklar halinde aşağıdaki şekilde verilmiştir.

- İş parçası malzeme bilgileri
- Kesici takım malzeme bilgileri
- Kesme parametreleri
- Kesici takım geometri ve diğer bilgileri

Veri tabanını oluşturmak için gerekli malzeme bilgileri, kesme parametreleri ve kesici takım bilgileri malzeme el kitapları ve kesici takım kataloglarından(SANDVİK, ISCAR, KORLOY, TAGUTEC vs.) yararlanılmıştır.

4.13.1 İş parçası malzeme bilgileri

İş parçası malzemeleri takım kataloğundan alınarak listelenmiştir. Bu listede AISI/SAE ve DIN normunda malzeme kodları bulunmaktadır. Malzeme listeleri detaylı olarak "**EK-1"** kısmında tablolar halinde verilmiştir. Malzemeler tipine göre, alaşım durumuna göre ve ısıl işlem durumuna göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmayı şu şekilde yapabiliriz:

1- Çelikler

- Alaşımsız çelikler
  - C=% 0,10-0,25
  - C=% 0,25-0,55
  - C=% 0,55-0,80
- Düşük alaşımlı çelikler
  - Sertleştirilmemiş
  - sertleştirilmiş ve temperlenmiş
- Alaşımsız çelikler
  - ısıl işlem görmüş
  - serleştirilmiş takım çeliği
- Çelik dökümler
  - Alaşımsız
  - Düşük Alaşımlı(Alaşım elementi ≤%5)
  - Yüksek Alaşımlı(Alaşım elementi >%5)

2- Paslanmaz çelikler

- Ferritik-Martenzitik
  - Sertleştirilmemiş
  - Sertleştirilmiş
  - Ön Sertleştirilmiş
- Ostenitik
  - Sertleştirilmemiş (Dövülmüş)
  - Ostenitik Döküm
  - Ön Sertleştirilmiş (Dövülmüş)
  - Ön Sertleştirilmiş Döküm
- Ostenitik-Ferritik(Duplex)
  - Kaynaklanamaz ≥0,05%C (Dövülmüş)

- Kaynaklanamaz ≥0,05%C Döküm
- Kaynaklanabilir <0,05%C (Dövülmüş)
- Kaynaklanabilirz <0,05%C Döküm

3- Dökme demirler

- Dövülebilir
  - Ferritik(Kısa Talaşlı)
  - Perlitik(Uzun Talaşlı)
- Gri Dökme Demir
  - Düşük Çekme Dayanımı
  - Yüksek Çekme Dayanımı
- Sfero
  - Ferritik
  - Perlitik

4- Alüminyum ve diğer alaşımlar

- Alüminyum Alaşımı
  - Dövülmüş yada Dövülerek Soğuk İşlenmiş Yaşlandırılmamış
  - Dövülmüş yada Dövülüp Yaşlandırılmış
  - Döküm Halde, Yaşlandırılmamış
  - Döküm Halde yada Döküm Halde Yaşlandırılmış
  - Al > %99
  - Döküm Halde, %13-15 Si içeren
  - Döküm Halde, %16-22 Si içeren
- Bakır Alaşımı
  - Serbest Kesme Alaşımları, ≥%1 Pb içeren
  - Pirinç, Kurşunlu bronzlar, ≤%1 Pb içeren
  - Bronz ve kurşunsuz bakır içeren elektrolitik bakır

5- Isıya dayanıklı süper alaşımlar

- Demir Bazlı
  - Isıl İşlem Görmüş yada Çözeltide İşlem Görmüş
  - Yaşlandırılmış yada Çözeltide İşlem Görmüş ve Yaşlandırılmış
- Nikel Bazlı
  - Isıl İşlem Görmüş yada Çözeltide İşlem Görmüş
  - Yaşlandırılmış yada Çözeltide İşlem Görmüş ve Yaşlandırılmış

- Döküm Halde yada Döküm Halde Yaşlandırılmış

- Kobalt Bazlı
  - Isıl İşlem Görmüş yada Çözeltide İşlem Görmüş
  - Yaşlandırılmış yada Çözeltide İşlem Görmüş ve Yaşlandırılmış
  - Döküm Halde yada Döküm Halde Yaşlandırılmış
- Titanyum Alaşımlar
  - α, α ya yakın ve α+β alaşımları, ısıl işlem görmüş ve yaşlandırılmış
  - α+β alaşımları yaşlandırılmış şartlarda β alaşımları ısıl işlem görmüş ve yaşlandırılmış

6- Serleştirilmiş çelikler

- Ekstra Sert Çelikler
  - Sertleştirilmiş ve temperlenmiş
- soğuk dökme demir
  - Döküm Halde yada Döküm Halde Yaşlandırılmış

İş parçası malzeme bilgileri kesme parametrelerinin tesbiti için gereklidir. Bu nedenle malzemenin kolayca belirlenebilmesi için genel sınıflandırma ve malzeme koduna göre sınıflandırma yapılmıştır. Aşağıda yer alan **Tablo 4.1'**de AISI, DIN normlarındaki malzemeler ve bu malzemelerin sınıflandırma kodları yer almaktadır. Burada seçilen malzemenin katalogdaki Kodu(CMC) belirlenmiş olacaktır. Bu kod sayesinde kesme hızı ve ilerleme değerleri seçimini yapılabilmektedir.

Yapılan çalışmada iş parçası malzemesi sıcak iş takım çeliği seçilmiştir. Sıcak işlem çeliklerinin özellikleri ve kullanım amaçları aşağıda verilmiştir.

Sıcak iş takım çelikleri özellikle çeliklerin, demir olmayan metallerin, yüksek polimerlerin ve seramik malzemelerin 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda form verme ve formunu değiştirmeleri için yararlanılan takımların imalinde kullanılır. Sıcaklık işlenen malzemeye bağlı olduğundan ve uygulanan temas sürelerinde 300-1000°C'ye ulaşabildiğinden dolayı, bu çelikler çok sık bir şekilde darbe tarzında da olan ve ısıl şok olarak da meydana gelen, çok yüksek mekanik ve termik zorlanma altında kalırlar. Sıcak iş takımlarında çoğu zaman plastik form değiştirmesi, sıcakta çatlak teşekkülü, kırılma, aşınma veya korozyon nedeniyle bozulmalar olabilir. Bundan dolayı sıcak iş takımları için olan malzemelerin sıcakta yüksek dayanıma(sıcakta akma sınırı), iyi meneviş dayanımına, yüksek sıcakta aşınma direncine, yeterli sünekliğe ve iyi termoşok dayanımına sahip olması gerekir. Sıcak iş takımlarının sertleştirilmesi büyük ölçüde

alaşımlı soğuk iş takım çeliklerine benzer. Ancak meneviş sıcaklıkları oldukça yüksektir.

Sıcak iş takım çelikleri TS 3920, DIN 17350 ve EN ISO 4957'de (takım çelikleri olarak) standartlaştırılmıştır.

Tablo 4.1 İş parçası malzemesi ve sınıflandırma kodu seçimi tablosu(SANDVİK, 2003)

ISO	Malzeme			CMC	AISI/SAE	W.-nr.	DIN
P	Çelikler	Alaşımsız	C=% 0,10-0,25	01.1	A570.36	1.0038	RSt.37-2
				01.1	1115	1.0038	GS-CK 16
				01.1	A573-81 65	1.0116	St.37-3
				01.1	1015	1.0401	C15
				01.1	1020	1.0402	C22
				01.1	1213	1.0715	9SMn28
				01.1	12L13	1.0718	9SMnPb28
				01.1	-	1.0722	10SPb20
				01.1	1215	1.0736	9SMn36
				01.1	12L14	1.0737	9SMnPb36
				01.1	1015	1.1141	Ck15
				01.1	1025	1.1158	Ck25
				01.1	A572-60	1.8900	StE 380
				01.1	A572-60	-	17MnV 6
			C=% 0,25-0,55	01.2	1035	1.0501	C35
				01.2	1045	1.0503	C45
				01.2	1140	1.0726	35S20
				01.2	1039	1.1157	40Mn4
				01.2	1335	1.1167	36Mn5
				01.2	1330	1.1170	28Mn6
				01.2	1035	1.1183	Cf35
				01.2	1045	1.1191	Ck45
				01.2	1050	1.1213	Cf53
			C=% 0,55-0,80	01.3	1055	1.0535	C55
				01.3	1060	1.0601	C60
				01.3	1055	1.1203	Ck55
				01.3	1060	1.1221	Ck60
				01.4	1095	1.1274	Ck 101
				01.4	W1	1.1545	C 105 W1
				01.4	W210	1.1545	C105W1
				01.5	-	-	-
		Düşük Alaşımlı	sertleştirilmemiş	02.1	A573-81	1.0144	St.44-2
				02.1	-	1.0570	St.52-3
				02.1	5120	1.0841	St.52-3
				02.1	9255	1.0904	55Si7
				02.1	9262	1.0961	60SiCr7
				02.1	52100	1.3505	100Cr6
				02.1	ASTM A204Gr.A	1.5415	15Mo3
				02.1	4520	1.5423	16Mo5
				02.1	ASTM A350LF5	1.5622	14Ni6
				02.1	8620	1.6523	21NiCrMo2
				02.1	8740	1.6546	40NiCrMo22
				02.1	-	1.6587	17CrNiMo6
				02.1	5015	1.7015	15Cr3
				02.1	5140	1.7045	42Cr4
				02.1	5155	1.7176	55Cr3
				02.1	-	1.7262	15CrMo5
				02.1	ASTM A182 F11 ; F12	1.7335	13CrMo4 4
				02.1	ASTM A182 F22	1.7380	10CrMo9 10
				02.1	-	1.7715	14MoV6 3
				02.1	-	1.8515	31 CeMo 12
				02.1	-	1.8523	39CrMoV13 9
				02.1	L1	1.7039	34MoCrS4 G
				02.1	8620	1.5419	20MoCrS4
				02.1	-	1.7228	55NiCrMoV6G
				02.1	-	1.7139	16MnCr5
				02.1	-	-	31NiCrMo134
				02.1	L6	1.2721	50NiCr13
				02.1	9840	1.6511	36CrNiMo4
				02.1	4340	1.6582	35CrNiMo6
				02.1	5132	1.7033	34Cr4
				02.1	5140	1.7035	41Cr4
				02.1	5115	1.7131	16MnCr5

İş parçası malzemesi olarak kalıpçılıkta özellikle plastik enjeksiyon kalıplarında sıklıkla kullanılan 1.2344 sıcak işlem çeliği seçilmiştir. CMC kodu ise 03.11'dir.

1.2344 sıcak işlem çeliği iyi bir süneklik ile birleşen yüksek sıcaklıkta aşınma dayanımını yitirmeyen bir çeliktir. Isıl şoklara karşı dayanımı, yüksek seviyedeki

saflığı, homojenliği sebebi ile çok geniş bir kullanımı vardır. Yaygın olarak ağır yükte çalışan sıcak iş kalıpları, metal ekstrüzyon preslerinde, yağ ve hava soğutmalı presleme ve delme mandrellerinde ve dövme kalıplarında kullanılır. Aşağıdaki **Tablo 4.2** ve **Tablo 4.3**'te sıcak iş takım çeliklerinin çeşitleri ve bileşimleri, ısıl işlem karakteristikleri ve mekanik özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 4.2 Sıcak iş takım çelikleri ve kimyasal bileşimleri

Çelik Türü		Kimyasal Bileşim (% ağırlık)						
Mlz. No	Sembol	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
1.2343	X38Cr5Mo1V	0,36-0,42	0,90-1,20	0,30-0,50	4,80-5,50	1,10-1,40	-	0,25-0,50
1.2344	X40Cr5Mo1V	0,37-0,43	0,90-1,20	0,30-0,50	4,80-5,50	1,20-1,50	-	0,90-1,10
1.2365	X32Cr3Mo3V	0,28-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	2,70-3,20	2,60-3,00	-	0,40-0,70
1.2713	55NiCrMoV6	0,50-0,60	0,10-0,40	0,65-0,95	0,60-0,80	0,25-0,35	1,50-1,80	0,07-0,12
1.2714	56NiCrMoV	0,50-0,60	0,10-0,40	0,65-0,95	1,00-1,20	0,45-0,55	1,50-1,80	0,07-0,12

Tablo 4.3 Sıcak işlem çelikleri ısıl işlem durumu ve mekanik özellikleri

Çelik Türü		ISIL İŞLEM KOŞULLARI									ÇEKME DAYANIMI								
		Sıcak Şekil Verme Sıcaklığı	Yumuşak Tavlama		Sertleştirme					Meneviş Sıcaklığı	Sertleşmiş Halde	Meneviş Sıcaklığına Göre							Kullanım Dayanımı
			Sıcaklığı	Sertliği								MPa							
Mlz. No	Sembol	°C	°C	BSD	°C	su	yağ	hava	Sıc. banyo	°C	MPa	400	450	500	550	600	650	700	MPa
1.2343	X38Cr5Mo1V	1100-900	760-780	235	1020-1050	-	*	*	*	550-650	1960	-	1960	2060	1910	1620	1230	980	1180-1770
1.2344	X40Cr5Mo1V	1100-900	750-780	235	1020-1060	-	*	*	*	550-650	2010	-	1960	2060	1960	1720	1320	1130	1180-1770
1.2365	X32Cr3Mo3V	1050-900	760-780	230	1020-1050	-	*	*	*	500-670	1720	-	-	1670	1620	1570	1320	1030	1180-1670
1.2713	55NiCrMoV6	1050-850	680-710	240	840-870	-	*	-	-	500-650	1860	1620	1520	1420	1320	1230	1030	880	930-1420
1.2714	56NiCrMoV	1050-850	680-710	250	840-870	-	*	-	-	40-650	2060	1770	1670	1570	1420	1320	1180	-	1180-1770

4.13.2 Kesici takım malzeme bilgileri

Küçük çaplı delik delme, kılavuz çekme, raybalama, punta deliği ve kama kanalı açma gibi işlemlerde yüksek hız çeliği (HSS) takımlar kullanılmasına rağmen, CNC tezgâhlarda, genellikle karbür (sert maden) takımlar kullanılmaktadır.

CNC tezgâhlarda kullanılacak takımlarda aranan fiziksel özelliklerin başında, 600°C' ye kadar çıkabilen metal kesme sıcaklığındaki malzemenin sertliği ve tokluğu gelmektedir. Yüksek hız çelikleri, sinterlenmiş karbürden daha tok olmasına rağmen onun kadar sert değildir. Bu nedenle, yüksek hızlardaki talaş kaldırma tekniklerinin şartlarını yerine getirebilecek yeni karbür türlerinin geliştirilmesi için yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

Bir takım malzemesinde aranan özellikler şunlardır:

- Takım sadece oda sıcaklığında değil, çalışma sıcaklıklarında da iş parçasının en

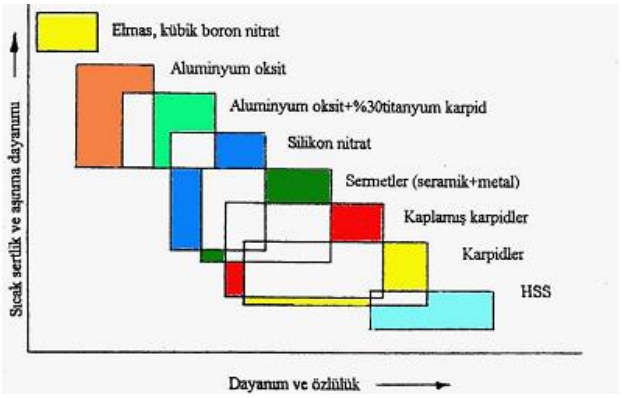
sert bileşeninden daha sert olmalıdır. Takım geometrisinin bozulmasını önleyen yüksek sertlik, talaş oluşum sırasındaki ağır şartlar altında muhafaza edilmeli ve hatta aşınma direncine yardımcı olmalıdır.

- Kesme işleminde mekanik şoklara (darbelere karşı) dayanmak için yüksek tokluk özelliğine sahip olmalıdır.
- Kesme işlemlerinde hızlı ısınma ve soğumalar meydana geldiği için yüksek termal şok direncine karşı dayanıklı olmalıdır.
- Kesme yaparken kesilen talaşla kesici uç arasında reaksiyon oluşmamalıdır.

Düşük sertlik takım profilinin bozulmasına yol açar, takım ucu deformasyona uğrar. Uygun olmayan tokluk ve termal şok direnci takım ağzında talaş yığılmasına, kesicide kırılmalara ve çatlamalara neden olur

İmalatta kullanılan kesici malzemeleri gelişim sırasına göre aşağıdaki maddeler halinde verilmiştir. Ayrıca **Şekil 4.38**'de kesici takım özelliklerinin karşılaştırılması diyagramı gösterilmektedir.(MEGEP, 2006)

1. Adi karbonlu ve orta alaşımlı çelikler,
2. Seri çelikler(HSS),
3. Dökme - kobalt alaşımları,
4. Sert maden uçlar,
5. Kaplanmış kesiciler,
6. Seramikler,
7. Kübik Boron Nitrür kesiciler
8. Silisyum nitrür alaşımlı kesiciler
9. Elmas kesiciler



Şekil 4.38 Kesici takımların özeliklerinin karşılaştırılması(MEGEP, 2006)

Sıcak işlem çeliklerinin kaba işlenmesinde parmak frezeler için aşağıda **Tablo 4.4**'den ISO P GC1640 kalite uç seçilmiştir.

Tablo 4.4 Parmak frezeler için uc kalitesi seçim tablosu(SANDVİK, 2003)

ISO PMK

GC1620, GC1630, GC1640	Kesme sıvısız işleme	Kesme sıvılı işleme
Finish işleme	GC1620	
Yarı finish işleme		GC1630
Kaba işleme		GC1640

Takma uçlu frezeler için ise **Tablo 4.5**'den ISO P(çelikler için) 4030 kalite uca sahip tarama çakıları seçilmiştir.

Tablo 4.5 Takma uçlu frezeler için uç kalitesi seçimi(SANDVİK, 2003)

	Takma Uç Kalitesi	İşlem Tipi	AÇIKLAMA
P	530	Ana İşlem Takma Uç Kaliteleri	CT530 sermet kalite uç. Kesme sıvısız hafif frezeleme işlemlerinde kullanılır. Plastik deformasyona karşı yüksek dirençli olması ile geniş bir kullanım aralığına sahiptir. Temizleme takımları için ideal.
	1025	Ana İşlem Takma Uç Kaliteleri	PVD kaplamalı karbür takım. Çeliklerin hafif frezelenmesi işleminde kullanılır. Düşük karbonlu çelikler gibi sünek malzemler için uygun.
	2030	Yardımcı İşlem Takma Uç Kaliteleri	PVD kaplamalı karbür kalite. Yığma agıza eğimli düşük karbonlu çeliklerin frezelenmesinde kullanılır. Alaşımlı malzemelerin 90 derece frezelenmesine çok uygun.
	2040	Yardımcı İşlem Takma Uç Kaliteleri	Kaplamalı karbür kalite Düşük kesme hızlarında tok bir uç kalitesi ve keskin kesme kenarı gereken takımlar ile çeliklerin frezeleme işleminde kullanılır.
	3040	Yardımcı İşlem Takma Uç Kaliteleri	Abrazif aşınma direncine çok iyi kaplamalı karbür kalite Çeliklerin orta ve yüksek hızlarda kaba frezeleme işlemleri için uygun
	4020	Ana İşlem Takma Uç Kaliteleri	Kaplamalı karbür kalite Mümkün olan en yüksek veimlilikte yüksek sıcaklıklarda çeliklerin hafifden başlayarak ağır şartlara kadar frezelenmesinde kullanılır. (sertleştirilmiş çelikler yada çok yüksek kesme hızlarında)
	4030	Ana İşlem Takma Uç Kaliteleri	Sertik değeri 300HB ye kadar olan alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan kaplamalı karbür uç. Hafif ve ağır çalışma şartlarına orta ve yüksek hızlarda çalışmaya uygun.
	4040	Ana İşlem Takma Uç Kaliteleri	Tokluğun istenildiği çeliklerin frezelenmesinde kullanılır. Küçük parti farklı tip malzemelrin işlenmesine uygun. Sogutma sulu yada susuz kullanıma uygun. Düşük ve orta kesme hızlarında çalışmaya uygun
	SM30	Ana İşlem Takma Uç Kaliteleri	Kaplamasız karbür kalite, orta ve kaba işlemler için uygun, düşük ve orta kesme hızlarında kullanıma uygun, sert malzemeler ve stabil olmayan çalışma şartlarında iyi kseme kenarı güvenli sağlar.

4.13.3 Kesme parametreleri

Kesme parametreleri(kesme hızı, diş başı ilerleme, diş sayısı vs.) takım kataloglarından alınmış olup parmak freze ve takma uçlu frezeler için ayrı ayrı tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

20mm çapa kadarki parmak frezelerde kesme hızlarının belirlenmesinde iş parçası malzeme özellikleri(malzeme tipi, sertliği vs.), takım malzemesi(takım kalitesi),

işleme türü(cep işleme, kalıp boşluğu işleme, kenar işleme vs.), kesme derinliği ve kesme genişliği gibi parametreler gerekli iken; 20mm den daha büyük çaplı takma uçlu takımlarda kesme hızlarının belirlenmesinde ise 20mm çapa kadarki parmak frezelerde belirlenen parametrelere ek olarak maksimum talaş kalınlığının(h_{ex}) da belirlenmesi gerekmektedir.

İş parçası malzeme kodu belirlenmiş 20mm çap'a kadar ki parmak frezeler takımlar için kesme hızı tayini **Tablo 4.6**'dan, aynı çap'a kadarki parmak freze takımlar için diş başı ilerleme(f_z) tayini **Tablo 4.7**'den tesbit edilir.

Tablo 4.6 20mm çap'a kadar ki parmak frezeler için kesme hızı(Ve) tayini(SANDVİK, 2003)

(ap x ae >Dc) Slot milling						
ISO	Malzeme			CMC	HB	Ve m/dk
P	Çelikler	Alaşımsız	C=% 0,10-0,25	01.1	125	155
			C=% 0,25-0,55	01.2	150	135
			C=% 0,55-0,80	01.4	200	120
		Düşük Alaşımlı	sertleştirilmemiş	02.2	250	100
			sertleştirilmiş ve temperlenmiş	02.2	300	90
		Yüksek Alaşımlı	ısıl işlem görmüş	03.22	400	75
			sertleştirilmiş takım çeliği	03.22	450	65
M	Paslanmaz Çelikler	Ferritik-Martenzitik	Sertleştirilmemiş	05.11	200	60
		Ostenitik	Sertleştirilmemiş	05.21	200	60
		Ostenitik-Ferritik	Kaynaklanamaz ≥0,05%C	05.51	230	45
K	Dökme Demirler	Dövülebilir	Ferritik(Küçük Talaşlı)	07.1	150	135
		Düğümlü	Ferritik(Küçük Talaşlı)	09.2	200	100
		Gri Dökme Demir	Düşük Çekme Dayanımı	08.1	180	85
N	Alüminyum ve Diğer Alaşımlar	Alüminyum Alaşımı	Dökme yada Yaşlandırılmış Dökme	30.22	90	1000
S	Isıya Dayanıklık Süper Alaşımlar	Nikel Bazlı	yaşlandırılmış yada işlem görmüş ve yaşlandırıllmış	20.22	350	265
		Titanyum Alaşımlar	α+β alaşımları yaşlandırılmış şartlarda β alaşımları ısıl işlem görmüş ve yaşlandırılmış	23.22	350	220
H	Sertleştirilmiş Çelikler	Ekstra Sert Çelikler	sertleştirilmiş ve temperlenmiş	04.1	50	55

Tablo 4.7 20mm çap'a kadar ki parmak frezeler için diş başı ilerleme(fz) tayini(SANDVİK, 2003)

Sertliği ≤ 48 HRC			PMKS	GC1640
Takım çapı	Diş sayısı	Takım boyu	Max ap	fz mm/diş
6	4	65	13	0,013
8	4	80	19	0,016
10	4	100	22	0,025
12	4	100	26	0,031
16	4	115	32	0,053
20	4	125	38	0,069

20mm çapa kadarki parmak frezelerde diş başına ilerleme(f_z) değerinin belirlenmesinde ise iş parçası malzeme özellikleri(malzeme tipi, sertliği vs.), takım malzemesi(takım kalitesi) ve geometrisi gibi bilgiler gereklidir. 20mm den daha büyük

çaplı takma uçlu takımlarda diş başına ilerleme(f_z) değerinin belirlenmesinde ise 20mm çapa kadarki parmak frezelerde belirlenen parametrelere ek olarak maksimum talaş kalınlığının(h_{ex}) da belirlenmesi gerekmektedir. Bu bilgilerin belirlenmesi sonucunda 20mm çapa kadarki parmak frezelerde diş başına ilerleme değerini **Tablo 4.8**'den, 20mm den daha büyük çaplı takma uçlu takımlarda diş başına ilerleme değerinin belirlenmesinde ise **Tablo 4.9**'dan yararlanılmıştır.

Tablo 4.8 20-150mm çap'a kadar ki parmak frezeler için kesme hızı(Ve) tayini(SANDVİK, 2003)

ISO	Malzeme			CMC	k_{c1} N/mm²	HB	Takım Takma Ucu											
							530			1025			4020			4030		
							Max talaş Kalınlığı h_{ex} mm											
							0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
							Kesme Hızı V_e m/dk											
P	Çelikler	Alaşımsız	C=% 0,10-0,25	01.1	1500	125	430	390	350	340	310	255	490	405	330	365	300	245
			C=% 0,25-0,55	01.2	1600	150	385	350	315	305	280	230	440	360	295	325	270	220
			C=% 0,55-0,80	01.3	1700	170	365	330	300	290	260	215	415	340	280	310	255	210
				01.4	1800	210	315	290	260	250	230	185	365	300	245	270	220	180
				01.5	2000	300	235	210	195	185	170	140	270	220	180	200	165	135
		Düşük Alaşımlı	sertleştirilmemiş	02.1	1700	175	300	275	245	240	215	180	345	285	230	255	210	170
			sertleştirilmiş ve temperlenmiş	02.2	2000	300	180	165	150	145	130	105	205	170	140	155	125	105
		Yüksek Alaşımlı	ısıl işlem görmüş	03.11	1950	200	230	205	185	180	165	135	300	245	200	195	160	130
			serleştirilmiş takım çeliği	03.13	2150	200	190	170	155	150	135	110	215	180	145	160	130	110
				03.21	2900	300	165	150	135	130	120	100	190	155	125	140	115	95
				03.22	3100	380	105	95	85	80	75	60	120	95	80	85	70	60
		Çelik Döküm	Alaşımsız	06.1	1400	150	305	280	250	245	220	180	350	290	235	260	215	175
			Düşük Alaşımlı(Alaşım elementi ≤%5)	06.2	1600	200	245	220	200	195	175	145	280	230	190	205	170	140
			Yüksek Alaşımlı(Alaşım elementi >%5)	06.3	1950	200	180	160	145	140	130	105	205	170	140	150	125	100

Tablo 4.9 20-150mm çap'a kadar ki parmak frezeler için diş başı ilerleme(fz) tayini(SANDVİK, 2003)

Giriş Açısı K_r 90 / Takım Tipi	Uç Geometrisi	İşlem Tipi	Diş Başına İlerleme fz(mm/diş)			Maksimum Talaş Kalınlığı hex(mm)		
			Başlangıç	Minimum	Maksimum	Başlangıç	Minimum	Maksimum
	E-PL	Hafif	**0,08**	0,05	0,12	**0,08**	0,05	0,12
	E-ML		**0,1**	0,05	0,15	**0,1**	0,05	0,15
	E-KL		**0,08**	0,05	0,12	**0,08**	0,05	0,12
	E-NL		**0,2**	0,1	0,3	**0,2**	0,1	0,3
	M-PL	Hafif	**0,08**	0,05	0,15	**0,08**	0,05	0,15
	M-KL		**0,1**	0,08	0,15	**0,1**	0,08	0,15
	E-PM	Orta	**0,1**	0,08	0,15	**0,1**	0,08	0,15
	E-MM		**0,13**	0,08	0,2	**0,13**	0,08	0,2
	E-KM		**0,12**	0,12	0,2	**0,12**	0,12	0,2
	M-PM	Orta	**0,1**	0,08	0,15	**0,1**	0,08	0,15
	M-MM		**0,13**	0,08	0,2	**0,13**	0,08	0,2
	M-KM		**0,12**	0,12	0,2	**0,12**	0,12	0,2
	E-PM	Orta	**0,1**	0,08	0,15	**0,1**	0,08	0,15
	E-MM		**0,15**	0,08	0,2	**0,15**	0,08	0,2
	E-KM		**0,15**	0,12	0,2	**0,15**	0,12	0,2
	M-PM	Orta	**0,1**	0,08	0,15	**0,1**	0,08	0,15
	M-MM		**0,15**	0,08	0,2	**0,15**	0,08	0,2
	M-KM		**0,15**	0,12	0,2	**0,15**	0,12	0,2
	M-PH	Ağır	**0,12**	0,08	0,2	**0,12**	0,08	0,2
	M-MH		**0,16**	0,08	0,22	**0,16**	0,08	0,22
	M-KH		**0,15**	0,12	0,22	**0,15**	0,12	0,22
	M-PH	Ağır	**0,2**	0,15	0,35	**0,2**	0,15	0,35
	M-KH		**0,2**	0,15	0,35	**0,2**	0,15	0,35
	H-PL	Hafif	**0,1**	0,05	0,19	**0,1**	0,05	0,19
	H-ML		**0,1**	0,05	0,19	**0,1**	0,05	0,19
	H-KL		**0,1**	0,05	0,19	**0,1**	0,05	0,19
	M-PM	Orta	**0,2**	0,08	0,3	**0,1**	0,05	0,19
	M-MM		**0,2**	0,08	0,3	**0,1**	0,05	0,19
	M-KM		**0,2**	0,08	0,3	**0,1**	0,05	0,19
	E	PCD	**0,15**	0,1	0,25	**0,15**	0,1	0,25
	E	PCD	**0,15**	0,1	0,25	**0,15**	0,1	0,25

Spesifik kesme kuvvetinin hesaplanmasında gerekli olan parametrelerden bir tanesi de Kc olarak belirtilen özgül kesme gerilmesidir. Özgül kesme gerilmesi iş parçası malzeme özelliklerine bağlı olaraktan aşağıdaki **Tablo 4.10**'dan seçilmektedir.

Tablo 4.10 Özgül kesme gerilmesi seçimi tablosu(SANDVİK, 2003)

Malzeme	CMC Kodu	Sertlik (HB)	İç Yapı ve Isıl İşlem Durumu	k_s (N/mm^2)
Alaşımsız Çelikler	01.1	110	C < %0,25	2200
	01.3	150	C < %0,8	2600
	01.5	310	C < %1,4	3000
Düşük Alaşımlı Çelikler	02.1	125-225	Sertleştirilmemiş	2500
	02.2	220-420	Sertleştirilmiş	3300
Yüksek Alaşımlı Çelikler	03.11	150-300	Tavlanmış	3000
	03.21	250-350	sertleştirilmiş takım çeliği	4500
Çelik Döküm	06.1	150	Alaşımsız	2200
	06.2	150-250	Düşük Alaşımlı	2500
	06.3	160-200	Yüksek Alaşımlı	3000

4.13.4 Kesici takım geometri ve diğer bilgileri

Kalıp boşluğunun işlenmesinde kesici takım seçimi işleme zamanı ve işleme maliyetinin yanında proses kalitesini de etkilemektedir. Bu nedenle kesici takımın doğru olarak belirlenmesi önem arz etmektedir.

Kalıpçılıkta işleme operasyonları genel olarak 3 e ayrılır. Kaba, yarı kaba ve finish işlemleridir. Kalıpçılıkta çoğunlukla parmak frezeler(**Şekil 4.39**) ve takma uçlu frezeler(**Şekil 4.41** ve **Şekil 4.42**) kullanılmaktadır. Kesici takımlar çapı, boyu ve köşe radüsü ile belirlenir.



Şekil 4.39 Parmak frezeler ve takım tutucuları(SANDVİK, 2003)

Parmak frezeleri aşağıdaki özelliklere göre sınıflandırabiliriz.

- r = d/2 ise küresel uçlu freze
- r = 0 ise düz uçlu freze
- 0 < r < d/2 ise köşe radüslü freze

Genel olarak kaba frezeleme işlemlerinde yüksek miktarda malzeme kaldırmak için düz uçlu freze kullanılır. Eğer talaş kaldırılacak yüzey kompleks ve yüzey eğrilerinin dağılımı düzensiz ise kaba ve yarı kaba işlemler için küresel uçlu freze genellikle kullanılır. Küçük bir küresel uçlu takım finish operasyonları için kullanılır.

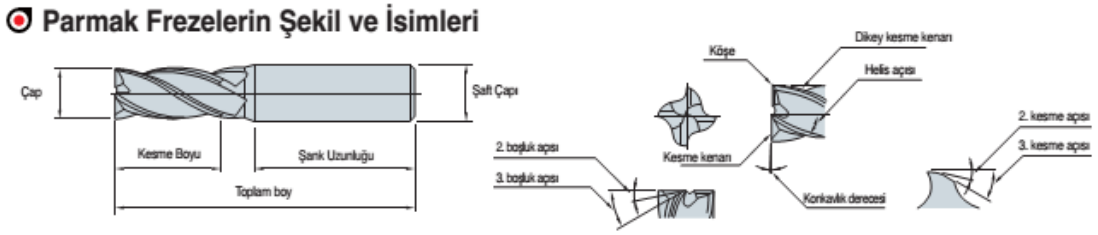
Bu çalışmada kaba işlemede kaldırılacak hacmin en kısa zamanda ve en az takım setleri kullanılarak kaldırılması amaçlandığı için yüksek miktarda malzeme kaldıran freze tipi olana düz uçlu frezeler(20mm çap'a kadarki parmak frezelerde) tercih edilmiştir. Takma uçlu frezelerde ise yanaşma açısı 90° olan frezeler tercih edilmiştir. Bunun nedeni ise boşaltılan hacmin sınırlarında oluşacak kalıntı hacim miktarlarının azaltılması ve kalıntı hacim hesaplamalarında kolaylık sağlaması amacı ile böyle bir yöntem izlenmiştir.

Çalışmada kullanılan takım çapları, diş sayıları, takım eğilme deformasyonu hesabı için hesap boyu ve takım eğilme deformasyonu hesabı için hesap çapı değerleri takım kataloğundan alınarak aşağıdaki **Tablo 4.11** verilmiştir.

Tablo 4.11 Takım çapı, diş sayısı, takım boyu tablosu(SANDVİK, 2003)

Takım Çapı (mm)	Diş Sayısı	Takım eğilme deformasyon hesap boyu(mm)	Takım eğilme deformasyon hesap çapı(mm)
6	4	65	6
8	4	80	8
10	4	100	10
12	4	100	12
16	4	115	16
20	4	125	20
25	4	120	25

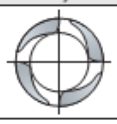
Sabit uçlu parmak frezelerin geometrik yapısı ile ilgili bilgiler aşağıda Şekil 40.'da gösterilmektedir. Bu şekil düz uçlu parmak frezeye aittir. 6-20mm arası takımlar bu tipte seçilmiştir. Kesici diş sayısı 4'tür.



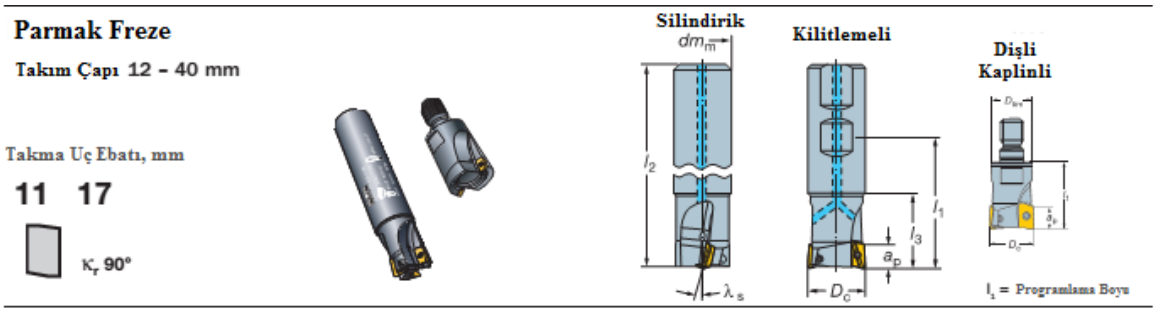
Şekil 4.40 Parmak freze geometrisi(KORLOY, 2014)

Diş sayısının az yada çok olmasının avantaj ve dezavantajları vardır. Diş sayısı arttıkça rijitlik ve yüzey kalitesi artmakta, talaş tahliyesi ve talaş kontrolü azalmaktadır. Ayrıca yüksek hızlı işlemede diş sayısı fazla frezeler tercih edilmektedir. Genel amaçlı kullanılan parmak frezeler ile yüksek hızlı işlemede kullanılan parmak frezeler arasındaki farklılıkları gösteren **Tablo 4.12**'de aşağıda yer almaktadır.

Tablo 4.12 Genel parmak frezeler ile yüksek hızlı parmak frezeleri karşılaştırma tablosu(KORLOY, 2014)

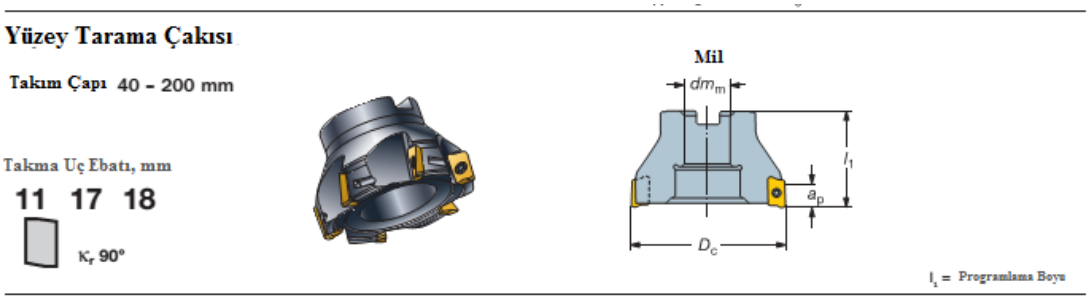
Genel parmak frezeler		Yüksek hızlı parmak frezeler	
Kesit şekli	Özellikler	Kesit şekli	Özellikler
	- Düşük hızlı, derin paso miktarı, yavaş ilerleme için - Düşük sertlikli iş parçaları (çelikli dökme demir)		- Yüksek hızlı, küçük paso miktarı, hızlı ilerleme için - Kalıp çeliği gibi sertleştirilmiş iş parçaları için kullanışlı

Takma uçlu parmak frezelerin geometrik yapısı ile ilgili bilgiler aşağıda **Şekil 4.41**'de gösterilmektedir. 20-40mm arası takımlar bu tipte seçilmiştir. Kesici diş sayısı 4-6 arası değişmektedir.



Şekil 4.41 Takma uçlu freze geometrisi(SANDVİK, 2003)

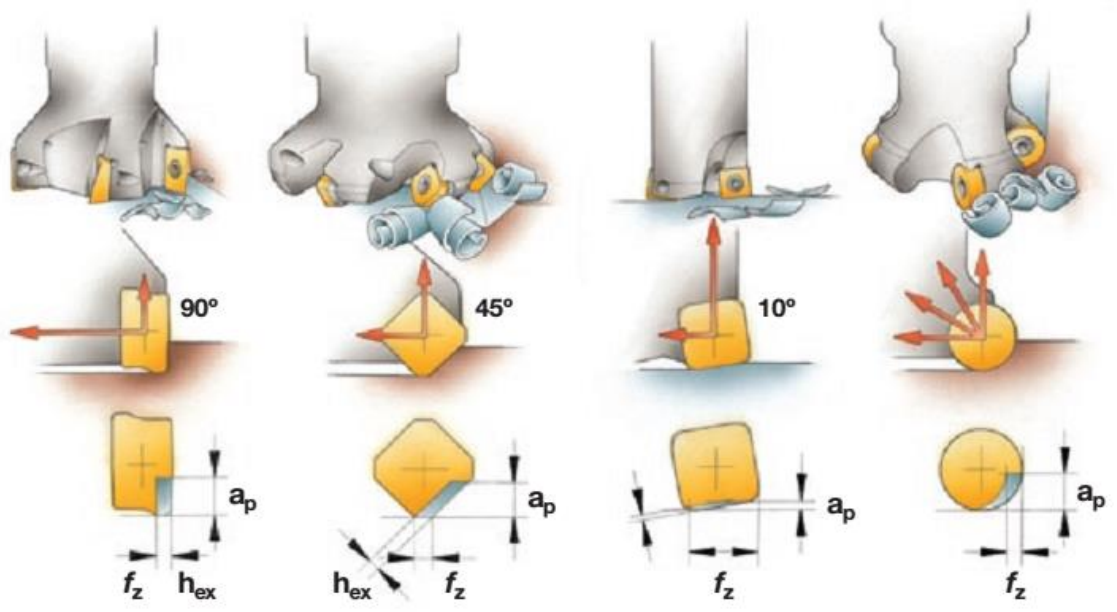
Takma uçlu tarama çakısı geometrik yapısı ile ilgili bilgiler aşağıda **Şekil 4.42**'de gösterilmektedir. 40-200mm arası takımlar bu tipte seçilmiştir. Kesici diş sayısı 6-12 arası değişmektedir.



Şekil 4.42 Takma uçlu tarama çakısı geometrisi(SANDVİK, 2003)

Aşağıda **Şekil 4.43**'de takma uçlu takımların talaş tipleri, takma uç geometrileri, takma uç montaj tipleri, kesme kenar açıları, kesme derinliği(a_p), maksimum talaş kalınlığı(h_{ex}) ve diş başına ilerleme(f_z) ile ilgili geometrik detaylar verilmiştir.

Çalışmada 90°'lik temas açısına sahip takma uçlu tarama çakısı kullanılmıştır. Hesaplamalar bu tip takma uçlu takıma göre yapılmıştır.



Şekil 4.43 Takma uçlu tarama çakısı uç geometrileri(SANDVİK, 2003)

Şekil 4.44'de takma uçların işleme türüne göre sınıflandırılmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada yüksek diş başı ilerleme gerekli olması nedeni ile "H" tipi uç seçilmiştir.

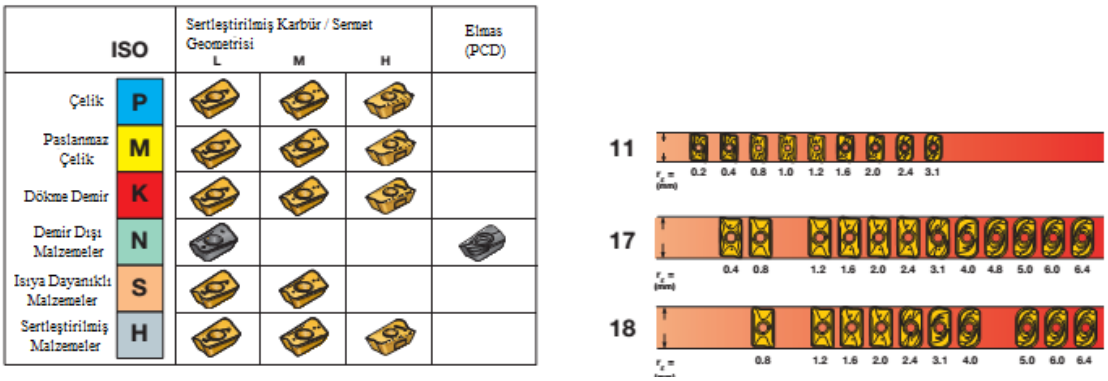


Şekil 4.44 Takma uçların işleme türüne göre kodlamaları(SANDVİK, 2003)

Yukarıda kodlamaları ve şekilleri verilen takma uçların kod açıklamları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

- L(light): Hafif işlemelerde kullanılır. Düşük kesme kuvvetleri meydana getirir. Düşük ilerlemelerde kullanılır.
- NL(light): %6'dan daha düşük Silikon içeren alüminyumların işlenmesinde kullanılır. Düşük kesme kuvvetleri meydana getirir.
- M(medium): Bir çok malzeme için genel kullanıma sahiptir.
- PLW(light): Tornada frezeleme işlemlerinde temizleyici uç olarak kullanılır.
- H(heavy): Ağır işlemelerde kullanılır. Yüksek kenar güvenliğine sahiptir. Yüksek ilerlemelerde kullanılır.
- NL(light)(çok kristalli elmas): %6'dan daha yüksek Silikon içeren alüminyumların işlenmesinde kullanılır. Düşük kesme kuvvetleri meydana getirir.

Aşağıda **Şekil 4.45**'de Takma uçların iş parçası malzeme türüne, ,uzunluk ve uç radüsüne göre sınıflandırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmada çelik sınıflandırmasına giren ISO kodlamasındaki "P" kodunun bulunduğu satırdaki geometri kodu "H" olan ve takım yüksekliği 17mm ile kenar radüsü 0,4mm olan uç seçilmiştir.



Şekil 4.45 Takma uçların iş parçası malzeme türü, uzunluk ve uç radüsüne göre sınıflandırılması(SANDVİK, 2003)

4.14 Bilgi Tabanının Oluşturulması

Bilgi tabanı (knowledge base) oluşturmak için geliştirilen işlem basamakları aşağıda yer almaktadır. Bunlar:

- Kesme parametrelerin seçim kuralları
- Hesaplamalar
- Takımların talaş kaldırma durumlarında sınırlamalar(δ ve P_c sınırlamaları)
- Takım setlerinin sınırlandırılması kuralları'dır.

Burada bahsedilen hususlar bilgi tabanı oluşturulması konusu içerisindeki alt bölümlerde detaylandırılmıştır.

4.14.1 Kesme parametreleri seçim kuralları

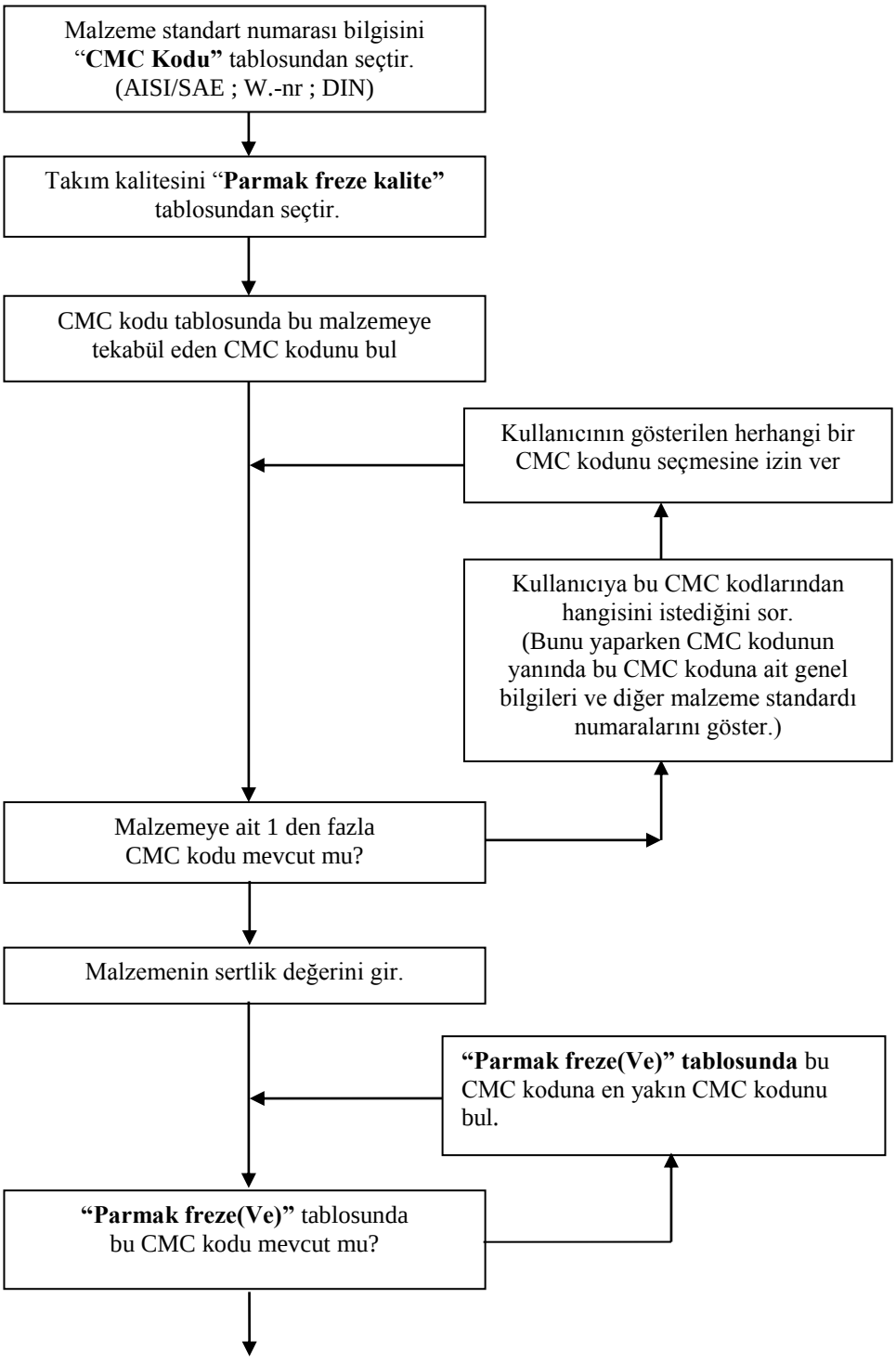
Takımlar için hesaplamalarda kullanılacak olan kesme hızı ve diş başına ilerleme değerleri aşağıda **Şekil 4.46**'da yer alan algoritmalar ile daha öncesinde oluşturulan kesici takım kesme hızı, ilerleme vs. tablolardaki veriler kullanılmak suretiyle belirlenmiştir.

Bu algoritmalarda belirtilen CMC kodu, kesici takım kataloğunda yer alan iş parçası malzemelerinin sınıflandırılmasında kullanılan bir kod'dur. Bu kod kesme hızı ve ilerleme değerlerinin tesbit edilmesinde kullanılan önemli bir kod'dur.

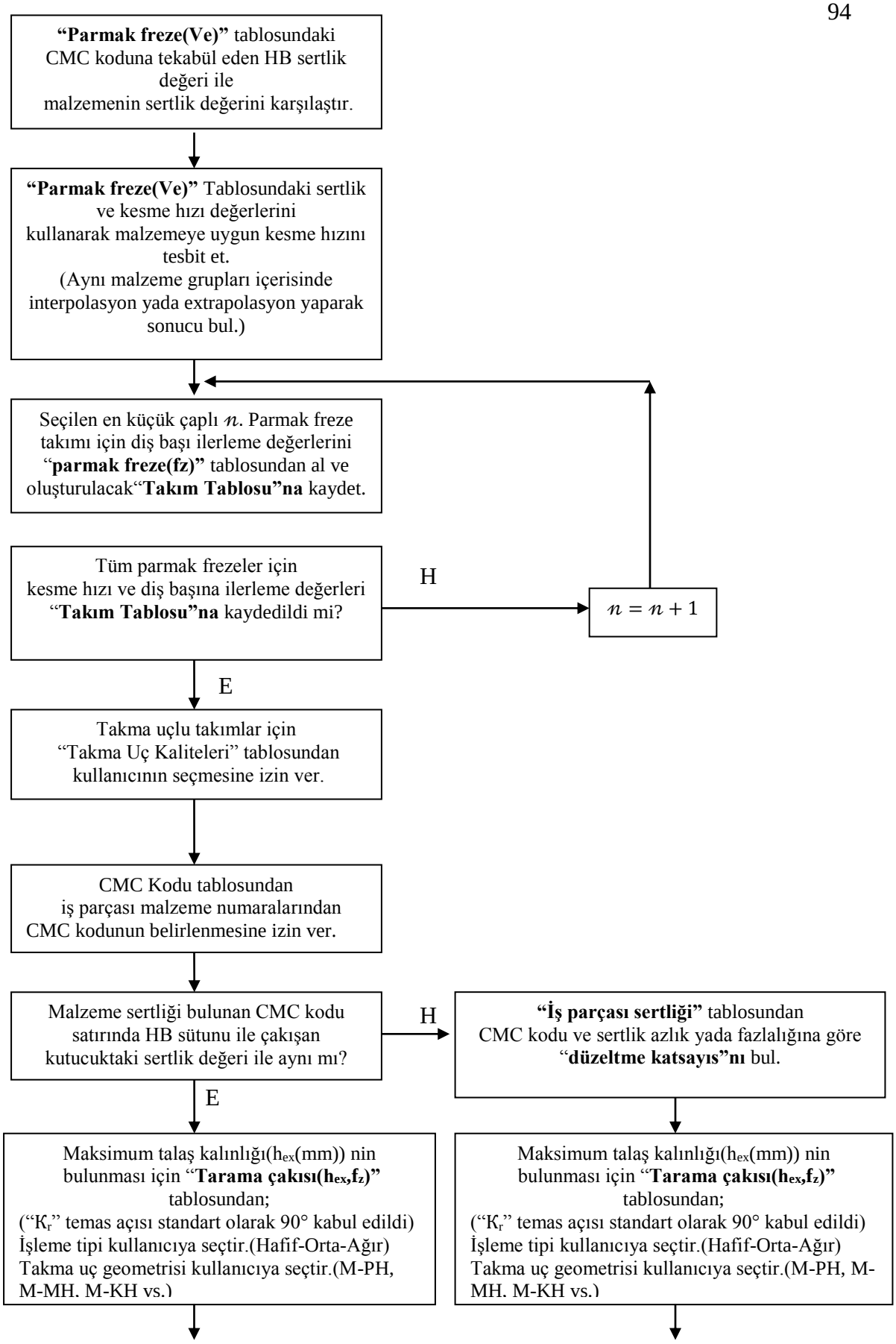
CMC kodunun belirlenmesinden sonraki işlem ise parmak freze ve takma uçlu frezelerde kesme hızı ve ilerleme değerlerinin tespit edilmesidir. Bu parametrelerin belirlenmesi takım seçimi ve işleme ile ilgili hesaplamaların temelini oluşturmaktadır..

Burada parmak freze ve takma uçlu frezelerde kesme hızı ve ilerleme değerlerinin tespit edilmesinde işleme basamaklarını aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz.

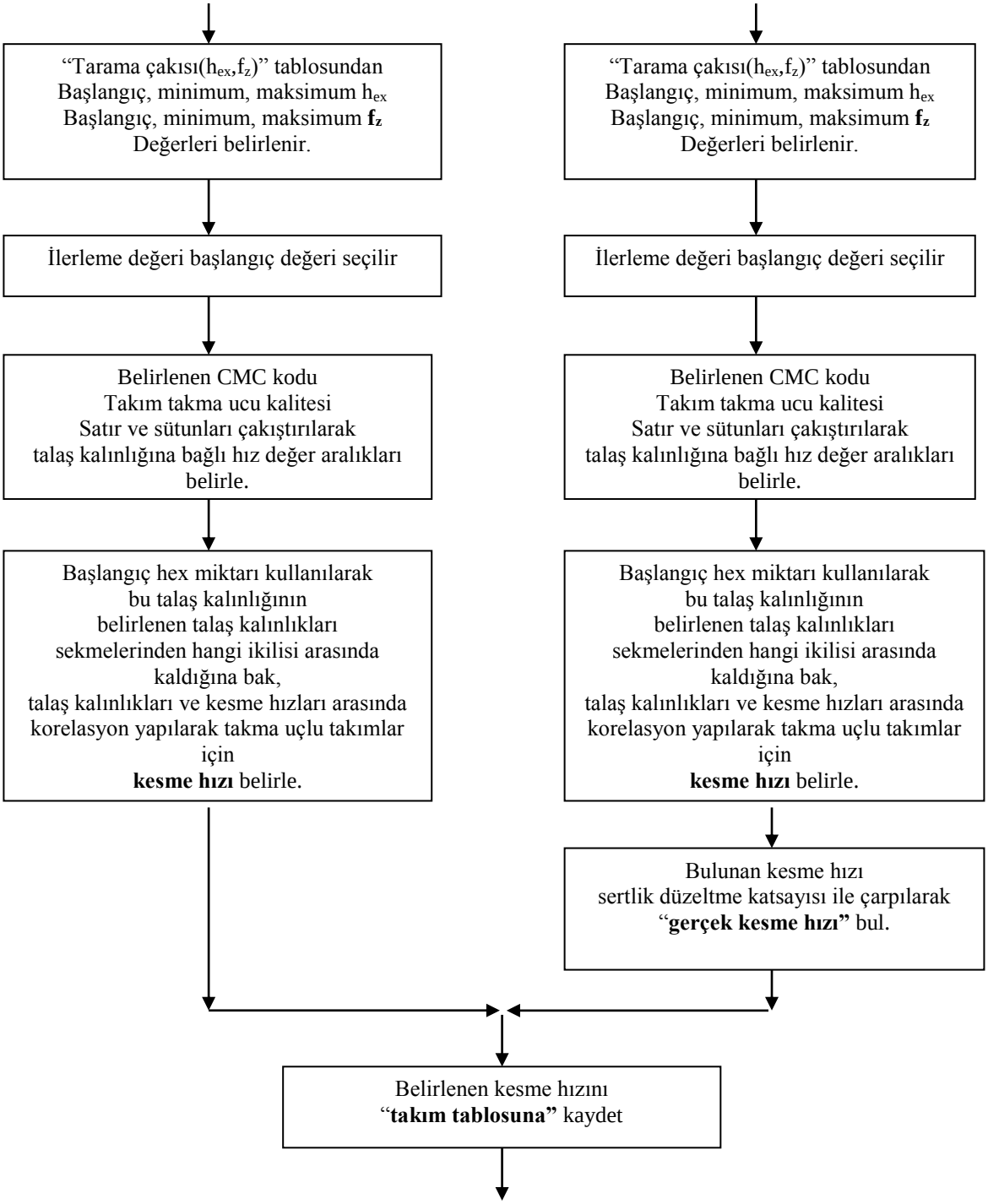
- İş parçası malzeme kodunun belirlenmesi
- İş parçası malzeme sertliğinin belirlenmesi
- Parmak frezelerin geometrik yapısının belirlenmesi
- Parmak frezeler için malzeme seçimi
- Parmak frezeler için kesme hızı belirlenmesi
- Parmak frezeler için diş başına ilerlemenin belirlenmesi
- Takma uçlu frezelerin geometrik yapısının belirlenmesi
- Takma uçlu frezeler için malzeme seçimi
- Takma uçlu frezeler için maksimum talaş kalınlığı ve diş başına ilerlemenin belirlenmesi
- Takma uçlu frezeler için kesme hızı belirlenmesi



Şekil 4.46 Parmak frezeler ve takma uçlu frezeler için kesme hızı ve diş başına ilerleme parametrelerinin tesbitinde kullanılan algoritma



Şekil 4.46 Parmak frezeler ve takma uçlu frezeler için kesme hızı ve diş başına ilerleme parametrelerinin tesbitinde kullanılan algoritma(devamı)



Şekil 4.46 Parmak frezeler ve takma uçlu frezeler için kesme hızı ve diş başına ilerleme parametrelerinin tesbitinde kullanılan algoritma(devamı)

4.14.2 Hesaplamalar

Hesaplamalar yapılırken bazı sınırlamalar göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlar:

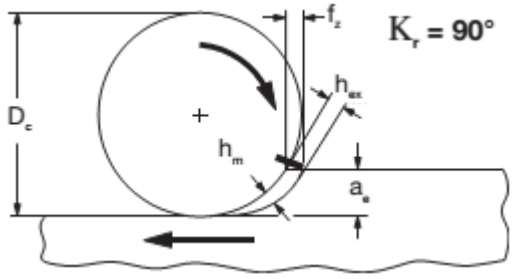
1. Takım eğilme deformasyonun tesbit edilmesi
2. Tezgah gücü sınırlamalarının kontrol edilmesi

Hesaplamalarda küçük çaplı takımlar için eğilme deformasyonu değeri kritik hale gelirken, büyük çaplı takımlarda tezgah gücü sınırlaması değeri kritik hale gelmektedir.

Yapılan çalışmada en iyi takım setlerinin belirlenmesi için hesaplamalar kısmında yapılması gerekenler maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Eğilme deformasyonu ve tezgah gücü sınır değeri içerisinde maksimum malzeme kaldırma debilerinin(MRR) belirlenmesi
- Bu takımların her bir kesme tabakasındaki takım yolu uzunlukları ve kalıntı hacimleri bilgileri programdan elde edilerek işleme zamanlarının hesaplanması
- Kalıntı hacimlerin bir başka takımla işleneceği düşünülerek bu hacimlerin kaldırılmasında kullanılacak takımların ve işleme zamanlarının belirlenmesi
- Toplam işleme zamanlarının hesaplanması ve toplam işleme zamanları minimum olan takımların belirlenmesi

Aşağıda **Şekil 4.47**'de kesici takımın iş parçasına teması esnasındaki kesme parametrelerinin temsili gösterimi görülmektedir.



Şekil 4.47 Kesici takımın kesme işlemi esnasındaki kesme parametrelerinin gösterimi(SANDVİK, 2003)

Ortalama talaş kalınlığının(h_m) tesbit edilmesi için aşağıdaki formül kullanılmıştır. Ortalama talaş kalınlığı kesme kuvvetinin tesbitinde belirlenmesi gereken parametrelerden bir tanesidir.

$$h_m = \frac{\sin\text{K}.180.\text{a}_\text{e}.\text{f}_\text{z}}{\pi.D.\arcsin(\frac{a_e}{D})} \quad (4.4)$$

Burada; h_m: Ortalama talaş kalınlığı(mm)

K: Temas açısı(°)

a_e: Radyal kesme derinliği(mm)

f_z: Diş başına ilerleme(mm/diş)

D: Takım çapı(mm)'dır.

Özgül kesme gerilmesi(k_c) kesme kuvvetinin tesbitinde belirlenmesi gereken parametrelerden bir başkasıdır. Burada (k_s) Tablo 9.'dan seçilir. (k_s) iş parçası malzemesi ile ilgili bir parametredir.

$$k_c = k_s.\left(\frac{0,2}{h_m}\right)^{0,29} \quad (4.5)$$

Burada; k_c: Özgül kesme gerilmesi(N/mm^2)

h_m: Ortalama talaş kalınlığı(mm)

k_s: Özgül kesme gerilmesi(N/mm^2)'dır.

$$\text{b} = \frac{\text{a}_p}{\sin\text{K}} \quad (4.6)$$

Burada; b: Kesme genişliği(mm)

a_p: Eksenel kesme(paso) derinliği(mm)

K: Temas açısı(°)'dır.

Kesme kuvveti(Fs)'nin hesaplanması eğilme deformasyonun tesbitinde gereklidir. Aşağıda kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan denklem yer almaktadır.

$$F_s = k_c.b.h_m.z_e \quad (4.7)$$

Burada; F_s: Kesme kuvveti(N)

k_c: Özgül kesme gerilmesi(N/mm^2)

b: Kesme genişliği(mm)

h_m: Ortalama talaş kalınlığı(mm)

z_e: Etkin diş sayısı(diş)'dır.

Atalet momenti(I) eğilme deformasyonun tesbitinde gereklidir. Atalet momenti takım çapı ile orantılı olarak değişmektedir. Aşağıda atalet momenti hesaplanmasında kullanılan denklem yer almaktadır.

$$I = \frac{\pi.D^4}{64} \qquad (4.8)$$

Burada; I: Atalet momenti(mm^4)

D: Parmak frezelerde ve takma uçlu frezelerde takım çapı(bağlama aparatı kullanılan takma uçlu frezelerde bağlama aparatı çapı)(mm)'dır.

Eğilme deformasyonu(δ)'nun tesbit edilmesi takımın, takım yolunu takip ederken hesaplanan konumda olup olmadığının kontrol edilmesinde önemlidir. Deformasyon yüksek ise belirlenen takım yollarında sapmalar meydana gelecektir. Deformasyonun çok düşük tutulması ise birim zamanda kaldırılacak talaş hacminin(MRR) düşük olmasına neden olacaktır. Bu nedenle eğilme deformasyon miktarı kritik olan takımlar için deformasyon miktarı emniyetli bölgede kalmak kaydıyla sınır değerlere yakın bir değer seçilmiştir.

$$\delta = \frac{F_S.L^3}{3.E.I} \qquad (4.9)$$

Burada; δ: Eğilme deformasyon miktarı(mm)

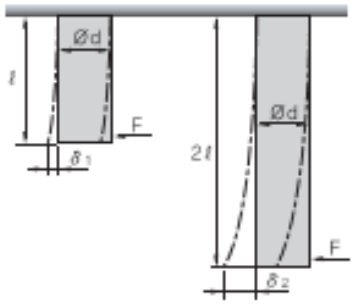
F_s: Kesme kuvveti(N)

L: Takım bağlama boyu(mm)

E: Takımın elastiklik modülü(N/mm^2)

I: Atalet momenti(mm^4) 'dır.

Eğilme deformasyonunda en önemli parametre yukarıdaki denklemden de takım boyu olduğu görülmektedir. Takım boyunun 2 katına çıkması takım eğilme deformasyonun 8 katına çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle takım boylarının mümkün olduğunca düşük tutulması eğilme deformasyon değerini düşürecektir. Aşağıda **Şekil 4.48**'de bu deformasyonun takım boyuna bağlı olarak temsili çizimi gösterilmiştir.



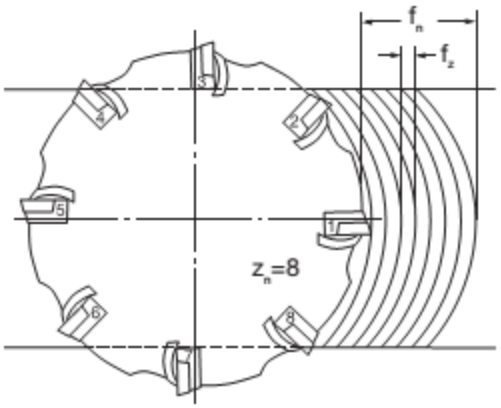
Şekil 4.48 Kesici takımın eğilme deformasyonu gösterimi(KORLOY, 2014)

Tablolardan iş parçası malzemesine uygun olarak seçilen kesme hızı değerinin sağlanması için bu kesme hızını meydana getirecek tezgâh devrinin belirlenmesi gerekmektedir. Tezgah devri aşağıda denklem ile hesaplanmaktadır.

$$n = \frac{\text{V.1000}}{\pi\text{.D}} \qquad (4.10)$$

Burada; n: İstenilen kesme hızını sağlayacak tezgah devri(d/dk)
V: Kesme hızı(m/dk)
D: Takım çapı(mm)'dır.

Diş başına ilerleme değerleri tablolardan elde edilmektedir. Burada diş başına ilerleme değer aralığı verilmektedir. Bu değer aralığında öncelikle katalogda önerilen başlangıç değerinden başlamak şartı ile optimum talaş kaldırma değerlerini sağlayacak ilerleme değerlerinin tesbit edilmesi gerekmektedir. Bu değerlerde eğilme deformasyonu ve tezgah güç sınırlandırmaları hesaplarından tespit edilmiştir. **Şekil 4.49** 'da diş başına ve devir başına ilerleme şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.49 Kesici takımın diş başı ilerleme ve devir başına ilerlemenin gösterimi(SANDVİK, 2003)

Takımın dakikadaki ilerleme miktarının hesaplanması için aşağıdaki denklem verilmiştir. İlerleme değeri işleme zamanını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle kontrol edilmesi gerekmektedir. İlerleme değerinin hesaplanması için aşağıdaki denklem verilmiştir.

$$V_f = f_z . n . z \qquad (4.11)$$

Burada; V_f: takım ilerlemesi(mm/dk)
f_z: Diş başına ilerleme(mm/diş)
n: Kesme hızı değerini sağlayan iş mili devri(d/dk)
z: Diş sayısı'dır.

Hesaplamalardaki sınırlamalardan bir tanesi de hesaplamalar bölümünün başında bahsedildiği üzere tezgah gücü sınırlamasıdır. Takım çapı büyüdükçe eğilme deformasyon değeri düşecektir. Ancak diğer taraftan kesmede harcanacak güç tezgah gücünü aşmaması gerekmektedir. Bu nedenle hesaplamalarda kesme gücü miktarı emniyetli tezgah gücü miktarını aşmayacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Aşağıdaki denklem ile gerekli tezgah gücü hesaplanmaktadır.

$$P_c = \frac{a_p . a_e . V_f . k_c}{60.10^3 . \eta} \qquad (4.12)$$

Burada; P_c: Kesme için gerekli tezgah gücü(kW)
a_p: Eksenel kesme(paso) derinliği(mm)
a_e: Radyal kesme derinliği(mm)
V_f: Takım ilerlemesi(mm/dk)
k_c: Özgül kesme gerilmesi(N/mm^2)
η: tezgah verimi(%)'dır.

İşleme zamanı üretim prosesi içerisindeki en önemli parametrelerden bir tanesidir. İşleme zamanı takım yolu uzunluğu ve takım ilerleme değerlerine bağlıdır. Takım yolunun kısa ve ilerleme değerlerinin de büyük olması işleme zamanı değerini küçültecektir. Takım yolunun kısa olması takım çapı ile kalıntı hacmin optimizasyonu ile sağlanabilmektedir. İlerleme değeri ise eğilme deformasyonu ve tezgah güç sınırlamaları ile sınırlandırılmaktadır. Bu değerin büyük olması ise eğilme

deformasyonu ve kesme için gerekli tezgah gücü optimizasyonundan elde edilmektedir. İşleme zamanının hesaplanması için aşağıdaki denklem verilmiştir.

$$T_n = \frac{L_n}{V_{f_n}} \qquad (4.13)$$

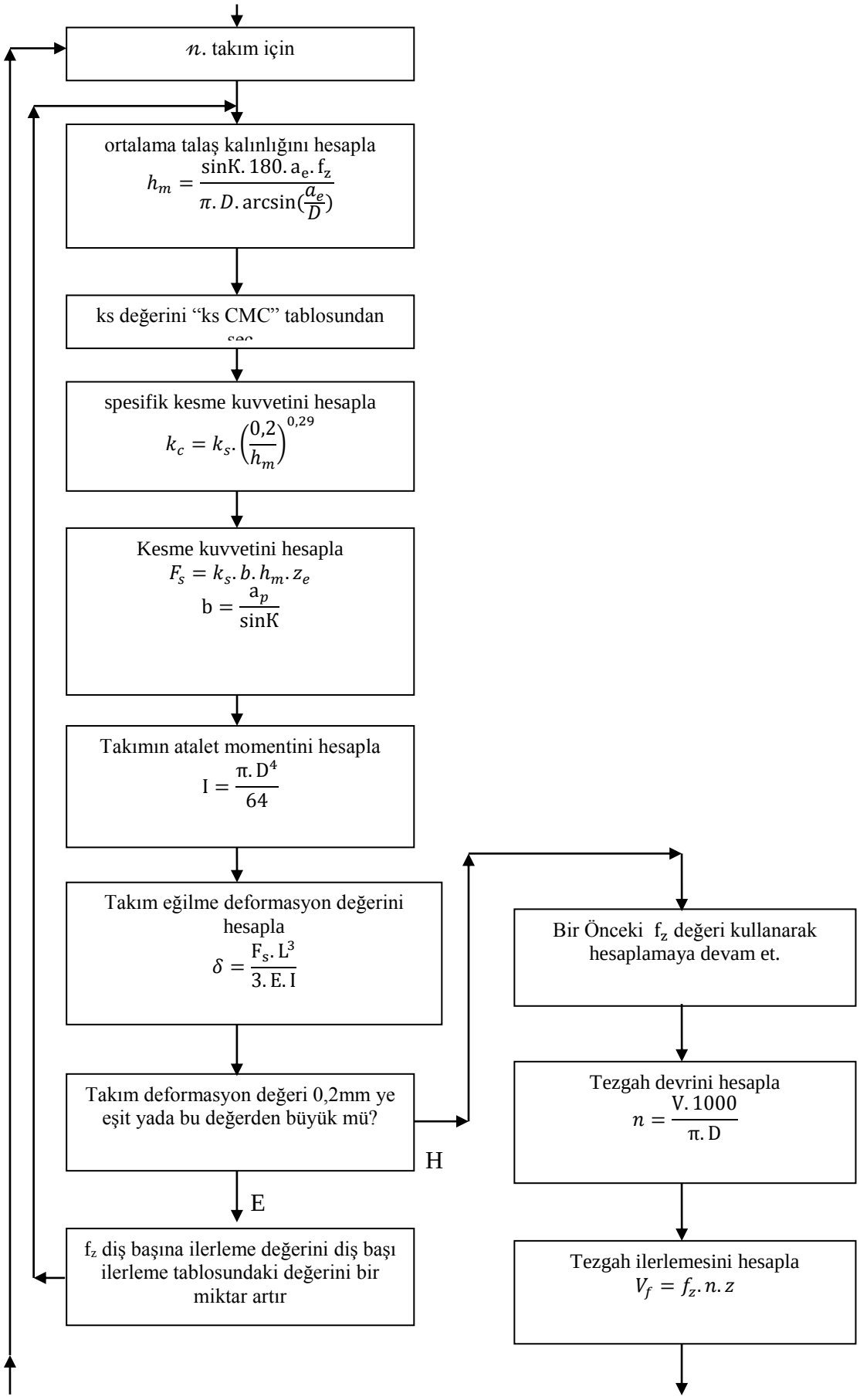
Burada; T_n: n. Takımın işleme zamanı(dk)
L_n: n. Takımın takım yolu uzunluğu(mm)
V_{fn}: n. Takımın ilerlemesi(mm/dk)'dır.

Malzeme kaldırma debisi(MRR) bir takımın birim zamanda(dk) kaldırdığı hacmi temsil etmektedir. Hesaplamalarda kullanılmak üzere seçilen tüm takımlar için bu değerin hesaplanması gerekmektedir. Kaldırılan hacim miktarı radyal ve eksenel kesme derinliği ve takım ilerleme değerleri ile doğru orantılı olarak artmak ve azalmaktadır. Bu parametrelerin optimizasyonundan sonra her bir takım için oluşturulacak MRR değerleri ile işleme zamanı hesaplamaları yapılabilecektir.

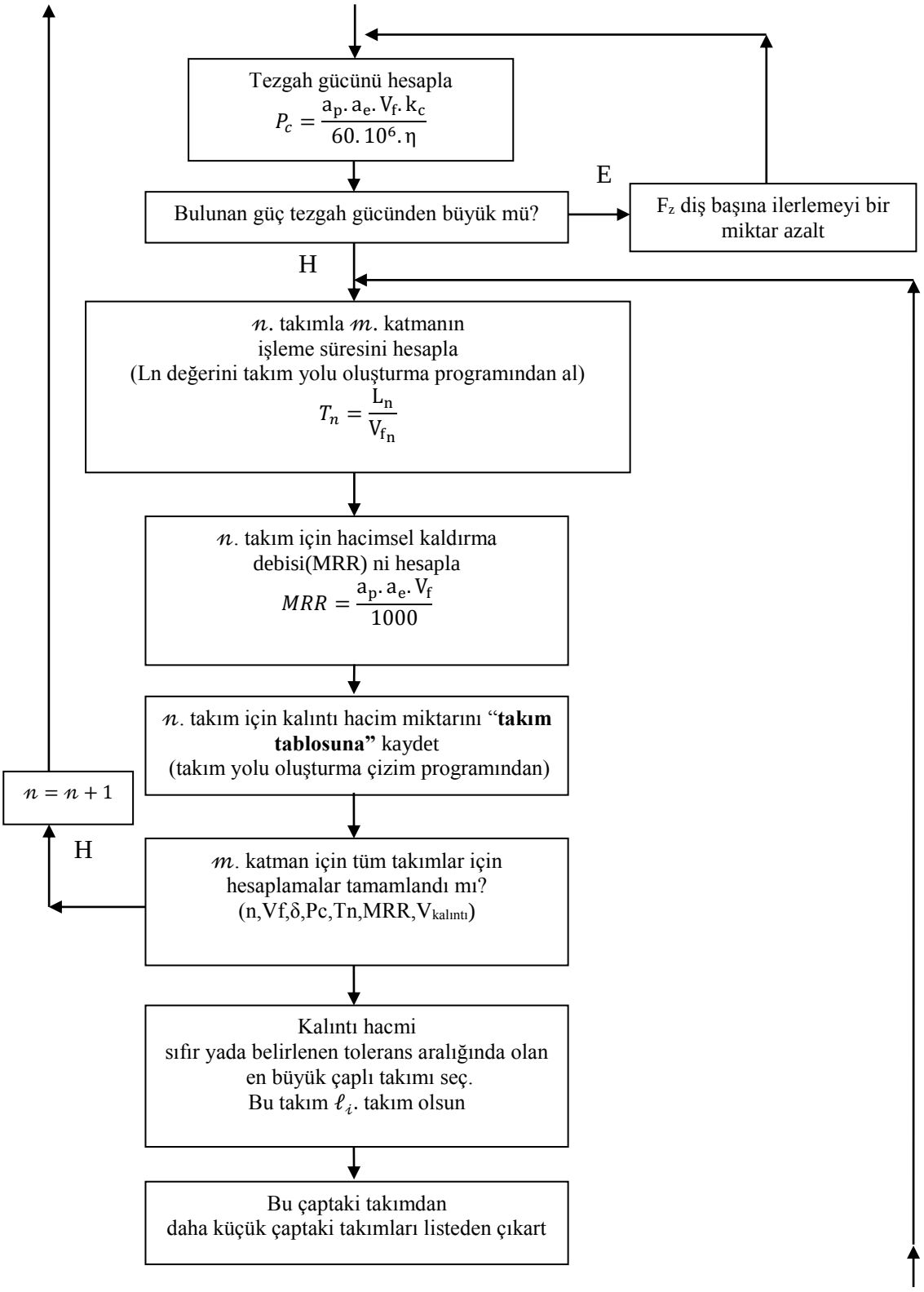
$$MRR = \frac{a_p.a_e.V_f}{1000} \qquad (4.14)$$

Burada; MRR: Malzeme kaldırma debisi(cm^3/dk)
a_p: Eksenel kesme(paso) derinliği(mm)
a_e: Radyal kesme derinliği(mm)
V_f: Takım ilerlemesi(mm/dk)'dır.

Şekil 4.50'de Eğilme deformasyonu ve tezgah gücü sınırlamaları hesaplamalarının yapılarak optimum diş başı ilerlemenin ve minimum çaplı takımın tesbit edildiği algoritma gösterilmiştir. Optimum diş başı ilerleme optimum işleme zamanını bulmamızı sağlayacaktır. Bu nedenle önem arz etmektedir. Minimum çaplı takımın bulunması ise daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere istenilen toleranslar dahilinde tüm alanı işleyecek en büyük takımın seçilmesidir ki bundan daha küçük çaplı takımlar gereksiz olarak işleme zamanını artıracağı için hesaplamaya dahil edilmeyerek hesaplama zamanının kısaltılması amaçlanmaktadır.

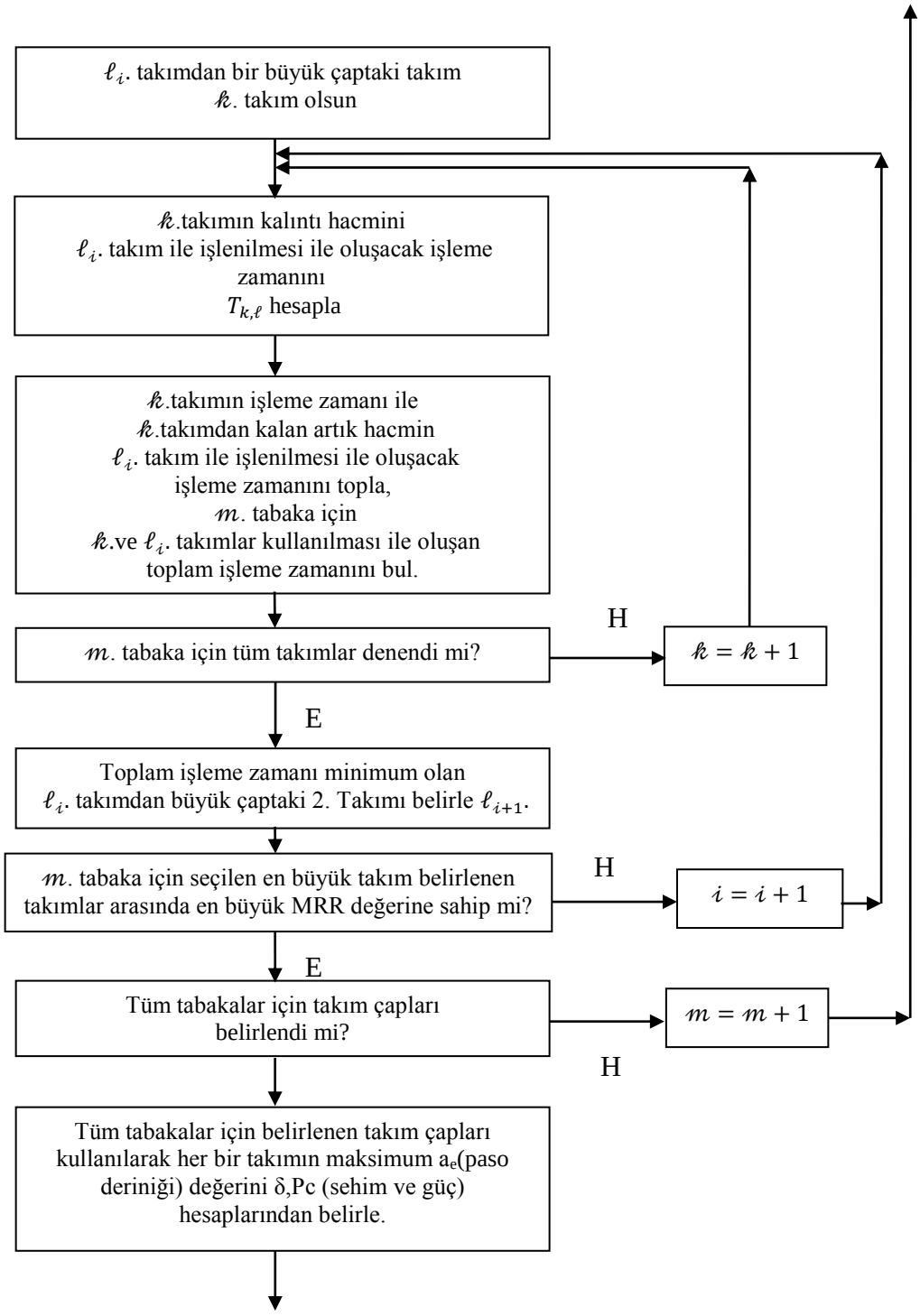


Şekil 4.50 Eğilme deformasyonu ve tezgah gücü sınırlamaları hesaplamalarının yapılarak optimum diş başı ilerlemenin ve minimum çaplı takımın tesbit edildiği algoritma



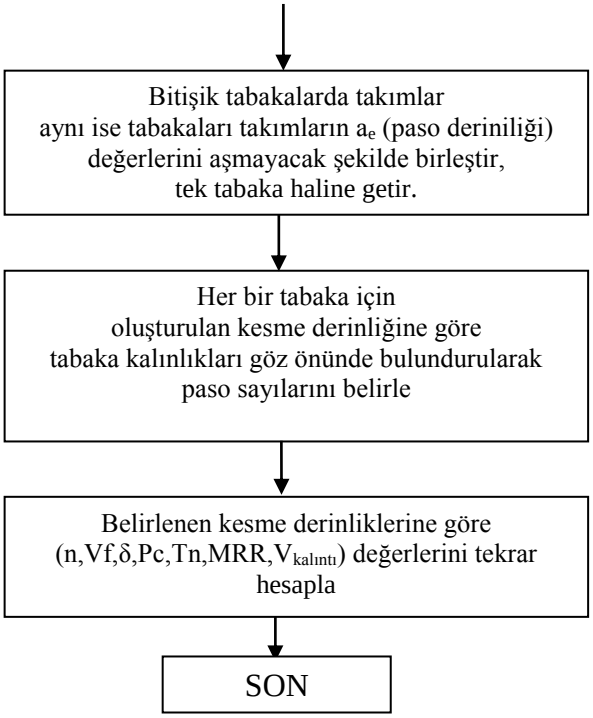
Şekil 4.50. Eğilme deformasyonu ve tezgah gücü sınırlamaları hesaplamalarının yapılarak optimum diş başı ilerlemenin ve minimum çaplı takımın tesbit edildiği algoritma(devamı)

Şekil 4.51'de Tüm tabakalardaki takım setlerinin belirlenmesi algoritması yer almaktadır. Takım setlerinin belirlenmesinde maksimum MRR sahip takımların tespit edilmesi yanında bu takımların işlemelerinde arta kalan kalıntı hacimlerin hesaplanması ve bu kalıntı hacimlerin bir başka takım ile giderilmesi hususunun da göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir.



Şekil 4.51 Tüm tabakalardaki takım setlerinin belirlenmesi

Şekil 4.52'de benzer takımlara sahip bitişik tabakaların birleştirilmesi ve takım setlerin oluşturulmasına ait algoritması yer almaktadır. Burada takımların eksenel kesme(paso) derinlikleri artırılarak tüm parametreler tekraren hesaplanmaktadır.



Şekil 4.52 Tabakaların birleştirilerek takım setlerinin optimize edilmesi algoritması

4.15 Sonuç Motoru

Veritabında ve bilgi tabanında oluşturulan bilgiler sonuç motoru(geliştirilen program)'nda kullanılmıştır. Burada tabakalarda takım seçimi ve optimizasyonu oluşturulmuştur. Tabakalarda takım seçimi ve optimizasyonu için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

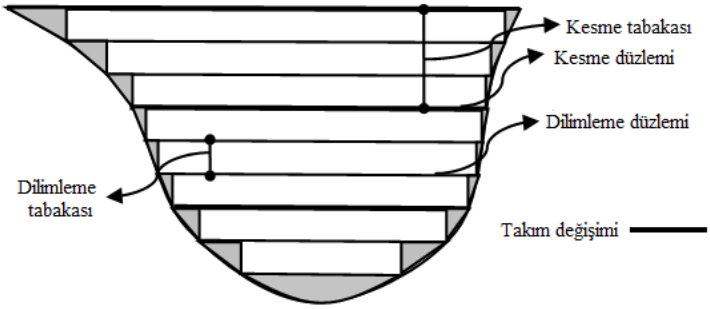
- İş parçası düzenli aralıklara sahip dilimleme işlemine tabi tutulması
- Dilimlemede oluşacak tabakalar için hesaplamalar kısmında belirlenen takımlar ile ilgili tablo oluşturulması
- Bu tabloda bitişik tabakalarda kullanılan benzer takımların bulunduğu tabakalar birleştirilmesi
- Belirtilen takımın maksimum paso derinliğini geçmeyecek şekilde kesme tabakaları oluşturulması

Burada 2 durum ortaya çıkmaktadır.

- 1.durum dilimleme tabakalarında belirlenen takım seteri ile yüksek hız ve yüksek ilerleme değerlerinde işleme yapmak
- 2.durum ise birleştirilen tabakalarda belirlenen takımlarla yüksek kesme derinliklerinde düşük ilerleme değerlerinde işleme yapmak

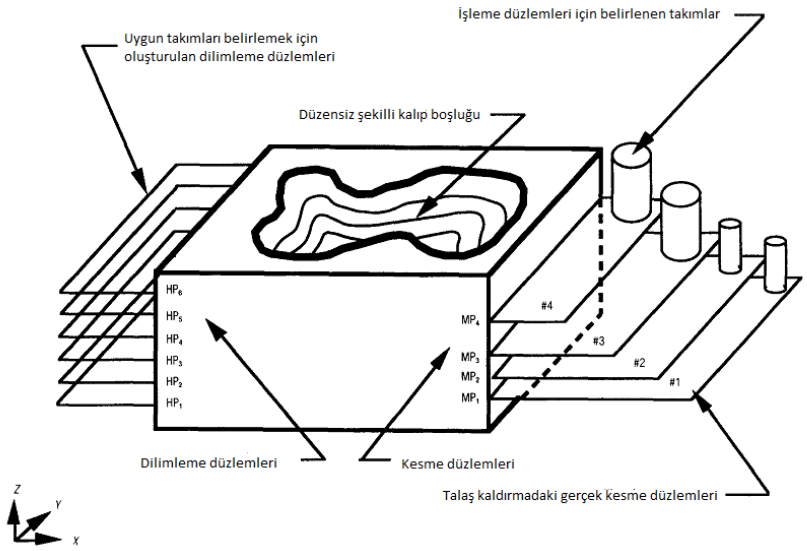
Bu iki durumda hacimsel kaldırma debileri(MRR) 2 durumda da aynı yada yaklaşık çıkması durumunda işleme zamanları ve harcanan güç değerlerine bakılarak optimum olan işleme tekniği belirlenecektir.

Şekil 4.53'de dilimleme sonucu oluşan dilimleme tabakaları ve bu tabakaların birleştirilmesi ile oluşan kesme tabakaları gösterilmektedir.



Şekil 4.53 Kaba işlemede kalıp boşluğunun dilimleme sonucu oluşan dilimleme tabakaları ve bu tabakaların birleştirilmesi ile oluşan kesme tabakaları

Aşağıda **Şekil 4.54**'de dilimleme sonucu oluşan tabakalar ve bu tabakaların birleştirilmesi ile oluşan kesme tabakaları ve bu tabakalara ait seçilen takımlar temsili olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.54 3 boyutlu kalıp boşluğuna ait dilimleme tabakaları, bu tabakaların birleştirilmesinden oluşan ,kesme tabakaları ve tabakalara ait takımların şematik gösterimi(Chen ve ark., 1998)

4.16 Takım Seçimi ve Optimizasyonu Programı

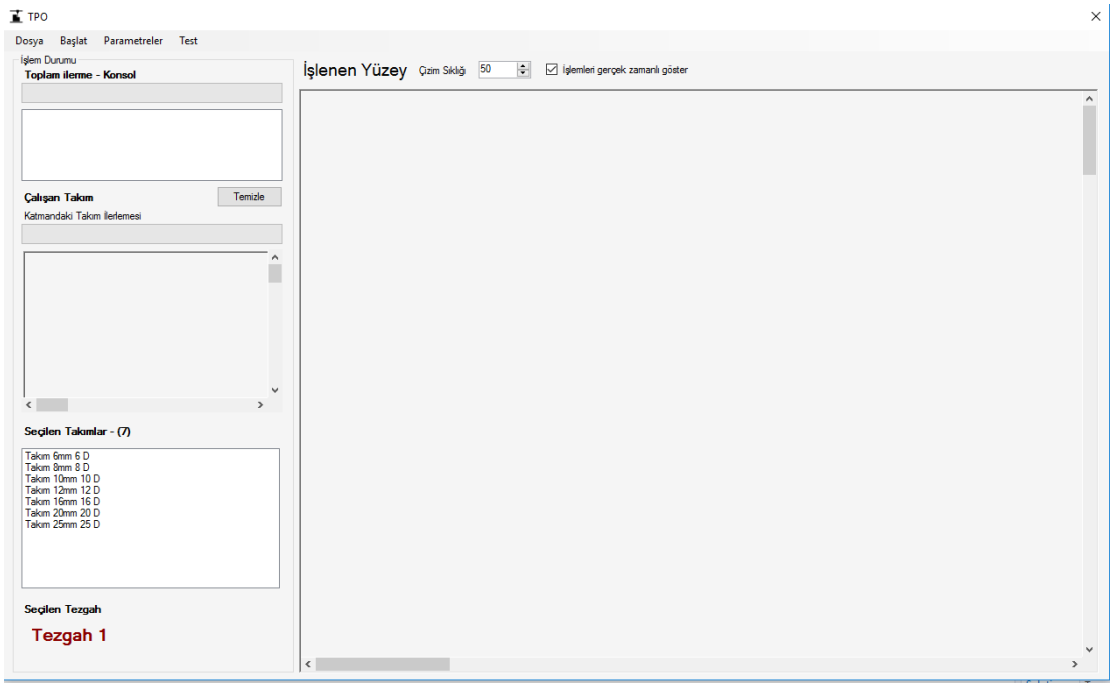
Takım seçimi için bir program geliştirilmiştir. Programdaki menüler 4 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar:

1. Dosya Menüsü(STL dosya formatının programa aktarılması)
2. Başlat Menüsü(Programın çalıştırılıp durdurulması)
3. Parametreler Menüsü(Takım, Tezgah ve İş Parçası Bilgilerinin Girilmesi)
4. Çıktı Menüsü(Hesaplama Sonuçları, Takım seçimleri, Optimizasyon Sonuçları)

4.16.1 Dosya Menüsü(STL dosya formatının programa aktarılması)

Dosya menüsünde programda kullanılacak olan STL dosyasının ASCII yada BINARY olarak kaydedilmesine göre seçim yapılarak programa dosyanın aktarılması sağlanmaktadır.

Şekil 4.55'de iş parçası koordinat bilgilerinin programa aktarılmasına ait program görüntüsü görülmektedir.



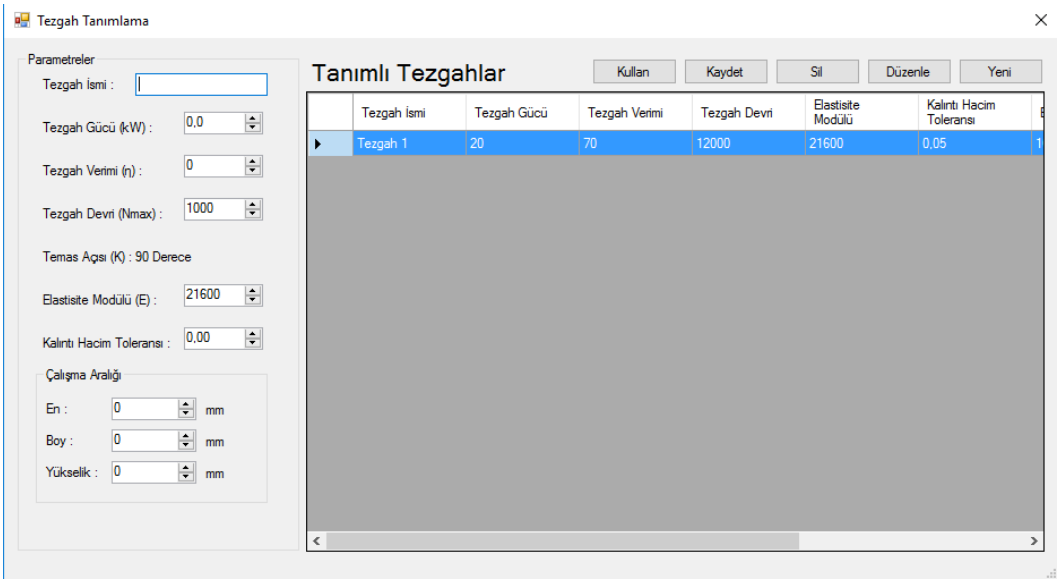
Şekil 4.55 Takım seçimi programına iş parçası koordinat bilgilerinin aktarılması

4.16.2 Parametreler(Takım, Tezgah ve İş Parçası Bilgilerinin Girilmesi)

Dosya eklemesinden sonra yapılacak işlemler takım, tezgah ve iş parçası parametrelerinin belirlenmesidir. Parametreler bölümünden takım, tezgah ve iş parçası bilgileri programa girilir. Programda daha önceden kaydedilmiş bilgiler var ise aynı bilgiler kullanılacak ise mevcut bilgiler işaretlenerek "kullan" tuşuna basılarak programa eklenir. İstenilen takım, tezgah ve iş parçası bilgileri programda kayıtlı değil ise istenilen bilgiler girilerek kaydedilir ve bu kaydedilen bilgiler "kullan" tuşuna basılarak programa eklenir. Bu sayede programda bir kütüphane oluşturulabilir ve istenilen takım, tezgah ve iş parçası bilgileri programdan çağrılarak kullanılabilir.

4.16.2.1 Tezgah Tanımlama

Şekil 4.56'da programın tezgâh tanımlama ara yüz görüntüsü görülmektedir. Burada tezgah gücü, tezgah devri, tezgah işleme hacmi, tezgah verimi gibi değerler kullanıcı tarafından girilebilmekte ve tezgah ismi verilerek belirtilen özellikler kaydedilerek sonraki çalışmalarda tekraren kullanılabilmektedir. Bu sayede tezgâh kataloğu oluşturulabilecektir.



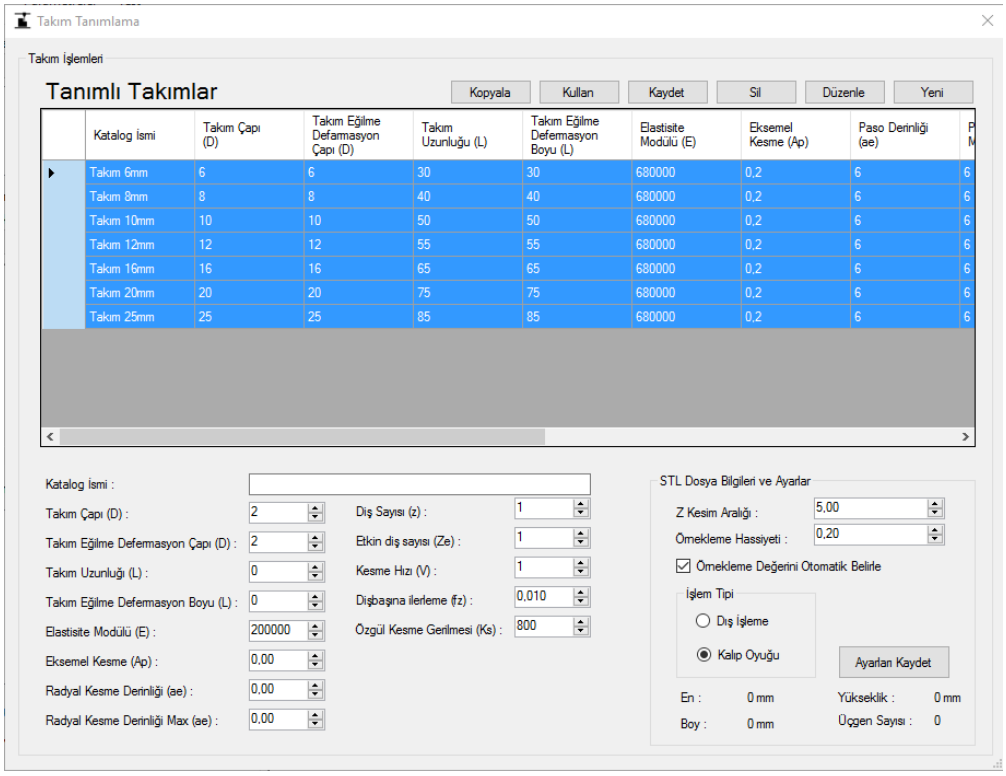
Şekil 4.56 Program tezgah tanımlama arayüzü

4.16.2.2 Kesici Takım ve İş Parçası Tanımlama

Şekil 4.57'de kesici takım ve iş parçası tanımlama arayüzünde yapılan işlemler aşağıda belirtilmiştir.

Kesici takımlar çap, boy, kesme derinlikleri, diş sayıları, kesme hızları ve diş başına ilerlemeleri gibi bilgileri programda katalog ismi verilerek kaydedilebilmektedir. daha sonraki yapılacak çalışmalarda da oluşturulan takım setleri bu katalog ismi ile programdan çağrılarak kullanılabilmektedir.

İş parçası en-boy-yükseklik bilgileri girilmektedir. Burada programa girilen takım tezgahı işleme hacmi bilgileri ile iş parçası ebatları bilgileri kontrol edilmekte ve iş parçası bilgileri ile tezgah bilgileri uyuşmuyor ise program uyarı vermektedir. Takım tezgahına uygun ebattaki iş parçası bilgilerinin girilmesi ya da iş parçasına uygun tezgah seçilmesi istenmektedir.

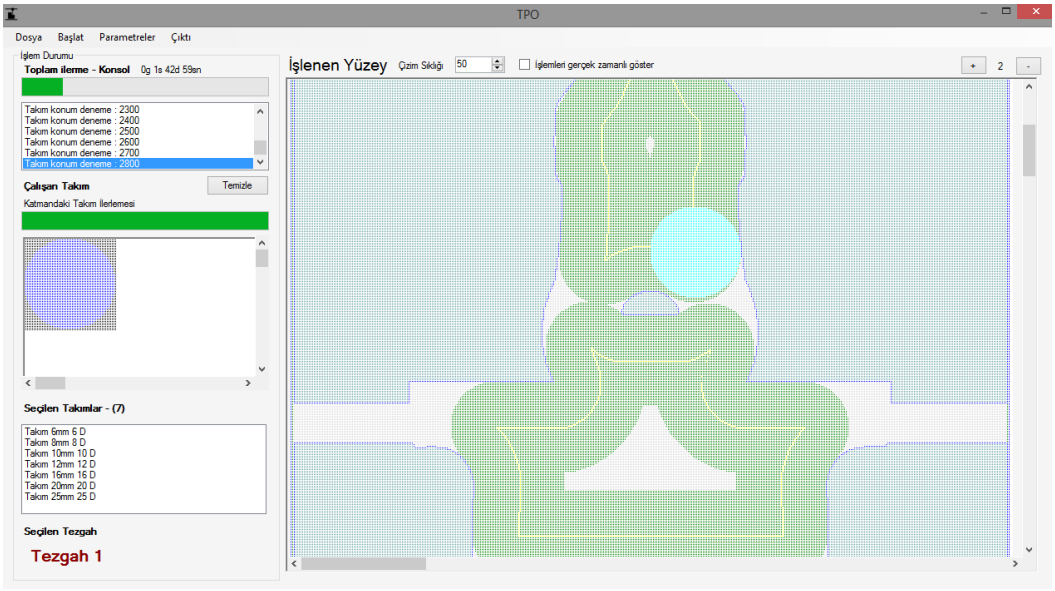


Şekil 4.57 Program kesici takım ve iş parçası tanımlama

4.16.3 Başlat Menüsü(Programın çalıştırılıp durdurulması)

Parametrelerin programa aktarılmasından sonra program "Başlat" menüsünden başlatılır. Bu menüde program istenilen katmandan başlatılabilir, duraklatılabilir yada tamamen durdurularak sonuçlandırılabilmektedir.

Şekil 4.58'de iş parçası üzerinde "z" ekseninde yapılan dilimlemede oluşturulan kesme tabakaları ve bu tabakalarda oluşturulan takım yolları, kalıntı hacimler görülmektedir. Her tabakada belirlenen tüm takımlar için takım yolları oluşturulmaktadır. Burada elde edilen takım yolu uzunlukları hesaplamalar kısmındaki işlemlerde kullanılmakta ve her bir takım için işleme zamanları hesaplanmaktadır.



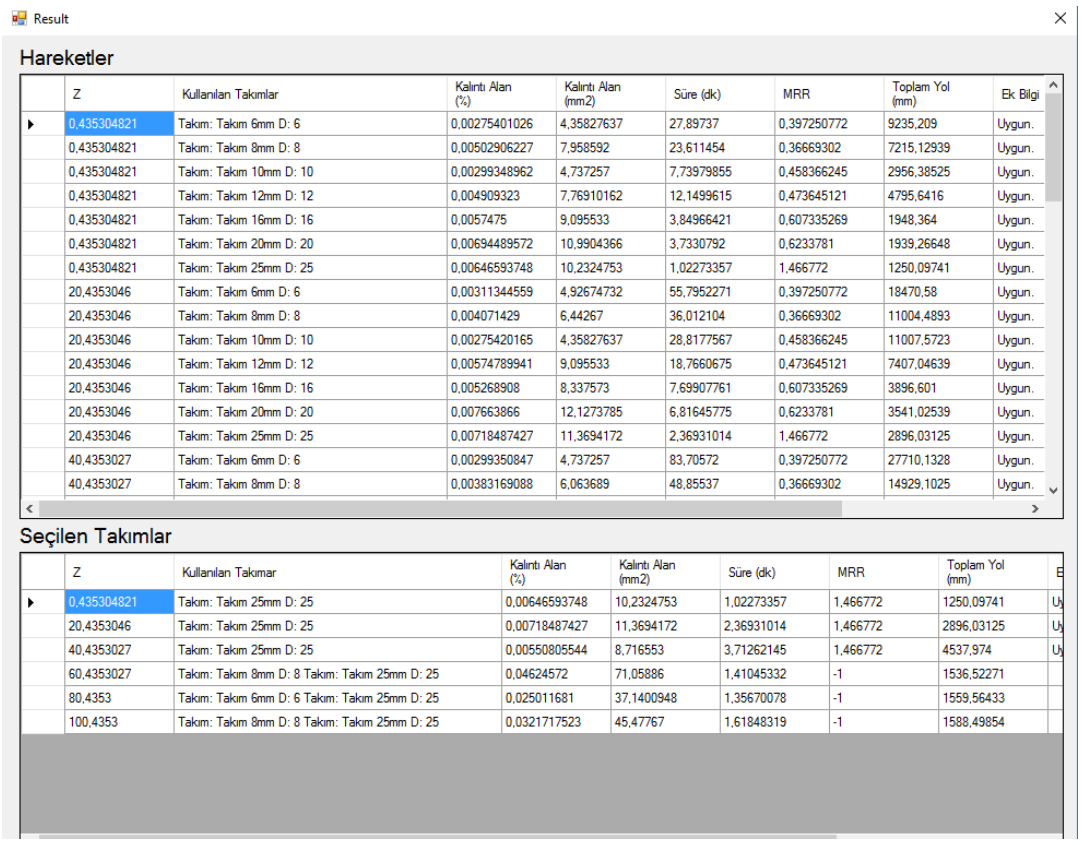
Şekil 4.58 Takım yolları oluşturulması arayüzü

Program istenilen katmandaki takım yolunu görsel olarak ta gösterebilmektedir. Takımın hareketini göstermenin yanında katman için nihai takım yolunun gösterimi de yapılarak kaydedilebilmektedir. Görselleştirme yapılması(takım hareketinin on-line olarak izlenmesi) hesaplama zamanı artıracağı için tüm tabakalar için uygulanmamıştır.

4.16.4 Çıktı(Hesaplama Sonuçları, Takım seçimleri, Optimizasyon Sonuçları)

Çıktı menüsünde ise programın sonuçlanmasına gerek kalmaksızın, program çalışırken bile programın hesaplamış olduğu sonuçlar on-line olarak izlenebilmektedir. Çıktı menüsünde "Hareketler" ve "Ara Sonuçlar" alt menüleri bulunmaktadır. "Hareketler" alt menüsünde programın belirlenen tüm takımlar için yapmış olduğu hesaplama sonuçları yer almaktadır. "Ara Sonuçlar" alt menüsünde ise optimizasyon sonucu katmanlarda seçilen takımlar, bu takımlara ait kalıntı alan miktarları, işleme zamanları, takım yolu uzunlukları yanı sıra katmanların birleştirilmesi ile oluşacak yeni paso derinlikleri, kesme hızları, ilerlemeler gibi parametrelerin optimize edilmiş değerleri yer almaktadır.

Şekil 4.59'da programın takım yollarının oluşturulması sonrasında kalıntı hacimlerin hesaplanması, işleme zamanlarının hesaplanması ve minimum işleme zamanını sağlayan takım setlerinin belirlendiği sonuçlar kısmı arayüz görüntüsü görülmektedir. Burada her bir katman için seçilen takım setleri görülmektedir.



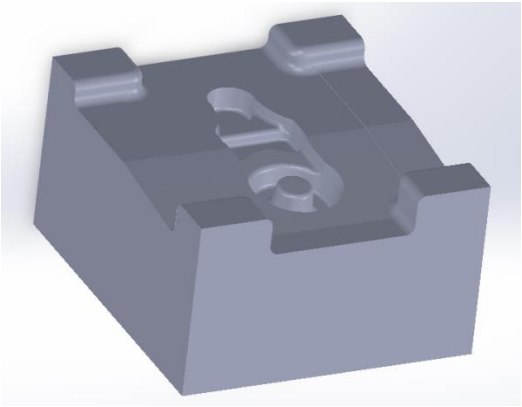
Z	Kullanılan Takımlar	Kalıntı Alan (%)	Kalıntı Alan (mm2)	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Ek Bilgi
0,435304821	Takım: Takım 6mm D: 6	0,00275401026	4,35827637	27,89737	0,397250772	9235,209	Uygun.
0,435304821	Takım: Takım 8mm D: 8	0,00502906227	7,958592	23,611454	0,36669302	7215,12939	Uygun.
0,435304821	Takım: Takım 10mm D: 10	0,00299348962	4,737257	7,73979855	0,458366245	2956,38525	Uygun.
0,435304821	Takım: Takım 12mm D: 12	0,004909323	7,76910162	12,1499615	0,473645121	4795,6416	Uygun.
0,435304821	Takım: Takım 16mm D: 16	0,0057475	9,095533	3,84966421	0,607335269	1948,364	Uygun.
0,435304821	Takım: Takım 20mm D: 20	0,00694489572	10,9904366	3,7330792	0,6233781	1939,26648	Uygun.
0,435304821	Takım: Takım 25mm D: 25	0,00646593748	10,2324753	1,02273357	1,466772	1250,09741	Uygun.
20,4353046	Takım: Takım 6mm D: 6	0,00311344559	4,92674732	55,7952271	0,397250772	18470,58	Uygun.
20,4353046	Takım: Takım 8mm D: 8	0,004071429	6,44267	36,012104	0,36669302	11004,4893	Uygun.
20,4353046	Takım: Takım 10mm D: 10	0,00275420165	4,35827637	28,8177567	0,458366245	11007,5723	Uygun.
20,4353046	Takım: Takım 12mm D: 12	0,00574789941	9,095533	18,7660675	0,473645121	7407,04639	Uygun.
20,4353046	Takım: Takım 16mm D: 16	0,005268908	8,337573	7,69907761	0,607335269	3896,601	Uygun.
20,4353046	Takım: Takım 20mm D: 20	0,007663866	12,1273785	6,81645775	0,6233781	3541,02539	Uygun.
20,4353046	Takım: Takım 25mm D: 25	0,00718487427	11,3694172	2,36931014	1,466772	2896,03125	Uygun.
40,4353027	Takım: Takım 6mm D: 6	0,00299350847	4,737257	83,70572	0,397250772	27710,1328	Uygun.
40,4353027	Takım: Takım 8mm D: 8	0,00383169088	6,063689	48,85537	0,36669302	14929,1025	Uygun.

Z	Kullanılan Takımar	Kalıntı Alan (%)	Kalıntı Alan (mm2)	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	E
0,435304821	Takım: Takım 25mm D: 25	0,00646593748	10,2324753	1,02273357	1,466772	1250,09741	Uy
20,4353046	Takım: Takım 25mm D: 25	0,00718487427	11,3694172	2,36931014	1,466772	2896,03125	Uy
40,4353027	Takım: Takım 25mm D: 25	0,00550805544	8,716553	3,71262145	1,466772	4537,974	Uy
60,4353027	Takım: Takım 8mm D: 8 Takım: Takım 25mm D: 25	0,04624572	71,05886	1,41045332	-1	1536,52271	
80,4353	Takım: Takım 6mm D: 6 Takım: Takım 25mm D: 25	0,025011681	37,1400948	1,35670078	-1	1559,56433	
100,4353	Takım: Takım 8mm D: 8 Takım: Takım 25mm D: 25	0,0321717523	45,47767	1,61848319	-1	1588,49854	

Şekil 4.59 Takım seçimi ve hesaplama sonuçları arayüzü

5 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Üzerinde çalışma yapılan iş parçası Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Mevcuttaki görüntü parçanın işlenmiş halidir. İş parçasının 20kW gücünde ve 12000d/dk iş mili devrine ve %70 verimliliğe sahip 3 eksenli CNC işleme merkezinde işlendiği düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.



Şekil 5.1Üzerinde çalışma yapılan örnek kalıp

5.1 Hesaplamalarda kullanılacak parametreler

Yapılan çalışmada hesaplamalarda kullanılmak üzere takım çapına bağlı olarak değişkenlik gösteren parametreler takım ve tezgah kataloglarından alınarak aşağıda **Tablo 5.1**'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1 4-25mm çap'a sahip takımlar için hesaplamalarda kullanılacak parametreler

a_e (mm)	4	6	8	10	12	16	20	25
a_p (mm)	1	1	1	1	1	1	1	1
D (mm)	4	6	8	10	12	16	20	25
f_z (mm/diş)	0,008	0,013	0,016	0,025	0,031	0,053	0,069	0,2
V (m/dk)	120	120	120	120	120	120	120	160
K (°)	90	90	90	90	90	90	90	90
Ks (N/mm^2)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
z_e (adet)	2	2	2	2	2	2	2	2
L (mm)	30	30	40	50	55	65	75	85
E (N/mm^2)	680000	680000	680000	680000	680000	680000	680000	680000
η	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Z (adet)	4	4	4	4	4	4	4	4

Burada sabit paso derinliği(a_p=1 mm) göz önünde bulundurulmuştur ve bu paso derinliğine göre hesaplamalar yapılmıştır. Buradaki amaç küçük kesme derinliklerine sahip katmanlarda takım setlerinin oluşturulması ve daha sonra bitişik katmanlardaki benzer takımlarının birleştirilmesi ile artan paso derinliğine sahip katmanlarda takım setleri oluşturularak optimum işleme zamanlarının oluşturulmasıdır.

5.2 Hesaplamalar Sonucu Elde Edilen Parametre Sonuçlar

Aşağıda **Tablo 5.2**'de hesaplamalar sonu elde edilen veriler bulunmaktadır. **Tablo 5.2**'de hesaplama sonucu verilen değerler tez çalışmasının "4.14.2 Hesaplamalar" kısmında verilen sınırlamaları(δ,P_c) sağladığı görülmektedir.

Burada iş parçası üzerinden birim zamanda istenilen talaş hacmini(MRR) kaldırmak için farklı çaplardaki takımlar için "n" tezgah devri ve "V_f" ilerleme değerleri belirlenmiştir.

Tablo 5.2 4-25mm çap'a sahip takımlar için hesaplamalar sonucu elde edilen parametreler

D(mm)	4	6	8	10	12	16	20	25
h_m (mm)	0,005	0,008	0,010	0,016	0,020	0,034	0,044	0,127
k_c (N/mm^2)	8697,6	7555,3	7113,8	6250,2	5872,2	5026,4	4656,2	3419,8
B (mm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
F_s(N)	17,7	25,0	29,0	39,8	46,4	67,8	81,8	174,2
I(mm^4)	13	64	201	491	1018	3217	7854	19174
δ(mm)	0,019	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003	0,002	0,003
N(d/dk)	9550	6366	4775	3820	3183	2387	1910	2037
V_f(mm/dk)	306	331	306	382	395	506	527	1630
P_c(kW)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,7
MRR(cm3/dk)	0,000	0,40	0,49	0,76	0,95	1,62	2,11	8,15

5.3 Dilimleme Katmanlarında Takım Uygunluklarının Belirlenmesi

Aşağıdaki **Tablo 5.3**'de kalıp işlemesinde belirlenen takımlar ile katmanlar 1mm aralıkla işlenerek her bir takım için kalıntı alan, işleme süresi, malzeme kaldırma debisi ve toplam takım yolu hesaplama sonuçları yer almaktadır. Kalıntı alanı %'sel miktarı program içerisinde kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Yapılan çalışmada kalıntı alan %5 kabul edilmiştir. Program % 5 in üzerinde kalıntı alan veren takımlarda "kalıntı alan toleransından büyük" ifadesi kullanılarak takımın uygun olmadığını

belirlemektedir ve diğer alternatif takımları hesaplamaya devam etmektedir. Belirlenen "z" katmanı için uygun en büyük takımı ve büyük takımla oluşturulabilecek en kısa işleme zamanını verecek diğer takımların belirlenmesi ile belirlenen "z" katmanının işlemi tamamlanmaktadır ve bir sonraki "z" katmanı için takım belirlemeleri aynı şekilde devam etmektedir.

Sarı renk ile belirtilen hücreler, belirlenen "z" katmanındaki istenilen kalıntı hacmi sağlayan takımlar arasından en büyük çaplı takımı ve bu takım kullanılması sonucu oluşacak kalıntı alan, işleme süresi, malzeme kaldırma debisi ve toplam takım yolu uzunluğu bilgilerini içermektedir. Bu tabloda katmanların bir kısmı için hesaplama sonuçları gösterilmiştir. Kalıp boşluğu için "z" katmanlarının tamamını gösteren tablo **EK 2**'de verilmiştir.

Tablo 5.3 Dilimleme katmanları(HP) için takım uygunluk tablosu

No	Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Takım Durumu
1	0	Takm: SANDVIK 4mm D: 4	0,0%	0	22,02	0,31	8413	Uygun.
2	0	Takm: SANDVIK 6mm D: 6	0,2%	3	40,84	0,40	13520	Uygun.
3	0	Takm: SANDVIK 8mm D: 8	1,0%	17	14,99	0,49	4580	Uygun.
4	0	Takm: SANDVIK 10mm D: 10	1,4%	25	10,01	0,76	3824	Uygun.
5	0	Takm: SANDVIK 12mm D: 12	2,0%	36	8,42	0,95	3324	Uygun.
6	0	Takm: SANDVIK 16mm D: 16	4,7%	84	4,94	1,62	2499	Uygun.
7	0	Takm: SANDVIK 20mm D: 20	6,6%	117	3,74	2,08	1943	Kalnt alan toleransndan büyük.
8	0	Takm: SANDVIK 25mm D: 25	12,1%	215	1,35	6,11	1651	Kalnt alan toleransndan büyük.
9	0	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 20mm D: 20	4,8%	85	3,76	0,00	1951	
10	0	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	4,8%	85	1,40	0,00	1676	
11	1	Takm: SANDVIK 4mm D: 4	0,0%	1	21,82	0,31	8334	Uygun.
12	1	Takm: SANDVIK 6mm D: 6	0,2%	4	18,14	0,40	6005	Uygun.
13	1	Takm: SANDVIK 8mm D: 8	1,0%	17	14,91	0,49	4557	Uygun.
14	1	Takm: SANDVIK 10mm D: 10	1,4%	25	20,90	0,76	7981	Uygun.
15	1	Takm: SANDVIK 12mm D: 12	2,0%	34	8,16	0,95	3222	Uygun.
16	1	Takm: SANDVIK 16mm D: 16	4,7%	82	4,87	1,62	2463	Uygun.
17	1	Takm: SANDVIK 20mm D: 20	6,7%	117	3,69	2,08	1915	Kalnt alan toleransndan büyük.
18	1	Takm: SANDVIK 25mm D: 25	12,3%	215	1,34	6,11	1644	Kalnt alan toleransndan büyük.
19	1	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 20mm D: 20	4,8%	85	3,70	0,00	1923	
20	1	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	4,8%	85	1,39	0,00	1668	
21	2	Takm: SANDVIK 4mm D: 4	0,1%	1	48,62	0,31	18573	Uygun.
22	2	Takm: SANDVIK 6mm D: 6	0,2%	4	17,61	0,40	5831	Uygun.
23	2	Takm: SANDVIK 8mm D: 8	1,0%	17	14,85	0,49	4539	Uygun.
24	2	Takm: SANDVIK 10mm D: 10	1,4%	25	19,88	0,76	7595	Uygun.
25	2	Takm: SANDVIK 12mm D: 12	2,0%	34	8,07	0,95	3185	Uygun.
26	2	Takm: SANDVIK 16mm D: 16	4,7%	82	4,46	1,62	2256	Uygun.
27	2	Takm: SANDVIK 20mm D: 20	6,8%	117	3,58	2,08	1860	Kalnt alan toleransndan büyük.
28	2	Takm: SANDVIK 25mm D: 25	12,3%	214	1,34	6,11	1640	Kalnt alan toleransndan büyük.
29	2	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 20mm D: 20	4,9%	85	3,60	0,00	1868	
30	2	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	4,9%	85	1,39	0,00	1665	
31	3	Takm: SANDVIK 4mm D: 4	0,0%	0	48,42	0,31	18496	Uygun.
32	3	Takm: SANDVIK 6mm D: 6	0,2%	4	17,57	0,40	5816	Uygun.
33	3	Takm: SANDVIK 8mm D: 8	0,9%	16	14,74	0,49	4503	Uygun.
34	3	Takm: SANDVIK 10mm D: 10	1,4%	24	20,18	0,76	7710	Uygun.
35	3	Takm: SANDVIK 12mm D: 12	2,0%	34	7,97	0,95	3144	Uygun.
36	3	Takm: SANDVIK 16mm D: 16	4,7%	82	4,45	1,62	2251	Uygun.
37	3	Takm: SANDVIK 20mm D: 20	7,0%	121	3,54	2,08	1839	Kalnt alan toleransndan büyük.
38	3	Takm: SANDVIK 25mm D: 25	12,2%	210	1,32	6,11	1618	Kalnt alan toleransndan büyük.
39	3	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 20mm D: 20	4,9%	85	3,56	0,00	1848	
40	3	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	4,9%	85	1,37	0,00	1643	
41	4	Takm: SANDVIK 4mm D: 4	0,0%	1	47,43	0,31	18116	Uygun.
42	4	Takm: SANDVIK 6mm D: 6	0,2%	4	17,97	0,40	5950	Uygun.
43	4	Takm: SANDVIK 8mm D: 8	1,0%	17	35,07	0,49	10718	Uygun.
44	4	Takm: SANDVIK 10mm D: 10	1,4%	24	9,97	0,76	3809	Uygun.
45	4	Takm: SANDVIK 12mm D: 12	2,0%	34	7,95	0,95	3138	Uygun.
46	4	Takm: SANDVIK 16mm D: 16	4,7%	82	4,44	1,62	2248	Uygun.
47	4	Takm: SANDVIK 20mm D: 20	7,0%	121	3,53	2,08	1834	Kalnt alan toleransndan büyük.
48	4	Takm: SANDVIK 25mm D: 25	12,2%	210	1,32	6,11	1615	Kalnt alan toleransndan büyük.
49	4	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 20mm D: 20	4,9%	85	3,55	0,00	1843	
50	4	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	4,9%	85	1,37	0,00	1640	
51	5	Takm: SANDVIK 4mm D: 4	0,1%	1	43,77	0,31	16719	Uygun.
52	5	Takm: SANDVIK 6mm D: 6	0,2%	4	17,95	0,40	5942	Uygun.
53	5	Takm: SANDVIK 8mm D: 8	1,0%	17	32,59	0,49	9960	Uygun.

5.4 Dilimleme Katmanlarında Optimum Tekli Takım Seçimi

Aşağıdaki **Tablo 5.4**'te kalıp boşluğunun işlenmesinde belirlenen "z" katmanlarının her biri için tek takım kullanılması durumunda oluşacak kalıntı alan, işleme süresi, malzeme kaldırma debisi ve toplam takım yolu uzunluğu bilgileri yer almaktadır. Tek takım kullanılması durumunda işleme zamanının yüksek çıkması kaçınılmazdır. Bu nedenle her "z" katmanı için tek takım yerine çoklu takım kullanımı işleme zamanını kısaltacaktır.

Tablo 5.4 Dilimleme Katmanlarında(HP) optimum tekli takım seçimi tablosu

Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Takım Durumu
0	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	84	4,94	1,62	2499	Uygun.
1	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	82	4,87	1,62	2463	Uygun.
2	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	82	4,46	1,62	2256	Uygun.
3	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	82	4,45	1,62	2251	Uygun.
4	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	82	4,44	1,62	2248	Uygun.
5	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,44	1,62	2245	Uygun.
6	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
7	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
8	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
9	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
10	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
11	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2243	Uygun.
12	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2241	Uygun.
13	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,42	1,62	2237	Uygun.
14	Takm: Takm 16mm D: 16	0,050	84	4,41	1,62	2231	Uygun.
15	Takm: Takm 12mm D: 12	0,036	53	7,11	0,95	2808	Uygun.
16	Takm: Takm 12mm D: 12	0,049	46	8,42	0,95	3323	Uygun.
17	Takm: Takm 12mm D: 12	0,047	42	8,14	0,95	3214	Uygun.
18	Takm: Takm 10mm D: 10	0,038	31	5,00	0,76	1912	Uygun.
19	Takm: Takm 10mm D: 10	0,039	30	15,54	0,76	5937	Uygun.
20	Takm: Takm 10mm D: 10	0,042	30	4,64	0,76	1773	Uygun.
21	Takm: Takm 10mm D: 10	0,043	28	11,62	0,76	4437	Uygun.
22	Takm: Takm 8mm D: 8	0,042	25	9,57	0,49	2924	Uygun.
23	Takm: Takm 6mm D: 6	0,015	8	13,67	0,40	4525	Uygun.
24	Takm: Takm 4mm D: 4	0,037	15	6,48	0,31	2473	Uygun.
25	Takm: Takm 6mm D: 6	0,023	8	4,61	0,40	1528	Uygun.
26	Takm: Takm 6mm D: 6	0,027	8	4,23	0,40	1399	Uygun.
27	Takm: Takm 6mm D: 6	0,022	4	2,52	0,40	833	Uygun.
28	Takm: Takm 6mm D: 6	0,015	3	2,48	0,40	822	Uygun.
29	Takm: Takm 6mm D: 6	0,030	6	2,61	0,40	863	Uygun.
30	Takm: Takm 6mm D: 6	0,027	5	2,46	0,40	814	Uygun.
31	Takm: Takm 8mm D: 8	0,038	4	0,88	0,49	268	Uygun.
32	Takm: Takm 12mm D: 12	0,031	3	0,65	0,95	258	Uygun.
33	Takm: Takm 12mm D: 12	0,023	2	0,65	0,95	257	Uygun.
34	Takm: Takm 12mm D: 12	0,030	3	0,64	0,95	252	Uygun.
35	Takm: Takm 12mm D: 12	0,045	5	0,63	0,95	247	Uygun.
36	Takm: Takm 12mm D: 12	0,033	3	0,61	0,95	239	Uygun.
37	Takm: Takm 12mm D: 12	0,038	4	0,60	0,95	236	Uygun.
38	Takm: Takm 10mm D: 10	0,021	2	0,67	0,76	254	Uygun.
39	Takm: Takm 8mm D: 8	0,032	3	0,87	0,49	267	Uygun.
			TOPLAM SÜRE	**182,73**			

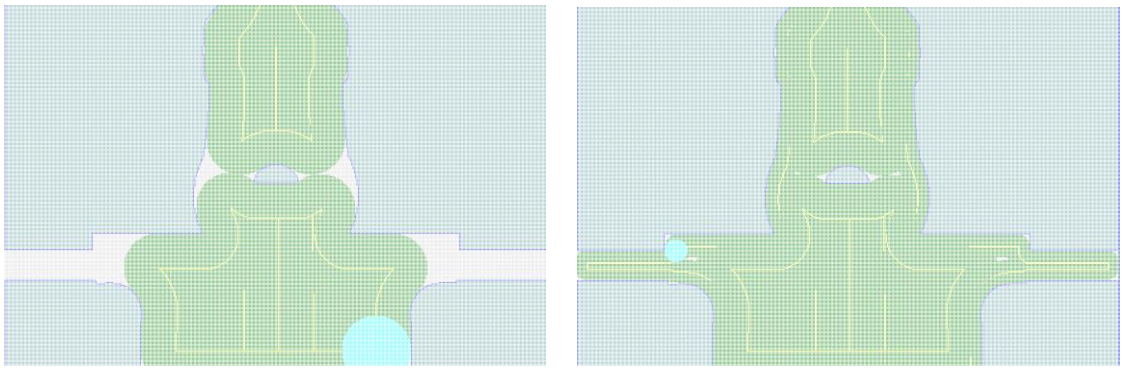
5.5 Dilimleme Katmanlarında Optimum Çoklu Takım Seçimi

Tablo 5.5'de her bir "z" katmanı için kalıntı alan sınırlamaları içerinde kalan ve işleme zamanını minimum seviyede tutan takım setleri yer almaktadır. Her bir "z" katmanı için tek takım seçiminde işleme süresi 182,73 dk iken her bir "z" katmanı için

çoklu takım seçiminde işleme süresi 53,41 dk'ya düşmektedir. Çoklu takım seçimi ise rastgele yapılmamıştır. Her bir "z" katmanını minimum sürede işleyecek takım setleri seçilmiştir.

Tablo 5.5 Dilimleme Katmanlarında(HP) optimum çoklu takım seçimi

Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	Toplam Yol (mm)
0	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,048	85	1,40	1676
1	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,048	85	1,39	1668
2	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,39	1665
3	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,37	1643
4	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,37	1640
5	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,41	1685
6	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,41	1685
7	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,41	1685
8	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,41	1685
9	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,41	1685
10	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,41	1685
11	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	85	1,41	1683
12	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,050	85	1,40	1679
13	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,050	85	1,40	1675
14	Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,051	87	1,39	1668
15	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,037	55	2,15	2507
16	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,051	48	1,00	1122
17	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,049	43	0,95	1066
18	Takm: SANDVIK 10mm D: 10 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,038	31	0,95	1036
19	Takm: SANDVIK 10mm D: 10 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,039	30	0,85	912
20	Takm: SANDVIK 10mm D: 10 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,041	29	0,99	1087
21	Takm: SANDVIK 10mm D: 10 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,043	28	1,09	937
22	Takm: SANDVIK 8mm D: 8 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,042	25	1,77	930
23	Takm: SANDVIK 6mm D: 6 Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,015	8	2,38	1150
24	Takm: SANDVIK 4mm D: 4 Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,000	0	1,97	930
25	Takm: SANDVIK 6mm D: 6 Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,073	26	2,35	927
26	Takm: SANDVIK 6mm D: 6 Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,083	24	2,57	913
27	Takm: SANDVIK 6mm D: 6 Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,073	14	2,04	683
28	Takm: SANDVIK 6mm D: 6 Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,104	20	1,95	652
29	Takm: SANDVIK 6mm D: 6 Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 20mm D: 20	0,081	15	1,03	383
30	Takm: SANDVIK 6mm D: 6 Takm: SANDVIK 16mm D: 16 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,072	13	2,06	689
31	Takm: SANDVIK 8mm D: 8 Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,038	4	0,75	236
32	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,031	3	0,65	258
33	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,023	2	0,65	257
34	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,030	3	0,64	252
35	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,045	5	0,63	247
36	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,033	3	0,61	239
37	Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,038	4	0,60	236
38	Takm: SANDVIK 10mm D: 10 Takm: SANDVIK 12mm D: 12 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,021	2	0,67	254
39	Takm: SANDVIK 8mm D: 8 Takm: SANDVIK 10mm D: 10 Takm: SANDVIK 25mm D: 25	0,032	3	0,70	245
43	Takm: SANDVIK 4mm D: 4 Takm: SANDVIK 8mm D: 8 Takm: SANDVIK 20mm D: 20	0,048	2	0,45	171
				53,41	



(a) (b)

Şekil 5.2 Büyük takımdan kaynaklanan kalıntı alanların daha küçük takım kullanılarak işlenmesi

Şekil 5.2(a)'da büyük çaplı takım ile "z" katmanının işlenmesinde oluşan takım yolu ve kalıntı alanları göstermektedir. **Şekil 5.2(b)** de ise bu kalıntı alanların daha küçük takım kullanılarak işlenmesini göstermektedir. Kalıp boşluğunun işlenmesinde farklı katmanlarda kullanılan diğer takımlar ve bu takımlardan oluşan kalıntı alan ve takım yollarını gösteren diğer resimler **EK-3** de verilmiştir.

5.6 Kesme Tabakalarının Belirlenmesi ve İşleme Verilerinin Revize Edilmesi

Tablo 5.6'da her bir "z" katmanında belirlenen takımlarının bu katmanlara ait takımların maksimum paso derinlikleri göz önünde bulundurularak birleştirilmesi ve eğilme deformasyonu ve tezgah gücü sınırlamaları doğrultusunda optimum kesme hızı, ilerleme, kesme kuvveti değerlerinin hesaplanması sonucu oluşan değerler yer almaktadır.

Tablo 5.6 Dilimleme Katmanlarının(HP) birleştirilmesi ile Kesme Tabakalarının(MP) ve işleme verilerinin oluşturulması

Kesme Tabaka No	Takım Adı	Takım Çapı	Paso Sayısı	Başlangıç Z seviyesi	Bitiş Z seviyesi	Toplam Z seviyesi	Süre (dk)	Yeni f_z değeri	Yeni v_f değeri	Yeni k_c değeri	Yeni F_z değeri	δ değeri	P_g değeri	MRR değeri
1-2	Takm 16mm	16	2	0	15	15	20,97	0,129	1230	3886	4778	0,200	13,7	148
	Takm 25mm	25	2	0	15	15		0,221	1348	3325	6998	0,110	20,0	253
3	Takm 12mm	12	1	16	18	3	4,09	0,332	4227	2953	2495	0,200	7,1	101
	Takm 25mm	25	1	16	18	3		1,419	8672	1938	6998	0,110	20,0	434
4	Takm 10mm	10	1	19	21	3	3,88	0,100	1535	4176	1602	0,200	4,6	46
	Takm 25mm	25	1	19	21	3		0,802	4899	2287	6998	0,110	20,0	367
5	Takm 8mm	8	1	22	22	1	1,77	0,028	528	6072	1281	0,200	3,7	25
	Takm 25mm	25	1	22	22	1		0,302	1845	3035	6998	0,110	20,0	277
6	Takm 6mm	6	1	23	28	6	11,31	0,018	469	6829	961	0,200	2,7	17
	Takm 16mm	16	1	23	28	6		0,176	1684	3547	4778	0,200	13,7	162
	Takm 25mm	25	1	23	28	6		0,302	1845	3035	6998	0,110	20,0	277
7	Takm 6mm	6	1	29	29	1	1,03	0,018	469	6829	961	0,200	2,7	17
	Takm 12mm	12	1	29	29	1		0,332	4227	2953	2495	0,200	7,1	101
	Takm 20mm	20	1	29	29	1		0,302	1845	3035	6998	0,110	20,0	277
8	Takm 6mm	6	1	30	30	1	2,06	0,230	5854	3285	961	0,200	2,7	35
	Takm 16mm	16	1	30	30	1		2,200	21013	1706	4778	0,200	13,7	336
	Takm 25mm	25	1	30	30	1		0,302	1845	3035	6998	0,110	20,0	576
9	Takm 8mm	8	1	31	31	1	0,75	0,028	528	6072	1281	0,200	3,7	25
	Takm 12mm	12	1	31	31	1		0,332	4227	2953	2495	0,200	7,1	101
	Takm 25mm	25	1	31	31	1		0,302	1845	3035	6998	0,110	20,0	277
10	Takm 12mm	12	1	32	37	6	3,77	0,071	900	4625	2495	0,200	7,1	65
	Takm 25mm	25	1	32	37	6		0,302	1845	3035	6998	0,110	20,0	277
11	Takm 10mm	10	1	38	38	1	0,67	0,038	578	5543	1602	0,200	4,6	35
	Takm 12mm	12	1	38	38	1		0,332	4227	2953	2495	0,200	7,1	101
	Takm 25mm	25	1	38	38	1		0,302	1845	3035	6998	0,110	20,0	277
12	Takm 8mm	8	1	39	45	7	0,7	0,028	528	6072	1281	0,200	3,7	25
	Takm 10mm	10	1	39	45	7		0,038	578	5543	1602	0,200	4,6	35
	Takm 25mm	25	1	39	45	7		0,302	1845	3035	6998	0,110	20,0	277

Burada her bir kesme tabakası için minimum işleme zamanını sağlayan optimum takımlar belirlenmiştir. İstenilen kalıntı alan yüzdesini sağlamak için bazı kesme tabakalarında iki takım seçilirken diğer bazı kesme tabakalarda ise 3 farklı takım seçilmektedir. **Tablo 5.6**'da bu durum görülmektedir.

5.7 Tecrübeye Dayalı Takım Seçimi Verilerinin Kıyaslanması

Tecrübeye dayalı takım seçimi birkaç farklı takım seçilerek yapılmıştır ve **Tablo 5.7**'de sonuçları gösterilmiştir. Burada kısa zamanda hızlı işleme yapmak için 1. takım olarak en büyük çaplı takım(25mm) ve kalıntı hacmi istenilen sınırlarda tutmak için 2. Takım olarak küçük çaplı takımlar(4mm, 6mm, 8mm, 10mm çaplı) 2 li set oluşturacak şekilde seçilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere bazı katmanlarda her iki takım ile de kalıntı alan yüzdesi sağlanamamaktadır. Bu durum seçilen takımların iş parçasının bütünü için uygun olmadığını göstermektedir. Diğer bir deyişle bu takımlar ile iş parçasının tümü işlenememektedir.

Tablo 5.7 Tecrübeye dayalı takım seçimi

Z eksenindeki Katman seviyesi	SANDVIK 4mm ve 25mm			SANDVIK 6mm ve 25mm			SANDVIK 8mm ve 25mm			SANDVIK 10mm ve 25mm		
	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)
0	0,000	0,9	1,62	0,002	3,7	1,62	0,010	17	1,58	0,014	25	1,50
1	0,000	0,9	1,62	0,002	3,7	1,61	0,010	17	1,58	0,014	25	1,49
2	0,001	0,9	1,61	0,002	3,7	1,61	0,010	17	1,57	0,014	25	1,48
3	0,001	0,9	1,59	0,002	3,7	1,58	0,010	17	1,55	0,014	25	1,46
4	0,001	0,9	1,59	0,002	3,7	1,58	0,010	17	1,55	0,014	25	1,46
5	0,001	1,3	1,63	0,002	3,9	1,62	0,010	18	1,58	0,015	25	1,50
6	0,001	0,9	1,63	0,002	3,7	1,62	0,010	17	1,58	0,014	25	1,50
7	0,001	0,9	1,63	0,002	3,7	1,62	0,010	17	1,58	0,014	25	1,50
8	0,001	0,9	1,63	0,002	3,7	1,62	0,010	17	1,58	0,014	25	1,50
9	0,001	1,1	1,63	0,002	3,7	1,62	0,010	17	1,58	0,014	25	1,50
10	0,001	0,9	1,63	0,002	3,7	1,62	0,010	17	1,58	0,014	25	1,50
11	0,001	1,1	1,63	0,002	3,7	1,62	0,010	17	1,58	0,014	25	1,50
12	0,001	1,3	1,62	0,002	3,9	1,62	0,010	18	1,58	0,015	25	1,49
13	0,001	1,1	1,62	0,002	3,7	1,61	0,010	17	1,58	0,015	25	1,49
14	0,001	1,5	1,62	0,003	5,0	1,61	0,011	18	1,58	0,015	26	1,49
15	0,002	2,6	2,35	0,005	6,7	2,34	0,019	28	2,31	0,027	39	2,19
16	0,003	2,6	1,19	0,008	7,2	1,17	0,024	23	1,13	0,036	34	1,04
17	0,004	3,5	1,12	0,009	7,8	1,11	0,025	22	1,07	0,035	31	0,98
18	0,003	2,4	1,09	0,009	7,6	1,09	0,028	23	1,04	0,038	31	0,95
19	0,004	2,8	0,99	0,009	6,5	0,97	0,028	22	0,94	0,039	30	0,85
20	0,004	2,6	1,13	0,009	6,5	1,12	0,029	20	1,08	0,041	29	0,99
21	0,003	2,0	1,82	0,009	6,1	1,64	0,031	20	1,50	0,043	28	1,09
22	0,006	3,5	3,29	0,018	10,6	1,95	0,042	25	1,77	-	-	-
23	0,013	6,3	5,95	0,016	7,8	3,45	-	-	-	-	-	-
24	0,053	21,9	2,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0,064	22,6	5,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	0,079	23,2	3,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	0,085	16,5	3,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	0,097	18,5	2,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	0,107	20,0	2,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0,015	2,6	2,62	0,027	4,8	2,46	-	-	-	-	-	-
31	0,014	1,5	1,50	0,050	5,4	1,34	0,038	4	0,88	-	-	-
32	0,008	0,9	1,37	0,027	2,8	1,30	0,008	1	0,87	0,025	3	0,70
33	0,025	2,6	1,50	0,015	1,5	1,29	0,010	1	0,88	0,010	1	0,70
34	0,008	0,9	1,49	0,008	0,9	1,64	0,006	1	0,87	0,030	3	0,69
35	0,028	2,8	1,47	0,022	2,2	1,52	0,030	3	0,87	0,045	5	0,69
36	0,013	1,3	1,46	0,011	1,1	1,51	0,022	2	0,87	0,031	3	0,69
37	0,016	1,5	1,43	0,036	3,5	1,34	0,013	1	0,87	0,027	3	0,69
38	0,012	1,1	1,31	0,021	2,0	0,96	0,028	3	0,88	0,021	2	0,67
	TOPLAM	**181,432**	**77,08**	**TOPLAM**	**148,188**	**52,37**	**TOPLAM**	**460,207**	**41,46**	**TOPLAM**	**611,654**	**35,27**

Program tarafından seçilen optimum takımlar ile tecrübeye dayalı rastgele seçilmiş takımlar arasındaki farkı izah etmek için her iki durumun meydana getirdiği işleme süreleri hesaplanarak **Tablo 5.8**'de kıyaslama yapılmıştır. Rastgele seçim de seçilen takımlar program tarafından kesme hızları ve ilerleme değerleri optimize edildiğini burada ifade etmek gerekmektedir. Bu optimizasyonun yapılmadığı CAM programlarında bu işleme süreleri daha yüksek olacaktır.

5.8 Tecrübeye Dayalı Takım Seçimi ile Geliştirilen Sisteme Dayalı Takım Seçimi Verilerinin Kıyaslanması

Program tarafın oluşturulan takımlar ile diğer yöntemlerle bulunan takımların oluşturduğu işleme zamanlarının karşılaştırılması **Tablo 5.8**'de verilmiştir. Burada tabakalarda tek takım seçimi ile elde edilecek işleme zamanı ile çoklu takım seçiminde elde edilecek işleme zamanı oranlandığında tekli takım seçim zamanı çoklu takım seçimi zamanının yaklaşık 3,42 katı olmaktadır.

Ayrıca tecrübeye dayalı seçimlerde minimum ve maksimum çaplı takımlar seçilmiştir. Buradaki amaç ise büyük çaplı takım ile hızlı bir şekilde işlemek ve kalan hacmi de küçük takımlarla işlemektir. Minimum çaplı takım olarak 4mm, 6mm, 8mm ve 10mm çaplı takımlar kullanılmıştır. Tablodaki sonuçlardan da görüleceği üzere 6mm, 8mm ve 10mm çaplı takımlar ile oluşturulan takım ikililerinin belirlenen işleme toleransını sağlamadığı katmanlar mevcuttur ve **Tablo 5.7**'de gösterilmiştir. Bu nedenle işleme zamanları dikkate alınmamıştır. Tüm katmanların işlendiği takım seçim durumları arasında kıyaslama yapılmıştır.

Tecrübeye dayalı seçimlerden 4mm ve 25mm takım ikilisinde ise program tarafından seçilen çoklu takım seçimine göre ise %44,3 işleme zamanı daha yüksek çıkmaktadır.

Burada dikkat edilmesi gereken ikinci husus ise tecrübeye dayalı seçilen takım ikilileri için işleme zamanları hesaplanırken yine programın kesme koşullarını optimize etmektedir. Optimize edilmemiş kesme koşulları altında tecrübeye dayalı takım seçiminde işleme zamanı daha yüksek olacağı kaçınılmazdır.

Tablo 5.8 Program tarafın oluşturulan takımlar ile diğer yöntemlerle bulunan takımların oluşturduğu işleme zamanlarının karşılaştırılması

Parametreler	Program Tarafından Katmanlara Göre Tekli Takım Seçimi	Program Tarafından Katmanlara Göre Çoklu Takım Seçimi	Tecrübeye Dayalı Takım Seçimleri			
			4mm ve 25mm takım ikilisi	6mm ve 25mm takım ikilisi	8mm ve 25mm takım ikilisi	10mm ve 25mm takım ikilisi
İşleme Zamanı(dk)	182.73	53.41	77.08	-	-	-
Tüm katmanlar işlenebiliyor mu?	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Yapılan çalışmada kalıp boşluğu şekline bağlı kalınmaksızın 2 ½ eksende işlenebilecek her türlü kalıp boşluğunun kaba işlemesini istenilen kalıntı hacim miktarı doğrultusunda en hızlı biçimde gerçekleştirecek takımların belirlenmesini sağlayan bir program geliştirilmiştir.

Program oluşturulurken istenilen kalıntı hacim miktarı doğrultusunda işleme zamanının minimize edilmesi için bazı işlemler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle yüzey verileri STL formatında oluşturulmuş ve işleme yapılacak düzlemler, dilimleme tabakaları oluşturulmuştur. İşlenecek ve işlenmeyecek alanlar belirlenmiştir. Takım erişebilirlik analizi yapılmıştır. Dalma yapmayacak takım yolları oluşturulmuştur. Katalog değerleri kullanılarak optimum kesme parametreleri(kesme hızı ve ilerleme) belirlenmiştir. Takım seçiminde eğilme deformasyonu ve tezgâh güç sınırlamaları altında takımların maksimum hacim kaldırma debileri(MRR) hesaplanmıştır. MRR'ı hesaplanan takımların önceden belirlenen dilimleme tabakalarında kullanılması sonucu oluşan kalıntı hacim miktarları ve işleme zamanları hesaplanmıştır. Oluşan bu kalıntı hacimlerin başka takımlar ile giderilmiştir ve her bir takım için işleme süreleri hesaplanmıştır. Dilimleme tabakalarında istenilen kalıntı hacim miktarının sağlanması şartı doğrultusunda en kısa işleme zamanı veren takımlar belirlenmiştir. Benzer olan takımlara sahip bitişik dilimleme tabakalarının birleştirilerek kesme tabakası haline getirilmiştir ve kesme parametreleri yeniden optimize edilmiştir.

İşleme zamanı sadece takımın iş parçası ile temasta olduğu zamanı belirtmektedir. Takım değiştirme zamanı, takım yoları arası boşta geçen zaman, takım yanaşma ve geri çekilme zamanlarını içermemektedir. . Takım değiştirme zamanı, takım yoları arası boşta geçen zaman, takım yanaşma ve geri çekilme zamanları gelişen CNC teknolojisi nedeni ile işleme zamanından çok küçük olmasından dolayı dikkate alınmamıştır.

Program için veri tabanı ve bilgi tabanı modülleri oluşturulmuştur. İstenilen katalog verileri(takım, tezgah, iş parçası bilgileri) veri tabanına kaydedilebilmekte ve istenilen takım, tezgah ve iş parçası kombinasyonları oluşturularak optimum takım setleri oluşturulabilmektedir.

Burada yapılan çalışmada katalog içerisindeki tüm takımların kullanılması sonucunda işlemeyi en kısa zamanda sağlayacak takım setlerinin belirlenmesinin

yapılabildiği gibi kullanıcının belirlediği ya da elinde hazırda bulunan takımlar arasından en iyi takım setlerinin seçilmesi de mümkün olmaktadır.

6.2 Öneriler

Yapılan çalışma 2 ½ eksende kaba işleme takım setlerinin belirlenmesi ile sınırlı kalmıştır. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda 5 eksende yarı kaba ile finish işlemlerini gerçekleştirecek takımların belirlenmesi ve aynı zamanda programın bir arayüz programı olmaktan çıkarılarak herhangi bir CAM(bilgisayar destekli üretim) programı olmaksızın kesme parametreleri, kesme koşulları, parça bilgileri, takım bilgileri, takım yolu bilgileri gibi bir çok bilgiyi doğrudan tezgaha aktaran bir program haline getirilerek bir CAM programına dönüştürülmesi tasarlanabilir.

İşleme zamanı hesaplamasına takım değiştirme zamanı, takım yoları arası boşta geçen zaman, takım yanaşma ve geri çekilme zamanları da eklenerek gerçek işleme zamanları elde edilebilir.

Takım aşınma ve maliyet hesaplamaları da eklenerek çok amaçlı optimizasyonlar yapılabilir.

KAYNAKLAR

Ahmad, Z., Rahmani, K. ve D'Souza, R. M., 2010, Applications of genetic algorithms in process planning: tool sequence selection for 2.5-axis pocket machining, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 21 (4), 461-470.

Bala, M. ve Chang, T. C., 1991, Automatic cutter selection and optimal cutter path generation for prismatic parts, *International Journal of Production Research*, 29 (11), 2163-2176.

Balasubramaniam, M., Joshi, Y., Engels, D., Sarma, S. ve Shaikh, Z., 2001, Tool selection in three-axis rough machining, *International Journal of Production Research*, 39 (18), 4215-4238.

Charlesworth, W. W. ve Anderson, D. C., 1995, Applications of non-manifold topology, *Proc. of Computers in Engineering Conference and the Engineering Database Symposium ASME*, 103-112.

Chen, X. R. ve McMains, S., 2005, Polygon offsetting by computing winding numbers, *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 2005, Vol 2, Pts A and B*, 565-575.

Chen, Y. H., Lee, Y. S. ve Fang, S. C., 1998, Optimal cutter selection and machining plane determination for process planning and NC machining of complex surfaces, *Journal of Manufacturing Systems*, 17 (5), 371-388.

Choi, S. H. ve Kwok, K. T., 1999, A memory efficient slicing algorithm for large STL flies, *Solid Freeform Fabrication Proceedings, August 1999*, 155-162.

Choi, Y. K. ve Banerjee, A., 2007, Tool path generation and tolerance analysis for free-form surfaces, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47 (3-4), 689-696.

D'Souza, R. M., Sequin, C. ve Wright, P. K., 2004, Automated tool sequence selection for 3-axis machining of free-form pockets, *Computer-Aided Design*, 36 (7), 595-605.

D'Souza, R. M., 2006, On setup level tool sequence selection for 2.5-D pocket machining, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22 (3), 256-266.

Dereli, T. ve Filiz, I. H., 1997, Selection of alternative cutting tools for part features of prismatic components and their effects on operation sequence, *5th International Conference on FACTORY 2000*, 170-177.

Edalew, K. O., Abdalla, H. S. ve Nash, R. J., 2001, A computer-based intelligent system for automatic tool selection, *Materials & Design*, 22 (5), 337-351.

Eversheim, W., Lenhart, M. ve Katzy, B., 1994, Information modelling for Technology-Oriented Tool Selection, *Annals of the CIRP*, 43, 429-432.

Goktas, M., Dilipak, H. ve Guldas, A., 2010, The Development of a New Algorithm for Tool Path and Offsetting of Two Dimension Profiles Machining, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (1), 179-187.

Guyder, M. K., 1990, Automating the optimization of 21/2 Axis milling, *Computers in Industry*, Vol. 15, pp163-168.

Hinduja, S. ve Sandiford, D., 2004, An optimum two-tool solution for milling 21/2D features from technological and geometric viewpoints, *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 53 (1), 77-80.

Hu Y. N., T. W. C., Chen Y. H. and Zhou Z. D., 1998, Tool-Path Planning for Rough Machining of a cavity by Layer-Shape Analysis, *Int J Adv Manuf Technol*, 14, 321-329.

KORLOY, 2014, Parmak frezeler için teknik bilgiler

Kyoung, Y. M., Cho, K. K. ve Jun, C. S., 1997, Optimal tool selection for pocket machining in process planning, *Computers & Industrial Engineering*, 33 (3-4), 505-508.

Lee, Y. S., Choi, B. K. ve Chang, T. C., 1992, Cut Distribution and Cutter Selection for Sculptured Surface Cavity Machining, *International Journal of Production Research*, 30 (6), 1447-1470.

Lee, Y. S. ve Chang, T. C., 1994, Using Virtual Boundaries for the Planning and Machining of Protrusion Free-Form Features, *Computers in Industry*, 25 (2), 173-187.

Lee, Y. S. ve Chang, T. C., 1995, Application of Computational Geometry in Optimizing 2.5d and 3d Nc Surface Machining, *Computers in Industry*, 26 (1), 41-59.

Lee, Y. S. ve Daftari, D., 1996, Feature-composition approach to planning and machining of generic virtual pockets, *Computers in Industry*, 31 (2), 99-128.

Lim, T., Corney, J., Ritchie, J. M. ve Clark, D. E. R., 2001, Optimizing tool selection, *International Journal of Production Research*, 39 (6), 1239-1256.

Lin, A. C. ve Gian, R., 1999, A multiple-tool approach to rough machining of sculptured surfaces, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15 (6), 387-398.

MEGEP, 2006, CNC Tezgahlar ve Kesici Takımlar**:** 20-27.

Mizugaki, Y. ve Hao, M., 1994, Tool Path Generation Considering Cutting Speed in Milling Geometric Simulation, *Advancement of Intelligent Production* (1), 467-472.

Oral, A. ve Cakir, M. C., 2004, Automated cutting tool selection and cutting tool sequence optimisation for rotational parts, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20 (2), 127-141.

Ramaswami, H., Shaw, R. S. ve Anand, S., 2011, Selection of optimal set of cutting tools for machining of polygonal pockets with islands, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53 (9-12), 963-977.

SANDVİK, 2003, Rotating Tool. Milling**:** 2-253.

Vatani, M., Barazandeh, F., Rahimi, A. R. ve Nezhad, A. S., 2010, Improved slicing algorithm employing nearest distance method, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, 224 (B5), 745-752.

Veeramani, D. ve Gau, Y. S., 1997, Selection of an optimal set of cutting-tool sizes for 2 1/2D pocket machining, *Computer-Aided Design*, 29 (12), 869-877.

Wang, Y., Ma, H. J., Gao, C. H., Xu, H. G. ve Zhou, X. H., 2005, A computer aided tool selection system for 3D die/mould-cavity NC machining using both a heuristic and analytical approach, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18 (8), 686-701.

Yang, D. C. H. ve Han, Z., 1999, Interference detection and optimal tool selection in 3-axis NC machining of free-form surfaces, *Computer-Aided Design*, 31 (5), 303-315.

Zhang, Y. J. ve Ge, L. L., 2009, Selecting optimal set of tool sequences for machining of multiple pockets, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42 (3-4), 233-241.

EKLER

EK-1 İŞ PARÇASI MALZEME LİSTESİ

ISO	Malzeme			CMC	AISI/SAE	W.-nr.	DIN
P	Çelikler	Alaşımsız	C=% 0,10-0,25	01.1	A570.36	1.0038	RSt.37-2
				01.1	1115	1.0038	GS-CK 16
				01.1	A573-81 65	1.0116	St.37-3
				01.1	1015	1.0401	C15
				01.1	1020	1.0402	C22
				01.1	1213	1.0715	9SMn28
				01.1	12L13	1.0718	9SMnPb28
				01.1	-	1.0722	10SPb20
				01.1	1215	1.0736	9SMn36
				01.1	12L14	1.0737	9SMnPb36
				01.1	1015	1.1141	Ck15
				01.1	1025	1.1158	Ck25
				01.1	A572-60	1.8900	StE 380
				01.1	A572-60	-	17MnV 6
			C=% 0,25-0,55	01.2	1035	1.0501	C35
				01.2	1045	1.0503	C45
				01.2	1140	1.0726	35S20
				01.2	1039	1.1157	40Mn4
				01.2	1335	1.1167	36Mn5
				01.2	1330	1.1170	28Mn6
				01.2	1035	1.1183	Cf35
				01.2	1045	1.1191	Ck45
				01.2	1050	1.1213	Cf53
			C=% 0,55-0,80	01.3	1055	1.0535	C55
				01.3	1060	1.0601	C60
				01.3	1055	1.1203	Ck55
				01.3	1060	1.1221	Ck60
				01.4	1095	1.1274	Ck 101
				01.4	W1	1.1545	C 105 W1
				01.4	W210	1.1545	C105W1
				01.5	-	-	-
		Düşük Alaşımlı	sertleştirilmemiş	02.1	A573-81	1.0144	St.44-2
				02.1	-	1.0570	St.52-3
				02.1	5120	1.0841	St.52-3
				02.1	9255	1.0904	55Si7
				02.1	9262	1.0961	60SiCr7
				02.1	52100	1.3505	100Cr6
				02.1	ASTM A204Gr.A	1.5415	15Mo3
				02.1	4520	1.5423	16Mo5
				02.1	ASTM A350LF5	1.5622	14Ni6
				02.1	8620	1.6523	21NiCrMo2
				02.1	8740	1.6546	40NiCrMo22
				02.1	-	1.6587	17CrNiMo6
				02.1	5015	1.7015	15Cr3
				02.1	5140	1.7045	42Cr4
				02.1	5155	1.7176	55Cr3
				02.1	-	1.7262	15CrMo5
				02.1	ASTM A182 F11 ; F12	1.7335	13CrMo4 4
				02.1	ASTM A182 F22	1.7380	10CrMo9 10
				02.1	-	1.7715	14MoV6 3
				02.1	-	1.8515	31 CeMo 12
				02.1	-	1.8523	39CrMoV13 9
				02.1	L1	1.7039	34MoCrS4 G
				02.1	8620	1.5419	20MoCrS4
				02.1	-	1.7228	55NiCrMoV6G
				02.1	-	1.7139	16MnCr5
				02.1	-	-	31NiCrMo134
				02.1	L6	1.2721	50NiCr13
				02.1	9840	1.6511	36CrNiMo4
				02.1	4340	1.6582	35CrNiMo6
				02.1	5132	1.7033	34Cr4
				02.1	5140	1.7035	41Cr4
				02.1	5115	1.7131	16MnCr5
				02.1	4130	1.7218	25CrMo4
				02.1	4137 ; 4135	1.7220	34CrMo4
				02.1	4140 ; 4142	1.7223	41CrMo4
				02.1	4140	1.7225	42CrMo4
				02.1	-	1.7361	32CrMo12
				02.1	6150	1.8159	50CrV4
				02.1	-	1.8509	41CrAlMo7
				02.1	L3	1.2067	100Cr6
				02.1	-	1.2419	105WCr6
				02.1	L6	1.2713	55NiCrMoV6
			sertleştirilmiş ve temperlenmiş	02.2	3135	1.5710	36NiCr6
				02.2	3415	1.5732	14NiCr10
				02.2	3415 ; 3310	1.5752	14NiCr14
				02.2	9255	1.0904	55Si7
				02.2	9840	1.6511	36CrNiMo4
				02.2	4340	1.6582	35CrNiMo6
				02.2	5132	1.7033	34Cr4
				02.2	5140	1.7035	41Cr4
				02.2	5115	1.7131	16MnCr5
				02.2	4130	1.7218	25CrMo4
				02.2	4137 ; 4135	1.7220	34CrMo4
				02.2	4140 ; 4142	1.7223	41CrMo4
				02.2	4140	1.7225	42CrMo4
				02.2	-	1.7361	32CrMo12
				02.2	6150	1.8159	50CrV4
				02.2	-	1.8509	41CrAlMo7
				02.2	L3	1.2067	100Cr6
				02.2	-	1.2419	105WCr6
				02.2	L6	1.2713	55NiCrMoV6
		Yüksek Alaşımlı	ısıl işlem görmüş	03.11	ASTM A353	1.5662	X8Ni9
				03.11	2515	1.5680	12Ni19
				03.11	-	1.6657	14NiCrMo134
				03.11	D3	1.2080	X210Cr12
				03.11	-	1.2083	-
				03.11	H13	1.2344	X40CrMoV5 1
				03.11	A2	1.2363	X100CrMoV5 1
				03.11	-	1.2436	X210CrW12
				03.11	S1	1.2542	45WCrV7
				03.11	H21	1.2581	X30WCrV9 3 ; X30WCrV9 3KU
				03.11	-	1.2601	X165CrMoV 12
				03.11	HW3	1.4718	X45GrSi93
				03.11	D3	1.3343	S6-5-2
			serleştirilmiş takım çeliği	03.13	M2	1.3343	S6/5/2
				03.13	M35	1.3243	S6/5/2/5
				03.13	M7	1.3348	S2/9/2
				03.21	HNV3	1.2379	X210Cr12 G
		Çelik Döküm	Alaşımsız	06.1	-	-	-
			Düşük Alaşımlı(Alaşım elementi ≤%5)	06.2	-	-	-
			Yüksek Alaşımlı(Alaşım elementi >%5)	06.33	-	1.3401	G-X120Mn12

ISO	Malzeme			CMC	AISI/SAE	W.-nr.	DIN
M	Paslanmaz Çelikler	Ferritik-Martenzitik	Sertleştirilmemiş	05.11	403	1.4000 ; 1.4001	X7Cr13 ; X7Cr14
				05.11	416	1.4005	X12CrS13
				05.11	430	1.4016	X8Cr17
				05.11	410	1.4006	X10Cr13
				05.11	430	-	X8Cr17
				05.11	-	1.4034	X46Cr13
				05.11	405	1.4002	-
				05.11	420	1.4021	-
				05.11	431	1.4057	X22CrNi17
				05.11	430F	1.4104	X12CrMoS17
				05.11	434	1.4113	X6CrMo17
				05.11	CA6-NM	1.4313	X5CrNi13 4
				05.11	405	1.4724	X10CrA113
				05.11	430	1.4742	X10CrA118
				05.11	HNV6	1.4747	X80CrNiSi20
				05.11	446	1.4762	X10CrA124
				05.11	EV8	1.4871	X53CrMnNiN21 9
				05.11	S44400	1.4521	X1CrMoTi18 2
				05.11	-	1.4922	X20CrMoV12-1
				15.11	403	1.4000 ; 1.4001	X7Cr13 ; X7Cr14
				15.11	416	1.4005	X12CrS13
				15.11	430	1.4016	X8Cr17
				15.11	410	1.4006	X10Cr13
				15.11	430	-	X8Cr17
				15.11	-	1.4034	X46Cr13
				15.11	405	1.4002	-
				15.11	420	1.4021	-
				15.11	431	1.4057	X22CrNi17
				15.11	430F	1.4104	X12CrMoS17
				15.11	434	1.4113	X6CrMo17
				15.11	CA6-NM	1.4313	X5CrNi13 4
				15.11	405	1.4724	X10CrA113
				15.11	430	1.4742	X10CrA118
				15.11	HNV6	1.4747	X80CrNiSi20
				15.11	446	1.4762	X10CrA124
				15.11	EV8	1.4871	X53CrMnNiN21 9
				15.11	S44400	1.4521	X1CrMoTi18 2
				15.11	-	1.4922	X20CrMoV12-1
			PH Sertleştirilmiş	05.12	630	1.4542 ; 1.4548	-
				15.12	630	1.4542 ; 1.4548	-
			Sertleştirilmiş	05.13	-	-	-
		Ostenitik	Sertleştirilmemiş DÖVÜLMÜŞ	05.21	304L	1.4306	-
				05.21	304	1.4350	X5CrNi189
				05.21	303	1.4305	X12CrNiS18 8
				05.21	304	1.4301	X5CrNi189
				05.21	304L	1.4306	X2CrNi18 9
				05.21	301	1.4310	X12CrNi17 7
				05.21	304LN	1.4311	X2CrNiN18 10
				05.21	316	1.4401	X5CrNiMo18 10
				05.21	316LN	1.4429	X2CrNiMoN18 13
				05.21	316L	1.4404	-
				05.21	316L	1.4435	X2CrNiMo18 12
				05.21	316	1.4436	-
				05.21	317L	1.4438	X2CrNiMo18 16
				05.21	UNS V 0890A	1.4539	X1NiCrMo
				05.21	321	1.4541	X10CrNiTi18 9
				05.21	347	1.4550	X10CrNiNb18 9
				05.21	316Tİ	1.4571	X10CrNiMoTi18 10
				05.21	318	1.4583	X10CrNiMoNb18 12
				05.21	309	1.4828	X15CrNiSi20 12
				05.21	310S	1.4845	X12CrNi25 21
				05.21	308	1.4406	X10CrNi18 08
			OSTENİTİK DÖKÜM	15.21	304L	1.4306	-
				15.21	304	1.4350	X5CrNi189
				15.21	303	1.4305	X12CrNiS18 8
				15.21	304	1.4301	X5CrNi189
				15.21	304L	1.4306	X2CrNi18 9
				15.21	301	1.4310	X12CrNi17 7
				15.21	304LN	1.4311	X2CrNiN18 10
				15.21	316	1.4401	X5CrNiMo18 10
				15.21	316LN	1.4429	X2CrNiMoN18 13
				15.21	316L	1.4404	-
				15.21	316L	1.4435	X2CrNiMo18 12
				15.21	316	1.4436	-
				15.21	317L	1.4438	X2CrNiMo18 16
				15.21	UNS V 0890A	1.4539	X1NiCrMo
				15.21	321	1.4541	X10CrNiTi18 9
				15.21	347	1.4550	X10CrNiNb18 9
				15.21	316Tİ	1.4571	X10CrNiMoTi18 10
				15.21	318	1.4583	X10CrNiMoNb18 12
				15.21	309	1.4828	X15CrNiSi20 12
				15.21	310S	1.4845	X12CrNi25 21
				15.21	308	1.4406	X10CrNi18 08
				15.21	-	1.4418	X4CrNiMo16 5
			PH Sertleştirilmiş DÖVÜLMÜŞ	05.22	17-7PH	1.4568	-
			PH Sertleştirilmiş DÖKÜM	15.22	17-7PH	1.4568	-
		Ostenitik-Ferritik (Duplex)	Kaynaklanamaz ≥0,05%C DÖVÜLMÜŞ	05.51	S31500	1.4417	X2CrNiMoSi19 5
				05.51	S32900	-	X3CrNiMo27 5
			Kaynaklanamaz ≥0,05%C DÖKÜM	15.51	S31500	-	X2CrNiMoSi19 5
				15.51	S32900	1.4417	X3CrNiMo27 5
			Kaynaklanabilir <0,05%C DÖVÜLMÜŞ	05.52	S32304	-	X2CrNiN23 4
				05.52	-	-	-
				05.52	S31803	-	X2CrNiMoN22 53
			Kaynaklanabilirz <0,05%C DÖKÜM	15.52	S32304	-	X2CrNiN23 4
				15.52	-	-	-
				15.52	S31803	-	X2CrNiMoN22 53

ISO	Malzeme			CMC	AISI/SAE	W.-nr.	DIN
K	Dökme Demirler	Dövülebilir	Ferritik(Kısa Talaşlı)	07.1	-	-	-
				07.1	32510	-	GTS-35
			Perlitik(Uzun Talaşlı)	07.2	40010	0.8145	GTS-45
				07.2	50005 ; 70003	0.8155	GTS-55 ; GTS65
				07.2	A220-70003	0.8165	GTS-65-02
		Gri Dökme Demir	Düşük Çekme Dayanımı	08.1	-	-	-
				08.1	No 20B	-	GG10
				08.1	No 25B	0.6015	GG15
				08.1	No 30B	0.6020	GG20
			Yüksek Çekme Dayanımı	08.2	No 35B ; No 40B	0.6025	GG25
				08.2	No 45B	0.6030	GG 30
				08.2	No 50B	0.6035	GG 35
				08.2	No 55B	0.6040	GG 40
		Düğümlü	Ferritik	09.1	60-40-18	0.7040	GGG 40
				09.1	-	-	GGG 40.3
				09.1	-	0.7033	GGG 35.3
				09.1	80-55-06	0.7050	GGG 50
				09.1	A43D2	0.7660	GGG-NiCr202
			Perlitik	09.2	-	-	GGG 60
				09.2	100-70-03	0.7070	GGG 70

ISO	Malzeme			CMC	AISI/SAE	W.-nr.	DIN
N	Alüminyum ve Diğer Alaşımlar	Alüminyum Alaşımı	Dövülmüş yada Dövülerek Soğuk İşlenmiş Yaşlandırılmamış	30.11	-	-	-
			Dövülmüş yada Dövülüp Yaşlandırılmış	30.12	-	-	-
		Alüminyum Alaşımı	Döküm Halde, Yaşlandırılmamış	30.21	SC64D	3.2373	G-AlSi9MgWA
				30.21	GD-AlSi12	-	G-AlMg5
				30.21	356.1	-	-
			Döküm Halde yada Döküm Halde Yaşlandırılmış	30.22	356.1	-	-
		Alüminyum Alaşımı	Al > %99	30.3	-	-	-
		Alüminyum Alaşımı	Döküm Halde, %13-15 Si içeren	30.41	-	-	-
			Döküm Halde, %16-22 Si içeren	30.42	-	-	-
		Bakır Alaşımı	Serbest Kesme Alaşımları, ≥%1 Pb içeren	33.1	-	-	-
			Pirinç, Kurşunlu bronzlar, ≤%1 Pb içeren	33.2	-	-	-
			Bronz ve kurşunsuz bakır içeren elektrolitik bakır	33.3	-	-	-

ISO	Malzeme			CMC	AISI/SAE	W.-nr.	DIN
S	Isıya Dayanıklık Süper Alaşımlar	Demir Bazlı	Isıl İşlem Görmüş yada Çözeltide İşlem Görmüş	20.11	330	1.4864	X12NiCrSi36 16
				20.11	-	1.4865	G-X40NiCrSi38 18
			Yaşlandırılmış yada Çözeltide İşlem Görmüş ve Yaşlandırılmış	20.12	-	-	-
		Nikel Bazlı	Isıl İşlem Görmüş yada Çözeltide İşlem Görmüş	20.21	5390A	2.4603	-
				20.21	5666	2.4856	NiCr22Mo9Nb
				20.21	-	2.4630	NiCr20Ti
			Yaşlandırılmış yada Çözeltide İşlem Görmüş ve Yaşlandırılmış	20.22	5660	LW2.4662	NiFe35Cr14MoTi
				20.22	5391	LW2.4670	S-NiCr13A16MoNb
				20.22	5383	LW2.4668	NiCr19Fe19NbMo
				20.22	4676	2.4375	NiCu30Al
				20.22	-	2.4631	NiCr20TiAk
				20.22	AMS 5399	2.4973	NiCr19Co11MoTi
				20.22	AMS 5544	LW2.4668	NiCr19Fe19NbMo
			Döküm Halde yada Döküm Halde Yaşlandırılmış	20.24	AMS 5397	LW2.4674	NiCo15Cr10MoAlTi
		Kobalt Bazlı	Isıl İşlem Görmüş yada Çözeltide İşlem Görmüş	20.31	-	-	-
			Yaşlandırılmış yada Çözeltide İşlem Görmüş ve Yaşlandırılmış	20.32	5537C	LW2.4964	CoCr20W15Ni
			Döküm Halde yada Döküm Halde Yaşlandırılmış	20.33	-	-	-
		Titanyum Alaşımlar	Ticari Saflıkta (%99,5 Ti)	23.1	-	-	-
			α, α ya yakın ve α+β alaşımları, ısıl işlem görmüş ve yaşlandırılmış	23.21	-	-	-
			α+β alaşımları yaşlandırılmış şartlarda β alaşımları ısıl işlem görmüş ve yaşlandırılmış	23.22	AMS R54520	-	TiAl5Sn2.5
				23.22	AMS R56400	-	TiAl6V4
				23.22	AMS R56401	-	TiAl6V4ELI
				23.22	-	-	TiAl4Mo4Sn4Si0.5

ISO	Malzeme			CMC	AISI/SAE	W.-nr.	DIN
H	Sertleştirilmiş Çelikler	Ekstra Sert Çelikler	sertleştirilmiş ve temperlenmiş	04.1	440A	1.4108	X100CrMo13
				04.1	610	1.4111	X110CrMoV15
				04.1	0-2	-	X65CrMo14
		soğuk dökme demir	Döküm Halde yada Döküm Halde Yaşlandırılmış	10.1	-	-	-

EK-2 TAKIM UYGUNLUK TABLOSU

No	Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Takım Durumu
1	0	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	3	40,84	0,40	13520	Uygun.
2	0	Takm: Takm 8mm D: 8	0,010	17	14,99	0,49	4580	Uygun.
3	0	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	25	10,01	0,76	3824	Uygun.
4	0	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	36	8,42	0,95	3324	Uygun.
5	0	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	84	4,94	1,62	2499	Uygun.
6	0	Takm: Takm 20mm D: 20	0,066	117	3,74	2,08	1943	Kalnt alan toleransndan büyük.
7	0	Takm: Takm 25mm D: 25	0,121	215	1,35	6,11	1651	Kalnt alan toleransndan büyük.
8	0	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,048	85	3,76	0,00	1951	
9	0	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,048	85	1,40	0,00	1676	
10	1	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	4	18,14	0,40	6005	Uygun.
11	1	Takm: Takm 8mm D: 8	0,010	17	14,91	0,49	4557	Uygun.
12	1	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	25	20,90	0,76	7981	Uygun.
13	1	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	34	8,16	0,95	3222	Uygun.
14	1	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	82	4,87	1,62	2463	Uygun.
15	1	Takm: Takm 20mm D: 20	0,067	117	3,69	2,08	1915	Kalnt alan toleransndan büyük.
16	1	Takm: Takm 25mm D: 25	0,123	215	1,34	6,11	1644	Kalnt alan toleransndan büyük.
17	1	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,048	85	3,70	0,00	1923	
18	1	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,048	85	1,39	0,00	1668	
19	2	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	4	17,61	0,40	5831	Uygun.
20	2	Takm: Takm 8mm D: 8	0,010	17	14,85	0,49	4539	Uygun.
21	2	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	25	19,88	0,76	7595	Uygun.
22	2	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	34	8,07	0,95	3185	Uygun.
23	2	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	82	4,46	1,62	2256	Uygun.
24	2	Takm: Takm 20mm D: 20	0,068	117	3,58	2,08	1860	Kalnt alan toleransndan büyük.
25	2	Takm: Takm 25mm D: 25	0,123	214	1,34	6,11	1640	Kalnt alan toleransndan büyük.
26	2	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,60	0,00	1868	
27	2	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,39	0,00	1665	
28	3	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	4	17,57	0,40	5816	Uygun.
29	3	Takm: Takm 8mm D: 8	0,009	16	14,74	0,49	4503	Uygun.
30	3	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	24	20,18	0,76	7710	Uygun.
31	3	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	34	7,97	0,95	3144	Uygun.
32	3	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	82	4,45	1,62	2251	Uygun.
33	3	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,54	2,08	1839	Kalnt alan toleransndan büyük.
34	3	Takm: Takm 25mm D: 25	0,122	210	1,32	6,11	1618	Kalnt alan toleransndan büyük.
35	3	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,56	0,00	1848	
36	3	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,37	0,00	1643	
37	4	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	4	17,97	0,40	5950	Uygun.
38	4	Takm: Takm 8mm D: 8	0,010	17	35,07	0,49	10718	Uygun.
39	4	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	24	9,97	0,76	3809	Uygun.
40	4	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	34	7,95	0,95	3138	Uygun.
41	4	Takm: Takm 16mm D: 16	0,047	82	4,44	1,62	2248	Uygun.
42	4	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,53	2,08	1834	Kalnt alan toleransndan büyük.
43	4	Takm: Takm 25mm D: 25	0,122	210	1,32	6,11	1615	Kalnt alan toleransndan büyük.
44	4	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,55	0,00	1843	
45	4	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,37	0,00	1640	
46	5	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	4	17,95	0,40	5942	Uygun.
47	5	Takm: Takm 8mm D: 8	0,010	17	32,59	0,49	9960	Uygun.
48	5	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	23	9,89	0,76	3779	Uygun.
49	5	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	35	7,94	0,95	3135	Uygun.
50	5	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,44	1,62	2245	Uygun.
51	5	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,52	2,08	1831	Kalnt alan toleransndan büyük.
52	5	Takm: Takm 25mm D: 25	0,123	211	1,36	6,11	1660	Kalnt alan toleransndan büyük.
53	5	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,54	0,00	1840	
54	5	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,41	0,00	1685	
55	6	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	3	17,93	0,40	5936	Uygun.
56	6	Takm: Takm 8mm D: 8	0,009	16	32,54	0,49	9943	Uygun.
57	6	Takm: Takm 10mm D: 10	0,013	23	9,88	0,76	3775	Uygun.
58	6	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	34	7,93	0,95	3132	Uygun.
59	6	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
60	6	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,52	2,08	1830	Kalnt alan toleransndan büyük.
61	6	Takm: Takm 25mm D: 25	0,122	210	1,36	6,11	1660	Kalnt alan toleransndan büyük.
62	6	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,54	0,00	1839	
63	6	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,41	0,00	1685	
64	7	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	3	17,93	0,40	5936	Uygun.
65	7	Takm: Takm 8mm D: 8	0,009	16	32,54	0,49	9943	Uygun.
66	7	Takm: Takm 10mm D: 10	0,013	23	9,88	0,76	3775	Uygun.
67	7	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	34	7,93	0,95	3132	Uygun.
68	7	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
69	7	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,52	2,08	1830	Kalnt alan toleransndan büyük.
70	7	Takm: Takm 25mm D: 25	0,122	210	1,36	6,11	1660	Kalnt alan toleransndan büyük.
71	7	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,54	0,00	1839	
72	7	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,41	0,00	1685	
73	8	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	3	17,93	0,40	5936	Uygun.
74	8	Takm: Takm 8mm D: 8	0,009	16	32,54	0,49	9943	Uygun.
75	8	Takm: Takm 10mm D: 10	0,013	23	9,88	0,76	3775	Uygun.
76	8	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	34	7,93	0,95	3132	Uygun.
77	8	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
78	8	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,52	2,08	1830	Kalnt alan toleransndan büyük.
79	8	Takm: Takm 25mm D: 25	0,122	210	1,36	6,11	1660	Kalnt alan toleransndan büyük.
80	8	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,54	0,00	1839	
81	8	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,41	0,00	1685	

No	Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Takım Durumu
82	9	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	3	17,93	0,40	5936	Uygun.
83	9	Takm: Takm 8mm D: 8	0,009	16	32,58	0,49	9956	Uygun.
84	9	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	23	9,88	0,76	3775	Uygun.
85	9	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	35	7,93	0,95	3132	Uygun.
86	9	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
87	9	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,52	2,08	1830	Kalnt alan toleransndan büyük.
88	9	Takm: Takm 25mm D: 25	0,123	211	1,36	6,11	1660	Kalnt alan toleransndan büyük.
89	9	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,54	0,00	1839	
90	9	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,41	0,00	1685	
91	10	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	3	17,93	0,40	5936	Uygun.
92	10	Takm: Takm 8mm D: 8	0,009	16	32,50	0,49	9930	Uygun.
93	10	Takm: Takm 10mm D: 10	0,013	23	9,89	0,76	3777	Uygun.
94	10	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	34	7,93	0,95	3132	Uygun.
95	10	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2244	Uygun.
96	10	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,52	2,08	1830	Kalnt alan toleransndan büyük.
97	10	Takm: Takm 25mm D: 25	0,122	210	1,36	6,11	1660	Kalnt alan toleransndan büyük.
98	10	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,54	0,00	1839	
99	10	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,41	0,00	1685	
100	11	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	3	17,92	0,40	5932	Uygun.
101	11	Takm: Takm 8mm D: 8	0,009	16	32,45	0,49	9915	Uygun.
102	11	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	23	19,78	0,76	7555	Uygun.
103	11	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	35	7,93	0,95	3130	Uygun.
104	11	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2243	Uygun.
105	11	Takm: Takm 20mm D: 20	0,070	121	3,52	2,08	1829	Kalnt alan toleransndan büyük.
106	11	Takm: Takm 25mm D: 25	0,123	211	1,36	6,11	1658	Kalnt alan toleransndan büyük.
107	11	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	85	3,54	0,00	1839	
108	11	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	85	1,41	0,00	1683	
109	12	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	4	17,82	0,40	5900	Uygun.
110	12	Takm: Takm 8mm D: 8	0,010	16	32,87	0,49	10045	Uygun.
111	12	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	23	9,72	0,76	3712	Uygun.
112	12	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	35	7,92	0,95	3126	Uygun.
113	12	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,43	1,62	2241	Uygun.
114	12	Takm: Takm 20mm D: 20	0,071	121	3,52	2,08	1827	Kalnt alan toleransndan büyük.
115	12	Takm: Takm 25mm D: 25	0,123	211	1,35	6,11	1655	Kalnt alan toleransndan büyük.
116	12	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,050	85	3,54	0,00	1837	
117	12	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,050	85	1,40	0,00	1679	
118	13	Takm: Takm 6mm D: 6	0,002	3	17,77	0,40	5884	Uygun.
119	13	Takm: Takm 8mm D: 8	0,009	16	31,79	0,49	9714	Uygun.
120	13	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	23	9,63	0,76	3679	Uygun.
121	13	Takm: Takm 12mm D: 12	0,020	35	7,90	0,95	3120	Uygun.
122	13	Takm: Takm 16mm D: 16	0,048	82	4,42	1,62	2237	Uygun.
123	13	Takm: Takm 20mm D: 20	0,071	121	3,51	2,08	1824	Kalnt alan toleransndan büyük.
124	13	Takm: Takm 25mm D: 25	0,123	211	1,35	6,11	1651	Kalnt alan toleransndan büyük.
125	13	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,050	85	3,53	0,00	1833	
126	13	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,050	85	1,40	0,00	1675	
127	14	Takm: Takm 6mm D: 6	0,003	5	17,74	0,40	5874	Uygun.
128	14	Takm: Takm 8mm D: 8	0,010	17	31,76	0,49	9707	Uygun.
129	14	Takm: Takm 10mm D: 10	0,014	25	9,51	0,76	3633	Uygun.
130	14	Takm: Takm 12mm D: 12	0,021	36	7,88	0,95	3109	Uygun.
131	14	Takm: Takm 16mm D: 16	0,050	84	4,41	1,62	2231	Uygun.
132	14	Takm: Takm 20mm D: 20	0,073	123	3,50	2,08	1819	Kalnt alan toleransndan büyük.
133	14	Takm: Takm 25mm D: 25	0,126	213	1,34	6,11	1642	Kalnt alan toleransndan büyük.
134	14	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,051	87	3,52	0,00	1829	
135	14	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,051	87	1,39	0,00	1668	
136	15	Takm: Takm 6mm D: 6	0,005	7	33,01	0,40	10928	Uygun.
137	15	Takm: Takm 8mm D: 8	0,019	28	26,52	0,49	8105	Uygun.
138	15	Takm: Takm 10mm D: 10	0,027	39	8,39	0,76	3206	Uygun.
139	15	Takm: Takm 12mm D: 12	0,036	53	7,11	0,95	2808	Uygun.
140	15	Takm: Takm 16mm D: 16	0,077	112	4,10	1,62	2075	Kalnt alan toleransndan büyük.
141	15	Takm: Takm 20mm D: 20	0,108	158	3,35	2,08	1739	Kalnt alan toleransndan büyük.
142	15	Takm: Takm 25mm D: 25	0,184	269	2,00	6,11	2449	Kalnt alan toleransndan büyük.
143	15	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,037	55	4,15	0,00	2093	
144	15	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,037	55	3,42	0,00	1768	
145	15	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,037	55	2,15	0,00	2507	
146	16	Takm: Takm 6mm D: 6	0,007	7	34,87	0,40	11542	Uygun.
147	16	Takm: Takm 8mm D: 8	0,024	23	25,60	0,49	7823	Uygun.
148	16	Takm: Takm 10mm D: 10	0,036	34	5,40	0,76	2063	Uygun.
149	16	Takm: Takm 12mm D: 12	0,049	46	8,42	0,95	3323	Uygun.
150	16	Takm: Takm 16mm D: 16	0,098	92	2,77	1,62	1399	Kalnt alan toleransndan büyük.
151	16	Takm: Takm 20mm D: 20	0,140	131	2,86	2,08	1484	Kalnt alan toleransndan büyük.
152	16	Takm: Takm 25mm D: 25	0,220	206	0,88	6,11	1077	Kalnt alan toleransndan büyük.
153	16	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,050	47	2,81	0,00	1416	
154	16	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,050	47	2,93	0,00	1513	
155	16	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,051	48	1,00	0,00	1122	

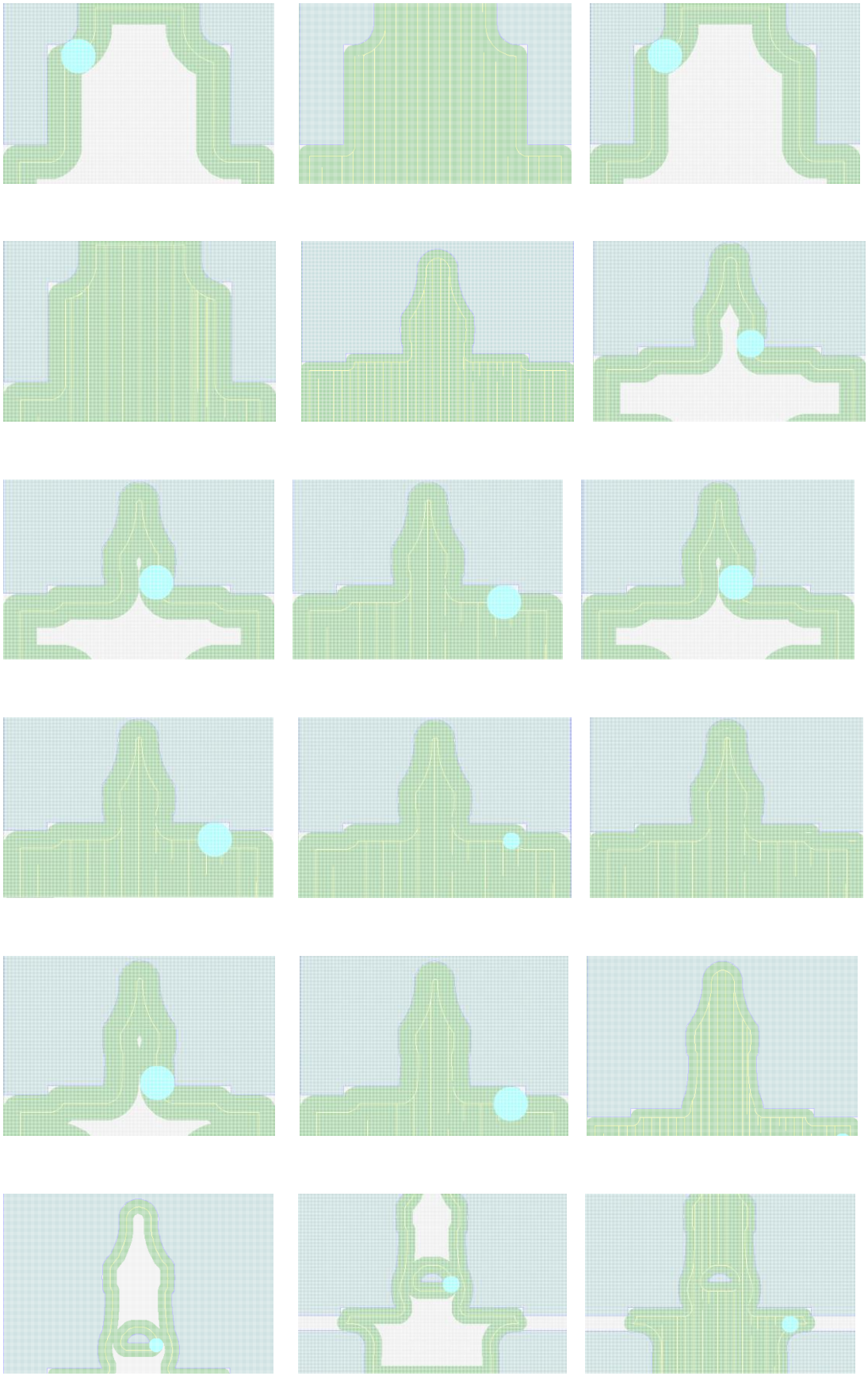
No	Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Takım Durumu
156	17	Takm: Takm 6mm D: 6	0,009	8	38,54	0,40	12757	Uygun.
157	17	Takm: Takm 8mm D: 8	0,025	22	22,96	0,49	7017	Uygun.
158	17	Takm: Takm 10mm D: 10	0,035	31	5,20	0,76	1987	Uygun.
159	17	Takm: Takm 12mm D: 12	0,047	42	8,14	0,95	3214	Uygun.
160	17	Takm: Takm 16mm D: 16	0,102	90	2,66	1,62	1348	Kalnt alan toleransndan büyük.
161	17	Takm: Takm 20mm D: 20	0,141	124	2,65	2,08	1377	Kalnt alan toleransndan büyük.
162	17	Takm: Takm 25mm D: 25	0,227	200	0,84	6,11	1023	Kalnt alan toleransndan büyük.
163	17	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,049	43	2,71	0,00	1364	
164	17	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,049	43	2,72	0,00	1404	
165	17	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,049	43	0,95	0,00	1066	
166	18	Takm: Takm 6mm D: 6	0,009	8	33,34	0,40	11036	Uygun.
167	18	Takm: Takm 8mm D: 8	0,028	23	22,27	0,49	6804	Uygun.
168	18	Takm: Takm 10mm D: 10	0,038	31	5,00	0,76	1912	Uygun.
169	18	Takm: Takm 12mm D: 12	0,052	43	7,69	0,95	3035	Kalnt alan toleransndan büyük.
170	18	Takm: Takm 16mm D: 16	0,110	90	2,57	1,62	1301	Kalnt alan toleransndan büyük.
171	18	Takm: Takm 20mm D: 20	0,149	123	2,47	2,08	1285	Kalnt alan toleransndan büyük.
172	18	Takm: Takm 25mm D: 25	0,249	205	0,80	6,11	979	Kalnt alan toleransndan büyük.
173	18	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 12mm D: 12	0,052	43	7,69	0,00	3035	
174	18	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 16mm D: 16	0,037	31	2,63	0,00	1323	
175	18	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 20mm D: 20	0,037	31	2,55	0,00	1316	
176	18	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 25mm D: 25	0,038	31	0,95	0,00	1036	
177	19	Takm: Takm 6mm D: 6	0,009	7	45,01	0,40	14901	Uygun.
178	19	Takm: Takm 8mm D: 8	0,028	22	21,50	0,49	6571	Uygun.
179	19	Takm: Takm 10mm D: 10	0,039	30	15,54	0,76	5937	Uygun.
180	19	Takm: Takm 12mm D: 12	0,052	40	7,28	0,95	2874	Kalnt alan toleransndan büyük.
181	19	Takm: Takm 16mm D: 16	0,114	88	2,44	1,62	1234	Kalnt alan toleransndan büyük.
182	19	Takm: Takm 20mm D: 20	0,159	122	2,21	2,08	1148	Kalnt alan toleransndan büyük.
183	19	Takm: Takm 25mm D: 25	0,259	199	0,70	6,11	853	Kalnt alan toleransndan büyük.
184	19	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 12mm D: 12	0,052	40	7,28	0,00	2874	
185	19	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 16mm D: 16	0,039	30	2,50	0,00	1258	
186	19	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 20mm D: 20	0,039	30	2,30	0,00	1181	
187	19	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 25mm D: 25	0,039	30	0,85	0,00	912	
188	20	Takm: Takm 6mm D: 6	0,009	7	44,46	0,40	14718	Uygun.
189	20	Takm: Takm 8mm D: 8	0,029	21	24,86	0,49	7598	Uygun.
190	20	Takm: Takm 10mm D: 10	0,042	30	4,64	0,76	1773	Uygun.
191	20	Takm: Takm 12mm D: 12	0,058	41	7,23	0,95	2852	Kalnt alan toleransndan büyük.
192	20	Takm: Takm 16mm D: 16	0,124	88	2,26	1,62	1144	Kalnt alan toleransndan büyük.
193	20	Takm: Takm 20mm D: 20	0,171	121	3,28	2,08	1705	Kalnt alan toleransndan büyük.
194	20	Takm: Takm 25mm D: 25	0,280	199	0,84	6,11	1029	Kalnt alan toleransndan büyük.
195	20	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 12mm D: 12	0,058	41	7,23	0,00	2852	
196	20	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 16mm D: 16	0,042	30	2,32	0,00	1167	
197	20	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 20mm D: 20	0,042	30	3,37	0,00	1737	
198	20	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 25mm D: 25	0,041	29	0,99	0,00	1087	
199	21	Takm: Takm 6mm D: 6	0,009	6	43,51	0,40	14403	Uygun.
200	21	Takm: Takm 8mm D: 8	0,031	20	19,94	0,49	6095	Uygun.
201	21	Takm: Takm 10mm D: 10	0,043	28	11,62	0,76	4437	Uygun.
202	21	Takm: Takm 12mm D: 12	0,059	38	11,26	0,95	4446	Kalnt alan toleransndan büyük.
203	21	Takm: Takm 16mm D: 16	0,133	87	2,12	1,62	1075	Kalnt alan toleransndan büyük.
204	21	Takm: Takm 20mm D: 20	0,188	123	1,74	2,08	904	Kalnt alan toleransndan büyük.
205	21	Takm: Takm 25mm D: 25	2,114	1381	0,62	6,11	759	Kalnt alan toleransndan büyük.
206	21	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 12mm D: 12	0,059	38	11,26	0,00	4446	
207	21	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 16mm D: 16	0,043	28	2,18	0,00	1098	
208	21	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 20mm D: 20	0,043	28	1,83	0,00	938	
209	21	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 25mm D: 25	0,043	28	1,09	0,00	937	
210	22	Takm: Takm 6mm D: 6	0,068	40	20,37	0,40	6744	Kalnt alan toleransndan büyük.
211	22	Takm: Takm 8mm D: 8	0,042	25	9,57	0,49	2924	Uygun.
212	22	Takm: Takm 10mm D: 10	0,059	35	3,82	0,76	1460	Kalnt alan toleransndan büyük.
213	22	Takm: Takm 12mm D: 12	1,168	683	3,31	0,95	1306	Kalnt alan toleransndan büyük.
214	22	Takm: Takm 16mm D: 16	1,305	763	1,93	1,62	975	Kalnt alan toleransndan büyük.
215	22	Takm: Takm 20mm D: 20	1,778	1040	2,02	2,08	1050	Kalnt alan toleransndan büyük.
216	22	Takm: Takm 25mm D: 25	2,474	1447	0,42	6,11	519	Kalnt alan toleransndan büyük.
217	22	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 10mm D: 10	0,042	25	3,84	0,00	1466	
218	22	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 12mm D: 12	0,042	24	3,73	0,00	1434	
219	22	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 16mm D: 16	0,042	25	2,43	0,00	1129	
220	22	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 20mm D: 20	0,042	25	2,68	0,00	1251	
221	22	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 25mm D: 25	0,042	25	1,77	0,00	930	
222	23	Takm: Takm 6mm D: 6	0,015	8	13,67	0,40	4525	Uygun.
223	23	Takm: Takm 8mm D: 8	0,063	32	9,43	0,49	2882	Kalnt alan toleransndan büyük.
224	23	Takm: Takm 10mm D: 10	0,371	186	4,23	0,76	1616	Kalnt alan toleransndan büyük.
225	23	Takm: Takm 12mm D: 12	0,484	243	2,73	0,95	1079	Kalnt alan toleransndan büyük.
226	23	Takm: Takm 16mm D: 16	0,640	322	1,94	1,62	981	Kalnt alan toleransndan büyük.
227	23	Takm: Takm 20mm D: 20	1,515	761	1,56	2,08	812	Kalnt alan toleransndan büyük.
228	23	Takm: Takm 25mm D: 25	2,631	1322	0,38	6,11	468	Kalnt alan toleransndan büyük.
229	23	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 8mm D: 8	0,020	10	9,49	0,00	2902	
230	23	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 10mm D: 10	0,015	7	4,38	0,00	1665	
231	23	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 12mm D: 12	0,015	7	2,93	0,00	1145	
232	23	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 16mm D: 16	0,015	7	2,21	0,00	1072	
233	23	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 20mm D: 20	0,015	8	3,47	0,00	1443	
234	23	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 25mm D: 25	0,016	8	3,45	0,00	1483	
235	23	Takm: Takm 20mm D: 20 Takm: Takm 25mm D: 25	0,015	8	2,38	0,00	1150	
236	24	Takm: Takm 6mm D: 6	0,053	22	5,41	0,40	1792	Kalnt alan toleransndan büyük.
237	24	Takm: Takm 8mm D: 8	0,095	40	4,32	0,49	1319	Kalnt alan toleransndan büyük.
238	24	Takm: Takm 10mm D: 10	0,112	46	2,79	0,76	1065	Kalnt alan toleransndan büyük.
239	24	Takm: Takm 12mm D: 12	0,153	64	2,34	0,95	925	Kalnt alan toleransndan büyük.
240	24	Takm: Takm 16mm D: 16	0,348	145	1,40	1,62	711	Kalnt alan toleransndan büyük.
241	24	Takm: Takm 20mm D: 20	3,500	1456	0,64	2,08	333	Kalnt alan toleransndan büyük.
242	24	Takm: Takm 25mm D: 25	7,398	3077	0,19	6,11	235	Kalnt alan toleransndan büyük.

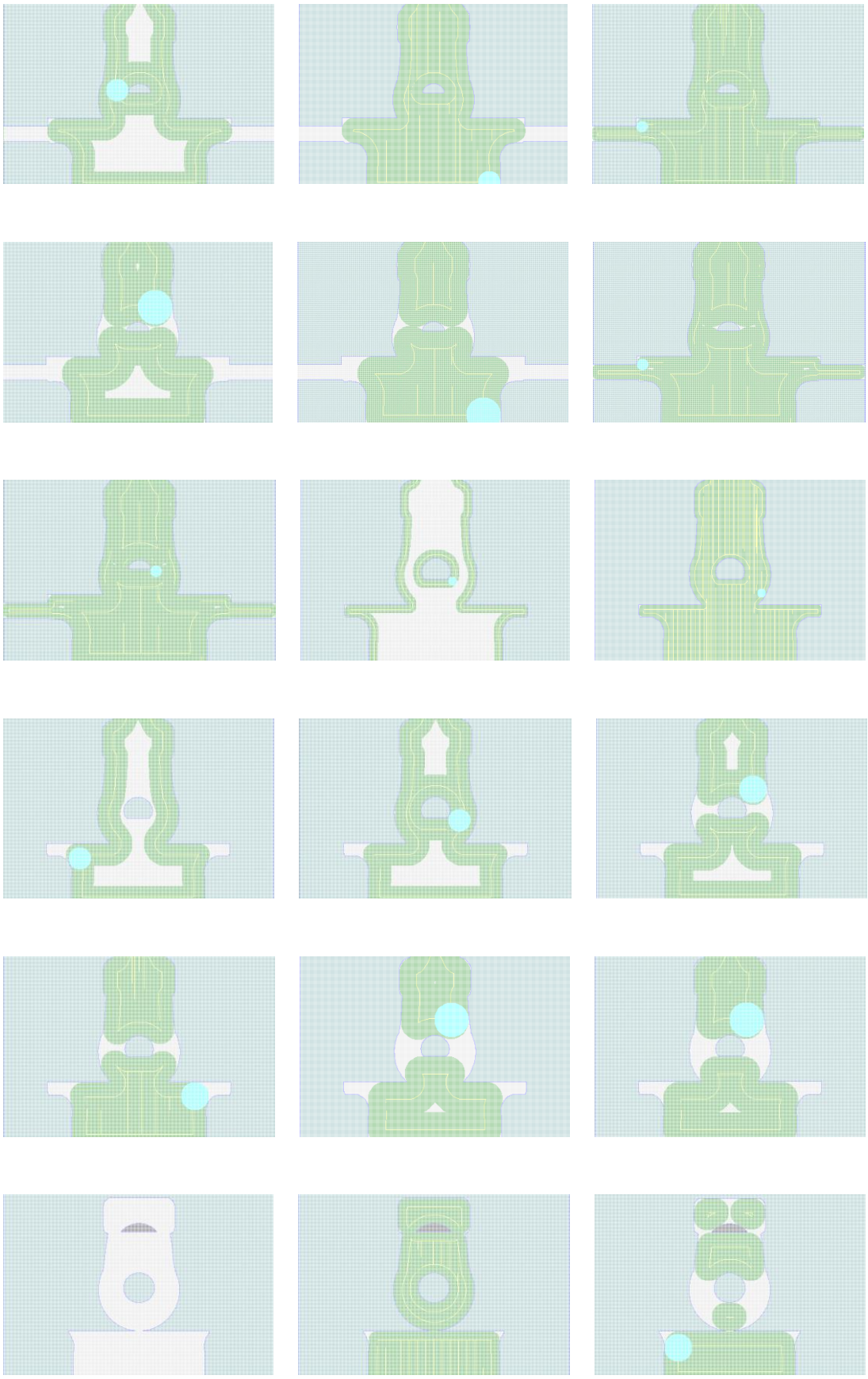
No	Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Takım Durumu
243	25	Takm: Takm 6mm D: 6	0,023	8	4,61	0,40	1528	Uygun.
244	25	Takm: Takm 8mm D: 8	0,072	25	3,69	0,49	1127	Kalnt alan toleransndan büyük.
245	25	Takm: Takm 10mm D: 10	0,090	32	2,33	0,76	891	Kalnt alan toleransndan büyük.
246	25	Takm: Takm 12mm D: 12	0,127	45	1,99	0,95	787	Kalnt alan toleransndan büyük.
247	25	Takm: Takm 16mm D: 16	0,328	115	1,11	1,62	560	Kalnt alan toleransndan büyük.
248	25	Takm: Takm 20mm D: 20	5,385	1892	0,53	2,08	277	Kalnt alan toleransndan büyük.
249	25	Takm: Takm 25mm D: 25	11,200	3934	0,13	6,11	157	Kalnt alan toleransndan büyük.
250	25	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 8mm D: 8	0,024	8	3,73	0,00	1142	
251	25	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 10mm D: 10	0,028	10	2,38	0,00	907	
252	25	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 12mm D: 12	0,024	8	2,06	0,00	810	
253	25	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 16mm D: 16	0,037	13	1,29	0,00	621	
254	25	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 20mm D: 20	0,048	17	2,58	0,00	953	
255	25	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 25mm D: 25	0,071	25	3,18	0,00	1169	
256	25	Takm: Takm 20mm D: 20 Takm: Takm 25mm D: 25	0,073	26	2,35	0,00	927	
257	26	Takm: Takm 6mm D: 6	0,027	8	4,23	0,40	1399	Uygun.
258	26	Takm: Takm 8mm D: 8	0,100	29	3,12	0,49	955	Kalnt alan toleransndan büyük.
259	26	Takm: Takm 10mm D: 10	0,131	39	1,93	0,76	737	Kalnt alan toleransndan büyük.
260	26	Takm: Takm 12mm D: 12	0,188	55	1,53	0,95	604	Kalnt alan toleransndan büyük.
261	26	Takm: Takm 16mm D: 16	0,408	120	1,00	1,62	506	Kalnt alan toleransndan büyük.
262	26	Takm: Takm 20mm D: 20	9,423	2775	0,34	2,08	175	Kalnt alan toleransndan büyük.
263	26	Takm: Takm 25mm D: 25	18,665	5496	0,01	6,11	7	Kalnt alan toleransndan büyük.
264	26	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 8mm D: 8	0,074	22	3,14	0,00	960	
265	26	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 10mm D: 10	0,057	17	1,97	0,00	752	
266	26	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 12mm D: 12	0,044	13	1,61	0,00	631	
267	26	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 16mm D: 16	0,050	15	1,17	0,00	562	
268	26	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 20mm D: 20	0,064	19	2,61	0,00	928	
269	26	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 25mm D: 25	0,080	24	3,87	0,00	1285	
270	26	Takm: Takm 20mm D: 20 Takm: Takm 25mm D: 25	0,083	24	2,57	0,00	913	
271	27	Takm: Takm 6mm D: 6	0,022	4	2,52	0,40	833	Uygun.
272	27	Takm: Takm 8mm D: 8	0,073	14	1,71	0,49	524	Kalnt alan toleransndan büyük.
273	27	Takm: Takm 10mm D: 10	0,095	18	1,16	0,76	444	Kalnt alan toleransndan büyük.
274	27	Takm: Takm 12mm D: 12	0,111	22	1,07	0,95	423	Kalnt alan toleransndan büyük.
275	27	Takm: Takm 16mm D: 16	0,452	88	0,60	1,62	303	Kalnt alan toleransndan büyük.
276	27	Takm: Takm 20mm D: 20	13,543	2635	0,05	2,08	24	Kalnt alan toleransndan büyük.
277	27	Takm: Takm 25mm D: 25	17,106	3329	0,01	6,11	7	Kalnt alan toleransndan büyük.
278	27	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 8mm D: 8	0,042	8	1,73	0,00	529	
279	27	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 10mm D: 10	0,050	10	1,19	0,00	452	
280	27	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 12mm D: 12	0,038	7	1,10	0,00	432	
281	27	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 16mm D: 16	0,136	27	0,70	0,00	336	
282	27	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 20mm D: 20	0,077	15	2,08	0,00	697	
283	27	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 25mm D: 25	0,067	13	2,17	0,00	723	
284	27	Takm: Takm 20mm D: 20 Takm: Takm 25mm D: 25	0,073	14	2,04	0,00	683	
285	28	Takm: Takm 6mm D: 6	0,015	3	2,48	0,40	822	Uygun.
286	28	Takm: Takm 8mm D: 8	0,055	10	1,69	0,49	516	Kalnt alan toleransndan büyük.
287	28	Takm: Takm 10mm D: 10	0,078	15	1,16	0,76	441	Kalnt alan toleransndan büyük.
288	28	Takm: Takm 12mm D: 12	0,104	20	1,06	0,95	418	Kalnt alan toleransndan büyük.
289	28	Takm: Takm 16mm D: 16	2,304	438	0,41	1,62	208	Kalnt alan toleransndan büyük.
290	28	Takm: Takm 20mm D: 20	13,476	2565	0,04	2,08	23	Kalnt alan toleransndan büyük.
291	28	Takm: Takm 25mm D: 25	17,081	3251	0,01	6,11	6	Kalnt alan toleransndan büyük.
292	28	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 8mm D: 8	0,031	6	1,70	0,00	520	
293	28	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 10mm D: 10	0,040	8	1,17	0,00	447	
294	28	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 12mm D: 12	0,038	7	1,09	0,00	427	
295	28	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 16mm D: 16	0,039	7	0,86	0,00	358	
296	28	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 20mm D: 20	0,062	12	1,99	0,00	666	
297	28	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 25mm D: 25	0,099	19	2,14	0,00	712	
298	28	Takm: Takm 20mm D: 20 Takm: Takm 25mm D: 25	0,104	20	1,95	0,00	652	
299	29	Takm: Takm 6mm D: 6	0,030	6	2,61	0,40	863	Uygun.
300	29	Takm: Takm 8mm D: 8	0,055	10	1,69	0,49	515	Kalnt alan toleransndan büyük.
301	29	Takm: Takm 10mm D: 10	0,083	15	1,13	0,76	432	Kalnt alan toleransndan büyük.
302	29	Takm: Takm 12mm D: 12	0,116	22	1,05	0,95	413	Kalnt alan toleransndan büyük.
303	29	Takm: Takm 16mm D: 16	4,677	874	0,32	1,62	160	Kalnt alan toleransndan büyük.
304	29	Takm: Takm 20mm D: 20	13,432	2510	0,04	2,08	22	Kalnt alan toleransndan büyük.
305	29	Takm: Takm 25mm D: 25	17,091	3194	0,00	6,11	5	Kalnt alan toleransndan büyük.
306	29	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 8mm D: 8	0,030	6	1,70	0,00	520	
307	29	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 10mm D: 10	0,048	9	1,15	0,00	437	
308	29	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 12mm D: 12	0,055	10	1,07	0,00	421	
309	29	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 16mm D: 16	0,059	11	1,10	0,00	419	
310	29	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 20mm D: 20	0,081	15	1,97	0,00	660	
311	29	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 25mm D: 25	0,113	21	2,11	0,00	703	
312	29	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,081	15	1,03	0,00	383	
313	29	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,113	21	1,03	0,00	390	
314	30	Takm: Takm 6mm D: 6	0,027	5	2,46	0,40	814	Uygun.
315	30	Takm: Takm 8mm D: 8	0,068	12	1,53	0,49	468	Kalnt alan toleransndan büyük.
316	30	Takm: Takm 10mm D: 10	0,106	19	1,10	0,76	422	Kalnt alan toleransndan büyük.
317	30	Takm: Takm 12mm D: 12	0,162	29	1,01	0,95	400	Kalnt alan toleransndan büyük.
318	30	Takm: Takm 16mm D: 16	5,235	936	0,22	1,62	111	Kalnt alan toleransndan büyük.
319	30	Takm: Takm 20mm D: 20	17,178	3073	0,03	2,08	15	Kalnt alan toleransndan büyük.
320	30	Takm: Takm 25mm D: 25	20,103	3596	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
321	30	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 8mm D: 8	0,036	7	1,55	0,00	473	
322	30	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 10mm D: 10	0,053	10	1,12	0,00	428	
323	30	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 12mm D: 12	0,055	10	1,05	0,00	413	
324	30	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 16mm D: 16	0,058	10	0,97	0,00	360	
325	30	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 20mm D: 20	0,072	13	2,06	0,00	689	
326	30	Takm: Takm 6mm D: 6 Takm: Takm 25mm D: 25	0,027	5	2,46	0,00	814	
327	30	Takm: Takm 20mm D: 20 Takm: Takm 25mm D: 25	0,072	13	2,06	0,00	689	

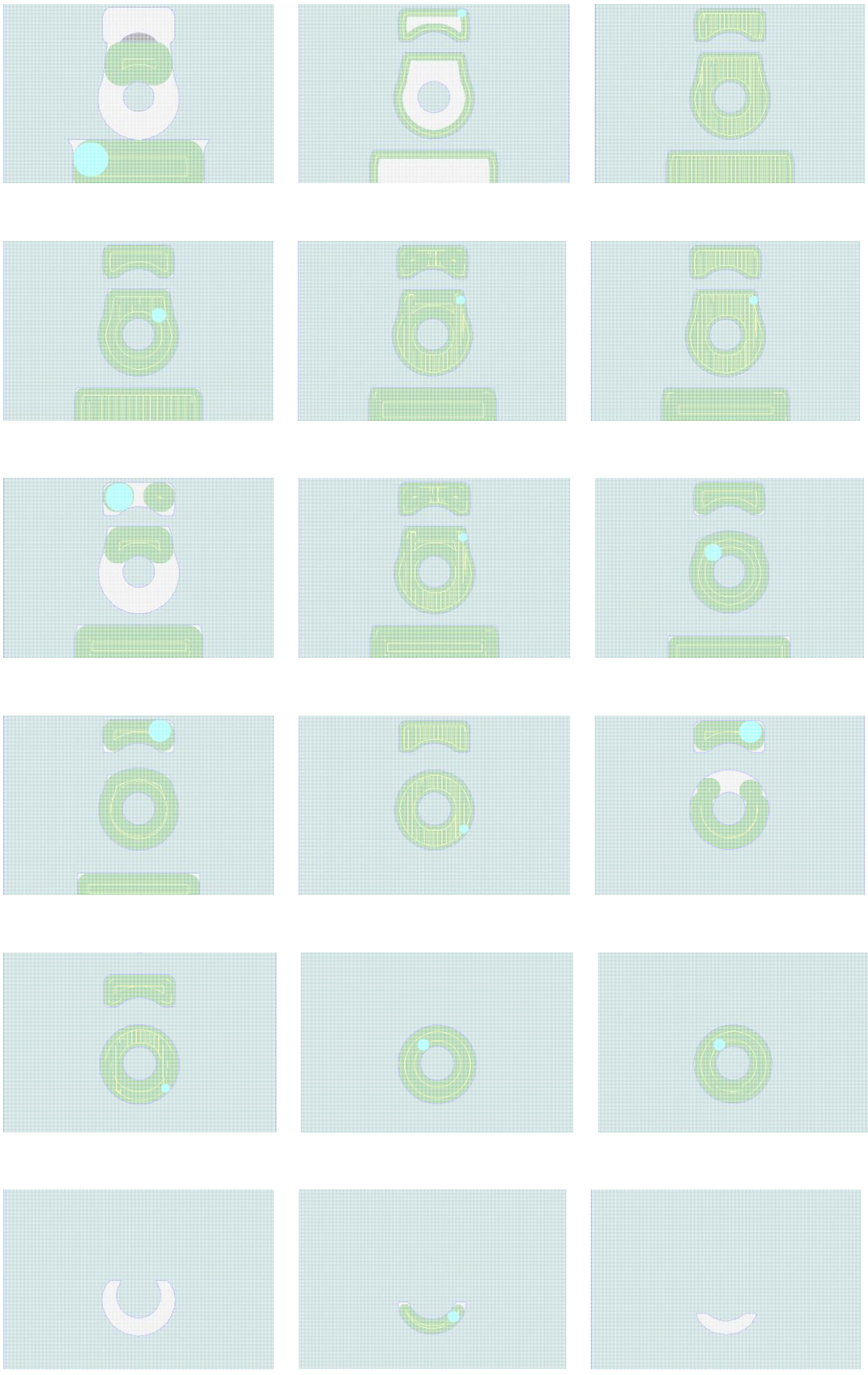
No	Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Takım Durumu
328	31	Takm: Takm 6mm D: 6	0,050	5	1,34	0,40	443	Kalnt alan toleransndan büyük.
329	31	Takm: Takm 8mm D: 8	0,038	4	0,88	0,49	268	Uygun.
330	31	Takm: Takm 10mm D: 10	0,050	5	0,70	0,76	266	Kalnt alan toleransndan büyük.
331	31	Takm: Takm 12mm D: 12	0,056	6	0,66	0,95	260	Kalnt alan toleransndan büyük.
332	31	Takm: Takm 16mm D: 16	14,058	1524	0,04	1,62	20	Kalnt alan toleransndan büyük.
333	31	Takm: Takm 20mm D: 20	19,046	2064	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
334	31	Takm: Takm 25mm D: 25	19,046	2064	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
335	31	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 10mm D: 10	0,050	5	0,70	0,00	266	
336	31	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 12mm D: 12	0,056	6	0,66	0,00	260	
337	31	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 16mm D: 16	0,038	4	0,75	0,00	236	
338	31	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 20mm D: 20	0,038	4	0,88	0,00	268	
339	31	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 25mm D: 25	0,038	4	0,88	0,00	268	
340	31	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,038	4	0,75	0,00	236	
341	31	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,038	4	0,75	0,00	236	
342	32	Takm: Takm 6mm D: 6	0,027	3	1,30	0,40	430	Uygun.
343	32	Takm: Takm 8mm D: 8	0,008	1	0,87	0,49	266	Uygun.
344	32	Takm: Takm 10mm D: 10	0,025	3	0,70	0,76	266	Uygun.
345	32	Takm: Takm 12mm D: 12	0,031	3	0,65	0,95	258	Uygun.
346	32	Takm: Takm 16mm D: 16	18,997	2022	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
347	32	Takm: Takm 20mm D: 20	18,997	2022	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
348	32	Takm: Takm 25mm D: 25	18,997	2022	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
349	32	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,031	3	0,65	0,00	258	
350	32	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,031	3	0,65	0,00	258	
351	32	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,031	3	0,65	0,00	258	
352	33	Takm: Takm 6mm D: 6	0,015	2	1,29	0,40	428	Uygun.
353	33	Takm: Takm 8mm D: 8	0,010	1	0,88	0,49	268	Uygun.
354	33	Takm: Takm 10mm D: 10	0,010	1	0,70	0,76	266	Uygun.
355	33	Takm: Takm 12mm D: 12	0,023	2	0,65	0,95	257	Uygun.
356	33	Takm: Takm 16mm D: 16	18,955	1987	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
357	33	Takm: Takm 20mm D: 20	18,955	1987	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
358	33	Takm: Takm 25mm D: 25	18,955	1987	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
359	33	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,023	2	0,65	0,00	257	
360	33	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,023	2	0,65	0,00	257	
361	33	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,023	2	0,65	0,00	257	
362	34	Takm: Takm 6mm D: 6	0,008	1	1,64	0,40	545	Uygun.
363	34	Takm: Takm 8mm D: 8	0,006	1	0,87	0,49	266	Uygun.
364	34	Takm: Takm 10mm D: 10	0,030	3	0,69	0,76	264	Uygun.
365	34	Takm: Takm 12mm D: 12	0,030	3	0,64	0,95	252	Uygun.
366	34	Takm: Takm 16mm D: 16	18,899	1942	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
367	34	Takm: Takm 20mm D: 20	18,899	1942	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
368	34	Takm: Takm 25mm D: 25	18,899	1942	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
369	34	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,030	3	0,64	0,00	252	
370	34	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,030	3	0,64	0,00	252	
371	34	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,030	3	0,64	0,00	252	
372	35	Takm: Takm 6mm D: 6	0,022	2	1,52	0,40	502	Uygun.
373	35	Takm: Takm 8mm D: 8	0,030	3	0,87	0,49	266	Uygun.
374	35	Takm: Takm 10mm D: 10	0,045	5	0,69	0,76	264	Uygun.
375	35	Takm: Takm 12mm D: 12	0,045	5	0,63	0,95	247	Uygun.
376	35	Takm: Takm 16mm D: 16	18,849	1903	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
377	35	Takm: Takm 20mm D: 20	18,849	1903	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
378	35	Takm: Takm 25mm D: 25	18,849	1903	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
379	35	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,045	5	0,63	0,00	247	
380	35	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,045	5	0,63	0,00	247	
381	35	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,045	5	0,63	0,00	247	
382	36	Takm: Takm 6mm D: 6	0,011	1	1,51	0,40	499	Uygun.
383	36	Takm: Takm 8mm D: 8	0,022	2	0,87	0,49	267	Uygun.
384	36	Takm: Takm 10mm D: 10	0,031	3	0,69	0,76	264	Uygun.
385	36	Takm: Takm 12mm D: 12	0,033	3	0,61	0,95	239	Uygun.
386	36	Takm: Takm 16mm D: 16	18,798	1865	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
387	36	Takm: Takm 20mm D: 20	18,798	1865	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
388	36	Takm: Takm 25mm D: 25	18,798	1865	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
389	36	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,033	3	0,61	0,00	239	
390	36	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,033	3	0,61	0,00	239	
391	36	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,033	3	0,61	0,00	239	
392	37	Takm: Takm 6mm D: 6	0,036	3	1,34	0,40	443	Uygun.
393	37	Takm: Takm 8mm D: 8	0,013	1	0,87	0,49	265	Uygun.
394	37	Takm: Takm 10mm D: 10	0,027	3	0,69	0,76	262	Uygun.
395	37	Takm: Takm 12mm D: 12	0,038	4	0,60	0,95	236	Uygun.
396	37	Takm: Takm 16mm D: 16	18,726	1813	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
397	37	Takm: Takm 20mm D: 20	18,726	1813	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
398	37	Takm: Takm 25mm D: 25	18,726	1813	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
399	37	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,038	4	0,60	0,00	236	
400	37	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,038	4	0,60	0,00	236	
401	37	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,038	4	0,60	0,00	236	
402	38	Takm: Takm 6mm D: 6	0,021	2	0,96	0,40	317	Uygun.
403	38	Takm: Takm 8mm D: 8	0,028	3	0,88	0,49	268	Uygun.
404	38	Takm: Takm 10mm D: 10	0,021	2	0,67	0,76	254	Uygun.
405	38	Takm: Takm 12mm D: 12	3,525	330	0,43	0,95	169	Kalnt alan toleransndan büyük.
406	38	Takm: Takm 16mm D: 16	18,620	1741	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
407	38	Takm: Takm 20mm D: 20	18,620	1741	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
408	38	Takm: Takm 25mm D: 25	18,620	1741	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
409	38	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 12mm D: 12	0,016	2	0,60	0,00	233	
410	38	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 16mm D: 16	0,021	2	0,67	0,00	254	
411	38	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 20mm D: 20	0,021	2	0,67	0,00	254	
412	38	Takm: Takm 10mm D: 10 Takm: Takm 25mm D: 25	0,021	2	0,67	0,00	254	
413	38	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 20mm D: 20	0,021	2	0,67	0,00	254	
414	38	Takm: Takm 16mm D: 16 Takm: Takm 25mm D: 25	0,021	2	0,67	0,00	254	

No	Z eksenindeki Katman seviyesi	Kullanılan Takım Çapları	Kalıntı alan %	Kalıntı alan mm2	Süre (dk)	MRR	Toplam Yol (mm)	Takım Durumu
415	39	Takm: Takm 6mm D: 6	0,123	11	0,90	0,40	297	Kalnt alan toleransndan büyük.
416	39	Takm: Takm 8mm D: 8	0,032	3	0,87	0,49	267	Uygun.
417	39	Takm: Takm 10mm D: 10	2,295	203	0,52	0,76	199	Kalnt alan toleransndan büyük.
418	39	Takm: Takm 12mm D: 12	5,711	505	0,35	0,95	139	Kalnt alan toleransndan büyük.
419	39	Takm: Takm 16mm D: 16	18,437	1629	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
420	39	Takm: Takm 20mm D: 20	18,437	1629	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
421	39	Takm: Takm 25mm D: 25	18,437	1629	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
422	39	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 10mm D: 10	0,248	22	0,62	0,00	230	
423	39	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 12mm D: 12	0,032	3	0,70	0,00	245	
424	39	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 16mm D: 16	0,032	3	0,87	0,00	267	
425	39	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 20mm D: 20	0,032	3	0,87	0,00	267	
426	39	Takm: Takm 8mm D: 8 Takm: Takm 25mm D: 25	0,032	3	0,87	0,00	267	
427	39	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 16mm D: 16	0,032	3	0,70	0,00	245	
428	39	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 20mm D: 20	0,032	3	0,70	0,00	245	
429	39	Takm: Takm 12mm D: 12 Takm: Takm 25mm D: 25	0,032	3	0,70	0,00	245	
430	40	Takm: Takm 6mm D: 6	0,683	53	0,74	0,40	247	Kalnt alan toleransndan büyük.
431	40	Takm: Takm 8mm D: 8	1,725	134	0,67	0,49	203	Kalnt alan toleransndan büyük.
432	40	Takm: Takm 10mm D: 10	3,848	300	0,41	0,76	155	Kalnt alan toleransndan büyük.
433	40	Takm: Takm 12mm D: 12	8,762	683	0,18	0,95	71	Kalnt alan toleransndan büyük.
434	40	Takm: Takm 16mm D: 16	18,001	1404	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
435	40	Takm: Takm 20mm D: 20	18,001	1404	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
436	40	Takm: Takm 25mm D: 25	18,001	1404	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
437	41	Takm: Takm 6mm D: 6	0,206	13	0,57	0,40	189	Kalnt alan toleransndan büyük.
438	41	Takm: Takm 8mm D: 8	0,760	46	0,55	0,49	167	Kalnt alan toleransndan büyük.
439	41	Takm: Takm 10mm D: 10	3,660	224	0,21	0,76	80	Kalnt alan toleransndan büyük.
440	41	Takm: Takm 12mm D: 12	12,437	761	0,01	0,95	4	Kalnt alan toleransndan büyük.
441	41	Takm: Takm 16mm D: 16	16,978	1039	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
442	41	Takm: Takm 20mm D: 20	16,978	1039	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
443	41	Takm: Takm 25mm D: 25	16,978	1039	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
444	42	Takm: Takm 6mm D: 6	0,086	4	0,46	0,40	151	Kalnt alan toleransndan büyük.
445	42	Takm: Takm 8mm D: 8	0,418	21	0,43	0,49	133	Kalnt alan toleransndan büyük.
446	42	Takm: Takm 10mm D: 10	5,059	255	0,15	0,76	58	Kalnt alan toleransndan büyük.
447	42	Takm: Takm 12mm D: 12	15,958	804	0,00	0,95	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
448	42	Takm: Takm 16mm D: 16	15,958	804	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
449	42	Takm: Takm 20mm D: 20	15,958	804	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
450	42	Takm: Takm 25mm D: 25	15,958	804	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
451	43	Takm: Takm 6mm D: 6	0,128	5	0,35	0,40	117	Kalnt alan toleransndan büyük.
452	43	Takm: Takm 8mm D: 8	0,916	37	0,30	0,49	92	Kalnt alan toleransndan büyük.
453	43	Takm: Takm 10mm D: 10	14,599	595	0,00	0,76	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
454	43	Takm: Takm 12mm D: 12	14,599	595	0,00	0,95	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
455	43	Takm: Takm 16mm D: 16	14,599	595	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
456	43	Takm: Takm 20mm D: 20	14,599	595	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
457	43	Takm: Takm 25mm D: 25	14,599	595	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
458	44	Takm: Takm 6mm D: 6	0,470	15	0,24	0,40	79	Kalnt alan toleransndan büyük.
459	44	Takm: Takm 8mm D: 8	1,549	49	0,15	0,49	46	Kalnt alan toleransndan büyük.
460	44	Takm: Takm 10mm D: 10	12,476	392	0,00	0,76	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
461	44	Takm: Takm 12mm D: 12	12,476	392	0,00	0,95	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
462	44	Takm: Takm 16mm D: 16	12,476	392	0,00	1,62	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
463	44	Takm: Takm 20mm D: 20	12,476	392	0,00	2,08	0	Kalnt alan toleransndan büyük.
464	44	Takm: Takm 25mm D: 25	12,476	392	0,00	6,11	0	Kalnt alan toleransndan büyük.

EK-3 KATMANLARA GÖRE TAKIM YOLLARI ve KALINTI ALANLAR







7 ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Mehmet METİN
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	KONYA/29.08.1979
Telefon	**:**	0 555 259 94 97
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	mehmetmetin79@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı,**	**İlçe,**	**İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	**:**	Sarayönü E.M.L,	Sarayönü,	KONYA	1995
Üniversite	**:**	Selçuk Üniversitesi,	Selçuklu,	KONYA	2001
Yüksek Lisans	**:**	Selçuk Üniversitesi,	Selçuklu,	KONYA	2008
Doktora	**:**	Selçuk Üniversitesi,	Selçuklu,	KONYA	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2003-2004	Anadolu Hidrolik	Direksiyon Kısmı İmalat ve Kalite Kontrol Müdürü
2004-2005	AYTOK Damla Sulama Sistemleri	İmalat ve Kalite Kontrol Müdürü
2005-2006	PADEF Ltd.Şti	CE Belgelendirme
2006-2016 (devam ediyor)	KOSKİ Gn.Md. Atıksu Arıtma Tesisi	Arıtma Tesisleri Mekanik Plan, Yapım ve İşletme Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Kentsel atıksu arıtımı projelendime, uygulama ve işletme
Kompozit malzemelerin darbe dayanımları
Kalıpçılıkta optimum takım seçimi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

EFFECT OF LOW VELOCITY IMPACT DAMAGE ON COMPOSITE PLATES. YAPICI* A., METIN** M., UYANER*** M., KARA**** M. AND ESKIZEYBEK ***** V, 13th International Conference on Applıed Mechanıcs & Mechanıcal Engıneerıng, May 27-29, 2008 (Yüksek Lisans Tezim)