

**CAD/CAM'İN CNC TAKIM TEZGAHLARINA  
ENTEGRASYONUNUN BİR UYGULAMASI**

**Mümin TUTAR**

**MEZUNİYET TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ BÖLÜMÜ**

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ**

**MAYIS 2008  
DENİZLİ**

**CAD/CAM'İN CNC TAKIM TEZGAHLARINA  
ENTEGRASYONUNUN BİR UYGULAMASI**

**Mümin TUTAR**

**MEZUNİYET TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ BÖLÜMÜ**

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ**

**MAYIS 2008  
DENİZLİ**

Mümin TUTAR tarafından hazırlanan CAD/CAM'İN CNC TAKIM TEZGAHLARINA ENTEGRASYONUNUN BİR UYGULAMASI adlı bu tezin Mezuniyet tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Öğr. Gör. Dr Şeref AYKUT

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Bölümünde Mezuniyet tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Mustafa BOZDEMİR .....

Öğr. Gör. Dr Şeref AYKUT .....

Öğr. Gör. Aksun AKBIYIK .....

Tarih: 21/05/2008

## ÖZET

Tarihte en hızlı gelişmeler savaş dönemlerinde yaşanmıştır. Benzer şekilde II. Dünya Savaşı da teknolojide önemli adımların atılmasını sağlamıştır. Bu süreçte ortaya çıkan yeni yaklaşımlardan birkaçı CAD (Computer Aided Design – Bilgisayar Destekli Tasarım), CAM (Computer Aided Manufacturing – Bilgisayar Destekli İmalat) ve CNC (Computer Numerical Control – Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)’dir. Üretimde verimliliği ve kaliteyi artırmak için ortaya çıkan bu kavramlar zamanla gelişerek entegre hale dönüşmüştür. Bu çalışmada; beyinde soyut olarak hayal edilen parçanın somut olarak ele alınabilmesi için bahsedilen entegrasyon uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Tasarım-üretim süreci işletilerek araçlar için ergonomik bir iç kapı kolu tasarlanmış ve prototip üretimi yapılmıştır. Bu süreçte yaşanan bazı sorunlar tasarımda ve üretimde bilgisayar desteği kullanılmasının yapılacak işleri oldukça kolaylaştırdığını, ancak; yine de en önemli unsurun insan olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler : CAD, CAM, CNC**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren danışmanım Dr. Şeref AYKUT’a “Pamukkale Üniversitesi”, değerli yorumları ve verdiği fikirler ile beni destekleyen hocam Yrd. Doç. Dr. Hilal CAN’a “Pamukkale Üniversitesi” ve her zaman maddi ve manevi olarak bana tam destek veren aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iii
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. CAD/CAM .....	3
2.1. CAD/CAM Nedir? .....	3
2.2. CAD/CAM Sistemlerinin Tarihçesi .....	5
2.3. CAD/CAM Tasarım Prosesi.....	7
2.4. CAD’de Tasarım Yöntemleri .....	9
2.5. CAD/CAM Yazılımları .....	11
2.5.1. AutoCAD .....	11
2.5.2. Pro/Engineer.....	13
2.5.3. CATIA.....	15
2.5.4. Unigraphics .....	18
2.5.5. SolidWorks.....	20
2.5.6. EdgeCAM.....	23
2.5.7. MasterCAM.....	24
2.5.8.SolidCAM .....	25

	<b>Sayfa</b>
2.6. SolidWorks Yazılımının Kullanımı.....	27
2.6.1. SolidWorks çizim ekranı.....	27
2.6.2. Sketch araç çubuğu.....	28
2.6.3. Features araç çubuğu.....	36
2.6.4. Reference geometry araç çubuğu.....	46
2.7. SolidCAM Yazılımının Kullanımı .....	48
2.7.1. SolidCAM ana menüsü .....	49
2.7.2. Yeni bir frezeleme işlemi oluşturma .....	50
2.7.3. 2/2.5 eksen frezeleme .....	53
2.7.4. 3 eksen frezeleme .....	67
2.7.5. Simülasyon.....	82
3. CNC TAKIM TEZGAHLARI .....	86
3.1. Takım Tezgahı Nedir? .....	86
3.2. Takım Tezgahlarının Gelişimi.....	87
3.3. CNC Nedir? .....	90
3.4. CNC Takım Tezgahlarının Avantajları ve Dezavantajları.....	91
3.5. CNC Takım Tezgahlarının Kullanımı .....	92
3.6. CNC Takım Tezgahlarının Yapısal Özellikleri.....	92
3.7. CNC Takım Tezgahları ile İlgili Temel Kavramlar .....	94
3.8. CNC Takım Tezgahlarının Programlanması .....	96
3.9. Uygulamada Kullanılan CNC Takım Tezgahı .....	100
4. UYGULAMA .....	102
4.1. SolidWorks.....	103

	<b>Sayfa</b>
4.2. SolidCAM .....	109
4.3. CNC.....	121
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	124
KAYNAKLAR .....	126
ÖZGEÇMİŞ .....	128



**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Örnek CNC programı.....	98
Çizelge 3.2. CNC freze tezgahlarında kullanılan M kodları ve anlamları.....	98
Çizelge 3.3. CNC takım tezgahlarında kullanılan fonksiyon kodları ve anlamları.....	99
Çizelge 3.4. CNC freze tezgahlarında kullanılan G kodları ve anlamları.....	98
Çizelge 3.5. TAKSAN TMC 500/700 dik işleme merkezi teknik özellikleri.....	101
Çizelge 4.1. Kullanılan takımlar ve özellikleri .....	122

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. CAD/CAM/CNC entegrasyonu .....	2
Şekil 3.1. Takım tezgahlarının sınıflandırılması .....	87
Şekil 3.2. CNC programlama dili komut yapısı .....	96

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. AutoCAD’de yapılmış bir çalışma .....	13
Resim 2.2. Pro/Engineer’ da yapılmış bir çalışma .....	15
Resim 2.3. CATIA’da yapılmış bir çalışma.....	18
Resim 2.4. UG’de yapılmış bir çalışma .....	20
Resim 2.5. SolidWorks’te yapılmış bir çalışma.....	22
Resim 2.6. EdgeCAM’de yapılmış bir çalışma.....	24
Resim 2.7. MasterCAM’de yapılmış bir çalışma.....	25
Resim 2.8. SolidCAM’de yapılmış bir çalışma .....	26
Resim 2.9. SolidWorks çizim ekranı.....	28
Resim 2.10. Sketch araç çubuğu .....	28
Resim 2.11. Insert line property manager .....	29
Resim 2.12. Circle property manager .....	30
Resim 2.13. Add relations menüsü .....	32
Resim 2.14. Mirror property manager .....	33
Resim 2.15. Offset property manager .....	34
Resim 2.16. Trim property manager .....	35
Resim 2.17. Features araç çubuğu .....	36
Resim 2.18. Extruded boss/base property manager .....	37
Resim 2.19. Revolve property manager .....	39
Resim 2.20. Sweep property manager .....	40
Resim 2.21. Loft property manager .....	41

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.22. Fillet property manager.....	42
Resim 2.23. Chamfer property manager .....	43
Resim 2.24. Linear pattern property manager.....	44
Resim 2.25. Circular pattern property manager .....	45
Resim 2.26. Mirror property manager .....	45
Resim 2.27. Reference geometry araç çubuğu.....	46
Resim 2.28. Plane property manager .....	47
Resim 2.29. Axis property manager.....	48
Resim 2.30. SolidCAM ana menüsü.....	49
Resim 2.31. Referans noktası tanımlama.....	50
Resim 2.32. Stok ve hedef model tanımlama.....	52
Resim 2.33. SolidCAM manager .....	53
Resim 2.34. Profil işlemi diyalog kutusu .....	54
Resim 2.35. Havuz boşaltma işlemi diyalog kutusu .....	59
Resim 2.36. Tarama bilgileri diyalog kutusu .....	60
Resim 2.37. Kontur parametreleri diyalog kutusu .....	61
Resim 2.38. Delik işlemi diyalog kutusu .....	63
Resim 2.39. Delik döngüleri diyalog kutusu.....	64
Resim 2.40. Kanal işlemi diyalog kutusu.....	65
Resim 2.41. Sabit derinlik bilgisi diyalog kutusu .....	66
Resim 2.42. Kanal kesit bilgisi diyalog kutusu.....	66
Resim 2.43. 3 eksen işleme diyalog kutusu .....	68

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.44. Açık havuz stratejisi diyalog kutusu .....	69
Resim 2.45. Doğrusal yarı-finiş diyalog kutusu.....	71
Resim 2.46. Yarı-finiş ofset diyalog kutusu.....	73
Resim 2.47. Yarı-finiş spiral diyalog kutusu .....	74
Resim 2.48. Yarı-finiş havuz diyalog kutusu.....	75
Resim 2.49. Sabit-z yarı-finiş diyalog kutusu.....	76
Resim 2.50. Pencil milling diyalog kutusu .....	78
Resim 2.51. Sabit adım yarı-finiş diyalog kutusu .....	79
Resim 2.52. Çalışma alanı diyalog kutusu .....	80
Resim 2.53. Simülasyon diyalog kutusu (frezeleme).....	83
Resim 2.54. Simülasyon verisi diyalog kutusu .....	84
Resim 3.1. 1900'lü yıllara ait torna ve freze tezgahları .....	88
Resim 3.2. NC takım tezgahı .....	90
Resim 3.3. TAKSAN TMC 500/700 dik işleme merkezi .....	100
Resim 4.1. Sketch1 .....	103
Resim 4.2. Extrude1 .....	104
Resim 4.3. Sketch2.....	104
Resim 4.4. Extrude2.....	105
Resim 4.5. Sketch3.....	105
Resim 4.6. Sketch3 ofsetleme .....	106
Resim 4.7. Sketch4.....	106
Resim 4.8. Extrude4.....	107

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.9. Fillet1 .....	107
Resim 4.10. Fillet2 .....	108
Resim 4.11. Ergonomik iç kapı kolu modeli.....	108
Resim 4.12. Stok model .....	109
Resim 4.13. Hedef model.....	110
Resim 4.14. Birinci yüzey 1.slot işlemi .....	110
Resim 4.15. Birinci yüzey 1. 3D milling sketch .....	111
Resim 4.16. Birinci yüzey 3D milling işlemi.....	112
Resim 4.17. Birinci yüzey 2. slot sketch.....	112
Resim 4.18. Birinci yüzey 2. slot işlemi .....	113
Resim 4.19. Birinci yüzey 3. slot sketch.....	113
Resim 4.20. Birinci yüzey 3. slot işlemi .....	114
Resim 4.21. Birinci yüzey 2. 3D milling işlemi.....	115
Resim 4.22. Birinci yüzey drilling işlemi .....	115
Resim 4.23. Birinci yüzey işlemleri simülasyonu.....	116
Resim 4.24. İkinci yüzey 1. 3D milling çalışma alanı .....	116
Resim 4.25. İkinci yüzey 1. 3D milling işlemi .....	117
Resim 4.26. İkinci yüzey 1. slot sketch.....	118
Resim 4.27. İkinci yüzey 1. slot işlemi .....	118
Resim 4.28. İkinci yüzey 2. 3D milling işlemi .....	119
Resim 4.29. Üçüncü yüzey referans noktası .....	119
Resim 4.30. Üçüncü yüzey slot sketch .....	120

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.31. Üçüncü yüzey slot işlemi .....	120
Resim 4.32. SolidCAM NC kodu çıktısı.....	121
Resim 4.33. CNC’de ikinci yüzey 1. slot işlemi uygulaması .....	122
Resim 4.34. Ahşaptan üretilmiş ergonomik iç kapı kolu .....	123

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklama

Ø

Çap (mm)

### Kısaltmalar

### Açıklama

**ACIS**

Bir çizim dosyası uzantısı

**ANSI**

Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü

**CAD**

Bilgisayar Destekli Tasarım

**CAM**

Bilgisayar Destekli Üretim

**CNC**

Bilgisayarlı Sayısal Kontrol

**DWG**

Bir çizim dosyası uzantısı

**DXF**

Bir çizim dosyası uzantısı

**IGES**

Bir çizim dosyası uzantısı

**ISO**

Uluslararası Standartlar Teşkilatı

**NC**

Sayısal Kontrol

**MIT**

Massachusetts Institute of Technology

**PDM**

Üretim Planlama Yönetimi

**UG**

Unigraphics



## 1. GİRİŞ

CAD, CAM ve CNC 20. yy.ın ikinci yarısında ortaya çıkan tasarım-üretim sürecini önemli derecede etkileyen ve değiştiren yaklaşımlardır.

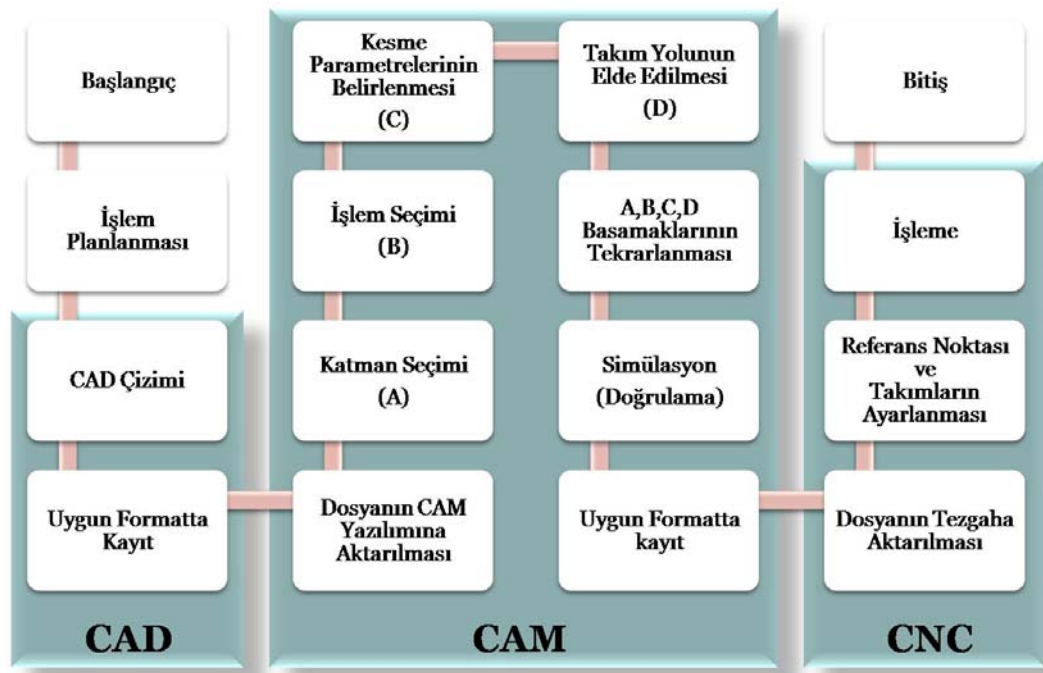
CAD, mekanik ve elektromekanik parça ve sistem tasarımlarının yapılmasını kolaylaştırmak, hızlandırmak, kalitesini yükseltmek gibi amaçlarla bilgisayarlardan yararlanmayı içermektedir. Ürünü her açıdan görmek, o ürünün gerçek yapısı ve şekli hakkında daha iyi fikir edinmek için bilgisayar ortamında ürünün gerçek ölçüleri temel alınarak görüntüsünün oluşturulması ile tasarlanan modelin statik, dinamik ve termal performansının belirlenmesinde kullanılan modülleri kapsamaktadır. Tasarım-imalat sürecinde CAD yazılımlarında parçaların iki boyutlu ve üç boyutlu modellenmesinde çeşitli operasyonlar ve modüller kullanılmaktadır. Katı modelleme ile oluşturulan bir modelin tüm özellikleri tanımlanabilir durumdadır ve tüm analizleri CAD’de yapılabilir [1-4].

CAM, sürecin CAD’den sonraki aşamasıdır. CAD model bilgisi; CAM yazılımlarında, tornalama, frezeleme gibi yöntemlerle hammaddeyi istenen şekle getirirken kullanılır. Örneğin; CAD modelinde seçilen malzeme; devir ve ilerleme hızlarının, CAD modelinin boyutları ise takım seçiminin ve takım yollarının belirlenmesinde kullanılır. CAM’de öncelikle, CAD’den alınan tasarım modeli için bir stok model oluşturulur. Stok model, parçanın işlenmeden önceki yarı mamul halidir. Başka bir deyişle hedef modele ulaşmak için simülasyonda kullanılan CNC tezgahına bağlanacak parçadır. Hedef model ise parçanın CNC tezgahından çıkan işlenmiş halidir. Hedef modele ulaşmak için stok model üzerinde yapılacak işlemler, uygun takımlar ve uygun takım yolları belirlenir. CAM’de, yapılan işlemlerin simülasyonu izlenir ve dalmalar varsa düzeltilerek takım yolları doğrulanır [4,5].

CNC’de temel düşünce takım tezgahlarının sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen, belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmesi ve tezgah kontrol ünitesinin parça programı yardımıyla üretim yapabilmesidir. CAM’de yapılan doğrulamanın ardından CNC takım tezgahlarına bu bilgilerin aktarılması için

gerekli olan NC kodları yazdırılır. CAM’de belirlendiği şekilde ve belirlenen boyutlardaki stok model tezgaha bağlanır. CAM’de belirlenmiş referans noktası ve takımlar ayarlandıktan sonra program çalıştırılır. Bu aşamada yapılan işlem CAM’de yapılan simülasyonun gerçekleştirilmesidir. İşlem bittiğinde stok modelden hedef model elde edilmiş olur [6].

Yukarda anlatılan sürecin akış şeması Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. CAD/CAM/CNC entegrasyonu

## 2. CAD/CAM

### 2.1. CAD/CAM Nedir?

CAD, adından da açık seçik anlaşıldığı gibi tasarımın yapılmasını kolaylaştırmak, hızlandırmak, kalitesini yükseltmek gibi amaçlara ulaşmak için araç olarak bilgisayardan yararlanma eylemidir.

CAM ise imalatta bilgisayar yardımıyla çalışılmasıdır.

Bilgisayar; eğer doğru veriler girilirse, ileri matematik ve geometri yetenekleri sayesinde kusursuz eğriler, çemberler, çizgiler ve bunların gerek iki gerek üç boyutta kombinasyonlarından oluşan nesneler çizebilir. Bu nesneler çoğaltılabilir, taşınabilir, döndürülebilir, ölçeklenebilir, silinebilir, birbiriyle kesiştirilebilir, eklenip çıkartılabilir, farklı açılardan görüntülenebilir. Bir CAD yazılımı, yalnızca bir kaç sayılan çok sayıda işlemi, bir arayüz ile tasarımcı için kullanışlı hale getirerek, bilgisayar uzmanı olmasına gerek kalmadan tasarım eylemini bilgisayar üzerinde yapabilmesini sağlar.

Zaman içinde CAD kavramının içeriği zenginleşerek kendisi için bir araç gibi görülmeye başlandı. Bu kavram kargaşası giderek insanların gözünde CAD'i ana işlevinden uzaklaştırarak yalnızca çizim yaptırıcı, çizimin kalitesini yükseltici, çizim hızlandırıcı bir araç haline getirdi. CAD'in böylesine becerileri olduğu kesinlikle doğrudur. Ancak CAD'in yalnızca bir çizim aracı olarak sınırlandırılması, kavramın içindeki bilgisayarı dışlamaktadır [7,8].

CAD çizimlerinin kusursuz hatta mükemmel olduğu elle çizim ve tasarımın artık tarihe karıştığı yönündeki inanışların, daha doğrusu önyargıların ciddiye alınmaması gerekir. Tasarımcının kişisel yeteneği ötesinde bazı artılar aramak yersizdir. CAD beceriksizlikten, bilgisizlikten, umursamazlıktan ve dikkatsizlikten oluşacak hataları düzeltmek gibi bir görev üstlenmez. CAD, T-cetvelinin, gönyenin, çizim masasının, kağıdın ve kurşun kalemın yerine bilgisayar ekranını, fareyi, çiziciyi koymakla sınırlı

bir eylem olsaydı, tasarımcının da metamorfoza uğrayarak bilgisayarın merkezi işlem birimi ile kamera alışımı bir sayısallaştırıcı biçimi olması gerekirdi. Tasarım, bünyesi içinde çizim yapma eyleminin yalnızca sınırlı bir bölümünü oluşturduğu, çok farklı bilgilerin düğümlendiği bir girdiler yumağıdır. Çizim ise bir haberleşme aracıdır. Doğru çizim doğru bilgiyi iletir; bilgi yanı sıra bilgisayarda çizilmesinin hiçbir anlamı yoktur.

CAD yalnızca bir çizim aracı değildir. Ne zamanki tasarımcı çizim sürecinde kazandıklarını, tasarımını geliştirmek için yararlı girdilere çevirebilir ve bilgisayarın veri biriktirme/sıralama, hesaplama, programlanabilme, görselleştirme yeteneklerinden yeterince yararlanabilir, işte o zaman bilgisayar ortamında çalışmak onun için gerçek anlamda verimli olacaktır. Tasarımın bittiği zaman nasıl bir ürün ortaya çıkaracağını, belki de ürünün nasıl çalışacağını önceden görüp ona göre tasarımını geliştirebilen kişi CAD'den yararlanabilecektir. O, bilgisayardan gerçek desteği alabilecek, özetle bilgisayar destekli tasarım eylemini yapabilecektir [8,9].

CAD sistemini kullanmanın temel nedenleri şunlardır [9]:

Tasarımcının üretkenliğini arttırmak: Bu, ürünün, alt montaj bileşenleri ve parçalarının tasavvur edilmesinde operatöre yardım ederek ve tasarımdaki sentez, analiz ve döküm için gerekli zamanı kısaltarak sağlanır. Üretkenliğin gelişmesiyle sadece daha düşük tasarım maliyeti değil, aynı zamanda da daha kısa proje tamamlanma zamanı sağlanır.

Tasarım kalitesini geliştirmek: Bir CAD sistemi ile çalışmak, yapılan tasarımda daha çok alternatifin göz önüne alınması, düşünülen alternatiflerin hesaplarının yapılarak değişik durumlarda mühendislik analizleri yapabilme imkanı sağlayacaktır. Tüm bu çalışmalar sırasında hassasiyet tasarım hatalarını minimuma indirecektir. Ayrıca ortaya çıkan çizimlerde minimum çizim hataları yaratılacak böylelikle daha temiz ve standartlara uygun çizimler elde edilecektir.

İmalat için veri tabanı oluşturmak: Üretim için teknik dokümanların hazırlanması sırasında ürünün işlenebilmesi için gerekli olan veriler de göz önünde tutulacaktır. Bu veriler, ürünün geometrik boyutları, ürünün geometrisini oluşturan tanımlanmış temel elemanların neler olduğu, detayların nasıl birleştirileceği, detaylara ait malzeme bilgileri, mamulün işleneceği hammaddenin ölçüleri (kaba malzeme ölçüleri) vb. bilgilerdir. Bu bilgiler değişik formatlarda sistemden alınarak birbirinden farklı birçok amaç için kullanılabilir.

## **2.2. CAD/CAM Sistemlerinin Tarihçesi**

Bilgisayarlı grafik sistemlerinin, dijital bilgisayarlarla birlikte ortaya çıkıp çıkmadığı çok tartışılmıştır. Tasarım ve üretim mühendisliğinde bilgisayar kullanımının tarihi, ilk bilgisayarların çıktığı 50’li yılların başlarına kadar uzanmaktadır. İlk olarak Amerika’da devlet desteği ile gerçekleştirilen simülasyon ve radar projeleri gibi araştırma-geliştirme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. Bu alandaki çalışmalar ilk kez 1949-1952 yıllarında ABD hava kuvvetlerinin Massachusettes Institute of Technology (MIT)’e verdiği proje ile uçak sanayisine yönelik olarak geliştirilmiştir. İlk sistemlerde karmaşık, uzun ve masraflı, toplu işlevli programlar büyük işlemcilere dayalı bilgisayarlarda çalıştırılıyordu. 1955-1959 yılarında MIT’de sürdürülen çalışmalar sırasında D.T.Roos ilk defa Bilgisayar Destekli Tasarım terimini kullanmıştır [9].

Akademik düzeyde CAD sistemine ilk adım 1963 yılında I.E. Sutherland’ın MIT’deki doktora tezi ile atılmıştır. “Sketchpad” adı verilen sistemde uygun programlama teknikleri ve veri yapılarıyla yenileme (görüntüyü sürekli yeniden üreten) ekranda etkileşimli bir çalışma sergilenmiştir. Böyle bir sistemin pahalılığı onu sadece havacılık sanayi gibi karşılığın fazlasıyla alınabileceği büyük endüstrilerde kullanılmaya zorladı. Daha sonra devlet desteğinin olmadığı havacılık ve otomobil endüstrilerinde de bu sistemin kullanıldığı görülmüştür. Böylece o zamana kadar, sadece bilgi işlem hizmetlerini yürüten mikro bilgisayarlar, mühendis ve üreticilere yeni hizmetler sunmuş oldu.

Altmışlı yılların ikinci yarısı, donanım ve yazılım alanında bir dizi gelişmeye tanık olmuştur. Donanımda mini bilgisayarlar (1964) ve dağınık işlem daha ucuz bellek ekranlar (1968), yazılımda aygıttan bağımsız ilk grafik görüntü sistemi (1966), analitik olmayan yüzeylerin programlanması gerçekleşmiştir.

Yetmişli yılların ilk yarısında mikro işlemciler, üretimde programlanabilir denetim aygıtları, ilk anahtar teslim sistemi(1971) görülmüştür. Anahtar teslim sistemleri mini bilgisayarlar, bellek, grafik ekran ve belli bir uygulama alanında bağımsız yazılımlardan oluşuyor ve ucuza mal oluyordu. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim üzerine çok sayıda konferans ve yayının yapıldığı yetmişli yıllarda, bilgisayar gücü artarken fiyatlar düşüp buna karşılık kullanım yaygınlaşmıştır. Bundan dolayı tüm sektörlerde olmasa da bazı sektörlerde bilgisayar kullanılması sanayi için güç kaynağı olmuştur.

Sistemlerin tüm sektörlerde yaygınlaşması seksenli yıllarda gerçekleşmeye başlamıştır. İlk mikro bilgisayarlar, kişisel bilgisayarlar tarama ekranlar, daha güçlü daha ucuz elektronik, artan deneyim ve rekabet, kullanımın yaygınlaşmasında büyük rol oynamıştır. Bu gelişmelerin yanı sıra 1982 yılında Apollo ilk mikro bilgisayar temelli iş istasyonunu geliştirmiştir. 1980-1985 yılları arasında az da olsa sanayide kullanımına geçilmiştir. Aynı yıllarda gözlemlenen diğer bir gelişimde piyasa şartları sonucu farklı donanım ve yazılım kullanan şirketlerin üretim sürecinde bütünleşik bilgi işleme ihtiyacında olmasıydı. Böylece yeni donanım ve yazılım arabirimleri ve standartları geliştirilmeye başlandı.

1960'larda yüzyılın en önemli teknolojik gelişmelerinden biri olarak kabul edilen CAD/CAM tekniği bugün basit bilgisayar grafiği kavramının oldukça ilerisinde bulunmaktadır [9,10].

### 2.3. CAD/CAM Tasarım Prosesi

CAD Tasarım prosesi altı safhayı içeren bir prosedür olarak karakterize edilebilir [11]:

İhtiyacın belirlenmesi: Bir takım düzeltici faaliyetlerin yapılması gerektiğinin bir kişi tarafından anlaşılmasıdır. Bu bir mühendis tarafından mevcut makine dizaynındaki bazı kusurların belirlenmesi veya bir satıcı tarafından yeni bir ürünün pazarlama fırsatlarının algılanması olabilir.

Problemin tanımı: Tasarlanacak parçanın tüm özelliklerini içerir. Bunlar fiziksel ve fonksiyonel karakteristikler, kalite ve işleme performansını kapsar.

Sentez: ( Mühendislik Tasarımı ): Bilindiği üzere geleneksel mühendislik tasarımı, çizim masası üzerinde başlar ve orada ayrıntılı bir doküman teknik resim haline dönüşür. Makine mühendisliğinde tasarım; bir ürünün onun alt parçalarının ve hatta bu ürünün imal edilmesi için gerekli olan takım ve tertibatların tüm teknik resimlerini içerir. Elektrik ve elektronik mühendisliğinde tasarım ise elektrik devre ve şemaların hazırlanması gibi işlemleri içerir. Buna benzer şekilde diğer mühendislik dallarında da yapılan tasarımların elle doküman haline getirilmeleri söz konusudur.

Analiz ve Optimizasyon: Sentez ve analiz etme tasarım prosesi ile yakından ilgilidir. Bir operatör tarafından belli bir bileşen veya tüm bir sistemin alt sistemi fikri oluşturulur, analiz edilir, analiz prosedürü ile geliştirilir ve tekrar tasarlanır.

Değerlendirme: Tasarımı, problem tanımlama safhasında belirlenen özelliklere göre ölçmektir. Bu değerlendirme işletim performansı, kalite, güvenilirlik ve diğer kriterleri değerlendirmek için prototip modelin test edilmesi ve imal edilmesidir.

Sunma (Mühendislik çizimlerinin hazırlanması): Tasarım prosesinde en son safha sunmadır, yapılan mühendislik tasarımlarının belgelendirilmesi gereklidir. Bunlar

genellikle teknik resimler ve raporlar şeklinde olabilir. Bunların hazırlanmaları imalat için şarttır.

Tasarımcı, elindeki problemi önünde mevcut olan bilgisayardaki CAD programını kullanarak çözümler. CAD sisteminde kullanılan bilgisayar gerekli tasarımın yapılmasına olanak verecek bir CAD yazılımına sahiptir. Bu yazılım ile tasarımcı bilgisayarın çevre birimleri ile sürekli etkileşim halindedir. Yapacağı tasarımın cinsine göre çeşitli geometrik çizim elemanlarının kullanılması ile çizimleri ekranda gerçekleştirilir. Yani geleneksel olarak çizim masasında kağıt üzerinde yapılan çizimler ve tasarımlar CAD sistemlerinde artık ekranda yapılır. Bu arada eğer tasarlanan geometri üzerinde yapılacak düzeltmeler, değişiklikler, büyütme, küçültme, kopyalama ve bunun gibi işlemler varsa bunlar rahatlıkla ekranda yapılabilmektedir. Böylece diğer tasarım yöntemlerindeki yorucu ve zaman alıcı işlemler bilgisayarlarda rahatlıkla yapılmış olmaktadır.

CAD ile tasarımcı yaptığı tasarımı çok daha rahat bir şekilde göz önünde canlandırabilir; birkaç alternatif tasarımı kısa bir sürede analiz edip, ilişkili alt parçaları ile birlikte kolaylıkla ekran üzerinde monte edilebilir ve bunlar üzerinde çok değişik analizler yapılabilir. Ayrıca yeni yapılacak tasarım, eski tasarımlarının bazı kısımlarının değiştirilmesiyle elde edilecekse bu da son derece hızlı bir şekilde eski tasarımın ekrana çağrılıp üzerine gerekli değişikliklerin yapılması ile elde edilir. Özet olarak, tasarımcının üretkenliği CAD sistemlerinin kullanılmasıyla artmaktadır [9].

Bir CAD sisteminde yapılan tasarımların dokümantasyonu çiziciler ve yazıcıların kullanılmasıyla olur. Bu işlem direkt olarak bilgisayardaki çizimlerin kağıda yazıcı ve çiziciler yardımı ile aktarılması yoluyla gerçekleştirilir ve elde edilen çizimler geleneksel metotla yapılan teknik resimlere karşın çok daha hassas ve kaliteli olur. Bu yapılan çalışmaların nedeni ise yapılan tasarımların daha sonra imalatla faydalanacak şekilde bir veri tabanı oluşturmaya imkan vermesidir. Geleneksel metotlarla yapılan tasarımlardan sonra imalat mühendisleri tarafından iki ayrı bölümde iki ayrı prosedür uygulanmaktadır. Böylece tasarım ve imalat birimleri



tarafından aynı olan bazı işlemler tekrarlanmakta, dolayısıyla belirli ölçüde zaman kaybı ortaya çıkmaktadır. Buna karşın bir CAD/CAM sisteminde tasarım fazında bir veri tabanı oluşturulmakta ve aynı veri tabanı imalat için de kullanılmaktadır. Daha önce yapılan işlemler yinelenmemektedir. Bir başka deyişle, ekran başında tasarlanan parça, kalıp vb. ürün yine ekran başında işlenmektedir. Bu işleme sırasında sahip olunan takım tezgahının ve bu tezgahın mevcut kesici kalem vb.nin özellikleri bilgisayarla simüle edilebilmektedir. Bu şekilde NC (Numerical Control - Sayısal Kontrol) parça programlama yapılmış ve o parça için NC kodlama elde edilmiş olur. Daha sonra bu NC verileri takım tezgahına aktarılır. Böylece imalatı düşünülen parça tasarımdan imaline kadar CAD/CAM sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olur [11].

#### **2.4. CAD’de Tasarım Yöntemleri**

CAD’in temeli, geleneksel olarak teknik ressamlarca çizilen resimlerin yine teknik ressamlarca fakat bilgisayar kullanılarak çizilmesine dayanır. Burada söz konusu olan iki boyutlu teknik resimlerin bilgisayar yardımı ile çizimi, olsa olsa CAD için ancak bir başlangıç seviyesi olabilir. CAD günümüzde en temel teknik resimlerin çizilip ölçülendirilmesinden, en karmaşık şekillerin gerçeğe yakın tasarlanıp görüntülenmesine kadar geniş olanakları içermektedir. CAD ile birlikte kullanıcı yazılımları, uzman sistemler, çözümleme yazılımları, sayısal denetim, robotlar, üretim planlama yazılımları, bilgisayar bütünsel üretim hedefinin birer parçasıdır. En genel yaklaşımla bir şekli CAD ile tasarlamak için dört temel yöntem kullanılır [9]:

**Çizim:** Teknik resimlerin, geleneksel çizim aletleri yerine bilgisayar kullanımı ile çizilmesi için iki ve üç boyutlu çizim yazılımları kullanılır. Bir teknik ressamın çizebileceği her türden ürün, kalıp, parça, plan, proje vb. resmi mümkün olduğunca teknik ressamın çizim sırasında kullandığı yöntemlerle bilgisayar ekranına çizilir. Nokta, çizgi, yay, eğri, çokgen gibi temel elemanlardan hareketle çizim yapılır. Büyütme, küçültme, silme, çoğaltma, tarama vb. olanakları ile istenen değişiklikler yapılır. Resim üzerine istenen yazılar yazılır, istenen ölçü sisteminde otomatik ölçülendirme yapılır. Çok kullanılan çizim parçaları için arşiv oluşturulacak kolayca

çizimde kullanılabilir. Çizim modülü ile iki boyutlu çizimin yanı sıra izometrik çizim de yapılabilir.

Tel kafes geometri: Tel kafes geometri, bir şekil üç boyutlu olarak göstermenin en basit yoludur. Şeklin sadece sınırları ve kenarları çizgi ve eğrilerle gösterilir. Eğriler çok sayıda yayın birleşmesinden meydana gelir. Bir eğri uzayda serbestçe tanımlanabildiği gibi bir yüzey üzerine çizilmiş de olabilir. Eğriler matematiksel olarak polinomlarla tanımlanır. CAD yazılımlarında eğrilerin oluşturulması için üç yöntem vardır:

- Daire, yay, elips, parabol, hiperbol gibi yaygın, matematiksel olarak kolay ifade edilen eğriler,
- Karmaşık iki yüzeyin kesişimi, bir eğrinin bir yüzey üzerine izdüşümü vb. etkileşimli yöntemlerle belirlenen hesaplanmış eğriler,
- Bir dizi noktanın, teğet ve diklik kurallarına uyarak birleştirilmesi ile belirlenen eğriler.

Yüzey geometri: Tel kafes geometri ile tanımlanan üç boyutlu şekillerin daha sıkı çizgilerle taranması ile oluşur. Çizgilerin arası yüzeylendirilerek gerçeğe yakın yüzeylerin görüntülenmesi sağlanır. Yüzey oluşturmak için, iki değişkenli polinomlarla tanımlanan denklemler kullanılır. CAD yazılımlarında çok kullanılan beş yüzey oluşturma metodu vardır:

- Koni, küre, silindir, spiral, düzlem yüzeyi gibi temel geometrik yüzeyler,
- Uzayda eğriler arasının teğet ve diklik kurallarına uygun olarak doldurulması ile oluşturulan yüzeyler,
- Yüzeylerin birbirine geçtiği hallerde oluşan kenarların yaylarla yumuşatılarak geçiş sağlanması ile oluşturulan yüzeyler,
- Uzayda belirlenen noktalardan geçen teğet ve diklik şartlarını sağlayan çizgilerin oluşturduğu yüzeyler,

- Bir yüzey üzerinde kapalı eğrilerle yüzey parçaları ayrılabilir. Eğer bir düzlem üzerinde yüzey parçası ayrılacaksa doğrular da kullanılabilir. Bu şekilde oluşturulan yüzey parçaları birleştirilerek yüzeyler oluşturulabilir.

Katı geometri: Temel geometrik hacimlerden hareketle karmaşık şekillerin tasarlanması, katı geometri yazılımları ile yapılır. Yazılım, silindir, küre, koni spiral, piramit, küp eğri tabanlı prizma, çokgen tabanlı prizma, bir kesitin bir eksen etrafında döndürülmesi ile oluşan hacimler gibi temel geometrik şekilleri tanımlayabilir. Karmaşık şekillerin oluşturulması için bu temel şekiller birleştirilir, birbirinden çıkarılır, deforme edilir, yüzeylerle kesilir.

Görüntülerin daha gerçekçi olması için arkada kalan çizgiler görünmez yapılır, şekiller yüzeylendirilir. Gelişmiş CAD yazılımlarında oluşturulan şekiller 16 700 000 taneye kadar varan renklerle ve şeffaf olarak tanımlanabilir. Çeşitli noktalarda ışık kaynakları tariflenerek şekillerin gölgelenmesi sağlanır. Şekiller sürekli döndürülebilir ve istenen yerde kesit alınabilir. 2 ve 3 boyutlu çizim modülü diğer model geometrilerin oluşturulabilmesi veya bir modülden diğer modüle bilgilerin aktarılabilmesi için temeldir. 2 ve 3 boyutlu çizim modülü ile çizilen resimler, tel kafes, yüzey ve katı model geometri modüllerinde çağrılıp üzerinde çalışılabilir. Bu modüllerde yaratılan şekiller 2 ve 3 boyutlu çizim modülüne aktarılabilir [9].

## **2.5. CAD/CAM Yazılımları**

Bu bölümde makine ve otomotiv sektörlerinde en çok kullanıcılı CAD/CAM ve bağımsız CAM yazılımlarından bazıları genel olarak tanıtılacak, uygulamada kullanılan SolidWorks ve SolidCAM yazılımlarının kullanımları anlatılacaktır.

### **2.5.1 AutoCAD**

AutoCAD, tasarım ve çizimlerin bilgisayar ortamında yapılmasını sağlayan bir bilgisayar destekli çizim ve tasarım paketidir. AutoCAD'in dwg uzantılı çizim

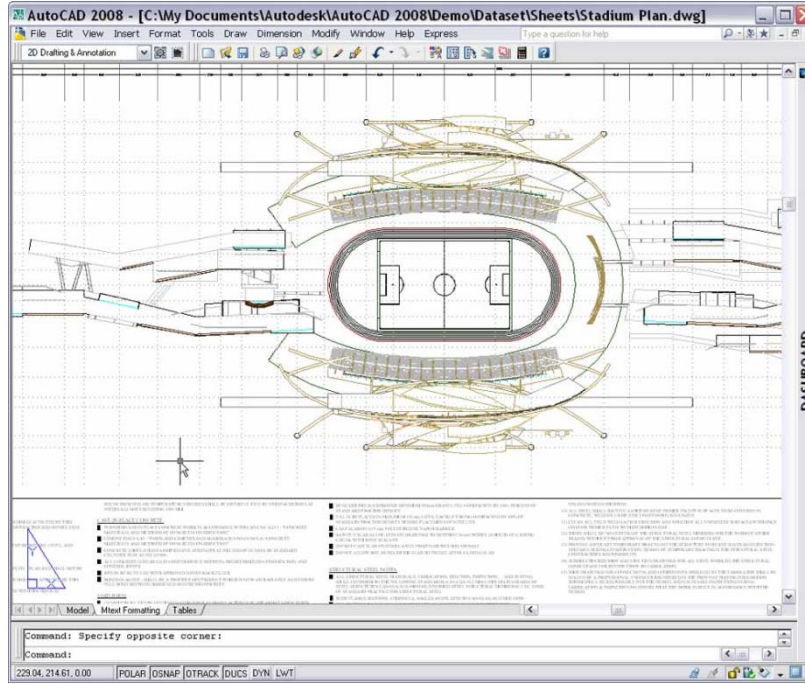
formatı dünya endüstriyel çizim standardı olarak kabul edilmektedir. AutoCAD çok büyük bir yazılımdır ve birçok alandaki çizimlerde profesyonelce kullanılmaktadır.

Genel amaçlı bir tasarım ve çizim programı olan AutoCAD programını kullanmak için herhangi bir programlama dilini bilmek ya da başka bir programı kullanmış olmak gerekli değildir. Gelişmiş etkileşimli grafik kullanıcı ekranı ile tüm komutlara menülerden ya da sembol simgelerden ulaşmak ve çizim, düzenleme vb. komutları kullanmak mümkündür. AutoCAD genel amaçlı bir çizim programı olarak çok geniş bir yelpaze içerisinde herhangi bir disipline özgü komutlarla kullanıcıyı kısıtlamadığı gibi, açık mimarisi ile istenilen yönde özelleştirilebilmektedir. AutoCAD tüm mimar, mühendis, tasarımcı, grafiker ve kısaca tasarım ve çizim ile ilgili her disiplin tarafından rahatlıkla kullanılabilecek bir programdır. Bugün ülkemizde ve dünyada makine mühendisliğinden güzel sanatlara, mimarlıktan tıba, şehir planlamadan reklamcılığa, haritacılıktan elektroniğe, uzay araştırmalarından deniz bilim araştırmalarına kadar her alanda AutoCAD'den temel tasarım ve çizim paketi olarak yararlanılmaktadır.

AutoCAD' in yaygın olarak tercih edilmesinin sebebi, gerek 2 gerekse 3 boyutlu tasarım ve çizim için sağladığı olanaklar ve kullanım kolaylığıdır. AutoCAD gerçek bir 2 ve 3 boyutlu tasarım ve çizim yazılımıdır. AutoCAD'de komut ve menü alanlarında çevrilmiş olan alan kullanıcının tasarım ve çizim alanıdır. Kullanıcı bu pencerede tıpkı 2 boyutta çalıştığı şekilde 3 boyutta da kendi çizim uzayını oluşturup 3 boyutlu tasarım ve çizimler yapabilir. AutoCAD ile çizim yaparken kullanıcı tanımlı çizim elemanlarını kullanabileceği gibi değişik düzenleme komutları ile istediği karmaşıklıkta geometrilerde oluşturabilir. Çizgi, daire, elips, yay gibi basit çizim elemanları, 2 ya da 3 boyutlu eğriler ile 2 boyutlu karmaşık profilleri döndürerek, kesitleri uzatarak ya da 3 boyutlu eğrilerin arasını dokutarak karmaşık 3 boyutlu yüzeyler elde etmek AutoCAD için oldukça kolaydır.

AutoCAD ile çizilen teknik resimlerin bilgileri çeşitli biçimlerde ihraç edilebilir veya veri tabanlarında saklanabilir. AutoCAD sadece veri tabanı yönetim sistemleri ile değil masa üstü yayıncılık sistemleri ile de 2 yönlü iletişim kurabilir. Görüntüleri

postscript dosyası olarak okuyabilmesi ve aktarabilmesi AutoCAD'ın kullanım alanını daha da genişletmektedir [9].



Resim 2.1. AutoCAD'de yapılmış bir çalışma [12]

### 2.5.2 Pro/Engineer

Pro/Engineer, tamamen parametrik ve unsur esaslı yapıya sahip olup, modülleri arasında tam birliktelik mevcuttur. Mekanik tasarım ve üretimin her aşamasında mühendise sağladığı gelişmiş yöntemler ile eş zamanlı mühendislik kavramını teorik ortamdan pratiğe aktarabilen tek yazılım olarak kabul edilmektedir.

Pro/Engineer, mekanik tasarım, fonksiyonel simülasyon, mühendislik analizleri, endüstriyel tasarım, üretim çözümleri ve üretim planlama yönetimi (PDM) gibi endüstrinin temel ihtiyaçlarını bir araya getirerek, tek veri tabanı altında toplayan bir yapı ile komple bir çözüm olarak geliştirilmiştir. Pro/Engineer'in mühendislik ortamına getirdiği modern teknikler ve sağladığı avantajlardan bazıları ise şunlardır [13]:

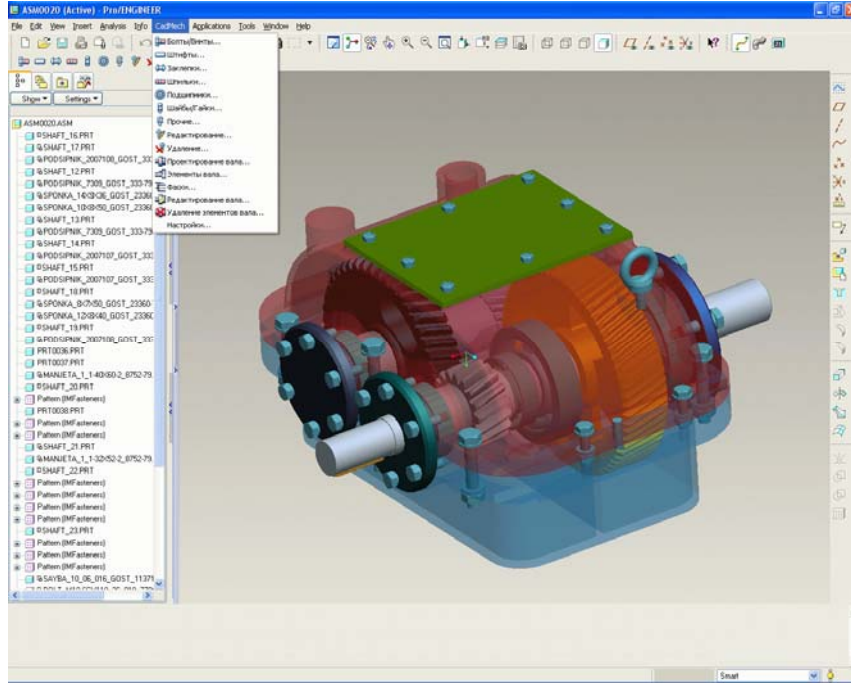
B-Rep katı modelleyici: Nesnelerin bilgisayar ortamında tüm fiziksel özellikleri ile tanımlanması, yalnızca bir katı modelleyici ile mümkündür. Bir katı modelleyici ile uzayda yer kaplayan nesnelerin tasarımı tam ve kesin olarak tanımlanabilir ve ayrıca mühendislik analizi için gereken kütle, ağırlık merkezi, atalet momenti vb. tüm fiziksel özellikleri hesaplanabilir.

Parametrik tasarım: Pro/Engineer modelleri tamamen parametrikidir. Tasarlanan nesneler ve montaj gruplarına ait ölçüler birer sabit değer olmaktan ziyade istendiği an değiştirilebilen birer parametre olarak tanımlanmışlardır. Parametrikliğin getirdiği diğer bir avantaj ise birbirine benzeyen ürün gruplarının bir kez genel olarak tasarlandıktan sonra temel model üzerinde yapılan basit değişikliklerle değişik ürün tiplerinin en az zaman ve emek harcanarak geliştirilmesine olanak tanınmasıdır.

Unsur esaslı tasarım: Unsur esaslı tasarım olanağı, kolay ve doğal bir modelleme olanağı sunar. Boolean hesaplama teknolojisi kullanan ve mühendislerden çok matematikçilere hitap eden eski tip katı modelleyiciler yerine delik, kıvrıtma, oluk, shaft, yanak, boyun gibi doğrudan doğruya mühendislik terimleri ile isimlendirilmiş özelliklerin kullanımı, modelleme sürecini kısaltır ve daha anlaşılır kılar. Böylece model üzerinde bir delik açmak isteyen tasarımcı bunun için uzayın bir başka yerinde bir silindir yaratıp, bunu parçasına göre öteleyip döndürdükten sonra parçası ve silindiri arasında bir kesme işlemi tanımlamak yerine, doğrudan parçanın üzerinde deleceği yüzeyi işaretler, delik derinliğini ve çapını vererek orada gerçek bir delik oluşturur. Programın parametrikliğinden ötürü bu delik yüzey üzerinde ötelenebilir, çapı ve derinliği değiştirilebilir, çoğaltılabilir ya da tamamen kaldırılabilir.

Tam Birliktelik: Pro/Engineer tek ortak veri tabanı kullanır ve bu tasarıma ait tüm bilgiler (3 boyutlu model, teknik resim, sonlu eleman modeli, CNC işleme vs.) bu ortak veri tabanına girilir. Pro/Engineer ortamında tasarımın herhangi bir aşamasında yapılan herhangi bir değişiklik tüm diğer aşamalara anında ve otomatik olarak yansır. Örneğin modelin boyunun 50 mm' den 60 mm' ye çıkartılması bu parçaya ait CNC işleme bilgisinin yeniden hesaplanmasına, sonlu eleman modülünün yeniden

oluşturulmasına, teknik resminin yenilenmesine yol açar. Tek veri tabanından dolayı bu parçaya ait tüm bilgiler güncelleştirilmiş olur.



Resim 2.2. Pro/Engineer’ da yapılmış bir çalışma [14]

### 2.5.3 CATIA

Birçok mühendislik uygulamasında fikirlerin gerçek hayata taşınmasında problemler yaşanmaktadır. Fikirlerin gerçek hayata aktarılması, doğru yazılımlarla desteklenen iyi bir mühendislik gerektirmektedir. Tam parametrik ve aynı zamanda varyasyonel bir ortamda, katı, yüzey ve tel kafes modelleme tekniklerini başarılı bir entegrasyonla kullanıcısına sunan yazılım, tüm üretim sistemlerine uyabilecek esnekliği ile CAD/CAM sistemine geçmeyi düşünen ya da halihazırdaki sistemini genişletmek ve desteklemek isteyen firmalara iyi bir çözüm olarak önerilmektedir.

CATIA geniş kullanım tabanlı bir CAD/CAM/CAE çözümler paketidir. Önceleri, havacılık ve uzay sanayisinin gereksinimlerini karşılamak amacıyla geliştirilmeye başlanan CATIA’nın, kendisini yenilemesi ve kullanıcı taleplerini karşılaması

sayesinde otomotiv, gemi, ürün, fabrika tasarımı gibi değişik sektörlerde de vazgeçilmez yerini almıştır.

CATIA'nın ürün geliştirme sürecinde modül sayısının bolluğu ve kapsamlı olması, değişik alanlara hitap etmesini sağlamıştır. Yazılımın en büyük avantajlarından birisi de yüzey modelleme, katı yüzey entegrasyonu ve yüzey analizlerinin çok gelişmiş olmasıdır. Özellikle kalıp, sac, kaporta gibi yüksek yüzey kalitesi isteyen endüstri ürünlerinin tasarımı için vazgeçilmez çözümdür. Bu yüzden otomotiv, uzay ve havacılık sektörlerinde kendini yıllardan beri ispatlamıştır. Dünyada üretilen her 10 uçaktan 7' si ve her 10 otomobilden 4' ü CATIA imzasını taşır.

CATIA'nın sunduğu geniş çözümler aşağıdaki gibi özetlenebilir [15];

2D/3D entegrasyonu: CATIA 2D/3D entegrasyon işlemini tüm CATIA kapsamında mümkün kılar. Kullanıcılara 3 boyutlu plan parçalarından 2 boyutlu projeler yaratma imkanı verir. CATIA sistemi otomatik olarak 3 boyutlu modellerden 2 boyutlu görünüş oluşturabilir, 2. ve 3. boyut arasında kullanıcı kontrollü bir geçiş sağlar.

Taslak hazırlama: CATIA taslak hazırlama bölümü kullanıcının kolayca mühendislik teknik çizimleri oluşturmasını sağlar. İçinde komple bir yazı, ölçülendirme, çeşitli uygun standartlar, 2D parametreleri için bir araç menüsü bulunur.

2D ve 2.1/2D tasarım: Kullanıcı kontrollü ve otomatik, istenilen parametrik, geometrik ve fonksiyonel cebir kullanımlarını içerir. Devrimci bir yenilik olarak; tasarımcıya, sistem dinamik olarak cebri parametrik geometri inşası halindeyken serbest krokileme imkanı sağlar.

Dinamik taslaklayıcı: Bu ürün kullanıcılara hızlı olarak 3 boyutlu bir tasarımın 2 boyutlu profilini taslaklamasını sağlar. Bu sayede kullanıcı sadece 2 boyutta bir değişiklik yaparak bunu 3 boyutlu tasarıma yansıtabilir.

3D tel kafes: CATIA 3D Tel kafes, birçok dizayn sisteminde bulunan bir dizi ilave taslaklama metodu bulundurur. Bu ürün CAD sistemlerinin başlangıç seviyesinde olan bir kullanıcı için uygun olup uzun bir gelişim yoludur. 3D Tel kafes aynı zamanda tasarım analiz ve imalat adı altında toplanan bir grup konfigürasyon aracına da sahiptir.



Gerçek katı tasarımlar: CATIA; sayısal kontrol mekanizması ve ölçülebilir element analizi gibi istenilen akış yönü tatbiki, model izahını sağlar. Analiz araçları ve katı geometri teknolojisi yapılan bir tasarımın optimizasyonunda kullanılır.

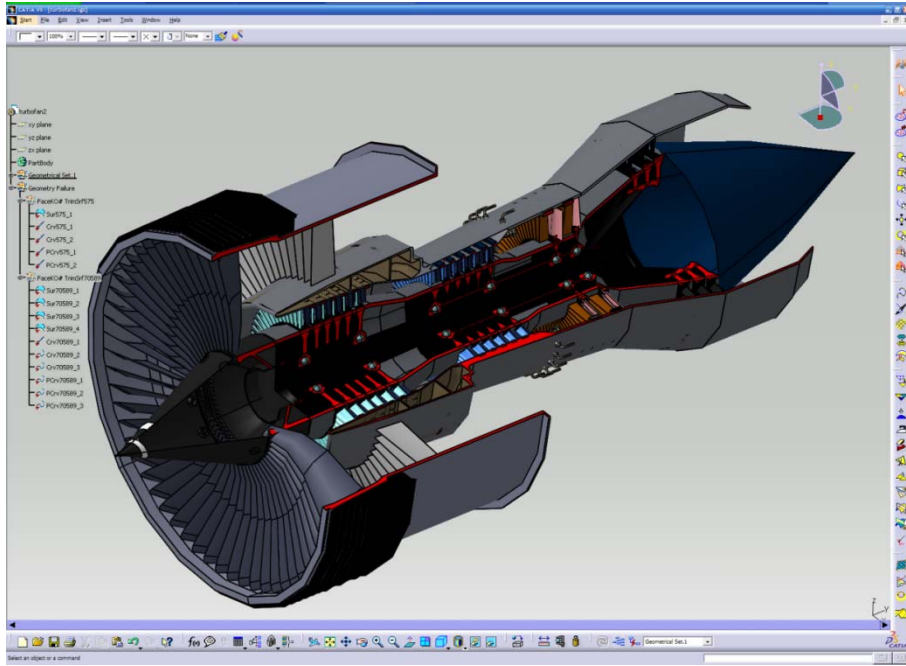
3D parametrik modelleme: Tasarımcılar CATIA geometrisine parametrik bilgiler ekleyebilirler. Bu teknoloji orijinal tasarımı baz olarak kabul ederek değişimleri otomasyon haline getirebilir ve alternatif tasarım sonuçları için büyük bir esneklik sağlar.

Unsur bazlı tasarım: Parçanın 3 boyutlu tasarımı üzerinde yapılabilecek çehre değişikliklerini mümkün kılan bir teknolojidir. Örneğin parça üzerine delik açmak mil koymak veya kabartma yapmak için kullanılabilir. Bu teknoloji kullanıcının bir katı model üzerinde değişiklik yapabilmesi için oldukça cesaret verici bir uygulamadır.

Montaj: CATIA tasarımcılara 3 boyutlu modellerin parçaları arasında montaj yapma imkanı verir. Bu teknoloji montaj tasarımını çok kolay ve hızlı bir hale getirir. Araç menüsü içinde kullanışı oldukça kolay olan bir grafiksel menü ağacına sahiptir.

Metal levha tasarımı: Katı bazda levhaların tasarımı ve imalatı konusunda, kullanıcıya yardımcı olur. Ayrıca içerdiği malzeme özellikleri gibi bilgilerle otomatik olarak levhanın eğilme, bükülme gibi özelliklerini hesaplar ve imalat metodunda yardım sağlar.

Yüzey tasarımı: CATIA' nın yüzey tasarım sistemi ile çok gerçekçi katı modeller elde etmek, çeşitli filtreler sayesinde de elde edilen modeli değişik şekillerde renderlayarak farklı tarzlarda görüntülere ulaşmak mümkün.



Resim 2.3. CATIA’da yapılmış bir çalışma [16]

## 2.5.4 Unigraphics

Unigraphics (UG) CAD/CAM/CAE yazılımı, ilk olarak Mc Donnell Aircraft Company ve Douglas Aircraft Company tarafından 1934 yılında geliştirilmeye başlanmıştır. 1967’de bu iki firmanın birleşmesiyle McDonnell Douglas adı altında gelişmeler sürdürülmüştür. İlk kullanıcıları, Amerikan hava kuvvetleri için proje geliştirmek üzere Mc Donnell Douglas, General Motors, MIT, Bell Laboratories kuruluşlarıdır. 1991 sonu itibariyle geliştirilen CAD/CAM sistemi EDS firması tarafından satın alınmış ve EDS/Unigraphics adı verilmiştir. EDS %100 General Motors şirketi olup, yıllık cirosu 17 milyar doların üstünde dev bir şirkettir. Halen 80 000’in üzerinde çalışanıyla dünyada birçok kullanıcıya IT hizmeti vermektedir. Ürünün geliştirilmesi sırasında ve sonrasında Mc Donnell Douglas firması tüm tasarım ve imalat çalışmalarında bu ürünü kullanmıştır. Daha sonra ürünü satın alan General Motors ise tüm kuruluşlarında bu ürünü standart hale getirmiş ve kullanmaktadır.

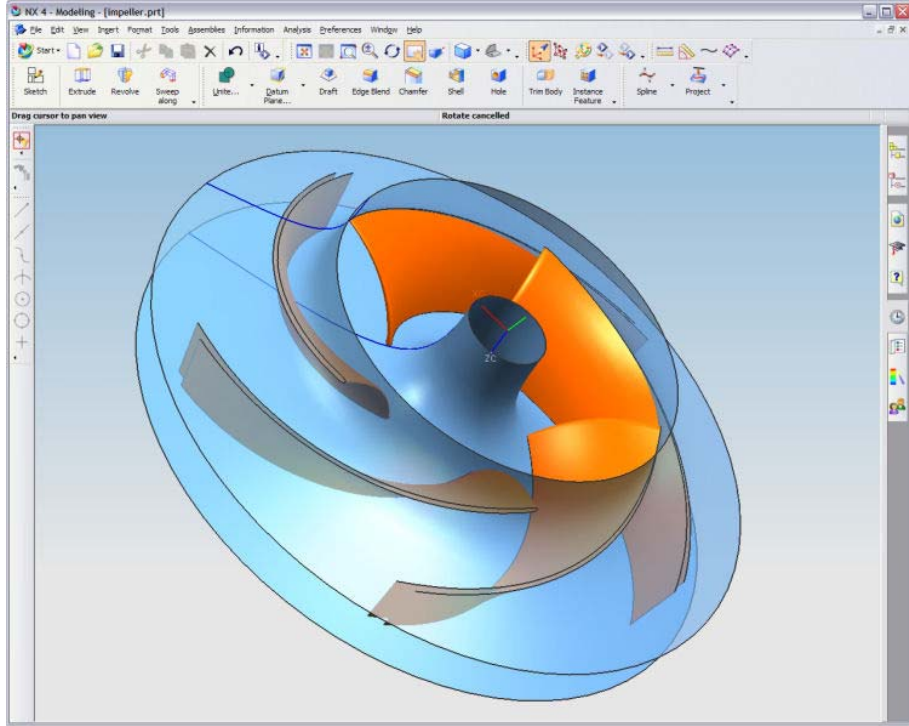
UG teknik olarak son derece gelişmiş bir kullanım ortamına sahiptir. UG üzerinde tüm modüller yazılımdan çıkmaksızın tek bir veri tabanı içinde kullanılabilmekte, bir bütün halinde saklanabilmektedir. Modüller arasında rahat geçiş ve içice çalışma imkanı mevcuttur. UG, hibrid modelleme, parametrik modelleme ve unsur tabanlı geometrik modellemeyi birleştirmektedir. Unsur tabanlı bir ortam içersinde katı, yüzey ve tel kafes özelliklerini bir arada kullanıcıya sunmaktadır.

Sadece parametrik modelleme yapan herhangi bir sisteme göre kesin bir üstünlüğü vardır. Parametrik sistemler sadece bir modelleme yöntemini; ilişki tabanlı unsur modellemeyi desteklerken, UG geniş ve zengin fonksiyonlarıyla birçok modelleme seçeneğini desteklemektedir. Böylece, tasarım amacına en uygun modelleme yönteminin seçimini tamamiyla kullanıcının kendi isteğine bırakarak büyük bir esneklik sağlamaktadır. UG, gerektiğinde parametrik girdiler de eklemeye uygundur. Sadece parametrik modelleme yapabilen sistemlerde değişiklik yapabilmek için modelin tamamiyla tanımlanmış olması gerekmektedir.

UG'yi rakiplerinden güçlü kılan en önemli özellik bünyesinde hibrid modellemeyi en iyi şekilde gerçekleştiren tek yazılım olmasıdır. Basit iki boyutlu çizgiden başlayıp üç boyuttaki eğrileri, tel kafes modelleme, yüzey modelleme ve katı modellemeyi unsur tabanlı bir ortamda aynı anda kullanmayı mümkün kılmaktadır. Uygulamanın herhangi bir aşamasında yukarıda belirtilen yöntemlerden istenileni kullanabilme olanağını sağlamaktadır. Yine, herhangi bir aşamada herhangi bir yöntem ile yapılan değişiklik otomatik olarak tüm dizayna, montaja ve diğer aşamalara yansımaktadır. UG'nin alanında en güçlü yazılım olması bu derece esnek ve fonksiyonel olmasından kaynaklanmaktadır [17].

UG'nin CAM modülleri piyasada bulunan CAM yazılımları arasında tartışılmaz bir üstünlüğe sahiptir. NC kodları hızlı, emniyetli ve son derece hassas olarak oluşturulabilmektedir. Sayısal kontrollü her türlü tezgaha NC datası verebilmektedir. Diğer UG modülleri gibi tasarım değişiklikleri, modüllerin birlikte çalışmasıyla otomatik olarak CAM modülüne aksetmektedir. Esnek ve etkili üretim rutinleri

sayesinde yüksek kalitede simülasyon yapabilmekte ve üreticiliğin gelişmesine ön ayak olmaktadır [15].



Resim 2.4. UG’de yapılmış bir çalışma [18]

### 2.5.5 SolidWorks

SolidWorks Windows grafik kullanıcı ara yüzünden yararlanan, unsur tabanlı bir parametrik katı modelleme tasarım yazılımıdır. Tasarım amacına ulaşmak için otomatik ya da kullanıcı tanımlı ilişkileri kullanırken, kısıtlamalarla ya da kısıtlamalar olmadan, tam ilişkisel 3 boyutlu katı modeller oluşturulabilir.

Bir montajın birkaç ayrı parçadan oluşması gibi, bir SolidWorks modeli de ayrı bileşenlerden oluşur. Bunlara unsur adı verilir. SolidWorks yazılımı kullanılarak bir model oluşturulduğunda delikler, köşe yuvarlatmaları, pah kırmalar gibi kolay anlaşılır unsurlar ile çalışılmaktadır. Unsurlar oluşturuldukça, doğrudan çalışma parçasına uygulanırlar. Unsurlar, tasarlanmış ya da uygulanmış olarak sınıflandırılabilir [9]:

Tasarlanmış unsurlar: 2 boyutlu bir çizime dayalı unsurlardır. Genel olarak bu çizim döndürme, süpürme gibi işlemlerin uygulamalarıyla bir katıya dönüştürülür.

Uygulanmış unsurlar: Doğrudan katı model üzerinde oluşturulan unsurlardır. Köşe yuvarlatmaları ve pah kırmalar bu tip unsurların örnekleridir.

SolidWorks yazılımı, modelin unsur tabanlı yapısını, unsur ağacı adı verilen özel bir pencerede grafiksel olarak gösterir. Unsur ağacı, sadece unsurların hangi sırada oluşturulduklarını göstermekle kalmayıp, aynı zamanda altta yatan tüm ilişkili bilgilere kolay erişimi de sağlamaktadır. Bir unsuru oluşturmak için kullanılan ölçüler ve ilişkiler modelde yakalanmakta ve depolanmaktadır. Bu sadece tasarım amacına ulaşmayı değil aynı zamanda modelde kolaylıkla ve hızla değişiklikler yapılabilmesini sağlar. Bunlar arasında, çizim geometrisiyle ilişkili ölçülerle birlikte, unsurun kendisiyle ilişkili ölçülerde bulunur.

Bir SolidWorks modeli, kendisine referansta bulunan teknik resim ve montajlar ile tam ilişkilidir. Modele yapılan değişiklikler, otomatik olarak ilişkili teknik resim ve montajlara yansıtılır. Benzer şekilde teknik resmin ya da montajın bağlamında da değişiklikler yapılabilir. Bu değişiklikler de modele yansımaktadır.

Paralel, dik, yatay, düşey ve eşmerkezli gibi geometrik ilişkiler, SolidWorks'te desteklenen kısıtlamaların sadece bir kaçıdır. Ayrıca, parametreler arasında matematiksel ilişkiler kurmak için denklemler de kullanılabilir. Kısıtlamaları ve denklemleri kullanarak, delikler boyunca ya da eşit yarıçaplı gibi tasarım kavramlarını korunmaya alınmaktadır.

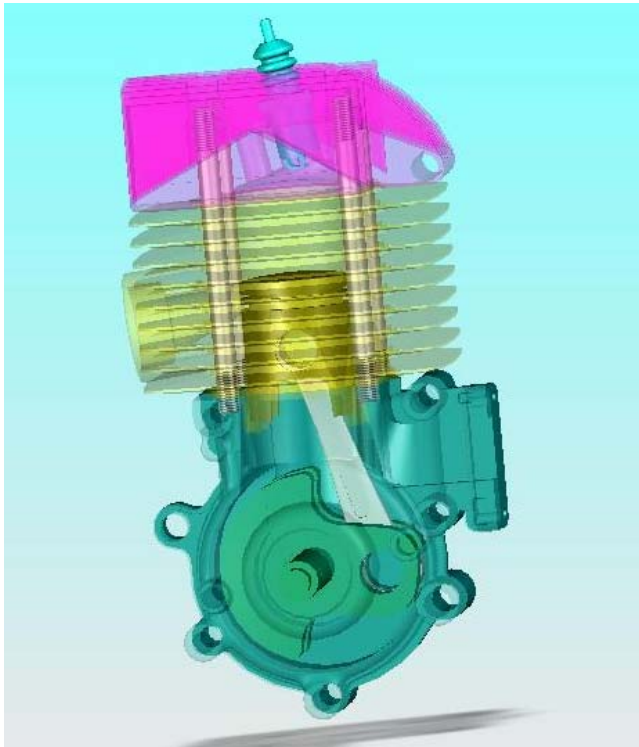
SolidWorks gibi bir parametrik modelleme aracını verimli olarak kullanabilmek için, modellemeyi önce tasarım amacı üzerinde düşünülmalıdır. Tasarım amacı, modelin, değiştirildiğinde nasıl davranacağına dair yapılan plandır. Modelin oluşturulma yöntemi, nasıl değiştirileceğini de kapsar. Tasarım amacını yakalama biçimine birçok faktör etki etmektedir [9]:

Otomatik ilişkiler: Geometrinin nasıl tasarlandığına bağlı olarak, bu ilişkiler, nesneler arasında paralel, dik, yatay ve düşey gibi yaygın geometrik ilişkiler sağlayabilir.

Denklemler: Ölçüleri cebirsel olarak ilişkilendirmek için kullanılan denklemler, değişiklikleri zorlamak için harici bir yöntem sağlarlar.

Eklenen ilişkiler: Model oluşturulurken modele eklenen ilişkiler, ilişkili geometrinin bağlanması için diğer bir yol sağlar. Bazı yaygın ilişkiler arasında eşmerkezli, teğet, çakışan ve doğrusal sayılabilir.

Ölçülendirme: Çizimin ölçülendirme biçimi, tasarım amacı üzerinde etkilidir. Ölçüleri, nasıl değiştirmek isteniyorsa onu yansıtan bir yolla eklenmesi gerekmektedir.



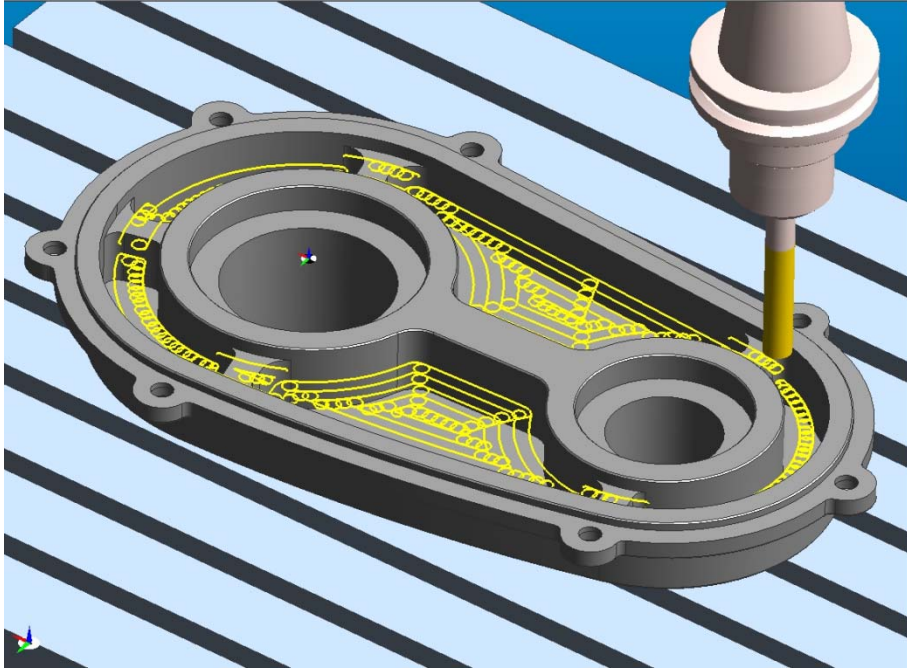
Resim 2.5. SolidWorks'te yapılmış bir çalışma

### 2.5.6 EdgeCAM

EdgeCAM; kullanımı kolay, Windows tabanlı bir CAM programı olup yoğun seri imalat işlemleri için birebir çözümler sunar. EdgeCAM'i üreten firma olan Pathtrace Eng. dünya genelinde 18000'in üzerinde firma ile çalışmış 20 yıllık bir tecrübe ve birikime sahiptir.

EdgeCAM Solid Machinist (Katı Model İşleyici) dünyada önde gelen katı tabanlı CAM çözümlerindendir. EdgeCAM; Autodesk Inventor, AutoCAD, Solidworks, SolidEdge, Pro/Engineer, Pro Desktop, CATIA gibi temel tasarım programlarında ve tüm parasolid tabanlı tasarım programlarından dosya transferi yapar. Tüm üretim safhasında takım yolları orijinal CAD verisi ile bütünleşik olarak kalır. Model üzerindeki herhangi bir değişiklik takım yollarına otomatik olarak yansıtılır.

Ayrıca IGES,DXF,DWG, Parasolid, ACIS formatlarını kolaylıkla kullanabilir. EdgeCAM 2-3 boyutlu katı ve yüzey tasarımları yapabilir ve gelen veriler üzerinde değişikliğe izin verir. Herhangi bir tezgah için Windows tabanında kolayca NC kod oluşturabilir. EdgeCAM kod sihirbazı bilinen tüm CNC kontrol üniteleri için hazır şablonlar içerir [19].



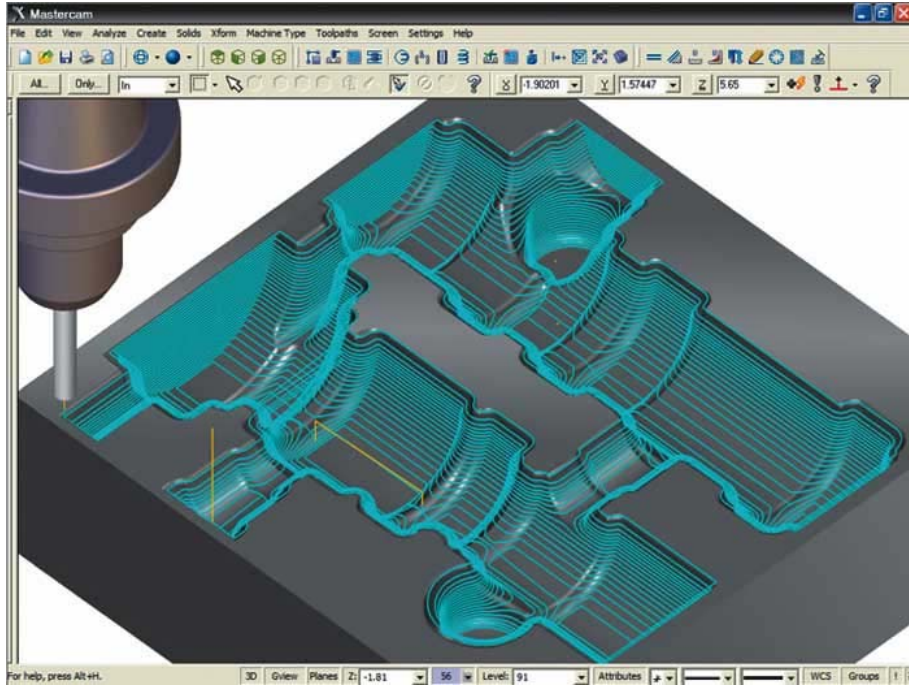
Resim 2.6. EdgeCAM’de yapılmış bir çalışma [20]

### 2.5.7 MasterCAM

MasterCAM; içerisinde tasarım, freze, torna, tel erozyon modüllerini bulunduran bir CAM yazılımıdır.

Yeni bir parça çizmek için ihtiyaç duyulan, nokta, çizgi, yay, daire, dikdörtgen, yuvarlatma radüsü, pah, elips, eğri ve ölçülendirme, kopyalama ve çoğaltma işlemleri, çizilmiş bir geometriyi düzeltmek v.b. gibi bütün gereçleri içerisinde bulundurur. 2 eksenden 5 eksene kadar frezeleme işlemlerini, tornalama işlemlerini yapabilir. Takım yolunu optimize ederek CNC tezgahları için NC programı çıkaran ve takım yolunu takımı canlandırarak işlemeyi 3 boyutlu olarak ekranda gösteren bir yazılımdır. Ayrıca, bilgisayar ile CNC’ler arasındaki haberleşmeyi sağlayan DNC programı da kendi bünyesinde [21].





Resim 2.7. MasterCAM’de yapılmış bir çalışma [22]

### 2.5.8 SolidCAM

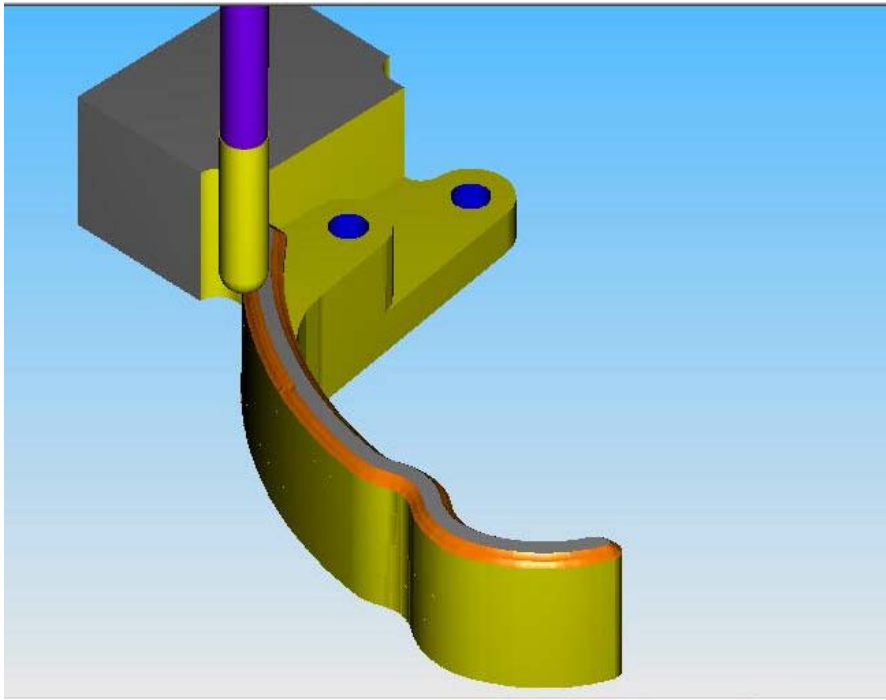
SolidCAM işleme gücünün nedeni, her ne kadar önemli derecede ürünün genişliği, derinliği ve esnekliği olsa da diğerlerine kıyasla öğrenmesi ve kullanması kolay olmasından gelir.

SolidCAM' de işleme operasyonları katı ve yüzey modeller üzerinde yapılır. Bu teknik, işleme performansını arttırmak ve takımın malzemeye dalmasını minimize etmek için çoğu zaman başvurulanan bir yoldur. SolidWorks modeli ve SolidCAM ile çıkarılan takım yolları arasında her zaman bağlantı vardır. Örneğin, bir model değişirse takım yolu da otomatik olarak güncellenir.

SolidCAM takım kütüphanesinde kesici takımları, tutucuları ve takım montajlarını bulunur. SolidCAM, tavsiye edilen hızın, ilerlemenin ve kesim derinliğinin otomatik hesaplarının kullanıcı tarafından yapılmasına olanak verir.

SolidCAM verimli bir şekilde parçanın koordinat sistemini belirler. Yazılım isteğe bağlı seçilebilecek sıfır noktalarını belirler ve kullanıcı kendi işine en uygun olanı seçer. İstenildiği zaman sıfır noktasına bağlı parametreler değiştirilebilir ve sıfır noktası oynatılabilir. SolidCAM hem parça hem de montaj ortamını destekler. Montaj ortamında iken parça ortamındaki gibi bağlama aparatları görülebilir.

SolidCAM'in bir önemli özelliği ise kütüphane tabanlı işleme yapabilmesidir. Standart işleme sırasında çeşitli fonksiyonlar tanımlanabilir. SolidCAM değiştirilebilir, saklanabilir ve tekrar kullanılabilir işleme teknolojisi veritabanına sahiptir. Böylece programlama otomatikleşir, zaman kazanılır ve programlama tutarlılığı sağlanır. Bazı standart şablonlar programla beraber gelir ve diğerleri kullanıcılar tarafından oluşturulabilir. Şablonlar neredeyse bütün işlemler için kullanılabilir bunlardan bazıları; delikli cep işleme, dış çekme, kenar finiş işlemi ve kalan talaş işleme. Aynı zamanda bazı kurallar teknoloji veritabanında oluşturulabilir [3].



Resim 2.8. SolidCAM’de yapılmış bir çalışma

## 2.6. SolidWorks Yazılımının Kullanımı

SolidWorks, temel olarak birbirleriyle ilişkili üç dosyadan oluşmaktadır:

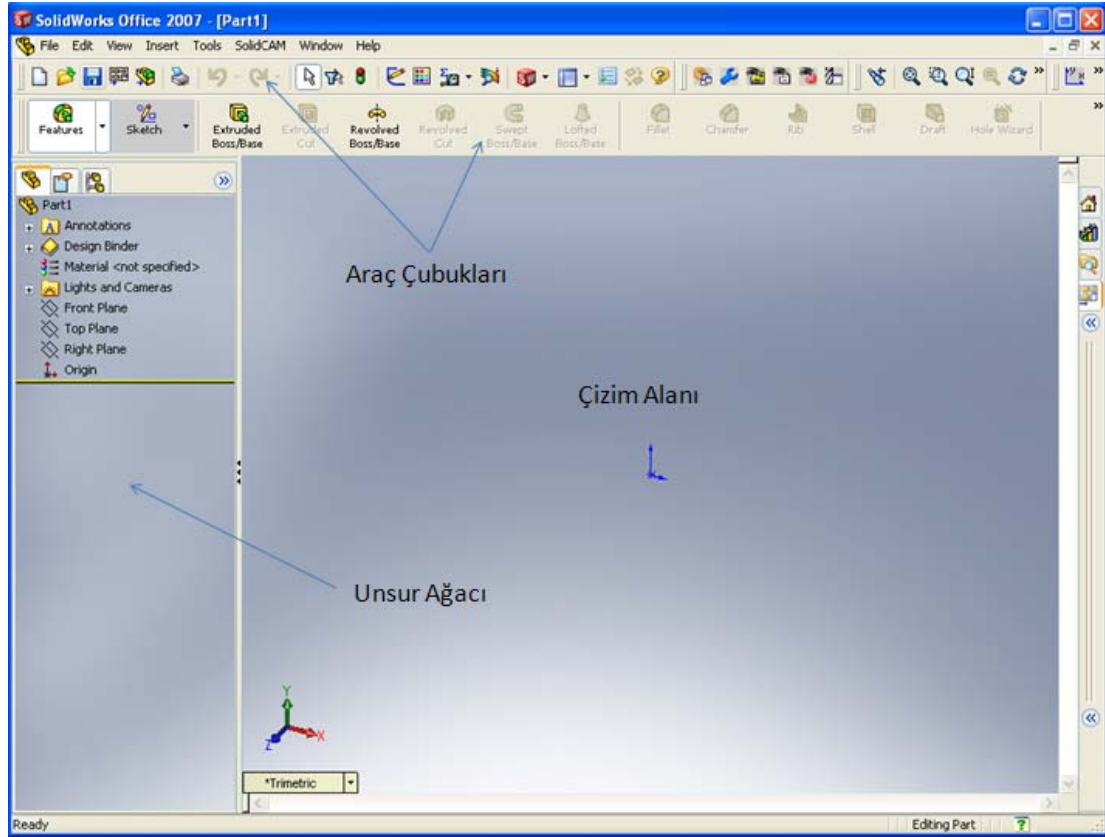
Part dosyası: Parçaların tek olarak üç boyutlu katı modellemesinin yapıldığı dosyaya denir.

Assembly dosyası: Hazırlanan part dosyalarının montajının yapıldığı dosyaya denir.

Drawing dosyası: Part dosyasında ya da assembly dosyasında hazırlanan modellemelerin teknik dokümanlarının hazırlandığı dosyaya denir.

### 2.6.1. SolidWorks çizim ekranı

SolidWorks programı çalıştırılıp bir dosya açıldığında aşağıdaki çizim ekranı görülür. Ekranın üst kısmında, çekme menüleri bulunur. Bu menü satırında SolidWorks ile ilgili komutlar konularına göre sınıflandırılmış şekilde bulunur. Seçme işlemi fare ile gerçekleştirilir. Ekranın ortasındaki büyük boş alan çizim alanıdır. Bu alanda bir ok biçiminde ikon bulunur. Bu ikon, fare yardımıyla hareket ettirilerek çizimdeki noktaları, çizilmiş objeleri veya çizim komutlarını seçmek için kullanılır. Çizim alanının üstünde, solunda ve sağında araç çubukları bulunmaktadır. Bunlar SolidWorks komutlarına karşılık gelen resimli kutucuklardan oluşmaktadır. Bu araç çubuğu üzerindeki kutucuklar üzerine tıklanarak ilgili komutu aktif hale getirilebilir. Bu çizim yardımcılarının, araç çubuğu üzerinde gri tonlu bir renk alması o komutun çizimin o safhasında kullanılmayacağını belirtir.



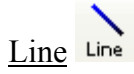
Resim 2.9. SolidWorks çizim ekranı

## 2.6.2 Sketch araç çubuğu

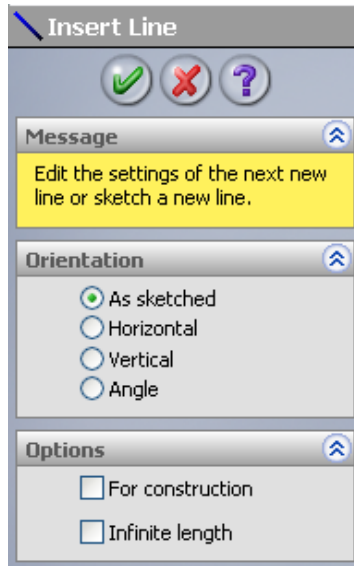
Bir modelin oluşturulacağı iki boyutlu çizimi yapmamızı sağlayan komutları içerir. Sketch'ler genelde model içerisinde düz yüzler ve düzlemler üzerinde oluşturulur. Bunlar genellikle boss ve cut'ların temeli olarak kullanılırlar, ancak bağımsız olarak da var olabilirler.



Resim 2.10. Sketch araç çubuğu



Çizgi çizmeyi sağlayan komuttur. Line ikonuna tıklanıp komutu etkin hale gelince aşağıdaki Insert Line Property Manager açılır.



Resim 2.11. Insert line property manager

Buradan As sketched seçeneği farenin hareketine göre çizgi çizmeyi sağlar. Çizginin başladığı yere sol tıkladıktan sonra fareyi hareket ettirip çizginin bittiği yere tekrar sol tıklanarak kullanılır. Horizontal seçeneği yatayda, Vertical seçeneği ise düşeyde çizgi çizmeyi sağlar.

Angle seçeneği, çizginin uzunluk ve açı değerlerini girerek çizginin oluşturulmasını sağlar.

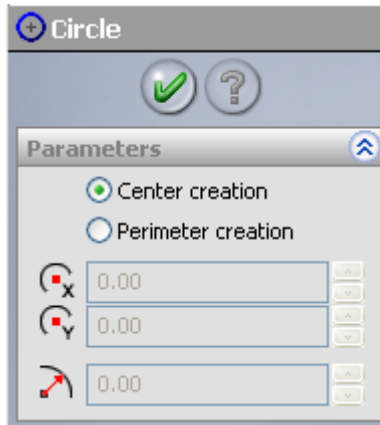


Dikdörtgen oluşturma komutudur. Rectangle ikonuna tıklayarak komut etkin hale getirildikten sonra oluşturulacak dörtgenin iki köşesi fare ile tıklanarak kullanılır.



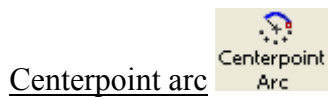
Circle

Daire çizmeyi sağlayan komuttur. Circle ikonuna tıklayarak komutu etkin hale getirildiğinde alttaki Circle Property Manager ekrana gelir.



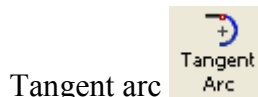
Resim 2.12. Circle property manager

Center Creation seçeneğini, çemberin merkez ve yarıçap bilgileriyle çember çizmeyi sağlar. Perimeter Creation seçeneği ise çemberin geçeceği üç noktayı seçerek çember çizmeye izin verir.



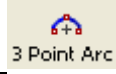
Centerpoint arc

Merkezi belli olan bir yay çizmeyi sağlayan komuttur.



Tangent arc

Çizgilere teğet geçen yay çizmeye yarayan komuttur.

3 Point arc

Üç noktası belli olan yayı çizmeye yarayan komuttur.

Sketch fillet

İki boyutlu çizimlere radüs oluşturmaya yarayan komuttur. Sketch fillet ikonu seçilerek komut etkin hale getirilince Sketch Fillet Property Manager'ı açılır. Buradan radüs değeri girilerek, radüs oluşturulacak köşe seçilir.

Sketch chamfer

İki boyutlu çizimlerde pah kırmaya yarayan komuttur. Sketch Chamfer ikonu seçilerek komut etkin hale getirilince Sketch Chamfer Property Manager'ı açılır. Buradan pah değeri uzunluk-uzunluk ya da açı-uzunluk olarak girilerek istenen pah oluşturulur.

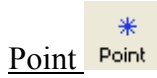
Centerline

İki boyutlu çizimlerin ortasından geçen ve çizimleri simetrik olarak ikiye ayıran eksenini oluşturma komutudur. Centerline ikonuna tıklayıp komut etkin hale getirilirse alttaki Insert Line Property Manager açılır. Bu pencerenin kullanımı Line komutu ile aynıdır.

Spline

Serbest elle oluşturulan noktaları birbirine bağlayan bir çizgi oluşturmayı sağlayan komuttur. Spline ikonuna tıklayarak komutu etkin hale getirdikten sonra, ilk önce bir

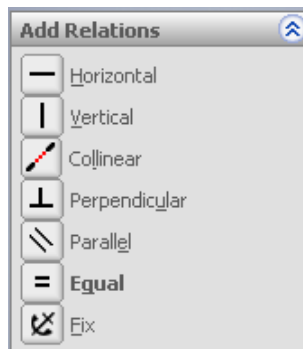
noktaya sol tıklanır bu nokta spline'nın başladığı noktadır. Daha sonra sırayla spline'ın geçeceği diğer noktalar tıklanarak spline oluşturulur.



Yüzeye nokta koymaya yarayan komuttur. Point ikonuna tıklanarak komut etkin hale getirilir. Daha sonra çizim alanında herhangi bir yere tıklanarak oraya nokta atılır. Tıklanılan noktanın koordinatları otomatik olarak ekranın solunda bulunan Point Property Manager'da görünür. Bu değerler değiştirilerek noktanın bulunduğu yer değiştirilebilir.



Sketch'ler arasına ilişki eklemeye yarayan komuttur. Bu komut aktifleştirilip ilişki kurmak istenen unsurlar seçilince, bu unsurlar arasında kurulabilecek ilişki türleri otomatik olarak alttaki Add Relations bölümünde gözükür. Bu ilişki türlerinde istenen ilişkiler seçilerek iki unsur arasında ilişkiler kurulur. Eğer ilişki gereği seçilen unsurların boyu veya konumu değişecekse ilk seçilen unsur sabit kalırken diğer unsur değişir. Aşağıda gelişigüzel oluşturulmuş iki line unsuru arasında oluşturulabilecek ilişki türleri örnek olarak verilmiştir.



Resim 2.13. Add relations menüsü



İki Line arasında oluşturulabilecek ilişki türleri:

- Horizontal: Yataylık ilişkisi kurar.
- Vertical: Düşeylik ilişkisi kurar
- Collinear: Seçimlerin aynı doğrultuda olmasını sağlar.
- Perpendicular: Diklik ilişkisi kurar.
- Parallel: Paralellik ilişkisi kurar.
- Equal: Seçimleri eşitler.



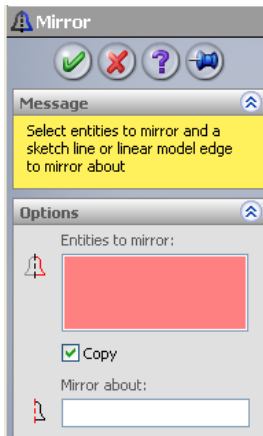
Display/delete relations

Çizim unsurları arasında oluşturulmuş ilişkileri görmeyi ve istenilen ilişkileri silmeyi sağlayan komuttur.



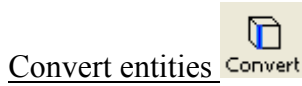
Mirror

Çizim unsurlarını belli bir çizgiyi ayna gibi kullanarak kopyalamayı sağlayan komuttur. Mirror ikonu seçilerek aktif konuma getirildiğinde, ekranın sol tarafında Mirror Property Manager penceresi açılır.

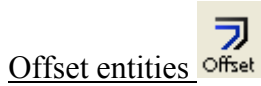


Resim 2.14. Mirror property manager

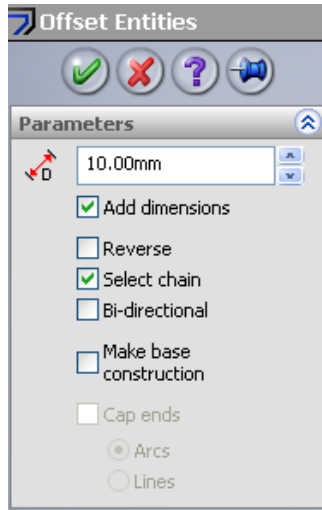
Buradan Entities to mirror bölümü pembe aktifken aynalanacak unsurlar seçilir, daha sonra alttaki Mirror about kısmı seçilerek ayna görevi görececek unsur seçilir ve işlem onaylanır.



Üç boyutlu çizilen modellerin, yüzeyinde kalan çizgilerini aktif hale getirilmesini sağlayan komuttur.



Bir unsurun kendisinden belli bir uzaklıkta bir kopyasını oluşturmayı sağlayan komuttur. Ofset Entities ikonuna basarak komut etkin hale getirildiğinde, ekranın solunda Property Manager penceresi açılır.



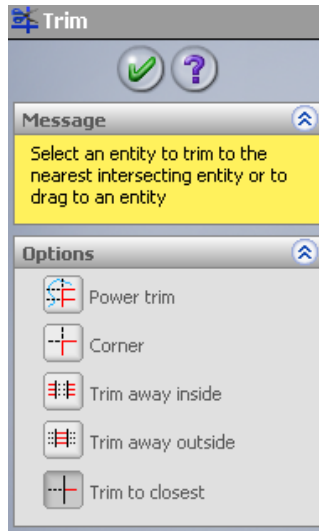
Resim 2.15. Offset property manager

Buradan şu ayarlar yapılabilir. En üstteki kısımdan kopyanın ana unsurda ne kadar uzaklıkta olacağı belirlenir. Add dimensons ile kopya ve ana unsur arasındaki mesafe şekil üzerinde belirtilebilir. Reverse ile kopyanın ana unsurun hangi yönünde olacağı

belirtilir. Select chain ile seçilen çizgilerin zincir bağlantısı kopmadan offsetlenmesi sağlanır. Bidirectional ile ana unsurun her iki yönünde de kopyası oluşturulur.



Çizgilerin belli bir kesişimden sonra silinmesini, eğer kesişim yoksa çizgilerin tamamının silinmesini sağlayan komuttur. Trim ikonunu seçip aktifleştirdikten sonra, ekranın solunda Property Manager penceresi açılır.



Resim 2.16. Trim property manager

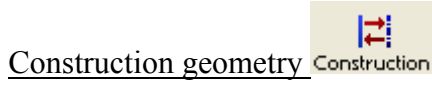
*Power trim* seçilip fare ile çizgiler çizilirse, fare ile çizilen çizginin değdiği her çizgi kesişim noktalarına kadar silinecektir.

*Corner* seçilip birbiriyle kesişen iki çizgi seçilirse çizgiler kesişim noktalarından itibaren silinir.

*Trim away inside* seçilip iki çizgiyi sınır olarak belirledikten sonra bu iki çizgi arasında kalan çizgilerden istenen kısım silinebilir.

*Trim away outside* seçilip iki çizgiyi sınır olarak belirledikten sonra bu iki çizgi dışında kalan çizgilerden istenen kısım silinebilir.

*Trim to closest* seçilip istenen çizginin üzerine tıklayarak kesişim noktalarına kadar çizginin silinebilir.



Çizim unsurlarının kesikli çizgiden sürekli çizgiye, sürekli çizgiden kesikli çizgiye geçişini sağlayan komuttur.



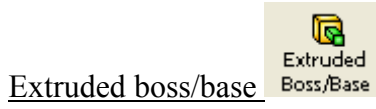
Üç boyutlu çizim yapmayı sağlayan komuttur. 3D sketch ikonuna tıklanarak komut aktif duruma getirilir ve çizginin başlangıç ve bitiş noktaları mouse ile seçilerek çizim gerçekleştirilir.

### 2.6.3. Features araç çubuğu

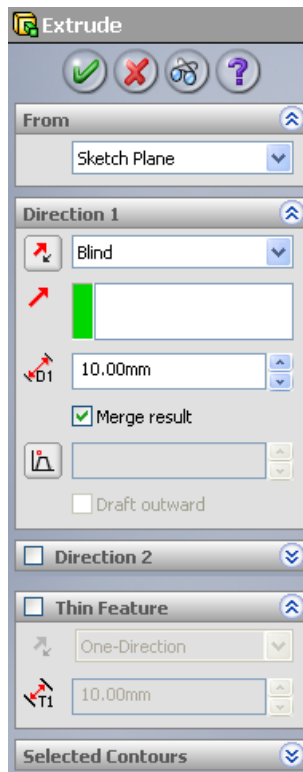
Features Araç Çubuğu iki boyutlu olarak çizilmiş modellerin üç boyutlu hale getirilmesini sağlayan komutları içerir.



Resim 2.17. Features araç çubuğu



İki boyutlu bir çizime kalınlık atayarak üç boyutlu katı model oluşturulmasını sağlayan komuttur. Extruded Boss/Base komutunun aktif hale getirebilmek için çizim alanında kenarları kapalı bir çizimin olması gerekir. Extruded Boss/Base ikonuna tıklayıp komutu aktif hale getirildiğinde ekranın solunda Extruded Boss/Base Property Manager'ı açılır.



Resim 2.18. Extruded boss/base property manager

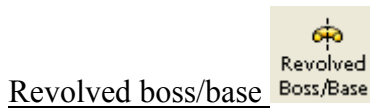
Buradan en üstteki From bölümünden extrude işleminin başlayacağı yer seçilir. Sketch plane seçilirse extrude işlemi çizimin bulunduğu yüzeyden, Surface/Face/Plane seçilirse extrude işlemi seçilen bir yüzey veya düzlemden, Vertex seçilirse extrude işlemi seçilen bir köşeden ve Offset'i seçilirse extrude işlemi verilen bir ofset değerinden itibaren oluşturulur.

Direction / bölümünden extrude işleminin miktarı belirlenir. Blind seçilirse extrude değeri klavyeden girilir veya fare ile çizim alanında oluşan ok işaretinin ucuna basarak fare hareketleri ile ayarlanır. Through all seçilirse extrude işlemi parçanın boyutu kadar kendiliğinden belirlenir. Up to vertex seçeneği seçilen bir köşeye kadar, Up to surface seçilen yüzeye kadar, Offset from surface ise seçilen yüzeyden verilecek ofset değeri kadar uzaklıktaki bir noktaya kadar extrude yapılmasını sağlar.

Thin feature seçeneği extrude işleminin bir dolgulu katı olarak değil de bir et kalınlığı vererek yapılmasını sağlar. Reverse direction'dan One direction tek yönde, Mid plane her iki yöne paylaştırılmış olarak, Two direction ise her iki yönde ayrı ayrı et kalınlığı verilmesini sağlar.



Bir katı modelden, çeşitli geometrilerde katı çıkarılması için kullanılır. Extruded cut komutunun aktif hale gelebilmesi için daha önceden oluşturulmuş katı bir modelin olması gerekir. Katı modelin bir yüzeyine, bir çizim oluşturup Extruded Cut ikonuna basılır. Extruded cut komutu aktif hale geldiğinde Extruded Cut Property Manager açılır. Bu penceredeki komutlar Extrude komutundakilerle aynıdır.



Bir profilin bir eksen etrafında döndürülerek katı modelleme yapılmasını sağlayan komuttur. Revolved Boss/Base komutunu çalıştırabilmek için ekranda iki boyutlu kenarları kapalı çizim ve bu çizimi etrafında döndürebilecek bir referans çizgisinin olması gerekmektedir. Revolved Boss/Base komutu aktifleştirildiğinde Revolve Property Manager gözüktür.



Resim 2.19. Revolve property manager

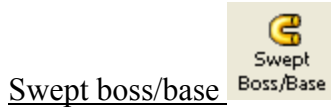
Buradan Revolve Parameters bölümünün, Axis of revolution kısmında profilin etrafında döneceği referans çizgisini seçilir. Reverse direction kısmından katılaştırma işleminin hangi yöne doğru yapılacağı, Angle kısmından katılaştırma işleminin kaç derece döndürüleceği seçilir.

Burada Thin feature kısmında Extrude komutundaki Thin feature’da geçerli olan tüm özellikler geçerlidir.



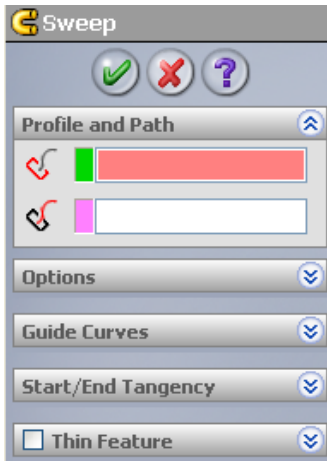
Revolved cut

Bir katı model üzerine çizilen bir çizimin, bir eksen etrafında döndürülerek katı modelden boşaltma yapılmasını sağlayan komuttur. Döndürülmek istenen geometrinin yarısı ve bir eksen boşaltılacak yüzeye çizilir. Daha sonra Revolved Cut ikonuna basılarak komut aktif hale getirilir. Komut aktif hale getirildiğinde Cut-Revolve Property Manager açılır. Bu pencerenin özellikleri Revolve Property Manager ile aynıdır.



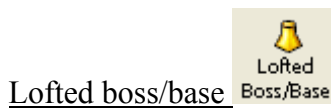
Sweep boss/base

İki boyutlu bir profili, bir sketch unsurunun boyunca süpürerek katı model oluşturmayı sağlayan komuttur. Sweep Boss/Base komutunun aktif duruma gelebilmesi için bir sketch unsuru etrafında oluşturulmuş kenarları kapalı bir sketch profilinin bulunması gereklidir. Komutu çalıştırmak için Sweep Boss/Base ikonuna tıklandığında Sweep Property Manager açılır.



Resim 2.20. Sweep property manager

Profile and Path bölümünden, profil ve izleyeceği yolu sırasıyla seçildiğinde bu yol boyunca profil süpürülerek katılaştırılır. Thin feature kısmı et kalınlığı belirlemeye yarar.

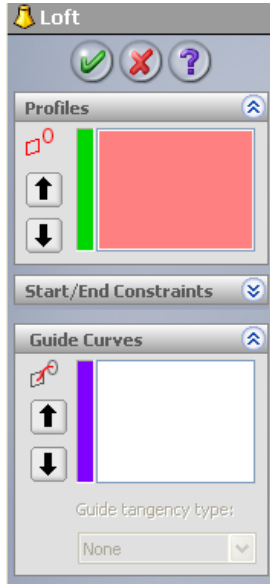


Lofted boss/base

İki veya daha çok düzlemdeki sketch unsurlarının aralarına malzeme ekleyerek birleştirip katı model oluşturmamızı sağlayan komuttur. Loft Boss/Base komutunun aktif hale gelebilmesi için en az iki farklı düzlemde sketch unsurlarının bulunması



gereklidir. Lofted Boss/Base komutu aktifleştirildiğinde Loft Property Manager açılır.

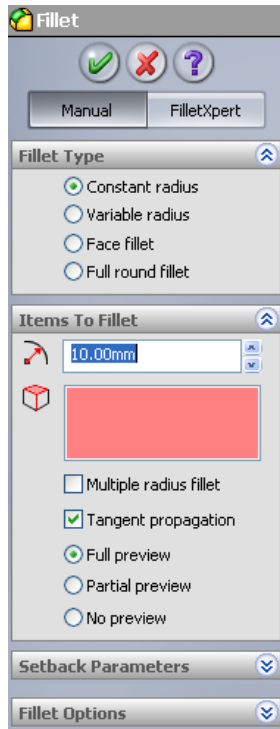


Resim 2.21. Loft property manager

Loft Property Manager'da en üstte bulunan *Profiles* kısmından, aralarına malzeme eklenerek katı model oluşturulacak profiller seçilir.



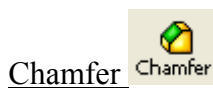
Katı veya yüzey modellerin, bir veya birden çok yüzey tarafından oluşturulmuş kenarlarının iç veya dış yüzeylerine radüs vermek için kullanılan komuttur. Fillet komutunu aktif konuma gelebilmesi SolidWorks çizim alanında katı veya yüzey modellenmiş bir modelin bulunması gerekir. Fillet komutu aktifleştirildiğinde Fillet Property Manager açılır.



Resim 2.22. Fillet property manager

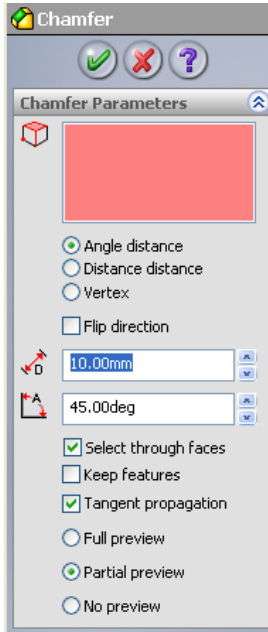
Buradan en üstteki Fillet Type bölümünden hangi çeşit radüs atılacağını belirler. Constant radius seçeneğini seçilirse seçilen kenara sabit bir yarıçap değerinde radüs atılır. Variable radius seçilirse kenara bir köşeden diğer köşeye kadar seçilen değerler arasında yarıçapı değişen bir radüs atılır. Face fillet seçilirse seçilen yüzeyler arasındaki kenara radüs atılır.

Items To Fillet bölümündeki radius kısmından radüs yarıçapını, altındaki kısımdan fillet atılacak kenarı veya yüzeyleri girilir. Multiple radius fillet seçeneği seçilirse seçilen her köşeye ayrı yarı yarıçap değeri girilmesi sağlanır.



Katı veya yüzey modellerin kenarlarında pah kırmayı sağlayan komuttur. Chamfer komutunun aktif hale gelebilmesi için ekranda bir yüzey veya katı modelin olması

gerekir. Chamfer komutu etkin duruma getirildiğinde Chamfer Property Manager açılır.



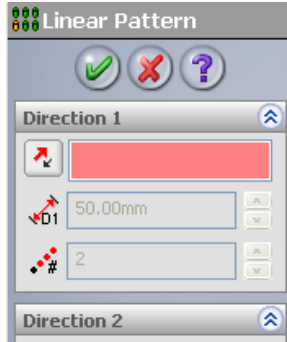
Resim 2.23. Chamfer property manager

Burada, en üstteki bölümden pah kırma işleminin yapılacağı kenar, köşe veya yüzeyler seçilir. Onun altındaki bölümde, Angle distance bir açı ve uzunluğa bağlı kalarak, Distance distance iki uzunluğa bağlı kalarak, Vertex üç uzunluğa bağlı kalarak pah kırılmasını sağlar.



### Linear pattern

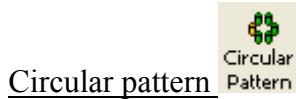
Linear pattern, kopyaları ya da örnekleri bir yön, bir uzaklık ve kopya sayısı ile kontrol edilen doğrusal bir dizi içinde oluşturan komuttur. İlk önce doğrusal çoğaltma uygulanacak şekil tasarım ağacından seçilir. Böylece doğrusal çoğaltma uygulanacak şeklin geometrisi otomatik olarak seçilmiş olur. Daha sonra Linear Pattern komutunu aktifleştirilir.



Resim 2.24. Linear pattern property manager

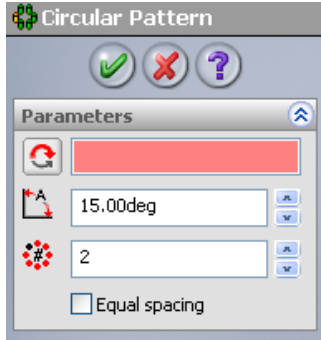
Burada, Direction 1 bölümünde Edge kısmında şeklin doğrusu boyunca çoğaltılacağı kenar seçilir, Reverse direction'a tıklayarak çoğaltma yönü değiştirilebilir. Spacing kısmına şeklin ne kadar aralıklarla tekrarlanacağı ve Number of instances kısmına da kaç kere tekrarlanacağı girilir.

Eğer ikinci bir eksenle çoğaltma yapılacaksa Direction 2 kısmı kullanılır. Aynı işlemler bu eksen içinde tekrarlanır.



Circular pattern

Circular pattern, kopyaları ya da örnekleri bir dönme merkezi, açı ya da kopya sayısı ile kontrol edilen dairesel bir düzlemde oluşturulmasını sağlayan komuttur. İlk önce dairesel çoğaltma uygulanacak şekil tasarım ağacından seçilmelidir. Böylece dairesel çoğaltma uygulanacak şeklin geometrisi otomatik olarak seçilmiş olur. Daha sonra Circular Pattern komutu aktifleştirilince Circular Pattern Property Manager açılır.



Resim 2.25. Circular pattern property manager

Burada, Parameters bölümünde Axis kısmında eksen seçilir. Angle kısmına unsurun kaçar derece aralıklarla tekrarlanacağı ve Number of instances kısmına da kaç kere tekrarlanacağı girilir.



Mirror

Mirror, bir düzlem yada yüzey boyunca aynalama yapılmasını sağlayan komuttur. Oluşturulan kopya diğer bütün çoğaltma komutlarında olduğu gibi aynalama çoğaltmasında da orjinaline bağlıdır. İlk önce aynalama çoğaltması uygulanacak şekil tasarım ağacından seçilir. Mirror komutu aktifleştirildiğinde Mirror Property Manager açılır.

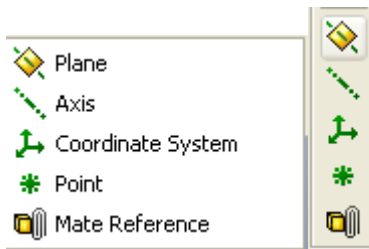


Resim 2.26. Mirror property manager

Burada önceden seçilmiş olan unsuru tekrar seçmeye gerek yoktur. Mirror face/plane bölümü seçilip aynalama için referans olacak bir yüzey veya düzlem seçilir.

#### 2.6.4. Reference geometry araç çubuğu

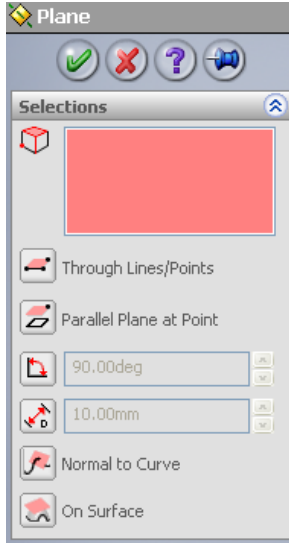
Reference Geometry, modele yardımcı düzlem, eksen çizgisi, nokta veya yardımcı koordinat sistemi eklenmesini sağlayan komutları içeren araç çubuğudur.



Resim 2.27. Reference geometry araç çubuğu

Plane 

Bir yüzeye veya curve unsuruna göre referanslı düzlem oluşturulmasını sağlayan komuttur. Plane komutu aktif hale getirildiğinde Plane Property Manager açılır.



Resim 2.28. Plane property manager

Selections bölümünden, Normal to curve ikonunu seçip ekranda bulunan bir curve unsurunun ucuna yakın bir noktasına dokunulursa, yakın uç ile dik bir referans düzlemi oluşturulur. Through lines/points ikonunu seçilirse üç nokta veya kenarın oluşturduğu düzleme paralel bir düzlem oluşturur. Hiçbir ikonu seçmeden Select Entities kısmından bir yüzey seçilirse, bu yüzeye paralel bir düzlem oluşturulur. Distance değerini girip düzlemin seçili yüzeye olan uzaklığı belirlenebilir. Angle kısmından oluşturulan düzlemin açısı ayarlanabilir.

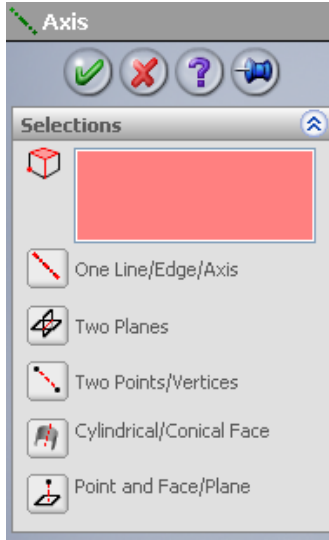
Paralel plane at point ikonunu seçilirse bir nokta ve bir düzlem veya yüzey seçerek noktada bu düzleme veya yüzeye paralel bir düzlem oluşturulur.

On surface ikonu seçilerek bir düzleme ve model üzerindeki herhangi bir noktaya göre bir düzlem oluşturulur. Bu komutla silindirik ve konik yüzeylere göre referans düzlemi oluşturabilir.



Axis

Seçilen çizim unsurlarına eksen çizgisi atmayı sağlayan komuttur.



Resim 2.29. Axis property manager

Selections bölümünden On Line/Edge/Axis seçeneği seçilirse bir çizgi veya kenara eksen çizgisi atılacaktır. Two Planes seçeneğini seçilirse iki yüzeyin kesişim kenarına bir eksen çizgisi atılır. Two Points/Vertices seçeneği seçilirse iki nokta arasına eksen çizgisi atılır. Cylindrical/Conical face seçeneği seçilirse bir silindir veya koninin merkezine ve Point and Face/Plane seçeneği seçilirse bir yüzey veya düzlem ile bir noktanın arasına eksen çizgisi atılır.

## 2.7 SolidCAM Yazılımının Kullanımı

SolidCAM, tamamen Solidworks verilerini ve donanımlarını kullanan bir CAM programıdır. SolidCAM programı kurulduğunda Solidworks menü satırında, SolidCAM ana menüsü olarak programa entegre olur.



### 2.7.1 SolidCAM ana menüsü

SolidCAM ana menüsüne, SolidWorks menü çubuğundaki SolidCAM menüsüyle ulaşılabilir. SolidCAM ana menüsünde CAM parçalarını ve CAM parçalarının işlemlerini ayrıntılı şekilde idare etme imkanı bulunur.



Resim 2.30. SolidCAM ana menüsü

Yeni, yeni bir CAM parçası oluşturmayı; Aç, daha önceden oluşturulmuş bir CAM parçasına erişmeyi; Kopyala, mevcut bir CAM parçasını bilgisayarın bir dizininden başka bir dizinine kopyalamayı; Sil, daha önceden oluşturulmuş bir CAM parçasını silmeyi; Takım Tablosu, SolidCAM’de bulunan takım tablolarına erişmeyi, bu tablolar üzerinde değişiklikler yapmayı ve yeni takım tabloları oluşturmayı; CAM ayarları, mevcut SolidCAM ayarlarına ulaşmayı ve bu ayarlar üzerinde değişiklikler yapmayı; Mevcut CAM Parçaları, üzerinde işlem yapılan son dokuz CAM parçasını hızlı bir şekilde açmayı sağlayan komutlardır.

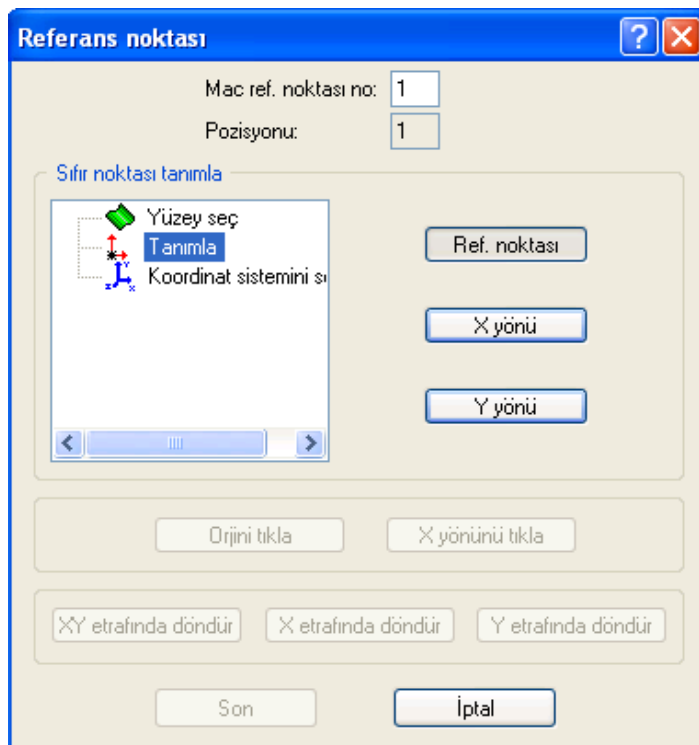
### 2.7.2. Yeni bir frezeleme işlemi oluşturma

İşlenecek model SolidWorks açıkken SolidCAM, Yeni, Freze menüleri takip edilerek CAM bölümü açılır. Açılan yeni pencerede parça klasörü, adı, referans noktası gibi özellikler ayarlanır.

#### Referans Noktası Tanımlama

Referans noktası tanımlamada 3 çeşit yöntem vardır (Resim2.31).

- Yüzey seçme
- Tanımlama
- Solidworks deki koordinat sistemini tanımlamak.



Resim 2.31. Referans noktası tanımlama

### *Yüzey Seçme*

Burada yüzey seçmeye tıklanırsa parça üzerinde bir yüzey seçilir ve otomatik olarak seçilen yüzeyin köşesine referans noktası atanır.

### *Tanımlama*

Referans noktasını, X,Y yönlerini ve orijini belirleyerek atamak için bu seçenek kullanılır. Seçenek tıklanınca program önce orijini, sonra da X ve Y yönlerini ister. Bu işlemler yapıldıktan sonra Z yönü ters olursa XY yönü etrafında döndür seçeneğiyle düzeltilir.

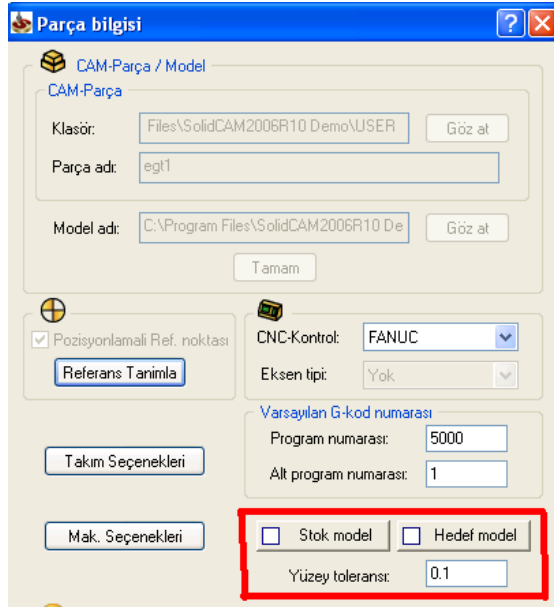
### *Solidworks'teki Koordinat Sistemini Tanımlamak*

Koordinat sistemini seçine basıp mevcut koordinat sistemi seçilirse referans SolidWorks'teki koordinat sistemine göre tanımlanır.

### Stok ve Hedef Model

Stok model CAM parçasının işlemlere başlanmadan önceki artık maddenin (talaş) bulunduğu parçadır. Stok modelin kullanım sebepleri; simülasyonlarda işlemleri görmek ve artık maddeleri işlem sonunda belirlemektir.

Hedef model ise işlemlerden sonra ulaşmak istenen parçadır. SolidCAM'de hedef modelin kullanım amaçları; 3D simülasyonu, arta kalan talaşın hesabı, işlemlerin doğruluğunu görmektir.



Resim 2.32. Stok ve hedef model tanımlama

Eğer küçük kutular işaretli değilse tanımlanmamıştır. İşaretliyse stok model ve hedef model tanımlanmıştır.

### *Hedef Model*

Hedef model seçeneği makine işleminde sonra son parçanın tanımlamasını sağlar. İlk olarak CAM parça bilgisi penceresinden hedef model kutusuna seçilir. 3d model tanımla butonuna basarak geometri seçilir.

### *Stok Model*

Stok model talaşları parçadan ayırt etmeden önceki yarı mamuldür. İlk olarak CAM parça bilgisi penceresinden stok model kutusuna tıklanır ve stok model belirleme modundan biri seçilerek tanımlama yapılır.

### 2.7.3. 2/2.5 eksen frezeleme

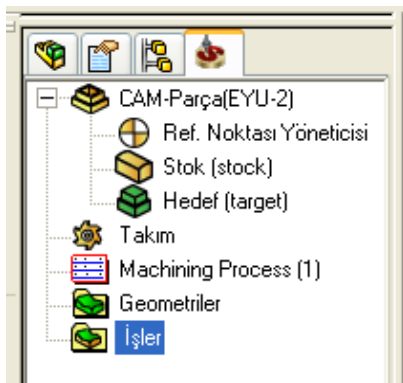
SolidCAM’de 2 veya 2.5 eksen frezeleme olarak tanımlanan operasyonlarla iş parçasının geometrisi üzerinde takım yolları oluşturulmasını sağlayan komutlardır. SolidCAM’deki 2/2.5 eksen frezeleme operasyonları şunlardır;

- Profil
- Havuz
- Delik delme işlemi
- Kanal

#### *Profil*

SolidCAM’de profil komutu ile seçilen bir geometrinin dış kısmı frezeleme işlemi ile boşaltılır.

SolidCAM’de bir profil operasyonu gerçekleştirmek için SolidCAM Manager’daki işler başlığının üzerine sağ tıklanıp açılan menüden ekle, profil seçeneği takip edildiğinde profil işlemi diyalog kutusu görünür (Resim 2.33).



Resim 2.33. SolidCAM manager

Resim 2.34. Profil işlemi diyalog kutusu

### Geometri

Bu bölümde frezeleme işlemi ile oluşturulacak profilin geometrisi oluşturulur. Önceden oluşturulan geometriler varsa bu geometrilerde seçilebilir.

### Takım

Profil işlemede kullanılacak takımın SolidCAM bünyesinde bulunan takım tablosundan seçilmesini sağlar.

### Takım yanı

Takım profili işlerken takımın profile göre göreceli konumunun tayin edilmesini sağlar.

### Profil yönü

Takımın profili işlemesi esnasında, profil boyunca hangi yöne doğru hareket edeceğinin belirlenmesini sağlar.

### Derinlik

Profil derinliğinin değişik şekillerde oluşturulmasını sağlar.

### Frezeleme düzlemi

Frezeleme düzleminde frezeleme işlemi esnasında takımın hareket edeceği düzlemler belirlenir.

Burada, güvenli düzlem, takımın bir operasyondan diğer operasyona geçerken yükseldiği düzlemdir. Emniyet mesafesi, takım iş parçasına dalmadan önce yavaşlayıp talaş kaldırırken ki ilerleme hızında hareket etmeye başladığı düzlemdir. İş üst düzlemi, iş parçasını üst düzlemidir. Profil derinliği, işlenecek profilin derinliğidir.

### Profil düzelt

Daha önceden seçilen profile belli bir ofset değeri girilerek profilin düzeltilmesini sağlar.

### Kaba

Profilin kaba işlenmesi esnasındaki ayarların yapılmasını sağlar. Duvar ofseti, kaba işleme sırasında son işlemede işlenmek üzere belli bir malzeme payı bırakılmasını sağlar. Ofset temizle bölümündeki, ofset değeri ise takımın işleme hareketi yapmaya başlayacağı ofset değerini gösterir. Takım ofset temizledeki ofset değerinden itibaren işleme hareketine başlayıp duvar ofsetinde işleme hareketi bitirilir. Bu yüzden ofset temizle bölümündeki ofset değeri duvar ofsetine eşit veya duvar ofsetinden büyük

olmalıdır. İleri seçeneği seçilirse takım sadece tek yönde, eğer ileri&geri seçeneği seçilirse takım her iki yönde de talaş kaldıracaktır. Aşağı adım bölümünde ise kaba paso değeri girilir.

### Finış

Profilin ince işlenmesi sırasındaki ayarların yapılmasını sağlar. Burada, finış sayısı, ince paso sayısını, aşağı adım ince paso kalınlığını ve profil uzantı ise pozitif yöndeki işlenmeden bırakılacak malzeme miktarını belirtmektedir.

### Trochoidal

Düz bir çizgi boyunca takımın çalışması yerine takımın bir dairesel, bir doğrusal karakter gösteren çizgi boyunca çalışmasını sağlar. Böylece işleme süresi düşer ve takım ömrü uzar.

Trochoidal diyalog kutusunda, radüs takımın dönel hareketinin yarıçapını, adım ise takımın iki dönel hareket arasındaki doğrusal hareket miktarını gösterir.

### Matkapla boşaltma

Freze takımının dönerek yatayda ilerleme hareketi yapıp boşaltma yapması yerine matkaplama şeklindeki hareketlerle boşaltma yaptığı boşaltma türüdür.

### Son kesim için yuvarlatma boyu

Parça geometrisi üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan, keskin köşelerde oluşturulan takım yollarına bir radüs değeri verilmesini sağlar. Burada, iç taraf bölümünde içe dönük, dış taraf bölümünde ise dışa dönük keskin köşelerdeki takım yollarının yapacağı radüs değeri girilir.



### Alçalma tipi

Takımın iş parçasına dalmak için güvenli düzlemden itibaren yapmaya başladığı alçalma hareketinin tipinin seçilmesini sağlar.

Burada, ilerleme seçeneği seçilirse takım güvenli düzlemden emniyet mesafesine kadar hızlı emniyet mesafesinden iş parçasına kadar verilen ilerleme değerinde hareket eder. Hızlı seçeneği seçilirse takım güvenli düzlemden iş parçasına kadar hızlı bir şekilde alçalacaktır ve diagonal seçeneği ise yalnızca profil derinliğinin paso miktarına eşit olduğu durumlarda seçilir.

### Yaklaşma

Takımın iş parçasına daldığı andaki hareketinin seçilmesini sağlar.

Burada yok seçeneği seçilirse takım iş parçasına ilk dalışta özel bir hareket yapmaz, normal seçeneği seçilirse takım iş parçasına doksan derecelik açıyla dalar, yay seçeneği seçilirse takım yarıçapı seçilen bir yay çizerek iş parçasına dalar, teğet seçeneği seçilirse takımın iş parçasına ilk dalışı iş parçasına teğettir ve nokta seçeneği seçilirse seçilen bir noktadan itibaren takım iş parçasına ilk dalma hareketini yapacağı noktaya kadar doğrusal bir çizgi boyunca hareket eder.

### Geri çekilme

Takımın işleme operasyonunu bitirdikten sonra iş parçasından çıkarken yaptığı hareket şeklinin seçilmesini sağlar.

Burada, yok seçeneği seçilirse takım iş parçasından çıkarken özel bir hareket yapmaz, normal seçeneği seçilirse takım iş parçasından doksan derecelik açıyla geri çekilir, yay seçeneği seçilirse takım yarıçapı bir yay çizerek iş parçasından çıkar, teğet seçeneği seçilirse takımın iş parçasından geri çekilme hareketi iş parçasına teğet olur.

### Arta kalan malzeme / pah kırma

Takımın parçayı ilk işleyişinden sonra takımın çapının büyük olması nedeni ile giremediği alanlarda ve keskin köşelerde işlenmeden kalan iş parçası bölgelerinin işlenmesini sağlar.

Profil diyalog kutusunda bütün ayarlamalar yapıldıktan sonra kaydet&hesapla ikonu seçilir ve profil işlemi diyalog kutusundan çıkılır. Bu arada simülasyon seçeneğiyle, oluşturulan takım yolları veya işlenen profili görülebilir.

### *Havuz*

SolidCAM’de havuz komutu ile seçilen kapalı bir geometrinin iç kısmı frezeleme işlemi ile boşaltılır. Havuz frezeleme işlemi yapılacak ilk işlemse SolidCAM Manager’da işler başlığı üzerine sağ tıklayarak açılan sekmeden ekle, oradan da havuz seçeneği seçilir. Daha önceden iş parçası üzerinde frezeleme işlemi yapılmışsa, en son yapılan işlemin üzerine sağ tıklayıp açılan sekmeden havuz komutu seçilir. Havuz seçeneğini seçildikten sonra ekrana havuz boşaltma işlemi diyalog kutusu gelir (Resim 2.35).

Resim 2.35. Havuz boşaltma işlemi diyalog kutusu

Havuz boşaltma işleminde kullanılan birçok komutun görevi ve kullanılışı, profil işlemindekilerle aynıdır. Bu yüzden havuz işlemi ile ilgili komutların görevleri ve kullanılışları anlatılırken sadece profil işlemlerindeki komutlardan farklı olan komutlar anlatılacaktır.

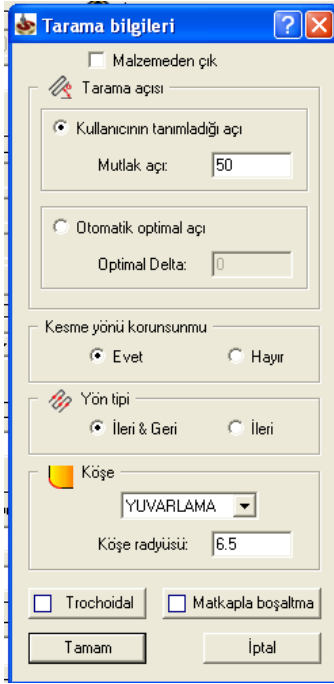
### Havuz tipi

Seçilen geometrinin içini değişik şekillerde boşaltmayı sağlayan komuttur.

Burada, tarama seçeneği seçilirse seçili geometrinin içi takım tarafından geometri kenarlarına kullanıcı tarafından seçilen açılar yapan doğrusal çizgiler boyunca boşaltılır ve bu durumda kenarlarda çapaklar kalır. Kontur seçeneği seçilirse, takım seçili geometri çizgilerine paralel hareket ederek boşaltma işlemini gerçekleştirir. Tarama+finiş seçeneği seçilirse tarama işleminde kalan çapaklar geometri kenarlarına paralel bir finiş pasosu ile alınır. Temizle seçeneği seçilirse yüzey

temizleme işlemi gerçekleştirilir. Matkapla boşaltma seçeneği seçilirse, kapalı geometrinin içi matkaplama şeklindeki hareketlerle boşaltılır.

Tarama seçeneği seçiliyken bilgi ikonuna tıklanırsa ekranda Tarama Bilgileri Diyalog Kutusu görünür.



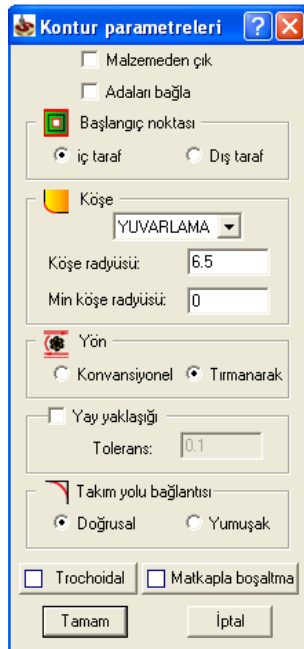
Resim 2.36. Tarama bilgileri diyalog kutusu

Tarama bilgileri diyalog kutusunda malzemedен çık seçeneği seçili ise takım işlem sırasında bir çalışma alanından diğer çalışma alanına geçerken malzemedен tamamen çıkar. Seçili değilse iki çalışma alanı arasında malzemede bir takım yolu oluşturarak geçer. Tarama açısı kısmında takımın boyunca hareket ettiği doğrusal çizgilerin kapalı geometri kenarları ile yaptığı açı belirlenir. Kesme yönü korunsun mu kısmında kesme yönünün takım ayarlarında yapılan kesme yönü ayarı ile aynı yönde olup olmayacağı seçilir.

Yön tipi bölümünde takımın hangi yönlerde hareket ederken kesme işlemini gerçekleştireceği seçilir. Köşe kısmında ise yuvarlama seçeneği seçilirse takım

köşeleri kullanıcı tarafından girilecek bir radyüs değeri ile yuvarlayacaktır, yok seçeneği seçilirse köşelerde yuvarlama yapılmaz.

Havuz tipi bölümünde kontur seçeneği seçilirse ekranda Kontur Parametreleri Diyalog Kutusu görünür.



Resim 2.37. Kontur parametreleri diyalog kutusu

Kontur parametreleri diyalog kutusunda adaları bağla seçeneği seçilirse adalar aynı yönde işlenir. Bu özellik yüksek hızda kesmelerde önem kazanmaktadır. Başlangıç noktası bölümünde takımın havuzun neresinde kesme işlemine başlayacağı seçilir. İç taraf seçeneği seçilirse takım havuzun içinde kesme işlemine başlayıp havuz kenarlarına doğru ilerler. Dış taraf seçeneği seçilirse takım havuzun dış kenarında kesme hareketine başlayıp içe doğru ilerler. Yön bölümünde frezeleme hareketinin çeşidi seçilir. Konvansiyonel seçeneği seçilirse zıt yönlü frezeleme, Climb seçeneği seçilirse eş yönlü frezeleme yapılır. Takım yolu bağlantısı bölümünde, doğrusal seçeneği seçilirse takım bir yoldan diğer yola geçerken doğrusal hareket edecektir, Eğer yumuşak seçeneği seçilirse takım bir yoldan diğer yola geçerken zig-zag hareketi yapacaktır.

### Yan adım

Boşaltma işlemi sırasında takımın, takım eksenine dik yöndeki ilerleme değerinin seçilmesini sağlar. Yan adım diyalog kutusuna girilecek değer, yan paso miktarını belirlemektedir. Bu değer genelde, D takım çapı olmak üzere  $0.65D$  alınır.

### Ofsetler

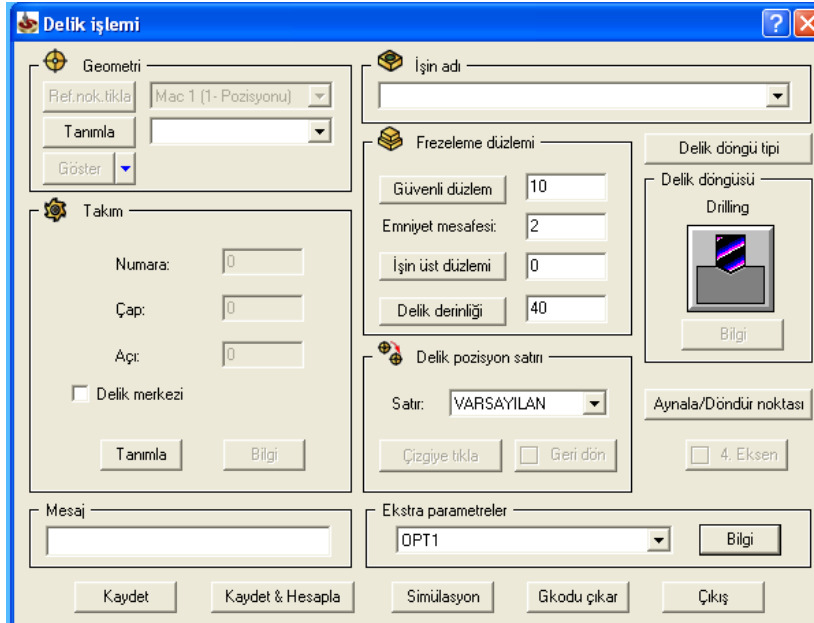
Havuzun duvarlarına, tabanına ve adalarına ofset değerleri vermemizi sağlar. Burada, kaba işleme esnasında işlenmeden bırakılacak malzeme değerleri ofset değerleri olarak girilir.

### Finiş

Havuz yüzeyindeki yüzeyleri ince işlemek amacı ile uygulanan paso değerleri küçük talaş kaldırma işlemidir. Burada yok seçeneği seçilirse finiş pasosu uygulanmaz, duvar seçeneği seçilirse finiş pasosu sadece havuz duvarlarına uygulanır, taban seçeneği seçilirse finiş pasosu sadece tabana uygulanır, taban+duvar seçeneği seçilirse finiş pasosu duvar ve tabana aynı anda uygulanır.

### Delik delme işlemi

Delik delme işlemi SolidCAM’de delik delmek için kullanılan komuttur. Eğer daha önceden iş parçası üzerinde bir frezeleme işlemi yapıldıysa son yapılan işlemin, yapılmadıysa SolidCAM Manager’daki işler başlığının üzerine gidip sağ tıkladıktan sonra açılan sekmeden delik delme işlemi seçeneği seçildiğinde ekrana Delik İşlemi Diyalog Kutusu gelir (Resim 2.38).



Resim 2.38. Delik işlemi diyalog kutusu

### Geometri

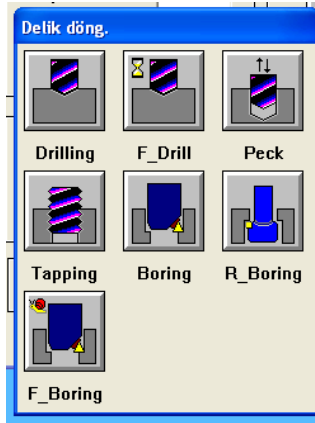
Delinecek deliğin tanımlanmasını sağlayan diyalog kutusudur.

### Delik pozisyon satırı

Matkaplama işlemlerinin ardışıklığının kontrol edilmesini sağlar. Burada, varsayılan seçeneği seçilerek, geometri tanımlama aşamasında seçilen noktalar esas alınır.

### Delik döngü tipi

Delik delme işleminin hangi değişik hareket şekilleri ile gerçekleştirileceğinin belirlendiği komuttur. Delik döngü tipi diyalog kutusunda, delik döngü tipi ikonuna tıklanırsa ekrana Delik Döngüleri Diyalog Kutusu gelir.



Resim 2.39. Delik döngüleri diyalog kutusu

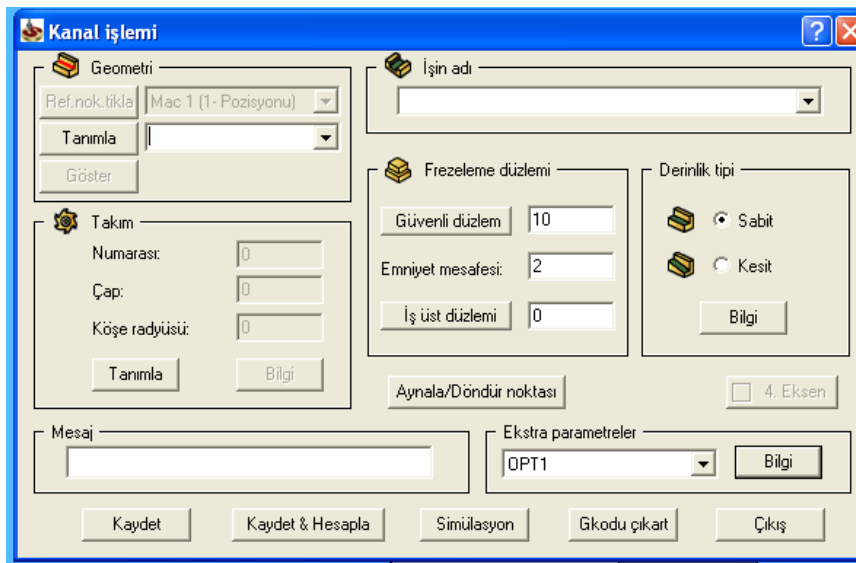
Burada drilling seçeneği seçilirse takım belli bir devirde deliği işler ve işlem bitince geri döner, F\_drill seçeneği seçilirse takım belli bir devirde deliği işler işleme operasyonu bitince kullanıcı tarafından belirlenen bir süre için bekler daha sonra geri döner, peck seçeneği seçilirse takım belirlenen bir derinlik miktarı ile deliği işler bu seviyede yine belirlenen bir süre kadar bekler daha sonra hızlı bir şekilde emniyet mesafesine çıkar ve daha sonra tekrar hızlı bir şekilde deliği son işlediği noktaya gidip bu noktada işleme hareketine başlar ve bu hareketleri tekrarlayarak deliği işler, tapping seçeneği seçilirse tapper takımı deliği işler daha sonra işleme hareketinin ters yönde yaparak geri döner, boring seçeneği seçilirse boring takımı deliği işler daha sonra işleme hareketini ters yönde yaparak hızlı bir şekilde geri döner, R\_boring seçeneği seçilirse takım deliği işler ve işleme hareketi bitince belirlenen süre kadar daha sonra geri döner, F\_boring seçeneği seçilirse boring takımı deliği işler işleme hareketi bitince belirlenen süre kadar bekler daha sonra geri döner.

F\_boring, R-boring, F\_drill seçeneklerinde takımın bekleme süresini peck seçeneğinde ise takımın bekleme süresini ve takımın aşağı doğru yaptığı işleme hareketlerinin derinliğini belirlemek için bu seçenekler seçildikten sonra delik döngü tipi diyalog kutusundaki işlem tamamlanmıştır.



### *Kanal işlemi*

SolidCAM’de iş parçası üzerinde iki çeşit kanal tanımlanabilir. Bunlardan birincisi, sabit derinlik tipli kanal, ikincisi ise değişken derinlik tipli kanaldır. SolidCAM’de iş parçası üzerinde kanal açmak için işler başlığına ya da daha önceden yapılan işler varsa son yapılan iş’e sağ tıklanarak açılan sekmeden kanal seçeneği seçilirse ekranda kanal işlemi diyalog kutusu görünür.

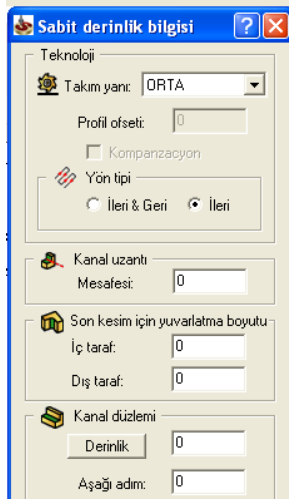


Resim 2.40. Kanal işlemi diyalog kutusu

Kanal işlemi diyalog kutusunda derinlik tipi başlığı altında bulunan komutların dışındaki bütün komutların kullanımı diğer 2/2.5 eksen frezeleme işlemlerindeki gibidir. Bu yüzden bu bölümde sadece derinlik tipi başlığı altındaki komutlar ve kullanımları anlatılacaktır.

### *Derinlik tipi*

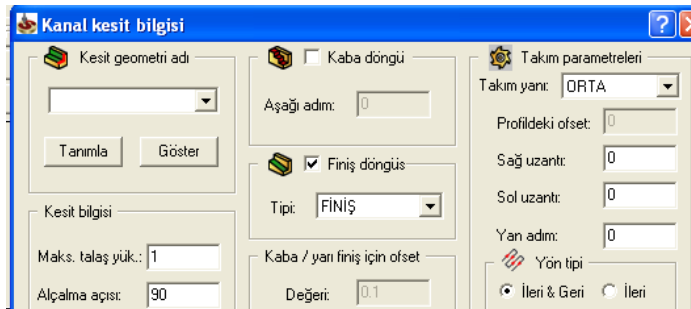
Sabit veya değişken derinlik tiplerine sahip kanalların işlenmesini sağlar. Burada sabit bir derinliğe ve değişken bir derinliğe sahip kanallar işlenebilir. Sabit bir derinliğe sahip kenarları işlemek için sabit seçeneği seçilip, bilgi ikonuna tıklanırsa ekrana Sabit Derinlik Bilgisi Diyalog Kutusu gelir.



Resim 2.41. Sabit derinlik bilgisi diyalog kutusu

Burada, takım yanı kısmında eğer orta seçeneği seçilirse takım seçilen geometriyi ortalayacaktır, sol seçeneği seçilirse takım seçilen geometrinin solunda işleme hareketini gerçekleştirecektir, sağ seçeneği seçilirse takım seçilen geometrinin sağında işleme hareketini gerçekleştirecektir. Sağ veya sol seçeneklerinden birisi seçilirse profil ofseti kısmına takımın hareket ettiği profile göre konumuna bir ofset değeri verilir. Kanal uzantı bölümünde mesafe kısmında, takımın seçilen geometrinin uçlarında girilen değer kadar daha yol alması sağlanır. Kanal düzlemi bölümünde, aşağı adım kısmına paso değeri girilir.

Derinlik tipi kısmında kesit seçeneği seçilip, bilgi ikonuna tıklanırsa ekrana Sabit Derinlik Bilgisi Diyalog Kutusu gelir.



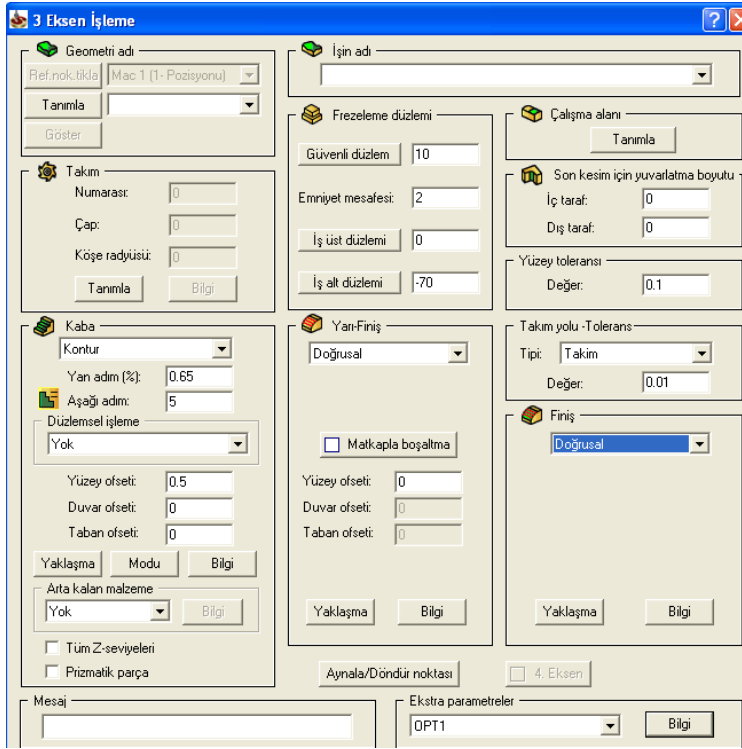
Resim 2.42. Kanal kesit bilgisi diyalog kutusu

Burada, kesit geometri adı bölümünde tanımla ikonu ile kanalın derinlik profilini gösteren iki boyutlu bir kesit tanımlanır. Kesit bilgisi bölümündeki maksimum talaş yüksekliği kısmına ne kadar küçük değer girilirse o kadar iyi yüzey elde edilir. Alçalma açısı bölümüne, kanalın ilk derinlik profilinin açısı girilir. Kaba döngü bölümüne kaç kaba paso alınacağı girilir. Finiş döngüsü bölümünde de istenen finiş döngüsü yarı finiş, finiş ya da her ikisi birden seçilebilir. Burada kaba/yarı finiş için ofset değeri de belirlenir.

#### **2.7.4. 3 eksen frezeleme**

SolidCAM’de üç eksen frezeleme olarak tanımlanan frezeleme işlemleri ile iş parçası üzerinde takım yolları oluşturulmasını sağlayan komuttur.

SolidCAM’de bir yarı mamulden daha önceden tasarlanmış bir modeli frezeleme işlemleri ile imal edilmesini sağlayan komuttur. 3D model işlemlerinde, kaba, yarı-finiş ve finiş olmak üzere üç farklı strateji kullanılır. SolidCAM’de iş parçasını üç eksen frezeleme yöntemi ile imal etmek için işler başlığına ya da daha önceden yapılan işler varsa son yapılan işe sağ tıklanarak açılan sekmeden 3D model seçeneği seçilir. Bu seçin sonucu ekranda 3 Eksen İşleme Diyalog Kutusu görüntülenir.



Resim 2.43. 3 eksen işleme diyalog kutusu

### Geometri Adı

Üç eksen frezeleme yöntemi ile imal edilecek parçanın geometrisini tanımlamamızı sağlar. Tanımla bölümünün sonundaki aşağı doğru olan ok işaretine sol tıklanarak açılan sekmeden daha önce tanımlanan hedef (target) seçeneği seçilir.

Takımın nasıl seçileceği daha önceki frezeleme işlemlerinde anlatıldığı için bu bölümde anlatılmayacaktır.

### Kaba

İş parçası üzerinde büyük pasolarla talaş kaldırılmasını sağlayan komuttur. Kaba diyalog kutusunda kontur yazan yerin sonundaki ok işaretinden açılan pencereden yok, kontur, tarama ve matkapla boşaltma seçenekleri görülecektir. Burada, yok seçeneği seçilirse iş parçası üzerinde kaba talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmez.

Tarama seçilirse takım iş parçasının bir ucundan diğer ucuna giden doğrusal çizgileri takip ederek boşaltma işlemini gerçekleştirir, kontur seçeneği seçilirse takım iş parçasının kenarlarına paralel hareket ederek boşaltma işlemini gerçekleştirir, matkapla boşaltma seçeneği seçilirse iş parçası takım tarafından matkaplama hareketleriyle boşaltılır. Kontur veya tarama seçenekleri seçilmişse yan adım kısmına, takımın yatayda kaldıracağı paso miktarı takım çapı yüzdesi olarak girilir.

Aşağı adım kısmına ise takımın Z ekseninde kaldıracağı paso miktarı girilir.

Düzlemsel işleme bölümünde, eğer kaba sırasında işle seçeneği seçilirse takımın aşağı adım seviyeleri arasında kalan ve iş parçalarının geometrilerinden kaynaklanan çıkıntılar kaba işleme esnasında aşağı adım değerleri otomatik olarak değiştirilerek işlenirler, kaba sırasında işleme seçeneği seçilirse bu çıkıntılar kaba işleme pasoları bittikten sonra yeni pasolarla işlenirler, yok seçeneği seçilirse bu çıkıntılar kaba işleme esnasında işlenmez.

Eğer modu seçeneği tıklanırsa ekrana Açık Havuz Stratejisi Diyalog Kutusu gelir.



Resim 2.44. Açık havuz stratejisi diyalog kutusu

Açık havuz stratejisi diyalog kutusunda, modu kısmında, havuz seçeneği seçilirse kapalı ve açık geometriler havuz stratejisi ile işlenir, profil seçeneği seçilirse kapalı alanlar havuz stratejisi açık alanlar ise profil stratejisi ile işlenir, havuz+ profil

seçeneği seçilirse kapalı alanlar havuz stratejisi ile açık alanlar ise önce profil stratejisi ile geriye malzeme kalırsa malzemenin kaldığı alan havuz stratejisi ile işlenir, son olarak da profil stratejisi ile bir bitirme işlemi uygulanır.

Kaba diyalog kutusunun alt tarafında bulunan tüm Z seviyeleri seçeneği seçilirse, takım işleme esnasında iş parçası geometrisinde bulunan oyukların hepsini aynı z seviyesinde birlikte işler, bu seçenek seçili değilse takım bir oyuğu tamamen işleyip bitirdikten sonra diğer oyuğu işlemeye geçer.

En alttaki prizmatik parça seçeneği, prizmatik parçalardaki köşe radüsleri ile bu radüslerin duvarları arasında alanları işleme esnasında avantaj sağlar. Bu seçenek seçildiği takdirde operasyonun hesaplanma süresi düşer ve G kodları daha kısa olur.

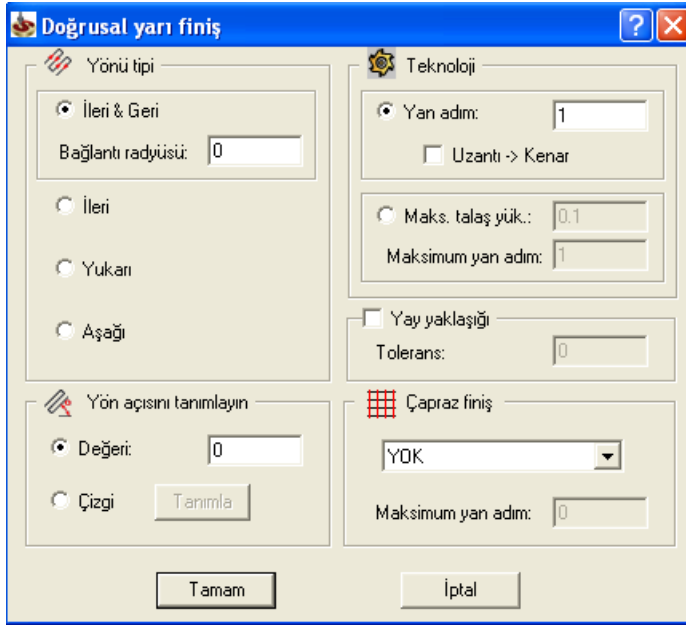
#### *Yarı-finiş*

İş parçasını finiş operasyonuna hazırlayan operasyondur. Kaba operasyondan farkı toleranslara daha çok yaklaşıması ve daha hassas işleme sağlamasıdır. Finiş operasyonundan tek farkı yüzeyler üzerine girilen ofset değerleri kadar pay bırakmasıdır. Diğer işlem parametreleri ve hassasiyeti finiş operasyonu ile aynıdır.

Diyalog kutusunun en üst kısmından yarı-finiş operasyonunun hangi strateji ile yapılacağı seçilir. Yok seçeneği seçilirse yarı-finiş operasyonu uygulanmaz. Seçilen strateji ile ilgili ayarlamalar yapmak ve parametreleri değiştirmek amacı ile bilgi ikonuna tıklanır ve hangi strateji seçilmişse o strateji ile ilgili diyalog kutusu ekrana gelir. Ekrana gelen bu diyalog kutusundan gerekli düzenlemeler yapılır.

#### *Doğrusal*

Doğrusal yarı-finiş operasyonunda takım yolları ilk önce parçanın iki boyutlu görüntüsü üzerinde doğrusal çizgiler olarak oluşturulur daha sonra hesaplanıp üç boyutlu modele uygulanır. Bu diyalog kutusunda doğrusal yarı finiş işlemi ile ilgili parametreler ayarlanır.



Resim 2.45. Doğrusal yarı-finiş diyalog kutusu

Burada, yön tipi bölümünde ileri&geri seçeneği seçilirse takım her iki yönde de hareket ederken kesme işlemini gerçekleştirir ve bağlantı radüsü kısmında takımın geri dönüş hareketi yaparkenki radüs değeri girilir. İleri seçeneği seçilirse takım sadece tek yönde kesme işlemini gerçekleştirir. Yukarı seçeneği seçilirse takım bir yönde ve iş parçasına göre göreceli olarak yukarı doğru hareket ederken kesme işlemini gerçekleştirir. Aşağı seçeneği seçilirse takım bir yönde ve iş parçasına göre göreceli olarak hareket ederken kesme işlemini gerçekleştirir.

Yön açısını tanımlayın bölümünde takımın boyunca hareket ettiği doğrusal çizgilerinin iş parçasının X eksenine göre açı değeri girilir. Burada sıfır değeri seçilirse takım X eksenine paralel hareket eder. Takımın hareket açısı bir çizgi ile belirlenecekse çizgi seçeneği seçilip, tanımla ikonuna tıkladıktan sonra iş parçası üzerinde iki kere tıklanır ve oluşturulan çizgi takımın boyunca hareket ettiği çizgilerin X eksenine göre açısını belirler.

Eğer yan adım kısmında uzantı kenar seçeneği seçilirse takım iş parçasını işlerken takım merkezi kenarların üzerine değil de kenarları dış tarafa doğru geçer böylece iş parçalarının kenarında çapak kalmaz.

Bazı durumlarda, takım belirtilen paso miktarlarından daha fazla talaş kaldırabilmektedir. Böyle bir durum kesme kuvvetleri açısından sorun yaratabilir. Bunun için takımın yataydaki ve dikeydeki paso miktarlarına bir üst değer verilerek takımın bu değerleri aşması önlenir.

Çapraz finiş, yarı finiş işleminden sonra işlenmemiş alanlar veya çapaklar kaldı ise uygulanan bir işlemdir. Bu bölümde yok seçeneği seçilirse çapraz finiş işlemi uygulanmaz. Normal seçeneği seçilirse, daha önceki takım yolları ile doksan derecelik açı yapan takım yolları oluşturulur ve takım bu yollar boyunca işlenmemiş kısımları ve çapakları temizler. Akıllı seçeneği seçilirse, seçeneğin hemen altında bulunan alana minimum yan adım değeri girilir. Daha önceden de yukarıda maksimum yan adım değeri girilmişti. Arda kalan malzeme yan adım değerinden büyükse bu bölgeye yeni bir paso uygulanır, arda kalan malzeme minimum yan adım değerinden küçükse takım yollarının çok yakın olacağı gerekçesi ile çapraz takım yolları oluşturulmaz ve arda kalan malzeme bu iki sınır arasında ise çapraz takım yolları oluşturulur. Takım bu yollar boyunca arda kalan malzemeyi keser.

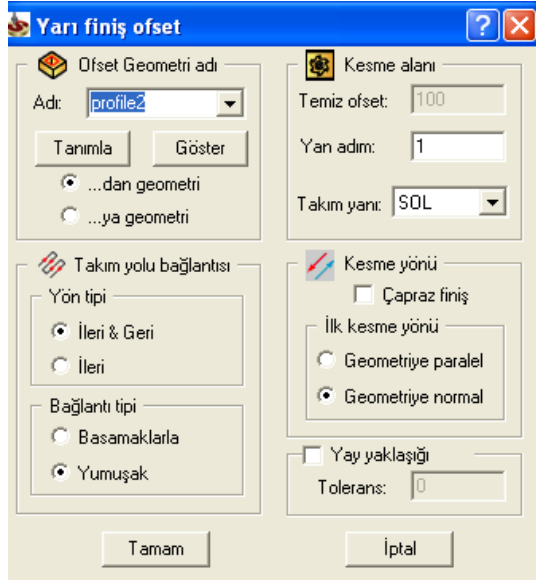
### Ofset kesme

Ofset kesme stratejisi, iş parçası üzerindeki belirli bir alanı tanımlayarak takımın sadece bu alanda veya bu alanın dışında kalan iş parçası alanlarında kesme işlemini gerçekleştirerek boşaltma yapmasını sağlayan stratejidir. Ofset kesme stratejisinde iki çeşit ofset profili işleme yöntemi vardır.

Bunlardan birincisinde sadece bir profil seçilerek ve profil yönüne bağlı kalınarak takımın konumu profilin sağına veya soluna yerleştirilir. Böylece takımın profilin içini veya profilin dışında kalan iş parçası kısımlarını işlemesi sağlanır. İkincisinde ise iki adet profil seçilir ve takım bu profiller arasında çalışarak boşaltma işlemini



gerçekleştirir. Yarı-finiş operasyonu için ofset kesme seçeneği seçilip bilgi ikonuna tıklanırsa ekranda Yarı Finiş Ofset Diyalog Kutusu görünür.



Resim 2.46. Yarı-finiş ofset diyalog kutusu

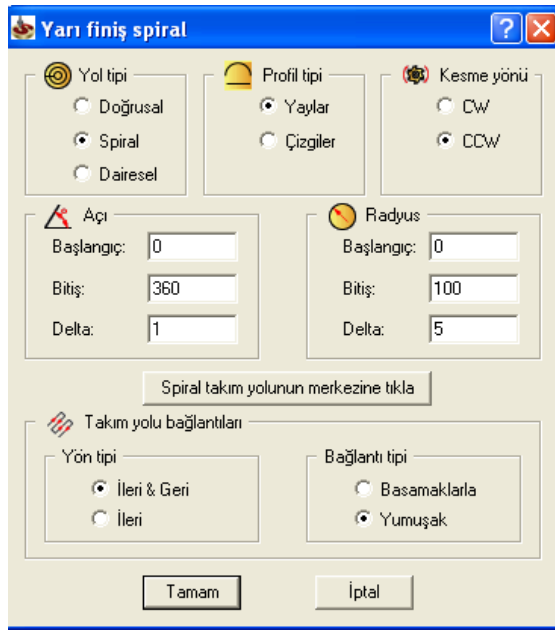
Burada, ofset geometri adı bölümünde, tanımla ikonuna tıklayarak profil geometrisi tanımlanır. ...dan geometri seçeneği seçilirse takım seçilen geometriden itibaren, ...ya geometri seçeneği seçilirse takım dış kısmından başlayıp seçilen geometriye doğru kesme işlemini gerçekleştirir.

Kesme alanı bölümünde, temiz ofset kısmında girilecek değerlerle takımın seçilen geometriden itibaren ne kadar uzaklığa kadar kesme işlemi yapacağı, yan adım kısmında yatay paso değeri girilir. Takım yanı kısmında ise seçilen geometrinin seçiliş yönüne bağlı olarak seçilecek sağ veya sol seçenekleri ile ya geometrinin içi ya da dışı işlenir.

İlk kesme yönü bölümünde geometriye paralel seçeneği seçilirse takım yolları geometriye paralel, geometriye normal seçeneği seçilirse takım yolları geometri ile dik açı yapacak şekilde oluşturulur.

### Spiral

Spiral, iş parçasını merkezi ve açısı belirlenen bir daire şeklinde takım yolları oluşturarak işleyen yarı-finiş işleme stratejisidir. Yarı-finiş operasyonu seçeneği için spiral seçeneği seçilip bilgi ikonuna tıklanırsa ekrana Yarı Finiş Spiral Diyalog Kutusu gelir.



Resim 2.47. Yarı-finiş spiral diyalog kutusu

Yarı finiş spiral diyalog kutusunda, yol tipi bölümünde doğrusal seçeneği seçilirse takım iş parçasını merkezi belirlenen dairenin merkezinden yarıçaplar oluşturarak ve merkez etrafında dönerek işler. Spiral seçeneği seçilirse seçilen merkezden itibaren spiral takım yolları, dairesel seçeneği seçilirse seçilen merkezden itibaren dairesel takım yolları oluşturarak iş parçası işlenir.

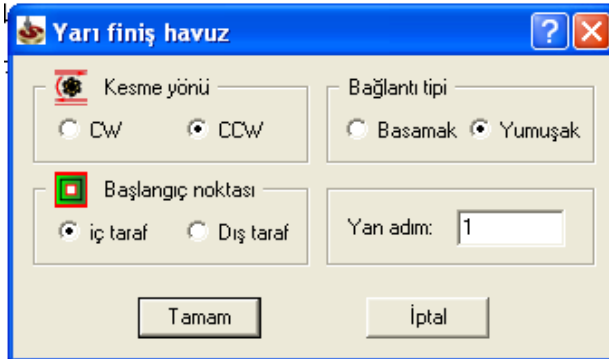
Profil tipi bölümünde, işlenecek profilin şekli seçilir. Açı bölümünde, profil tipi yaylar olarak seçilirse bu profilin başlangıç açısı ve bitiş açısı değerleri girilir. Radyus bölümünde, başlangıç kısmına takımın işlemeye başlayacağı nokta olarak seçilen daire merkezine ne kadar uzaklıkta takımın iş parçasını işlemeye başlayacağı

ve bitiş kısmında ise takımın kesme işlemini bu merkezden ne kadar uzaklıkta bitireceği seçilir.

Spiral takım yolunun merkezine tıkla seçeneğine tıklandığında iş parçası açılır ve iş parçası üzerinde spiral takım yolunun merkezinin oluşturulması istenen yere tıklayarak bu merkez belirlenir.

### Dairesel havuz

Dairesel havuz stratejisi üç eksen frezeleme yapmak için ilk önce çalışma alanı bölümünde çalışma alanını belirlemek gereklidir. Strateji şu şekilde çalışır; ilk önce seçilen çalışma alanı iki boyutlu eksene taşınarak havuz stratejisi ile üzerinde takım yolları oluşturulmakta daha sonra oluşturulan bu takım yolları parçanın üç boyutlu şekli üzerine izdüşümü alınmaktadır. Yarı finiş stratejisi olarak dairesel havuz seçeneğini seçilip bilgi ikonuna tıklanınca ekrana Yarı Finiş Havuz Diyaloğ Kutusu gelir.



Resim 2.48. Yarı-finiş havuz diyalog kutusu

Yarı finiş havuz stratejisi diyalog kutusunda, başlangıç noktası bölümünde iç taraf seçeneği seçilirse takım havuzu işlemeye havuzun orta noktasından başlayıp havuzun kenarlarına doğru, dış taraf seçeneği seçilirse takım havuzu işlemeye havuzun kenarlarından başlayıp havuzun orta noktasına doğru havuzu işler.

### Sabit Z

Sabit-Z stratejisi özellikle basamak şeklinde çapak veya arta malzeme kalan yüzeylerin yüksek kalitede işlenerek temizlenmesini sağlar. Yarı finiş stratejisi olarak sabit-z seçeneği seçilip bilgi ikonuna tıklanırsa ekrana Sabit-Z Yarı Finiş Diyalog Kutusu gelir.

The dialog box is titled "Sabit-Z yarı finiş" and contains two main sections: "Sabit - Z duvar işleme" (Sabit - Z Wall Processing) and "Sabit - Z düzlem taban işleme" (Sabit - Z Flat Surface Processing).

**Sabit - Z duvar işleme:**

- ☒ Sabit - Z duvar işleme
- ☒ Sabit aşağı adım: Aşağı adım: 0.5
- ☐ Değişken aşağı adım: Maks. talaş yüksekliği: 0.1, Maks. aşağı adım: 0.5, Min. aşağı adım: 0
- Aşağı adım: ☒ Değer: 0, ☐ Çizgi: Tanımla
- Bağlantı tipi: ☒ Basamak, ☐ Teğet, Yaklaşım radyusu: 0
- ☐ Yay yaklaşığı: Tolerans: 0
- Yaklaşma: YOK (dropdown), Değer: 2
- Geri çekilme: YOK (dropdown), Değer: 2
- ☐ Düzlemsel yüzeylerdeki kontürleri tanımla
- ☐ Kompanzasyon
- Kesme yönü: ☒ Yukardan aşağı, ☐ Aşağıdan yukarı
- Frezeleme tipi: ☒ Tırmanarak, ☐ Konvansiyonel
- Açık kontur stratejisi: ☒ İleri, ☐ İleri&Geri

**Sabit - Z düzlem taban işleme:**

- ☒ Sabit - Z düzlem taban işleme
- Maks. talaş yüksekliği: 0.5, Maksimum Yan adım: 1.3
- ☐ Yay yaklaşığı: Tolerans: 0.01
- Kontur tipi: Modu, Tarama tipi: Bilgi
- ☐ Tüm Z-seviyeleri
- ☐ Prizmatik parça

Resim 2.49. Sabit-z yarı-finiş diyalog kutusu

Burada, sabit-z duvar işleme bölümünde iş parçasının XY düzlemine dik doğrultusundaki yüzeylerin yani iş parçasının duvarlarının işlenmesi ile ilgili ayarlar yapılır. Sabit aşağı adım seçeneği seçilirse ve aşağı adım kısmına değer girilirse takım iş parçasının en üstünden başlayarak girilen aşağı adım değerleri ile iş parçasının duvarlarını işler. Değişken aşağı adım seçeneği seçilirse maksimum talaş

yüksekliği, maksimum aşağı adım ve minimum aşağı adım değerleri girilir. Bu değerlere bağlı kalarak program aşağı adım değerlerini kendisi hesaplar.

Düzlemsel yüzeylerdeki konturları tanımla seçeneği seçilirse takım iş parçasının duvarlarını işlerken düzlemsel bir yüzey iki aşağı adım arasında kalırsa, program bu yüzeyi tanımlayarak otomatik olarak profiline uygun bir şekilde işler.

Sabit-z duvar işleme bölümündeki diğer ayarlar daha önceki seçeneklerde anlatılan ayarlar ile aynı olduğu için tekrar anlatılmayacaktır.

Sabit-z düzlem taban işleme bölümünde XY düzlemine paralel olan iş parçası yüzeylerinin yani iş parçasının yatay yüzeylerinin işlenmesi ile ilgili ayarlar yapılır. Bu seçeneği seçilirse iş parçasının yatay yüzeyleri program tarafından otomatik olarak tanımlanır. Bu yüzeylerin işlenmesi 2/2.5 eksen frezelemedeki havuz işlemlerine benzer şekilde gerçekleştirilir. Bu bölümün ayarları 2./2.5 eksen frezelemedeki havuz operasyonlarının ayarları ile aynı olduğundan tekrar anlatılmayacaktır.

### Kalem freze

İş parçasının ana yüzeyi ile iş parçasının geometrisi gereği olan bir çıkıntısının birleştiği yüzeyde diğer yarı-finiş operasyonları ile çapaklar tam alınamaz. Kalem freze stratejisi ile bu çıkıntı ile ana yüzeyin birleştiği kenarlar takip edilerek bu kenarlar boyunca kalan çapaklar ve arda kalan malzeme temizlenir. Kalem freze stratejisi iş parçasının köşelerini otomatik olarak bulan ve bu köşeleri işleyen bir algoritma kullanır. Yarı finiş stratejisi olarak kalem freze seçeneğini seçip bilgi ikonuna tıklanınca ekranda Pencil Milling Diyalog Kutusu görünür.



Resim 2.50. Pencil milling diyalog kutusu

Bitangenital angle bölümünde, kalem frezeleme işlemi uygulanacak köşenin açısı 180 dereceden küçükse bu açığı köşe açığı 180 dereceye tamamlayan açı değeri girilir. Yönü bölümünde, standart seçeneği seçilirse takım köşenin başlangıç noktasından son noktasına kadar aynı yönde hareket eder, yukarı seçeneği seçilirse takım köşenin başlangıç noktasından son noktasına kadar eğimlere göre yön değiştirerek köşeyi sadece yukarı doğru işler, aşağı seçeneği seçilirse takım köşenin başlangıç noktasından son noktasına kadar eğimlere göre yön değiştirerek köşeyi aşağı doğru işler. Ofset bölümünde, yan adım kısmına yan paso değeri, yan adım sayısı kısmına ise kaç adet paso atılacağı değerleri girilir.

### Sabit adım

Adım stratejisi XY düzlemine paralel düzlemde sabit paso değerlerinde takım yolları oluşturur. Bu yöntem prizmatik parçalarda çok iyi sonuçlar verir ancak eğri yüzeylerde yüzeylerin eğriliğini hesaba katmadığı için iyi sonuçlar vermez. Sabit adım stratejisi ise yüzeylerin eğimli olup olmadığına bakmasızın çok iyi sonuçlar verir. Yarı finiş stratejisi olarak sabit adım seçeneği seçilip bilgi ikonuna tıklanırsa ekrana Sabit Adım/Yarı-Finiş Diyalog Kutusu gelir.



Resim 2.51. Sabit adım yarı-finiş diyalog kutusu

Tip bölümünde, profil ofseti seçeneği seçilirse üç eksenle profil frezeleme stratejisi ile frezeleme işlemi gerçekleştirilir. Geometri adı bölümünde takımın boyunca hareket edeceği profilin geometrisi seçilir. Kesme alanı bölümünde, temiz ofset kısmına takımın işleyeceği profilin seçilen geometriden en uzak mesafesinin değeri, takım yanı kısmına ise takımın seçilen geometriye göre göreceli olarak yeri girilir.

Havuz seçeneği seçilirse üç eksenle havuz frezeleme stratejisi ile frezeleme işlemi gerçekleştirilir. Tanımla ikonundan havuz geometrisini seçilir. Diğer ayarların kullanımı daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibidir.

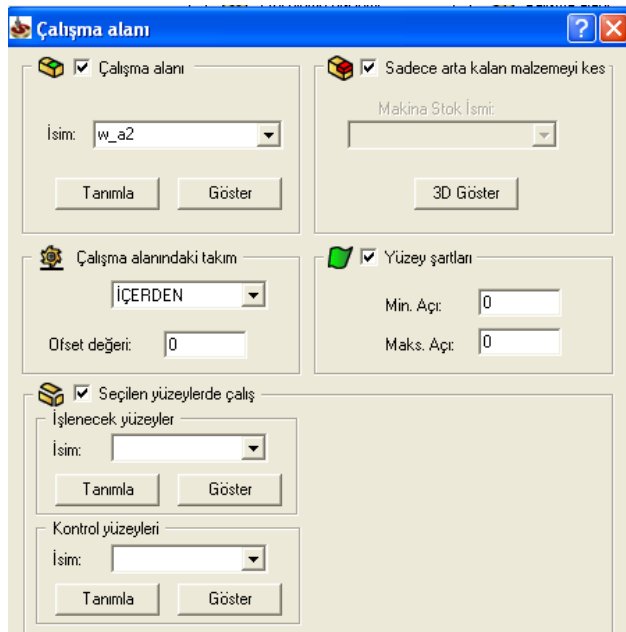
Profil+sınır seçeneği seçilirse, uçları açık olabilen iki profil geometrisi tanımlanır ve bu geometriler arasında frezeleme işlemi gerçekleştirilir.

Ruled yüzey seçeneği seçilirse, uçları açık olabilen iki geometri tanımlanır ve bu geometrilerin arasında frezeleme işlemi gerçekleştirilir.

### Çalışma Alanı

Çalışma alanı komutu ile takımın iş parçasının sadece belli bölgelerinde takım yolları oluşturması sağlanarak diğer bölgelerinde takım yolları oluşturması engellenmiş olur. Çalışma alanı ile üç eksen frezelemedeki kaba, yarı-finiş ve finiş operasyonlarında takımın çalışma alanı seçilmiş olur.

Çalışma alanındaki diyalog kutusundaki tanımla ikonuna tıklanırsa ekrana Çalışma Alanı Diyalog Kutusu gelir.



Resim 2.52. Çalışma alanı diyalog kutusu

Burada çalışma alanı bölümü etkin hale getirildikten sonra, daha önce seçilen çalışma alanları varsa, onlar seçilebilir veya tanımla ikonuna tıklayarak iş parçası üzerinde takımın çalışması istenen alanın kenarları seçilip kapalı bir geometri oluşturarak takımın bu alanda çalışması sağlanabilir. Çalışma alanındaki takım kısmında içeride seçeneği seçilirse takım seçilen çalışma alanı sınırlarının çalışma alanına bakan kısmında kesme işlemi yapar. Dışarıda seçeneği seçilirse takım çalışma alanı sınırlarının dışarıya bakan kısmında kesme işlemine başlayıp içeri



doğru keser ve ortada seçeneği seçilirse takım merkezi çalışma alanını sınırlayan kenarlarının üzerinde kesme işlemi yapar.

Yüzey şartları bölümü etkin hale getirilirse takımın sadece girilen minimum açı ve maksimum açı değerleri arasındaki yüzeylerde takım yolları oluşturması sağlanır.

Sadece arda kalan malzemeyi kes seçeneği seçilirse 3D model diyalog kutusunda daha önceden bir hedef model seçilmiş olması gerekir. Program otomatik olarak seçilen hedef model ile son yapılan işlemde sonra ortaya çıkan modeli karşılaştırır ve sadece arda kalan malzeme bölgelerinde takımın çalışmasını sağlar.

Seçilen yüzeylerde çalış seçeneği seçilirse işlenecek yüzeyler kısmında tanımla ikonu ile sadece üzerinde takım yolları oluşturulacak yüzeyler seçilir. Kontrol yüzeyleri kısmındaki tanımla ikonu ile de üzerinde takım yolları oluşturulması engellenecek yüzeyler seçilir.

#### Takım yolu toleransı

SolidCAM’de takım yolları, takıma ve frezeleme stratejisine bağlı olarak hesaplanıp oluşturulur. Bu yüzden seçilen takım yolu-tolerans seçeneği oluşturulacak takım yollarını etkiler.

Burada, takım seçeneği seçilirse takım yollarının doğruluğu takım çapına ve girilen tolerans değerine bağlı olur. Yüzey seçeneği seçilirse oluşturulacak takım yollarının doğruluğu yüzey eğimine ve girilen tolerans değerine bağlı olur. Yan adım seçeneği seçilirse takım yollarının doğruluğu yan adım ve girilen tolerans değerine bağlı olur.

#### Finiş

Takımın herhangi bir malzeme ofseti olmadan direkt olarak oluşturulan parçanın yüzeyini işlediği finiş operasyonları ile ilgili ayarlamalar yapılmasını ve işleme stratejileri seçilmesini sağlar.

Kullanımı ve işleme stratejileri yarı-finiş operasyonu ile aynı olduğu için finiş operasyonunun kullanımı ve işleme stratejileri tekrar anlatılmayacaktır.

### **2.7.5. Simülasyon**

Tornalama veya frezeleme işlemlerinde yapılan işlemlerin oluşturduğu takım yollarını parça üzerinde görmek, işlemlerden sonra hedef model ile elde edilen model arasında arda kalan malzeme farkını görmek veya takımın iş parçasını nasıl işlediğini görmek amacı ile simülasyon komutu kullanılır.

Simülasyon komutu diyalog kutularında yapılan her işlem kaydedildikten sonra kullanılabilir. Sadece yapılan işlem görülmek istenirse diyalog kutusunun altındaki simülasyon ikonuna tıklanır veya diyalog kutusunda çıkılarak SolidCAM Manager'da işlem üzerine sağ tıklanarak açılan sekmeden simülasyon seçeneği seçilir. SolidCAM Manager'da işler başlığı üzerine gidip sağ tıklayıp açılan sekmeden simülasyon seçeneği seçilirse o iş parçasına uygulanan bütün işlemler simülasyonda görülür.

SolidCAM'de üzerinde operasyonlar gerçekleştirilen iş parçasının torna iş parçası veya freze iş parçası olmasına bağlı olarak açılan simülasyon diyalog kutusu farklılıklar gösterir. Burada frezelemede simülasyon anlatılacaktır.

#### **Frezeleme İşlemlerinin Simülasyonu**

Frezeleme işlemlerinin simülasyonunu görmek için yukarıda anlatılan şekilde simülasyon komutu seçildiğinde ekranda Simülasyon Diyalog Kutusu görünür.



Resim 2.53. Simülasyon diyalog kutusu (frezeleme)

### *Simülasyon kontrolleri*



Turbo modu: Takımın iş parçasını nasıl işlediğini göstermeksizin simülasyonu gerçekleştirir. İşlemin sonunda veya durdur ikonu seçildiğinde iş parçasının son hali görünür.



Oynat: Takımın iş parçasını nasıl işlediğini göstererek simülasyonu gerçekleştirir.



Durdur: Yürütülen simülasyon işlemini durdurur.



Tek adım: Takımın yaptığı hareketleri tek tek gösterir. Takımın bir sonraki hareketini görmek için üzerine tıklanır.



Tek iş modu: işler başlığı altındaki her operasyondan sonra simülasyon durur.

Bir sonraki operasyona geçmek için üzerine tekrar tıklanır.



Çıkış: Simülasyondan çıkmayı sağlar.

### *Simülasyon hızı*

Simülasyon hızının ayarlanmasını sağlar.

### *Simülasyon verisi*

Simülasyon diyalog kutusunda bilgiyi göster seçeneği seçilirse simülasyon verisi diyalog kutusu görünür. Simülasyon verisi diyalog kutusu takım konumunu, ilerleme hızını ve iş parçasının CNC tezgahıta işleme zamanını gösterir.

Simülasyon verisi	
X:	112.103
Y:	69.184
Z:	-2.000
İlerleme:	800.000
Zaman:	5:14:15

Resim 2.54. Simülasyon verisi diyalog kutusu

### *Takımı göster*

Takımı göster seçeneği seçilirse simülasyon sırasında ekranda takım görünür.

### *Simülasyon çeşitleri*

2D, takım yollarının iki boyutlu olarak gösterir.

Host CAD, simülasyon için yeni bir pencere açmayıp, işleme esnasında oluşan takım yollarını direkt olarak SolidWorks'teki parça modeli üzerinde gösterir.

3D, simülasyon işlem başlangıcında tanımlanan hedef model üzerinde gerçekleştirilir.

Makina simülasyonunda açılan pencerede, yapılan işlemlerin G kodlarının kaç satır tuttuğu, her satırda takımın hangi hareketi yaptığı ve hedef model üzerinde oluşturulan takım yolları gösterilir.

Solid Verify, takımın stok modeli işleyerek hedef modeli oluşturmasını adım adım simüle eder. Eğer takım işlem sırasında iş parçasına çarpıyorsa bunu da gösterir.

VerifyPlus'un mantığı solid verify mantığı ile aynıdır. Yalnızca takımın işlediği yüzey ve alanlar farklı renklerde görünür.

Arda Kalan Malzeme son yapılan işlemde sonra stok model ile hedef model arasında arda kalan malzemeyi gösterir.

### 3. CNC TAKIM TEZGAHLARI

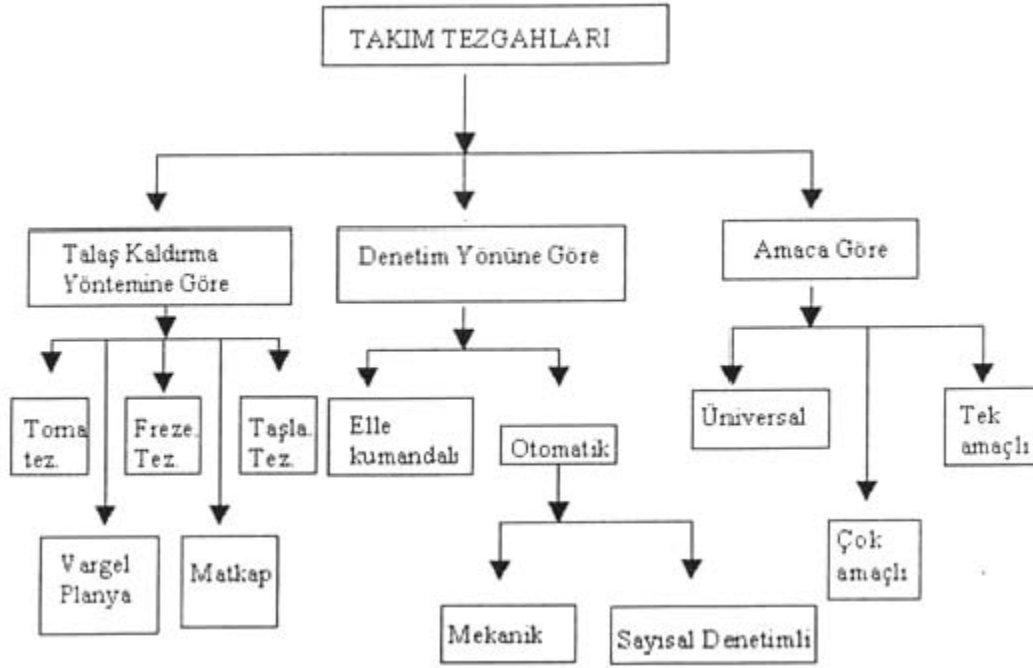
#### 3.1. Takım Tezgahı Nedir?

Hammadde halinde bulunan bir malzemeden istenilen şekil, biçim ve görünüme uygun bir malzeme elde etmek için kullanılan üretim araçlarına takım tezgahı denir. Takım tezgahları ile başta metal olmak üzere ağaç, mermer, plastik vb. diğer malzemeler de işlenebilir.

Takım tezgahına bağlanan hammadde tezgahın amacına, görevine, fonksiyonlarına uygun ve takım tezgahının belirli parçalarına verilen hareketler sayesinde bir dizi işlemden geçer. Bu tür tezgahlarla yapılabilecek imalat, talaşlı ve talaşsız olmak üzere ikiye ayrılır. Talaşlı imalat, iş parçası yüzeyinden talaş (parça) kaldırılmak suretiyle yapıldığı için bu ad verilmiştir. Tornalama, frezeleme, delme, vargelleme, broşlama, taşlama, honlama, lepleme gibi işlemler talaşlı imalat yöntemine girerken döküm, dövme, presleme, haddeleme, çekme, sıvama, bükme, kaynak yapma, yapıştırma, lehimleme gibi işlemler de talaşsız imalat yöntemine girmektedir. Tüm bu işlemlerin ortak özelliği takım, parça ve işlem üçlüsü üzerine kurulmasıdır [21,23].

Eskiden daha çok talaşsız imalat yöntemleri kullanılırken günümüzde daha çok talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Takım tezgahları talaş kaldırma yöntemine göre, denetim sistemine göre ve amacına göre olmak üzere üç şekilde sınıflandırılabilir. Talaş kaldırma yöntemine göre tezgahların, takım ile parçanın hareketleri de göz önünde bulundurularak torna, freze, matkap vb. gibi isimler alır. Denetim sistemine göre tezgahların, işlenen parçanın kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği gibi teknolojik bilgileri göz önünde bulundurularak, elle kumandalı ya da otomatik (NC, CNC) çeşitleri vardır. Amaçlarına göre tezgahların, farklı parçaları işleyebilme kabiliyetine göre üniversal, tek amaçlı ya da çok amaçlı olmak üzere üç çeşidi vardır. Üniversal tezgahlarda her çeşit parça işlenebilirken, çok amaçlı tezgahlarda işlenecek parça çeşidi sınırlıdır. Tek amaçlı tezgahlarda ise sadece tek çeşit işlem yapılır. Örneğin, çok amaçlı tezgahlardan çubuk işleme tezgahlarında

sadece silindirik parçalar işlenirken, tek amaçlı tezgahlardan vida açma tezgahında sadece vida açma işlemi yapılır. Aşağıda takım tezgahlarına ait sınıflandırma bir bulunmaktadır (Şekil 1.1) [23].

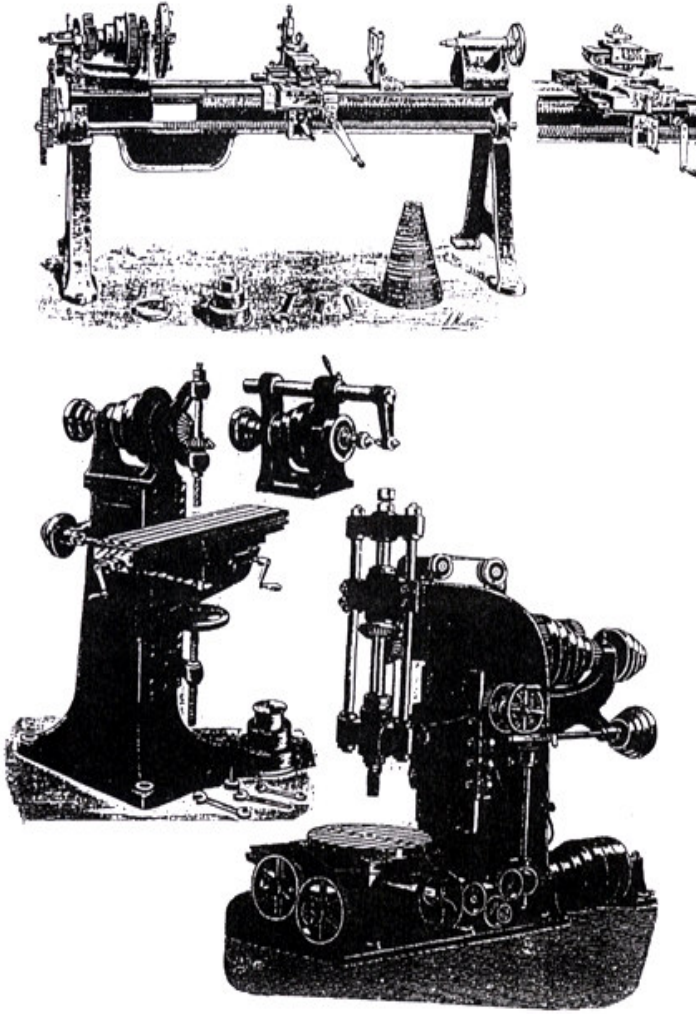


Şekil 3.1. Takım tezgahlarının sınıflandırılması

### 3.2. Takım Tezgahlarının Gelişimi

Takım tezgahlarının ilk görünürlüğü 16. yüzyıla kadar gitmektedir. 1540 yılında Torriano isimli bir İtalyan, İspanyol kralı V. Charles' a hediye edilecek saatin imalatında freze tezgahının ilk örneklerinden birini kullanmıştır. Bu tezgah ayarlanabilir kesme delikli bir kesici ile döner bir indis tablasından oluşmaktaydı. Modern takım tezgahlarının ilk atası 1775 yılında John Wilkinson tarafından yapılan yatay delik işleme tezgahı kabul edilmektedir. İlk torna tezgahı ise 1780'li yılların ortasında İngiliz Henry Maudstay tarafından yapılmıştır.

Aşağıda 1900'lü yıllara ait torna ve freze tezgahları görülmektedir (Resim 3.1).



Resim 3.1. 1900’lü yıllara ait torna ve freze tezgahları

Teknolojik gelişmelere paralel olarak takım tezgahlarında kaliteyi artırmak, kolay üretilebilirliği sağlamak, düşük maliyet ve işleme koşullarının kolaylıkla değiştirilebilmesini sağlamak amacıyla otomasyona geçilmiştir. Böylece parçanın işlenmesine ait bilgi verilerinin insan tarafından verildiği konvansiyonel tezgahlardan sonra verilerin tezgahın anlayabileceği koddan oluşmuş program tarafından verildiği sayısal kontrollü takım tezgahları ortaya çıkmıştır [23].

Sayısal Kontrol (NC), Bir hareketi sayısal olarak kontrol etmek veya harekete sayısal olarak kumanda etmektir. Başka bir tanımla sayısal kontrol, belirli bir sayı sistemine göre kodlandırılmış giriş sinyallerinin uygun mantık devrelerine bir sistemi kontrol



etmek amacıyla uygulanması ve verilen komutlara uygun olarak istenilen çıkışın belirli bir tolerans içerisinde sağlanmasına denir [23].

Sayısal kontrol fikri II. Dünya savaşının sonlarında ABD hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan kompleks uçak parçalarının üretimi için ortaya atılmıştır. Çünkü bu tür parçaların o günkü mevcut imalat tezgahları ile üretilmesi mümkün değildi. Bunun gerçekleştirilmesi için PARSONS CORPORATION ve MIT (Massachusetts Institute of Technology) ortak çalışmalara başladı. 1952 yılında ilk olarak bir CINCINNATTI-HYDROTEL freze tezgahını NC ile teçhiz ederek bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirdiler. Bu tarihten itibaren pek çok takım tezgahı imalatçısı NC tezgah imalatına başladı. İlk önceleri NC takım tezgahlarında vakumlu tüpler, elektrik röleleri, komplike kontrol ara yüzleri kullanılıyordu. Ancak bunların sık sık tamirleri hatta yenilenmeleri gerekiyordu. Daha sonraları NC takım tezgahlarında daha kullanışlı olan minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler kullanılmaya başlandı. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler NC sistemleri de etkilemiştir. Günümüzde NC tezgahlarda daha ileri düzeyde geliştirilmiş olan entegre devre elemanları, ucuz ve güvenilir olan donanımlar kullanılmaktadır. ROM (Read Only Memory) teknolojisinin kullanılmaya başlanmasıyla da programların hafızada saklanması mümkün oldu. Sonuç olarak bu sistemli gelişmeler CNC'nin doğmasına öncülük etmiştir [1,24].



Resim 3.2. NC takım tezgahı [25]

### 3.3. CNC Nedir?

Bilgisayarlı Sayısal Kontrol’de (Computer Numerical Control ) temel düşünce takım tezgahlarının sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen ve belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmesi ve tezgah kontrol ünitesinin parça programıyla kontrol edilebilmesidir.

CNC’de programların muhafaza edilebilmelerinin yanında parça üretiminin her aşamasında programı durdurmak, programda gerekli olabilecek değişiklikleri yapabilmek, programa kalınan yerden tekrar devam edebilmek ve programı son şekliyle hafızada saklamak mümkündür. Bu nedenle programın kontrol ünitesine bir kez yüklenmesi yeterlidir [24].

### 3.4. CNC Takım Tezgahlarının Avantajları ve Dezavantajları

- Konvansiyonel tezgahlarda kullanılan bazı bağlama kalıp, master vb. elemanlarla kıyaslandığı zaman tezgahın ayarlama zamanı çok kısadır.
- Ayarlama, ölçü, kontrolü, manüel hareket vb. nedenlerle oluşan zaman kayıpları ortadan kalkmıştır.
- İnsan faktörünün imalatla fazla etkili olmamasından dolayı seri ve hassas imalat mümkündür.
- Tezgah operasyonları yüksek bir hassasiyete sahiptir.
- Tezgahın çalışma temposu her zaman yüksek ve aynıdır.
- Her türlü sarfiyat (elektrik, emek, malzeme vb.) asgariye indirgenmiştir.
- İmalatta operatörden kaynaklanacak her türlü kişisel hatalar ortadan kalkmıştır.
- Depolamada daha az yere gerek vardır.
- Parça imalatına geçiş daha süratlidir.
- Parça üzerinde yapılacak değişiklikler sadece programın ilgili bölümünde ve tamamı değiştirilmeden seri olarak yapılır. Bu nedenle CNC takım tezgahlarıyla yapılan imalat büyük bir esnekliğe sahiptir [24,25].

Her sistemde olduğu gibi CNC tezgah ve sistemlerinin avantajları yanında bazı dezavantajları mevcuttur. Bunlar da şöyle sıralanabilir [1,24,25];

- Detaylı bir imalat planı gereklidir.
- Pahalı bir yatırımı gerektirir.
- Tezgahın saat ücreti yüksektir.
- Konvansiyonel tezgahlara kıyaslandığında daha titiz kullanım ve bakım isterler.
- Kesme hızları yüksektir ve kaliteli kesicilerin kullanılması gerekir.
- Periyodik bakımları uzman ve yetkili kişiler tarafından düzenli olarak yapılmalıdır.

### 3.5. CNC Takım Tezgahların Kullanımı

CNC tezgahlar da konvansiyonel tezgahlar gibi hammaddeden işlenmiş ürün elde etmek için kullanılır. Öncelikle parçayı işlemek için hazırlık yapılır. Bu hazırlık [23];

- Programın kağıt üzerinde, bilgisayarda ya da direk tezgah üzerinde oluşturulması,
- Eğer program tezgah üzerinde oluşturulmamışsa tezgaha aktarılması,
- İşlenecek iş parçasının CNC tezgahına bağlanması,
- Gerekli takımların takım kutusuna (taret, magazin) bağlanması,
- CNC tezgahının referans noktasının ayarlanması işlemlerinden oluşur.

Bu aşamalardan sonra parça verilen program doğrultusunda tezgah tarafından işlenir. Yani konvansiyonel tezgahlardan farklı olarak tüm işlemler operatörün verdiği programa göre ve onun kontrolü altında otomatik olarak yapılır.

### 3.6. CNC Takım Tezgahlarının Yapısal Özellikleri

CNC takım tezgahlarının yapısı genel olarak aşağıdaki donanımlardan oluşur [23].

Gövde ve kızaklar: Tezgahın iskeletini oluşturan metalik kısımdır. Uzun süreli ve ani kesme darbelerine karşı gövdenin oldukça dayanıklı olması gerekir. Kızaklar da uzun süreli çalışmalarda aşınma yapmayacak sert malzemeden yapılır ve tezgahın çalışması sırasında bu bölgede yağlama yapılır.

Ayna: işlenecek parçanın tezgaha monte edildiği bölümdür. Genellikle üç ayaklı aynalar kullanılır. Bazı tezgahlarda dönme hareketi yaparken bazılarında sabittir.

İş mili: Motoru: İş parçasının bağlandığı aynayı ve iş milini döndüren motordur. Burada kullanılan motorlar servo motordur. Programdan alınan bilgilere göre iş milini dolayısıyla aynayı döndürür, hızını ayarlar ya da durdurur.

Karşı punta: Parçanın işlenmesi sırasında dengesinin sağlanması için karşıdan destekleyen parçadır. Özellikle uzun iş parçalarının hızla dönerken takımın kesme işlemi sırasında dengesini kaybetmemesini sağlar. Bazı tezgahlarda bu parça dönebilir ve bu program vasıtasıyla ayarlanabilir. Bazı tezgahlarda ise bu parça yoktur onun yerine ikinci bir ayna vardır.

Taret: Tezgahın kesici takımlarını taşıyan kısmıdır. Aynı anda 6–8 ya da 12 takımı üzerinde bulunduran bir takım kutusudur. Parçanın işlenmesi sırasında dönerek istenilen takımı kullanım pozisyonuna getirir.

Prob: Takım ölçme tertibatıdır. Kesici takımların, önceden üretici firma tarafından belirlenmiş noktalara göre takım uç koordinatlarını belirler. Tezgah, ölçüm sonuçlarını kaydeder ve kesme işlemini bu ölçüleri göz önünde bulundurarak yapar.

Yağlama ünitesi: Tüm hareketli parçaların aşınmaya karşı korunması için yağlama işlemini yapar.

Soğutma ünitesi: İş mili motorunun uzun süreli çalışmalarda dayanıklılığının artması için motorun etrafındaki soğutma kanallarından soğutma sıvısı geçirerek motorun aşırı ısınmasını engeller.

Soğutma sıvısı ünitesi: Kesme anında takımın aşırı ısınmasını önlemek için kesme işleminin yapıldığı noktaya soğutma sıvısı püskürtür. Bu işlem ayrıca iş parçasından kopan talaş parçalarının parçadan uzaklaşmasını sağlayarak kesme işleminin daha rahat yapılmasını sağlar.

Bilgisayarlı kontrol ünitesi: Ekran tuş takımı, ana işlem kartı, ekran kartı gibi birimlerden oluşur. Tezgahın kumanda edildiği yerdir.

Talaş konveyörü: İş parçasından kalkan talaşların, parçadan uzaklaştırılması ve uygun bir şekilde muhafaza edilmesi için talaşları taşıyan birimdir.

### 3.7. CNC Takım Tezgahları ile İlgili Temel Kavramlar

CNC takım tezgahlarıyla ilgili temel kavramlar aşağıda listelenmiştir [23].

Hareket doğrultuları (eksenler): CNC tezgahlar farklı eksenler farklı hareket yönlerine sahiptir. Örneğin, CNC torna, CNC freze, CNC matkap vb. farklı cins tezgahlar da eksenler farklı yönlerde hareket ederken teknolojinin gelişmesiyle birbirine dik üç eksenin yanında bunların karışımlarını kullanan 5 ya da 6 eksenli tezgahlar da bulunmaktadır. CNC Programında genellikle X,Y,Z,U,V,W gibi farklı harfler ile isimlendirilirler.

Referans noktaları: CNC tezgahlar, eksenleri üzerinde başlangıç veya referans pozisyonu olarak önceden tanımlanmış bir konumu referans noktası olarak kullanırlar. Referans noktaları, tezgah açıldığında tezgahın bu konumlara gönderilmesi suretiyle tezgahın mekanik pozisyonu ile kontrol sisteminin pozisyonunun senkronize edilmesinde kullanılır.

İş mili kontrol fonksiyonu: CNC programlarında S (Spindle kelimesinin kısaltılmasından oluşur) harfi iş mili devrini belirtmede kullanılır. Örneğin; S1000 komutu işmilinin 1000 devir/dakika hızında döndürüleceğini belirtir. İş milinin saat yönünde döndürülmesi, saat tersi yönünde döndürülmesi ya da durdurulması ilgili M kodları ile kontrol edilir.

Otomatik takım değiştirme kontrol fonksiyonu: CNC programlarında T (Tool kelimesinin kısaltılmasından oluşur) harfi ile birlikte kullanılan sayısal değerler ile taretteki hangi takımın iş miline takılacağı bu takıma ait telafi değerlerinin nereden okunacağı belirlenir.

Soğutma sıvısı kontrol fonksiyonu: CNC tezgahlarda iş milinin aşırı ısınmasını önlemek amacıyla kullanılan soğutma sıvısı açma ve kapama kontrolü ilgili iki M kodu ile kontrol edilir.

Otomatik palet değiştirme kontrol fonksiyonu: CNC tezgahlarda kullanılacak paletin hazırlık bölgesinden çalışma bölgesine alınması için ilgili iki M kodu kullanılır.

Interpolasyon: Takım tek bir eksenle hareket ettirilmek istenirse, verilen komuta göre iş mili tam düz bir hat boyunca hareket edecektir. Fakat takım iki eksen üzerinde birlikte hareket ettirilmek istenirse hareketin başladığı noktadan bittiği noktaya kadar olan iki nokta arasını birbirine bağlayan hat boyunca, mümkün olan en küçük hata ile bu doğru üzerinde kalmak suretiyle, ilgili eksenler üzerinde çok küçük artım birimleriyle hareket edecektir. Günümüzde bu artım birimleri 0.001 mm ya da 0.0001 mm gibi çok küçük değerlerdedir.

Hızlı hareket (boşta ilerleme - pozisyonlama): İşlem sırasında takımın kesme yapmadığı durumlarda işleme zamanını kısaltmak için bir sonraki noktaya konumlanmak için tezgah imalatçısı tarafından tespit edilen hızda gitmesidir. CNC takım tezgahlarının programlanmasında boşta ilerleme için G00 kodu kullanılır.

Doğrusal hareket: Takımın tam doğrusal bir hareket yapacak şekilde hareket etmesidir. Genellikle, delik delme, yüzey frezeleme, kanal açma vb. işlemlerde kullanılır.

Dairesel hareket: Takımın dairesel bir yol şeklinde hareket etmesini sağlar. Takım, verilen bir R (yarıçap komutu) değeri ile saat yönünde ya da saat tersi yönünde ilerleyerek hareket eder.

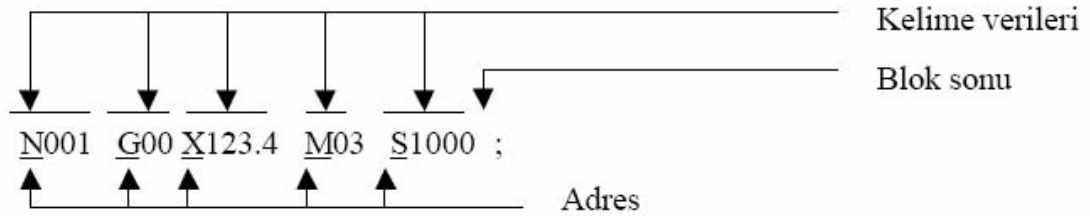
Telafl: Her bir takımın boyunu, enini, çapını vb. bilgilerini bilerek, hassas işleme yaparken bunları göz önünde bulundurmak yerine bu değerleri önceden, tezgah hafızasındaki bir bölüme atamak suretiyle parçanın boyunu, kalınlığını, çapını düşünmeden işlem yapılmasına imkan tanır. Program hafızasında her takımın boy, genişlik, yarıçap gibi şekilsel bilgilerine ait tanımlamalar bulunur. Takım iş miline takıldığı zaman bu bilgiler kullanılarak, belirli bir boyda ya da yarıçapta işlenecek bir parça için takımın boy ya da yarıçap değerlerini bu değerlerden çıkararak hesaplama yapma işleminden kurtarır ve tezgah bu işlemi otomatik olarak yaparak

istenilen uzunlukta ya da çapta ürünler elde edilmesine imkan tanır. Böyle bir sistemde takım aşınmalarından dolayı meydana gelebilecek boy ya da çap değişimleri, takımın tekrar ölçülerek yeni değerlerin girilmesiyle çözülebilmektedir.

### 3.8. CNC Takım Tezgahlarının Programlanması

CNC Programı, bir parçanın işlenmesi için tezgaha verilen komutlar toplamıdır. Programdaki komutların sırasına göre takımlar hareket eder parçayı işler. Programı oluşturan komutlar ISO (International Standardization Organization – Uluslar arası Standartlar Organizasyonu) standartlarına göre düzenlenmiştir [1,23].

Bir komut, bir adres (G, F, S, M gibi harflerden oluşur) ve bunu takip eden sayısal değerlerden oluşur. Böylece G01, M03, Z-25 gibi ifadeler meydana gelir ki bunların her birine komut adı verilir. Programın bir satırındaki komutlar bir araya gelerek blokları (Komut bloğu -Kelime) oluştururlar. Bloklar, EOB(End Of Block) komutu (;) ile bitirilir.



Şekil 3.2. CNC programlama dili komut yapısı

Genel olarak kullanılan program komutları ve anlamları şu şekildedir:

- N: Blok satır numarası
- G: Hazırlık fonksiyonları
- X,Y,Z: Pozisyon komutları
- M: Yardımcı fonksiyonlar
- S: Devir (Kesme hızı) fonksiyonu



- T: Kesici takım fonksiyonu
- F: İlerleme fonksiyonu
- ;: Blok sonu işareti

Bir CNC programının en başında genellikle koordinat sisteminin, ölçülendirme sisteminin ve kesici takımın hazırlanması, referans noktasının düzenlenmesi, iş milinin döndürülmesi ve soğutma sıvısının açılması gibi hazırlık komutları bulunur [23].

Programın ana bölümünde parçanın işlenmesi için gerekli olan tüm komutlar ve programın bitiş bölümünde de milin durdurulması, soğutma sıvısının kapatılması vb. bitirme ve işlem sonlandırma komutları bulunur. Programdaki komutlar verilen sıra ile icra edilir. İlk olarak programdaki ilk satır okunur, yorumlanır ve icra edilir. Daha sonra diğer satırlar okunur, yorumlanır ve icra edilir. Tüm satırların okunup, yorumlanması ve icra edilmesiyle program sonlanır. Çizelge 3.1’de bu şekilde hazırlanmış küçük bir parça işleme programı bulunmaktadır [24].

Çizelge 3.1. Örnek CNC programı

KOMUT	ANLAMI
Ø006;	Program numarası
N10 G91 G28 Z0;	Z ekseninde referans noktasına git
N20 G91 G28 X0 Y0;	X ve Y eksenlerinde referans noktasına git
N30 G92 X250 Y125 Z75;	Parça koordinatlarının girilmesi
N40 T18;	18 numaralı takım kullanmak için otomatik takım değıştiricisini çağırır.
N50 T19 M36;	18 numaralı takım ile parça iş enirken, 19 numaralı takım hazır halde bekletir.
N60 G90 G21 G43 G00 Z100 H18;	Metrik koordinat sisteminin kullanılması(G21), mutlak koordinat sisteminin kullanılması(G90) ve takım uzunluğunun sağa telafi edilerek(G43) Z100 koordinatına kesme işlemi yapmadan takımın hızlı yaklaşmasını (G00) sağlar.
N70 G00 XJ Y0;	X=0 ve Y=0 noktalarına takım hızlı bir şekilde yaklaşır.
N80 S2000 M03;	Aynanın dönüş hızının ayarlanması (S2000) ve aynanın saat yönünde döndürülmesinin sağlanması (M03).
N90	
N100	
"	
"	
"	Program satırları
N190	
N200	
N210 G91 G28 Z0	Z ekseninde referans noktasına git
N220 G91 G28 X0 Y0;	X ve Y eksenlerinde referans noktasına git
N230 M05;	Aynanın durdurulması
N240 M30;	Program sonu
N250 %;	Şeride yazımın sonlandırılması

CNC takım tezgahlarında sık kullanılan kodlar ve anlamları aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 3.2. CNC freze tezgahlarında kullanılan M kodları ve anlamları

M00	Program Durdurma	M16	Takım içinden soğutma sıvısı verme
M01	İsteğe bağlı olarak program durdurma	M17	Takım içinden soğutma sıvısı kapatma
M02	Program sonu	M19	Fener mili pozisyonlandırma
M03	Saat Yönünde fener mili çevirme	M29	Rijit kılavuz çekme
M04	Saat tersi yönünde fener mili çevirme	M30	Program sonu başa dön
M05	Fener mili durdurma	M32	Programlanabilir hava üfleme açma
M06	Takım değıştirme	M33	Programlanabilir hava üfleme kapama
M08	Soğutma sıvısı açma	M70	Ayna görüntüsü iptali
M09	Soğutma sıvısı kapatma	M71	X ekseninde ayna görüntüsü
M10	Z ekseni Kilitlemeyi kaldırma	M72	Y ekseninde ayna görüntüsü

M11	Z eksen kilitleme	M74	4. ayna görüntüsü
M12	Döner tabla pnomatik sıkma	M98	Yardımcı program çağırma
M13	Döner tabla pnomatik sıkma iptali	M99	Yardımcı program sonu

Çizelge 3.3. CNC takım tezgahlarında kullanılan fonksiyon kodları ve anlamları

Programın Numarası	O
Satır Numarası	N
Fonksiyon Kodları	G
3 Eksen Pozisyon Komutu	X,Y,Z
Opsiyon Olan Eksen Pozisyon Kodları	A,B,C,U,V,W
Daire işlemede Radius Değeri	R
Daire Koordinatları	I,J,K
İlerleme	F
Fener Mili Devri	S
Takım Numarası	T
Yardımcı Fonksiyon Komutu	M
Takım Boy Telifi Satırı	H
Takım Yarı Çap Ofset Satırı	D
Yardımcı Program Çağırma	P

Çizelge 3.4. CNC freze tezgahlarında kullanılan G kodları ve anlamları

G00	Pozisyonlandırma	G52	Koordinat sistemi kaydırma
G01	Doğrusal kesme	G53	Makine koordinat sistemi seçme
G02	Saat yönünde dairesel kesme	G54	1.ış parçası sıfırı seçme
G03	Saatın tersi yönde dairesel kesme	G55	2.ış parçası sıfırı seçme
G04	Bekleme	G56	3.ış parçası sıfırı seçme
G09	Tam durma	G57	4.ış parçası sıfırı seçme
G10	Bilgi girme	G58	5.ış parçası sıfırı seçme
G15	Polar koordinat iptali	G59	6.ış parçası sıfırı seçme
G16	Polar koordinat	G65	Makro program çağırma
G17	XY Düzlemi	G66	Makro A çağırma
G18	ZX Düzlemi	G67	Makro program iptali
G19	YZ Düzlemi	G68	Koordinat sistemi çevirme
G20	İnç Programlama	G69	Koordinat sistemi çevirme iptali
G21	Metrik programlama	G73	Kademeli delik delme çevrimi
G27	Referans noktasına dönüş kontrolü	G74	Sol kılavuz çekme çevrimi
G28	Referans noktasına gönderme	G80	Çevrim iptali
G29	Referans noktasına dönüş	G81	Delik delme çevrimi
G30	2.3.ve 4.referans noktasına gönderme	G83	Kademeli delik delme çevrimi
G31	Atlama fonksiyonu	G84	Sağ kılavuz çekme çevrimi
G40	Takım yarı çap telifi	G85	Delik frezeleme çevrimi
G41	Sol Takım yarı çap telifi	G87	Ters delik frezeleme çevrimi
G42	Sağ Takım yarı çap telifi	G90	Mutlak sistem

G43	+ yönde takım boy telafisi	G91	Artımsal sistem
G44	- yönde takım boy telafisi	G92	İş parçası sıfırı değiştirme
G49	Takım boy telafi iptali	G94	İlerleme mm/dk.

### 3.10. Uygulamada Kullanılan CNC Takım Tezgahı

Bu çalışmada uygulamada Resim 3.3'te görülen TAKSAN marka TMC 500/700 dik işleme merkezi kullanılmıştır.



Resim 3.3. TAKSAN TMC 500/700 dik işleme merkezi

Kullanılan freze tezgahının teknik özellikleri Çizelge 3.5'te görülmektedir.

Çizelge 3.5. TAKSAN TMC 500/700 dik işleme merkezi teknik özellikleri [26]

<b><u>TEKNİK ÖZELLİKLER</u></b>	<b><u>DEĞER / BİRİM</u></b>
<b><u>HAREKETLER</u></b>	<b><u>TMC-700V</u></b>
X/Y/Z EKSEN HAREKETLERİ	700/450/550 mm
İŞ MİLİ BURNU TABLA ARASI MESAFE	100-650 mm
İŞ MİLİ EKSENİNDEN SÜTUNA OLAN MESAFE	490 mm
<b><u>TABLA</u></b>	
TABLA EBADİ	1020x510 mm
ÇALIŞMA ALANI	900x450 mm
TABLA YÜKÜ	750 kg
T-KANALI GENİŞLİK x ADET x ARALIK	18x4x100 mm
TABLA YÜZEYİNİN YERDEN YÜKSEKLİĞİ	900 mm
<b><u>İŞ MİLİ</u></b>	
DEVİR ARALIĞI	60-6000 dev./dak.(rpm)
MAX.TORK	7.2 kgm
YAĞLAMA SİSTEMİ	GRES (SONSUZ ÖMÜR)
<b><u>İLERLEMELER</u></b>	
HIZLI İLERLEME X,Y,Z	30 m/dak. (m/min.)
KESME İLERLEMESİ	1-10.000 mm/dak.(mm/min.)
ELLE İLERLEME	1-1260 mm/dak.(mm/min.)
BİLYALI MİLLER X,Y,Z (C3)	Ø40x10
TAKIM MAGAZİN	
<b><u>TİPİ</u></b>	TAMBUR(DRUM)
KAPASİTESİ	16
TAKIM UCU TİPİ VE SEÇME YÖNTEMİ	MAS BT40, Çift yönlü, Sırasız
MAX.TAKIM ÇAPI/BOYU/AĞIRLIĞI	80 mm/250 mm/7 kg
TAKIM DEĞİŞTİRME ZAMANI (TAKIMDAN TAKIMA)	3 saniye(sec)
TAKIM DEĞİŞTİRME ZAMANI (TALAŞTAN TALAŞA)	6 saniye(sec)
<b><u>MOTOR</u></b>	
İŞ MİLİ MOTORU (SIEMENS-FANUC)	5/7 KW-3.7/5.5 KW
X&Y EKSEN (SIEMENS-FANUC)	1.4 KW
Z EKSEN MOTORU (SIEMENS-FANUC)	2.8 KW
SOĞUTMA POMPASI	0.63 KW
ATC MOTORU	40 watt,110V
YAĞLAMA MOTORU	4 watt,220V
<b><u>ELEKTRİK VE HAVA İHTİYACI</u></b>	
ELEKTRİK İHTİYACI	15 KW
HAVA İHTİYACI	6 atü
<b><u>SOĞUTMA DONANIMI</u></b>	
TANK KAPASİTESİ	155 L
POMPA KAPASİTESİ (lt/dak./2m)(lt/m/2m)	60
AĞIRLIK	3500 kg
ÇALIŞMA ALANI	3150x3570 mm

#### 4. UYGULAMA

Bu çalışmada CAD/CAM/CNC entegrasyonu sağlanırken üretilecek parça olarak araçlar için ergonomik bir iç kapı kolu tercih edildi. Bu tercihin sebebi yapılan küçük çaplı bir araştırmada araç iç kapı kollarının parmak ergonomisine uygun olmadığı görüşünün ortaya çıkmasıdır. Bu bağlamda mevcut bir kapı kolu baz alınarak parmak ergonomisine uygun hale getirildi. Aynı zamanda estetiği bozmayacak şekilde kuvvet kolu uzatılması ile kapıyı açmak için kapı koluna uygulanması gereken kuvvetin azaltılması da sağlandı.

Uygulama olarak; önce kapı kolunun SolidWorks'te CAD modeli oluşturuldu. Model oluşturulurken; temel katılama operasyonları, modelin düzenlenmesinde de radüs komutu kullanıldı.

SolidCAM ekranında oluşturulan modelin üretimi için uygun takım ve takım yolları belirlendi. Yapılan işlemler simüle edilerek doğrulandı ve NC kodları çıkarıldı. NC dosyası hafıza kartına oradan da CNC freze tezgahına aktarılarak 3 eksenli CNC freze tezgahında parça üretildi.

Parçanın planlanan şekilde üretimi için (3 eksenli bir freze tezgahında) üç ayrı yüzünden de talaş kaldırılması gerekir. Bunun için de parçanın üç ayrı şekilde tezgaha bağlanması ve takımların sıfırlanmasına gerek duyuldu.

Bu basamaklarda planlananın dışında karşılaşılan iki sorun parçanın CNC freze tezgahında işlenmesi sırasında yaşandı. Üretilmek istenen kapı kolu yapısı itibariyle (seri üretim isteniyorsa) kalıpla ya da plastik enjeksiyonla üretilmeye uygun bir parçadır. Prototip bir çalışma olduğu düşünülerek, maliyet yönünden ve asıl konu olan CAD/CAM/CNC entegrasyonunu gösterebilmek için CNC freze tezgahı kullanıldı.

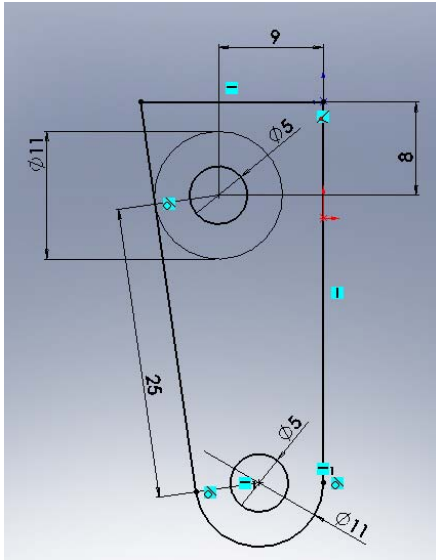
Üretimde kolay işlenebilirlik düşünüldüğü için malzeme olarak öncelikle ahşap seçildi. Ahşap mengineye ezildiği için diğer yüzlerin sıfırlamasında sorun yaşandı.

İkinci deneme polyamid malzemeyle yapıldı. Polyamidde de esneme sorunundan dolayı sıfırlama sorunu yaşandı.

#### 4.1. SolidWorks

Bu bölümde tasarlanan araç iç kapı kolunun modelini SolidWorks'te oluşturmak için yapılan işlemler adım adım ve resimlendirmelerle anlatılmıştır. Ayrıca modelin çiziminde en temel komutların kullanılmasına ve en az operasyonla bu işlemin yapılmasına özen gösterilmiştir. Burada amaç; bu tezi okuyan ve temel SolidWorks yazılım bilgisine sahip olan herhangi bir kişinin istediği taktirde söz konusu modeli oluşturabilmesidir.

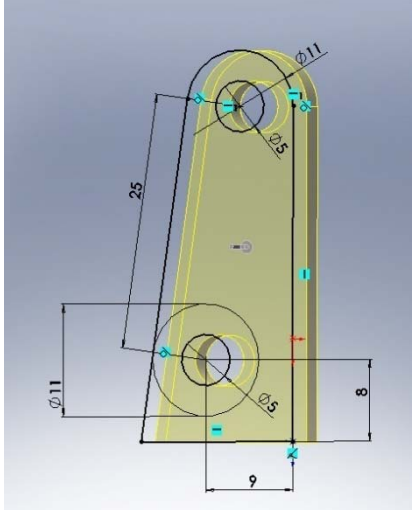
Öncelikle SolidWorks programı çalıştırılarak yeni bir Part dosyası oluşturulur. Düzlem fark etmeksizin bir sketch oluşturularak Resim 4.1'de ölçüleri verilen çizim yapılır. Oluşturulan çizimin adı unsur ağacında Sketch1 olarak görünecektir.



Resim 4.1. Sketch1

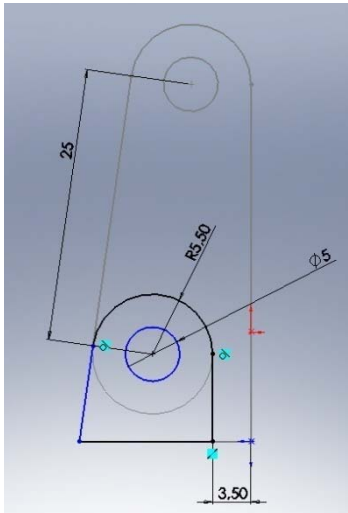
Çizilen sketch seçilerek extrude komutu ile katılır. Katılama yaparken 4mm offset ve 3 mm blind değerleri kullanılır (Resim 4.2). Extrude işlemi onaylandığında unsur

ağacında Extrude1 adında görünür ve içinde Sketch1'i de gizlenmiş şekilde bulundurulur.



Resim 4.2. Extrude1

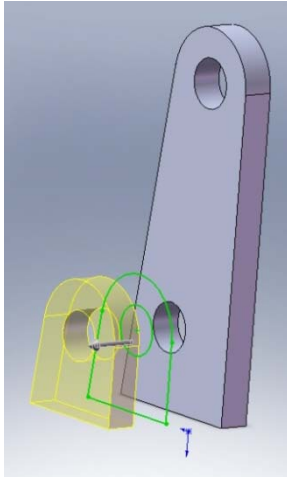
Sketch1 ile aynı düzlemde yeni bir sketch açılır ve Extrude1'de oluşturulan katının ölçüleriyle uygun ilişkileri taşıyan Resim4.3'teki çizim oluşturulur.



Resim 4.3. Sketch2

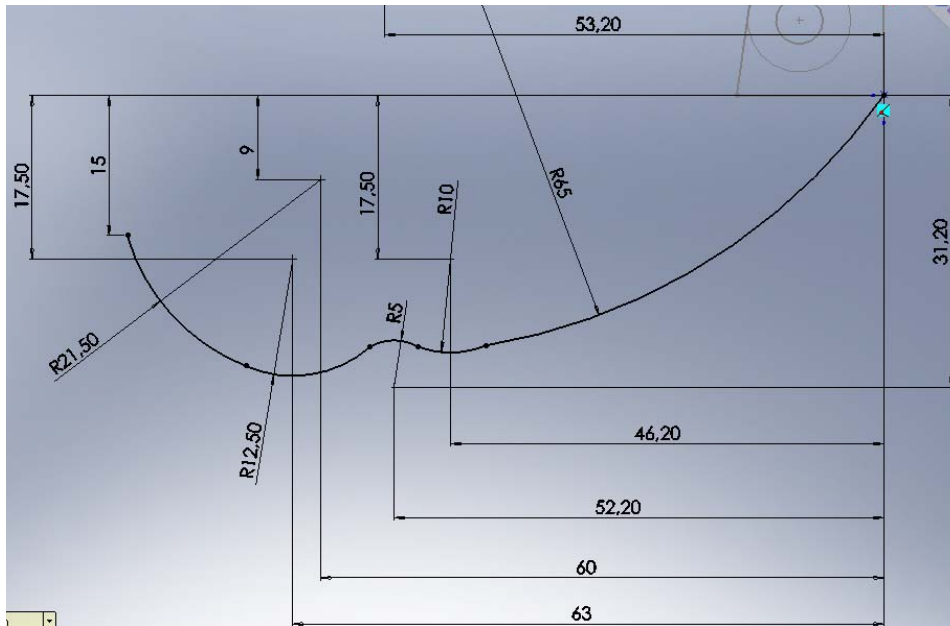


Oluşturulan yeni çizim Sketch2 adını alacaktır. Bu çizim ofset 4 mm ve blind 3 mm değerleriyle ve Extrude1 unsurunun tersi yönünde katılanarak Extrude2 unsuru oluşturulur (Resim 4.4).



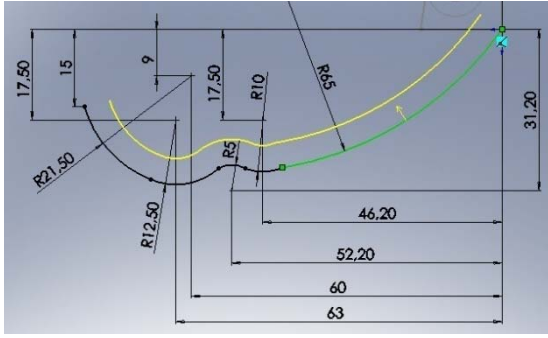
Resim 4.4. Extrude2

İlk seçilen düzleme dik uygun olan düzleme yeni bir sketch açılarak Resim 4.5’ teki çizim önceki sketchlere uygun şekilde yapılır.



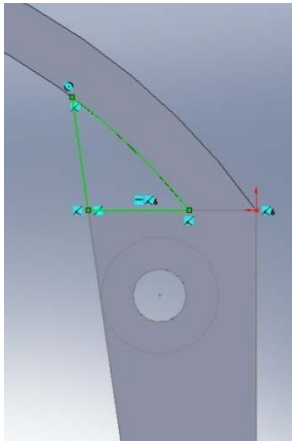
Resim 4.5. Sketch3

Resim 4.5' teki teki çizim yapıldığında çizimden çıkılmadan Resim 4.6' da gösterilen yönde 5 mm offset verilir (Resim 4.6). Offsetlenen iki çizgi arasında kapalı bir profil oluşturabilmek için çizgi uçları line komutu kullanılarak birleştirilir.

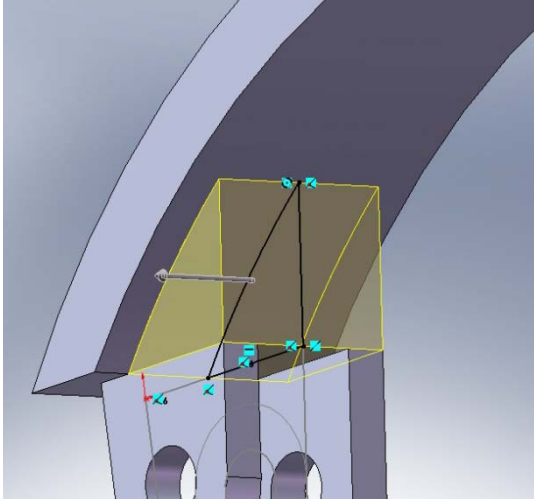


Resim 4.6. Sketch3 ofsetleme

Oluşturulan Sketch3 de 20 mm değeriyle ve midplane seçeneğiyle iki yöne doğru katlanır. Modelde arada kalan boşluğu doldurmak için Sketch3 ile aynı düzleme Resim 4.7'deki gibi bir çizim yapılır. Bu çizimde tüm ölçüler katılanmış kısımlarla ilişki kurulan ilişkilerden kendisi çıkar. Bu sketch de oluşturulduktan sonra 16 mm ve midplane seçeneği kullanılarak katlanır (Resim 4.8).

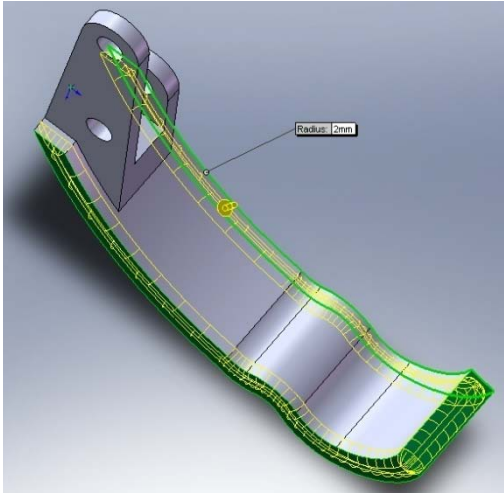


Resim 4.7. Sketch4



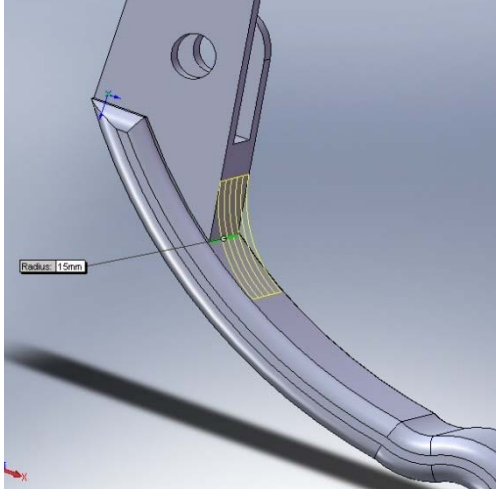
Resim 4.8. Extrude4

Bu basamağa gelindiğinde modellemenin sadece düzenleme kısmı geriye kalır. Değeri R2.5 mm olmak üzere Resim 4.9'daki görüldüğü gibi kapı kolunun elle tutulacak yüzeylerine fillet komutu ile radüs atılır.



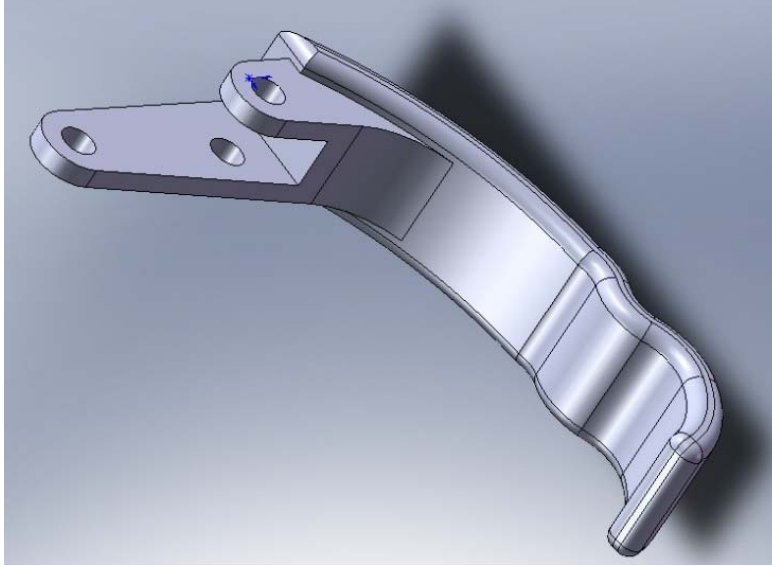
Resim 4.9. Fillet1

Resim 4.10'daki gibi dayanak ve tutma sapının birleştiği bölgeye de R15 mm'lik bir radüs atılır.



Resim 4.10. Fillet2

Bu işlemler tamamlandıktan sonra modelleme Resim 4.11’de görüldüğü gibi son halini almıştır.



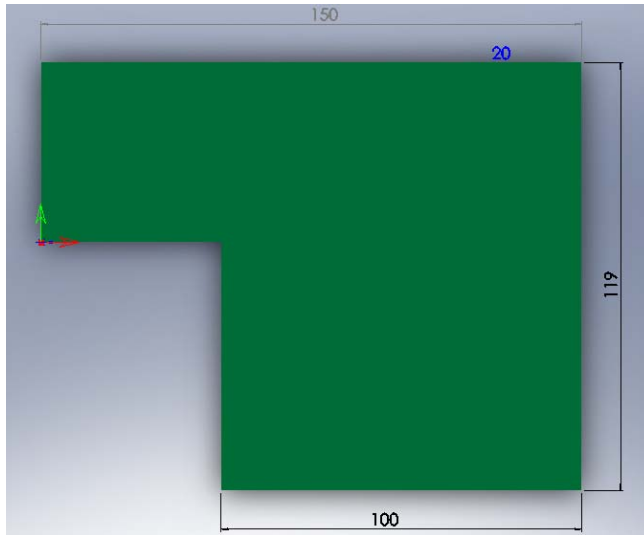
Resim 4.11. Ergonomik iç kapı kolu modeli

## 4.2. SolidCAM

Bu bölümde; tasarlanan ergonomik iç kapı kolunun üretimi için gereken NC kodlarının SolidCAM’de nasıl çıkarılacağı anlatılmıştır. Bu işlemler 3 eksenli freze tezgahına göre yapılmıştır.

Tasarım, böyle bir tezgahta üç aşamada işlenebilmektedir. İş parçası tezgaha üç kez farklı pozisyonlarda bağlanıp takım sıfırlama yapılacaktır.

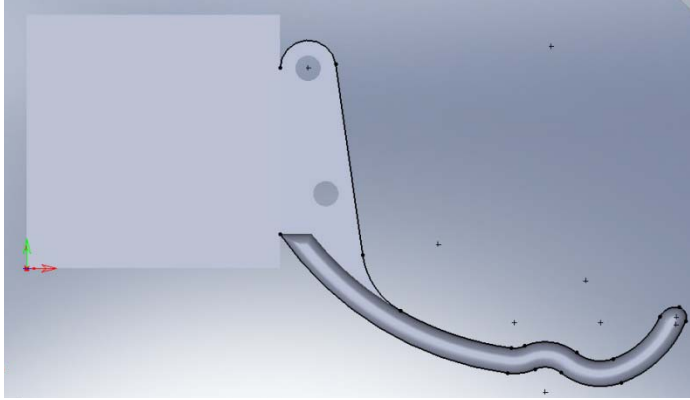
SolidWorks’te oluşturulan model SolidCAM ekranına alınmadan önce Resim 4.12’deki 20 mm kalınlığındaki stok model katısı çizilir. Ancak extrude işlemi sırasında “merge result” seçeneği işaretlenmemelidir. İşlemin bu şekilde yapılmasının sebebi stok modeli ayrı bir katı olarak tanımlayıp istendiği zaman gizleme imkanına sahip olmaktır. CAM’de belirlenecek referans noktası da resimde 50X50lik yüzeyin üst köşesidir.



Resim 4.12. Stok model

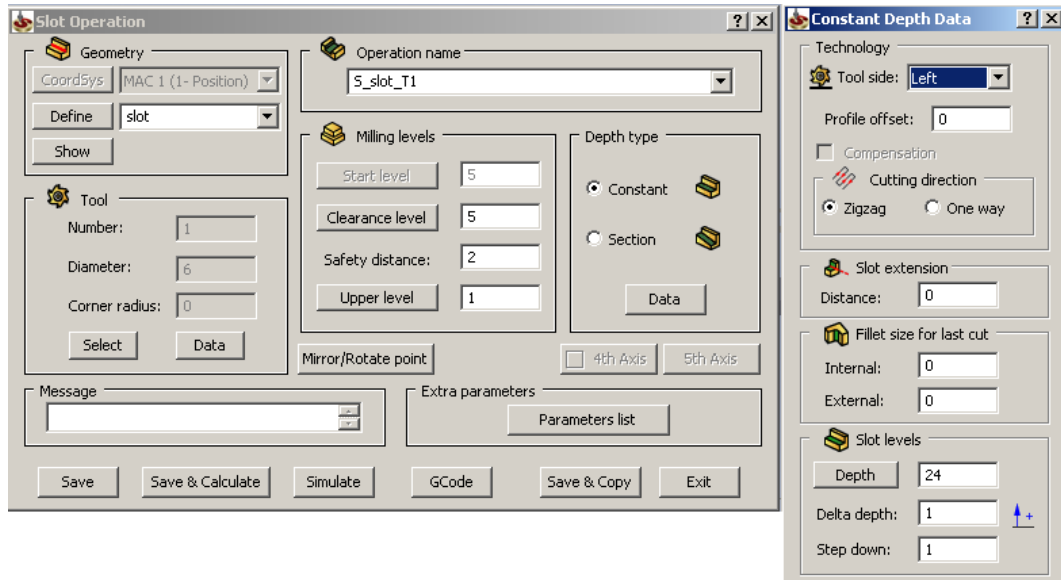
Hedef model Resim 4.13’teki çizim olacak şekilde düzenlenir. İşlemede takım yolu olarak kullanılmak üzere Resim 4.13’te görüldüğü gibi, profilin iz düşümü yeni bir

sketch olarak çizilir. Yapılacak ilk işlem profili slot işlemiyle stok modelden ayırmaktır.



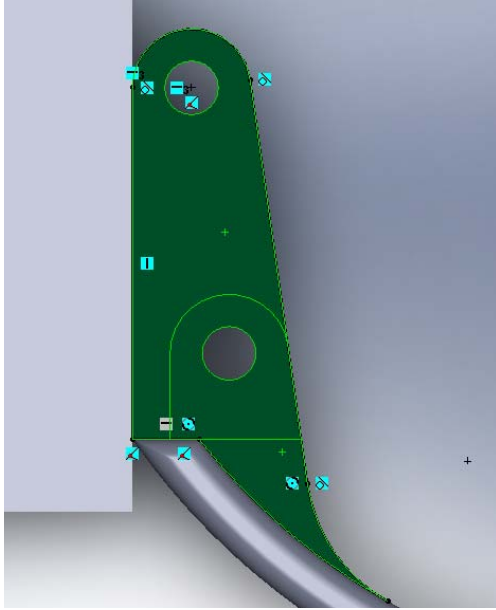
Resim 4.13. Hedef model

Yeni bir slot işlemi eklenir. Geometri olarak yukarda çizilen sketch tanımlanır ve takım olarak da 6 mm çapında parmak freze seçilir. Resim 4.13'teki değerler seçilerek slot işlemi tamamlanır.



Resim 4.14. Birinci yüzey 1.slot işlemi

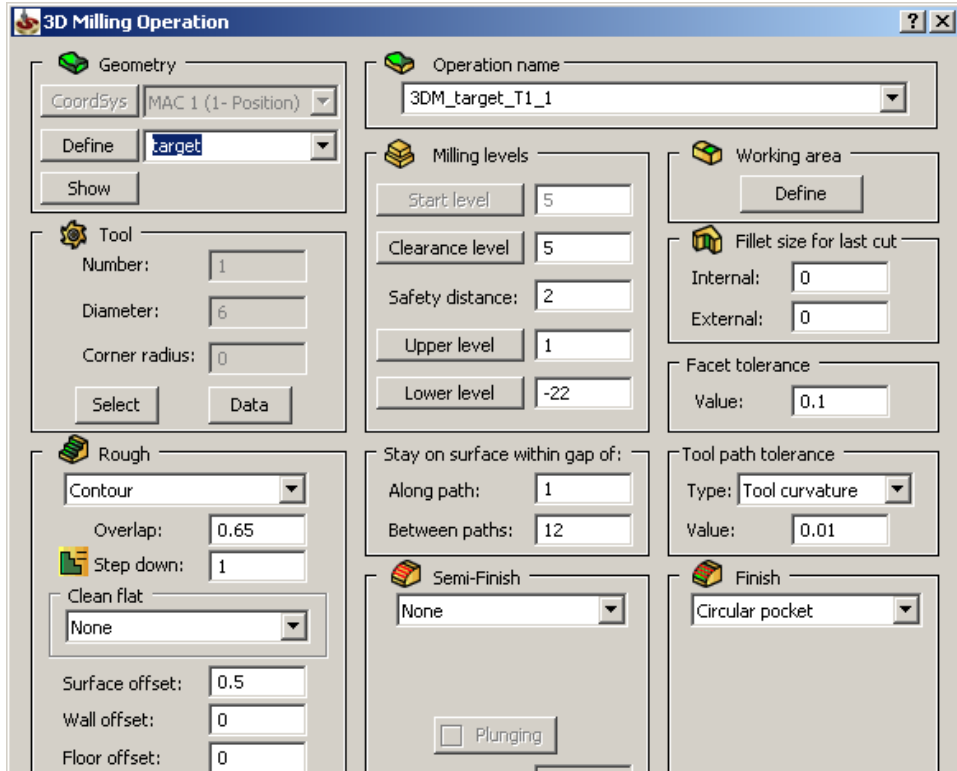
Burada slot işlemi simüle edilirse stok profilin stok modelden ayrıldığı görülür. İkinci işlem olarak kapı kolunun bağlantı bölümünü 3D milling ile işlemektir. Bunun için önce aşağıda görülen yüzeylerin izdüşümü sketch olarak çizilir. Bu çizim 3D milling işlemi tanımlanırken kullanılacaktır.



Resim 4.15. Birinci yüzey 3D milling sketch

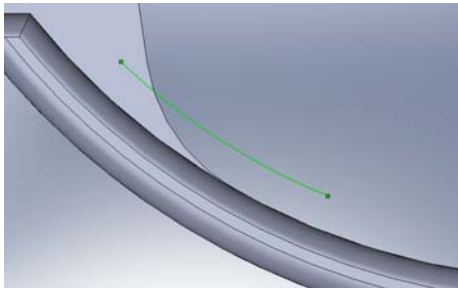
Yeni bir 3D milling işlemi eklenir. Takım olarak 6 mm çapında parmak freze seçilir. Burada çalışma alanı bölümü aktif hale getirilmeli; çalışma alanı olarak yukarda çizilen yardımcı sketch, çalışılacak yüzeyler olarak izdüşümünü alan iki yüzey ve üzerinde çalışılmaması istenen yüzeyler olarak da modelin radüslü tutma yüzeyleri seçilir.

Menüde istenen diğer değerler aşağıdaki gibi ayarlanır.



Resim 4.16. Birinci yüzey 1. 3D milling işlemi

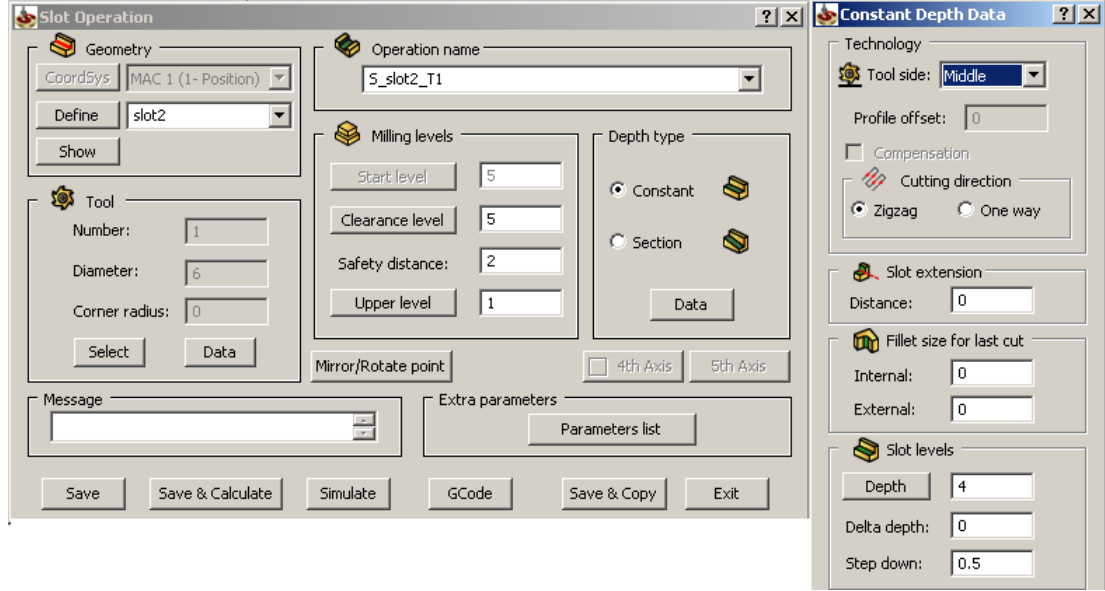
Bu işlem onaylanıp simüle edilirse belirlenen çalışma alanı kısıtlarından dolayı iki ayrı yerde yüzey radüslerinin tam olarak işlenmediği görülür. Bunun sebebi takımın kısıtlamalardan dolayı o bölgelere girememesidir. Bu bölgelerden biri aşağıdaki resimde gösterilen radüslü yüzeydir. Bu kısmı düzeltmek için yapılacak slot işleminde geometri olarak kullanılmak üzere yine aşağıdaki resimde gösterildiği gibi radüslü yüzeye 3 mm offsetlenmiş çizim sketch olarak eklenir ve yeni bir slot işlemi eklenir. 3 mm değeri kullanılacak takım 6 mm parmak freze olduğundandır.



Resim 4.17. Birinci yüzey 2. slot sketch

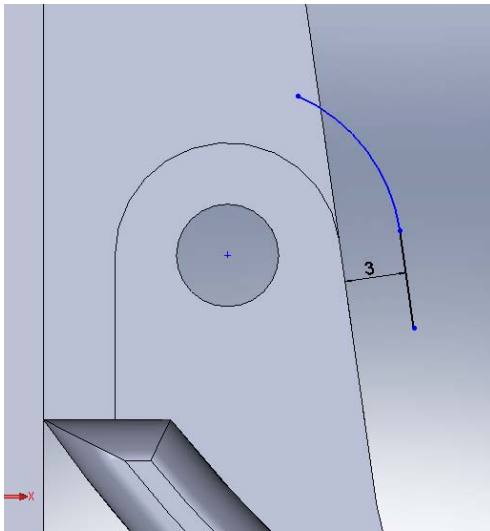


Eklenen slot işleminde aşağıdaki değerler ayarlanır.



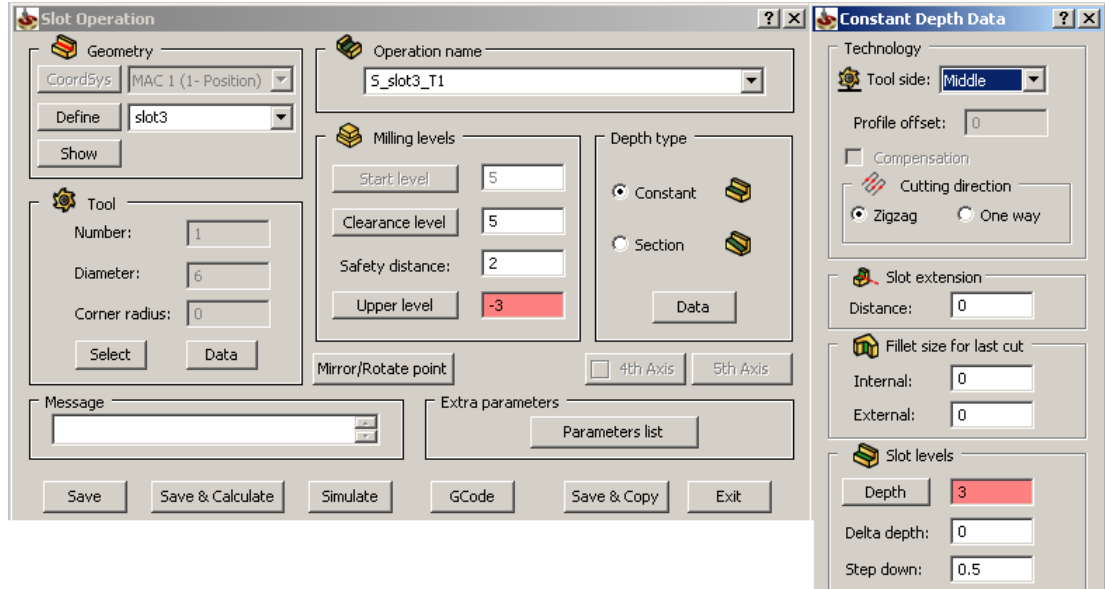
Resim 4.18. Birinci yüzey 2. slot işlemi

İşlenmeden kalan ikinci yüzey ise aşağıda görülmektedir. Bu yüzeyde diğeri ile aynı şekilde slot işlemiyle temizlenir. Kullanılacak yardımcı çizim aşağıdaki resimde görüldüğü gibi profile 3 mm offsetlenmiştir.



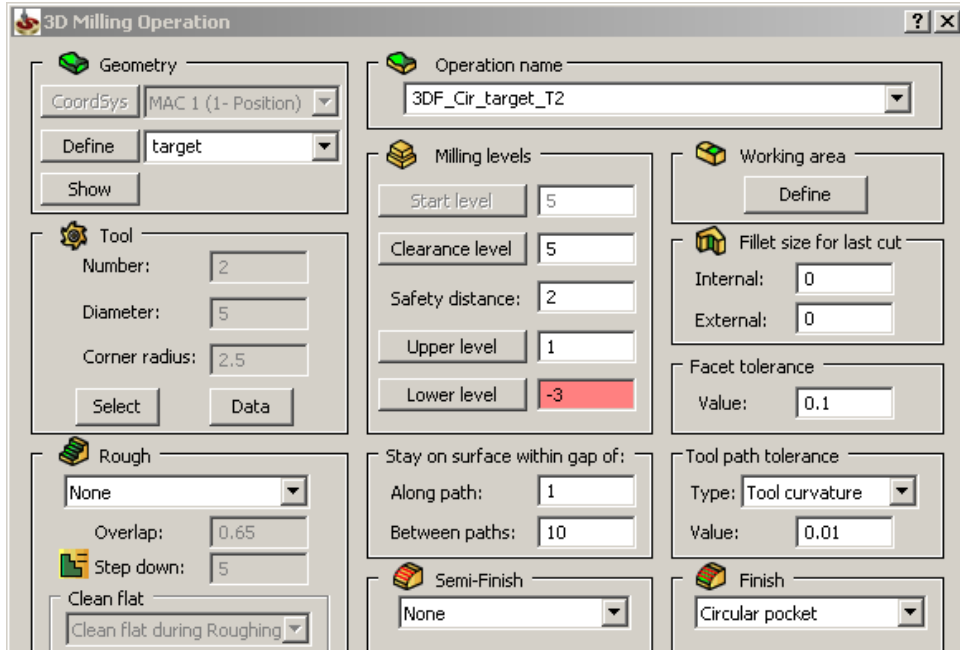
Resim 4.19. Birinci yüzey 3. slot sketch

Eklenen slot işleminde aşağıdaki değerler ayarlanır. Böylelikle kapı kolunun bağlantı kısmının yüzeyleri tamamen işlenmiş olur.



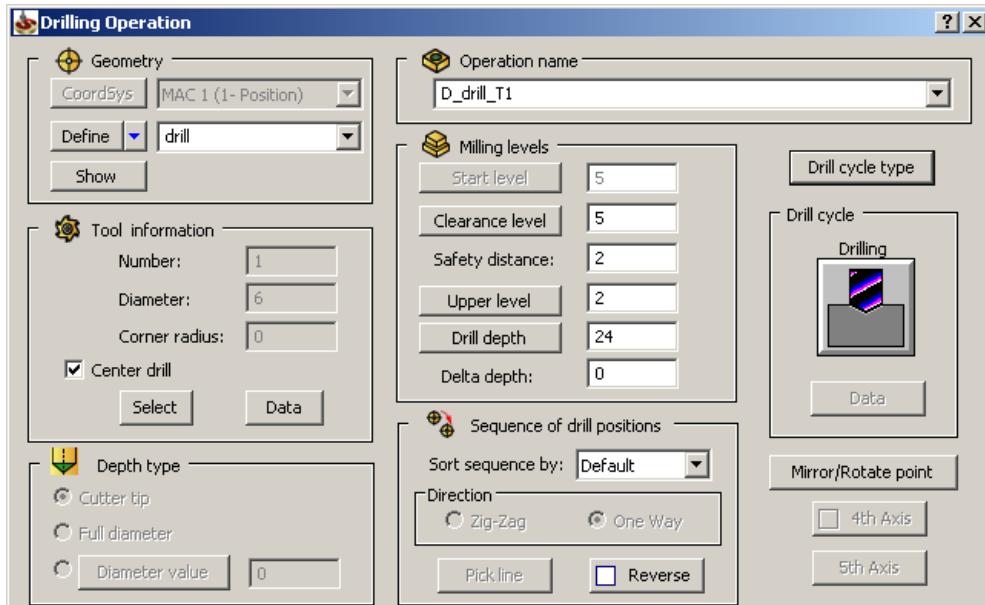
Resim 4.20. Birinci yüzey 3. slot işlemi

Kapı kolunun tutma yüzeylerindeki radüsleri işlemek için 3D milling işlemi eklenir. Çalışılacak yüzeyler olarak radüslü yüzeylerin tamamı seçilir ve aşağıdaki değerler girilir. Bu işlemde kullanılacak takım olarak 5 mm çapında ve köşe radüsü 2.5 mm olan küresel parmak freze seçilir.



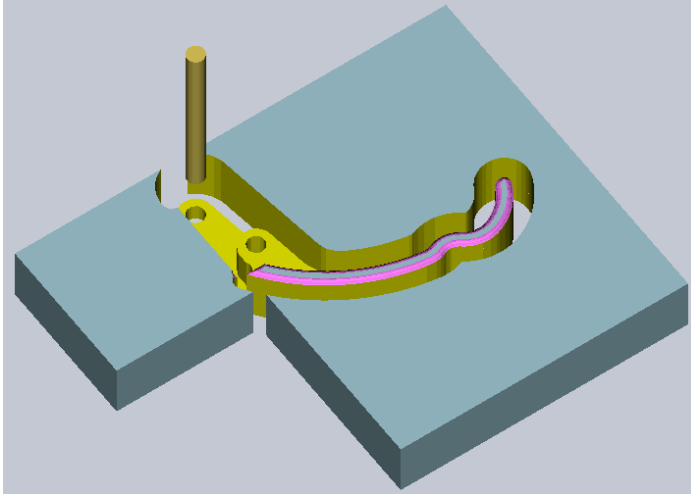
Resim 4.21. Birinci yüzey 2. 3D milling işlemi

Son işlem olarak bağlantı kısmındaki delikler delinir. Bunun için 3D drilling işlemi eklenir, 5 mm çapında matkap ucu takım olarak seçilir ve geometri olarak delikler tanımlanır. Diğer değerler aşağıdaki resimde gösterildiği gibidir.



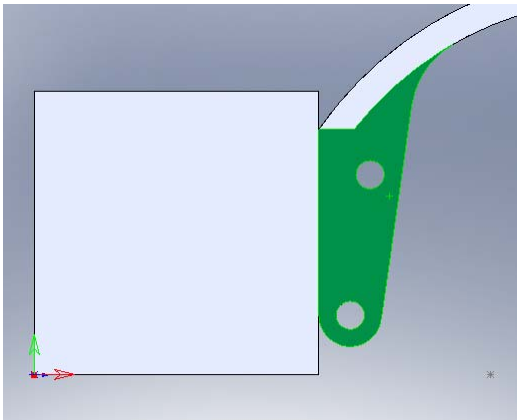
Resim 4.22. Birinci yüzey drilling işlemi

Daha önce anlatıldığı gibi istenen modeli elde etmek için parça üç yüzünden işleme tabi tutulacaktır. Birinci aşama deliklerin delinmesiyle bitmiştir. Simülasyon yapıldığında elde edilen parça aşağıdaki gibi olur.



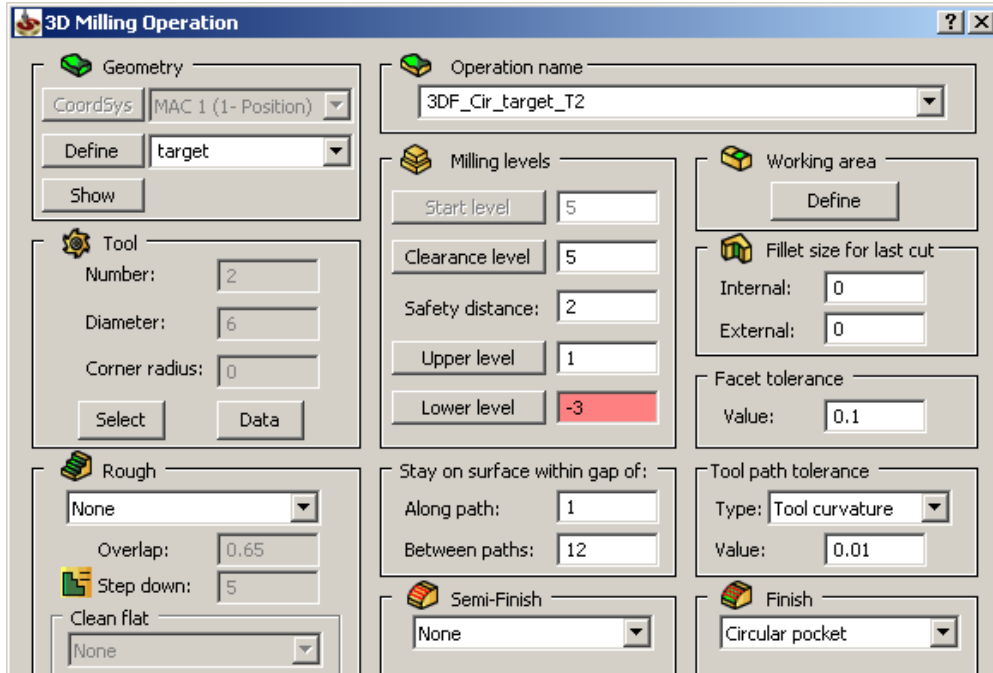
Resim 4.23. Birinci yüzey işlemleri simülasyonu

İkinci aşama için yeni bir CAM dosyası oluşturulur, parça ters çevrilerek tezgaha bağlanır ve takımlar aşağıdaki şekildeki referans noktasına göre sıfırlanır. İlk aşamada belirlenen hedef model burada da hedef model olarak belirlenir.



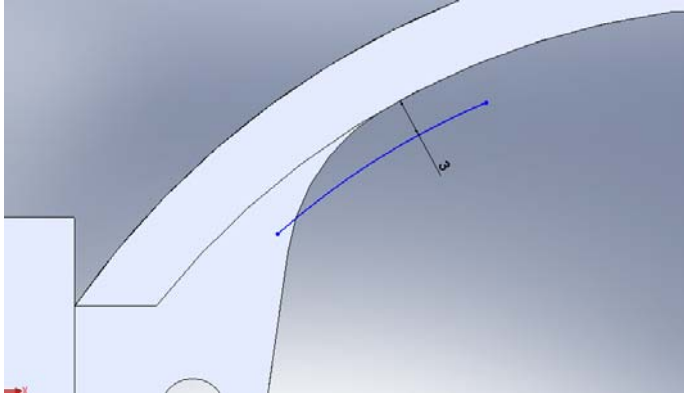
Resim 4.24. İkinci yüzey 1. 3D milling çalışma alanı

İlk işlem olarak kapı kolunun bağlantı kısmındaki yüzey işlenir. Bunun için yeni 3D milling işlemi eklenir, takım olarak 6 mm parmak freze seçilir. Üzerinde çalışılacak yüzey olarak yukarıdaki resimde seçili olan yüzey, işleme yapılması istenmeyen yüzey olarak da radius verilecek tutma kısmı seçilir. Diğer değerler aşağıdaki gibidir.



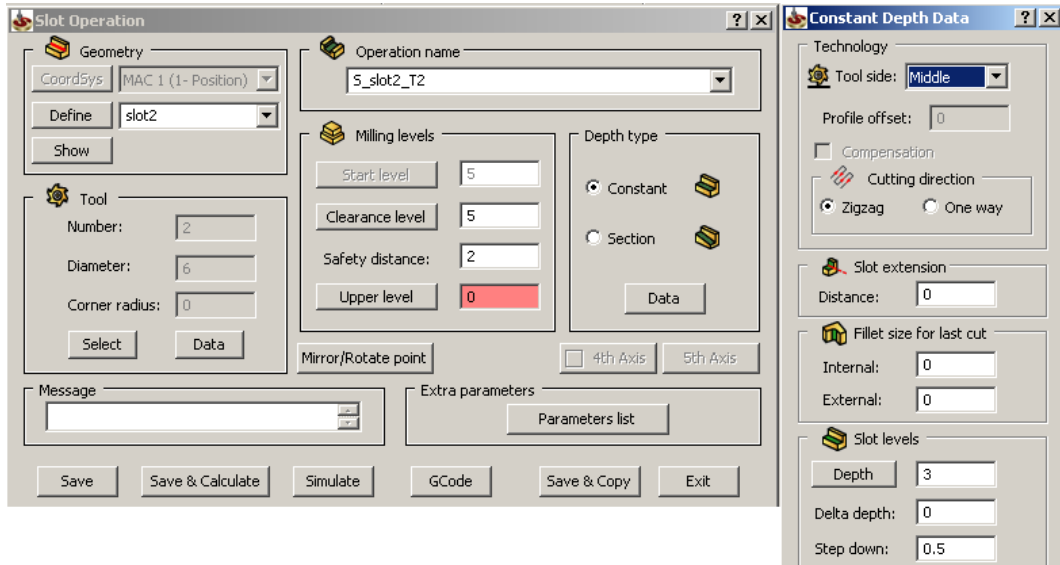
Resim 4.25. İkinci yüzey 1. 3D milling işlemi

Bu işlem onaylandığında ilk aşamadaki gibi takımın ulaşamadığı bir bölge oluşacaktır. Bu yüzeyi işlemek için aşağıdaki resimde görüldüğü gibi yüzeye 3 mm offsetlenmiş bir çizim yapılır ve yeni bir slot işlemi eklenerek bu çizim geometri olarak tanımlanır. Kullanılacak takım 6 mm parmak frezedir.



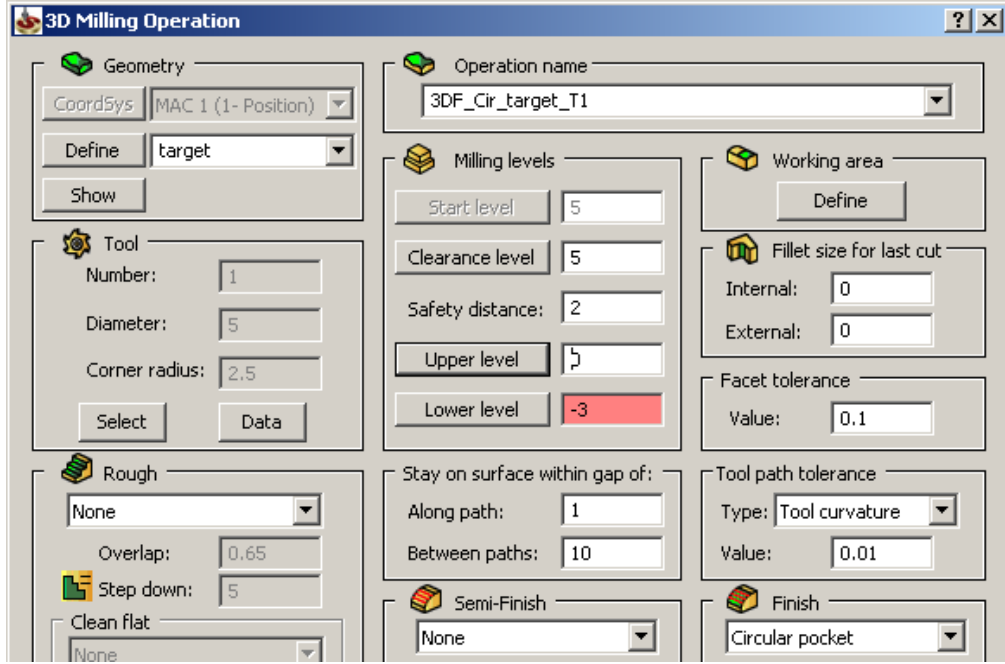
Resim 4.26. İkinci yüzey 1. slot sketch

Slot işlemi için kullanılması gereken değerler aşağıdaki gibidir.



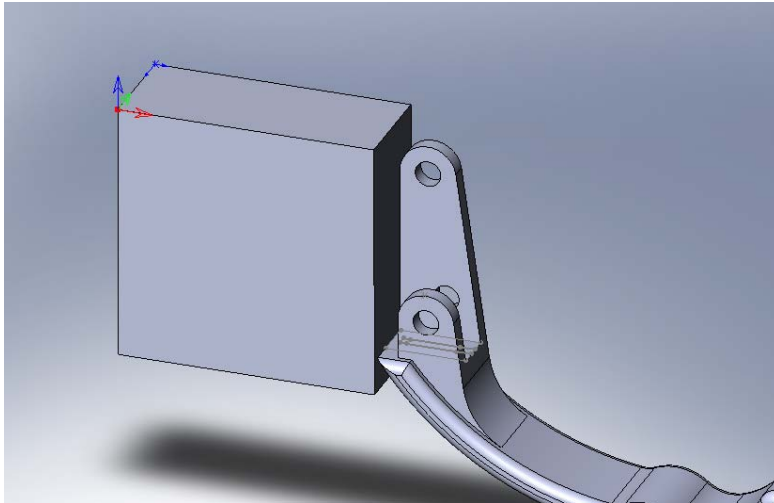
Resim 4.27. İkinci yüzey 1. slot işlemi

İkinci aşamadaki son işlem olarak kapı kolunun tutma kısmındaki radüslü yüzeyin işlenmesi yapılır. Bunun için yeni bir 3D milling işlemi eklenir ve üzerinde çalışılacak yüzeyler olarak tutma kısmındaki tüm radüslü yüzeyler seçilir. Bu işlemde 5 mm çapında ve köşe radüsü 2.5 mm olan küresel parmak freze kullanılır. İşlemde kullanılan diğer değerler de aşağıda görüldüğü gibidir.



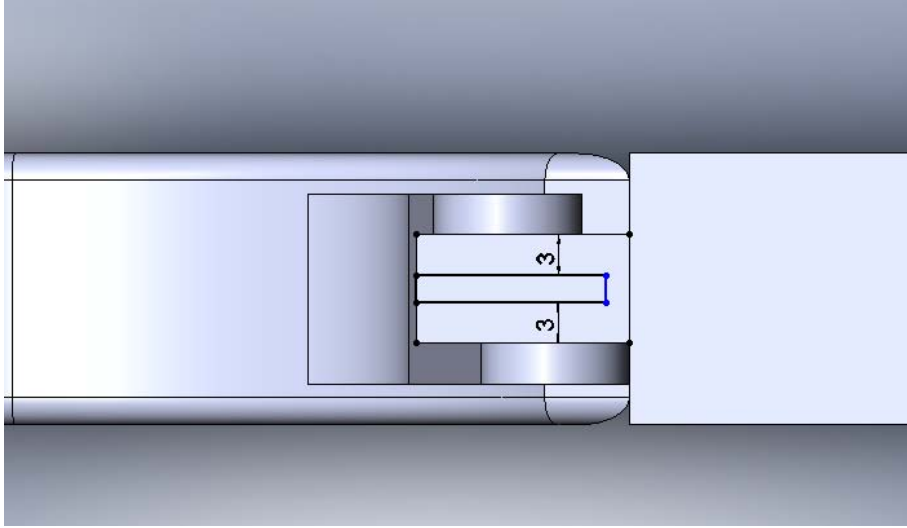
Resim 4.28. İkinci yüzey 2. 3D milling işlemi

Üçüncü ve son aşamada bağlantı kollarının arasında kalan kısım işlenir. Parça tezgaha aşağıdaki resimde görüldüğü gibi bağlanır ve 6 mm parmak freze resimdeki referansa göre sıfırlanır.



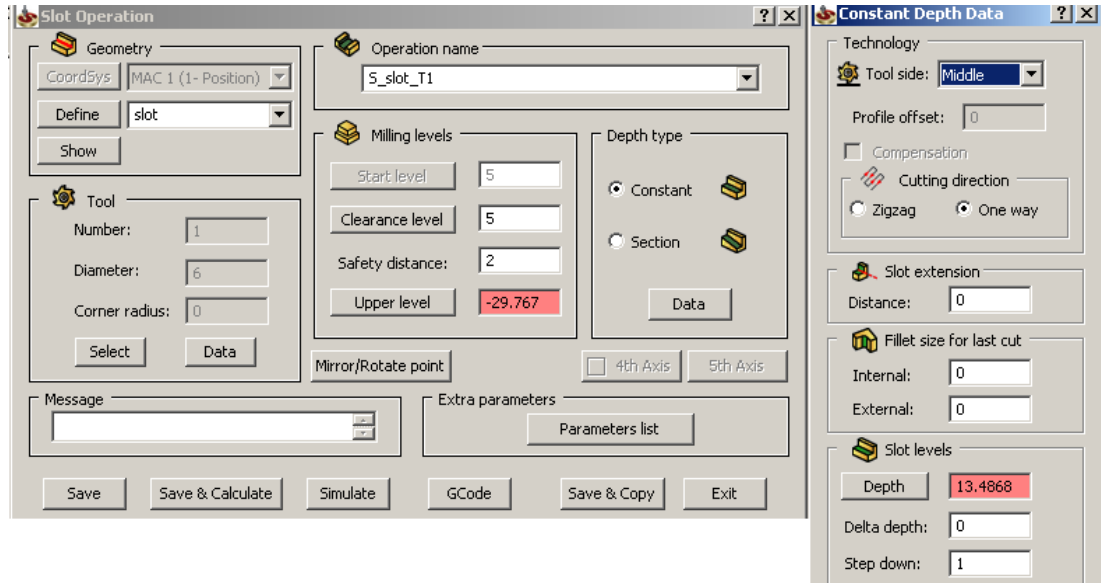
Resim 4.29. Üçüncü yüzey referans noktası

Bağlantı kollarının arasındaki kısma işlem yaparken kullanılacak yardımcı sketch olarak aşağıdaki çizim yapılır.



Resim 4.30. Üçüncü yüzey slot sketch

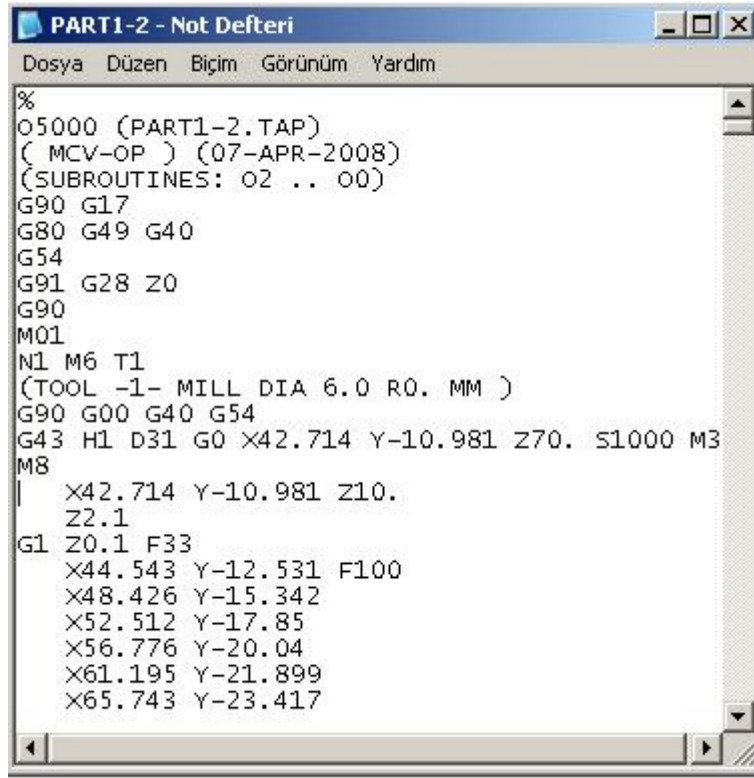
Yeni bir slot işlemi eklenerek çizilen sketch geometri olarak tanımlanır. Diğer değerler de aşağıdaki gibi girilerek işlem tamamlanır.



Resim 4.31. Üçüncü yüzey slot işlemi



Bu üç aşama da bitirildikten sonra aşamaların ayrı ayrı NC kodları çıkartılır ve CNC tezgahına aktarılır. NC kodları çıktı örneği Resim 4.12’de görülmektedir.



```

%
O5000 (PART1-2.TAP)
( MCV-OP ) (07-APR-2008)
(SUBROUTINES: 02 .. 00)
G90 G17
G80 G49 G40
G54
G91 G28 Z0
G90
M01
N1 M6 T1
(TOOL -1- MILL DIA 6.0 R0. MM )
G90 G00 G40 G54
G43 H1 D31 G0 X42.714 Y-10.981 Z70. S1000 M3
M8
| X42.714 Y-10.981 Z10.
Z2.1
G1 Z0.1 F33
X44.543 Y-12.531 F100
X48.426 Y-15.342
X52.512 Y-17.85
X56.776 Y-20.04
X61.195 Y-21.899
X65.743 Y-23.417

```

Resim 4.32. SolidCAM NC kodu çıktısı

### 4.3. CNC Freze Tezgahı

SolidCAM ile elde edilen NC programı hafıza kartıyla CNC tezgahına yüklenir. CAM’de belirlendiği gibi, takımlar ve referans noktaları ayarlanır ve program çalıştırılır. Uygulamanın bu bölümünde yapılan işlem CAM’de yapılan simülasyonun aynısıdır.

Bu çalışmada üretim için önce ahşap malzeme sonra da polyamid malzeme kullanılmıştır. Ahşap malzemenin mengenede ezilmesinden dolayı takım sıfırlama sorunu yaşanmış ve işleme aşamaları tamamlanamamıştır.

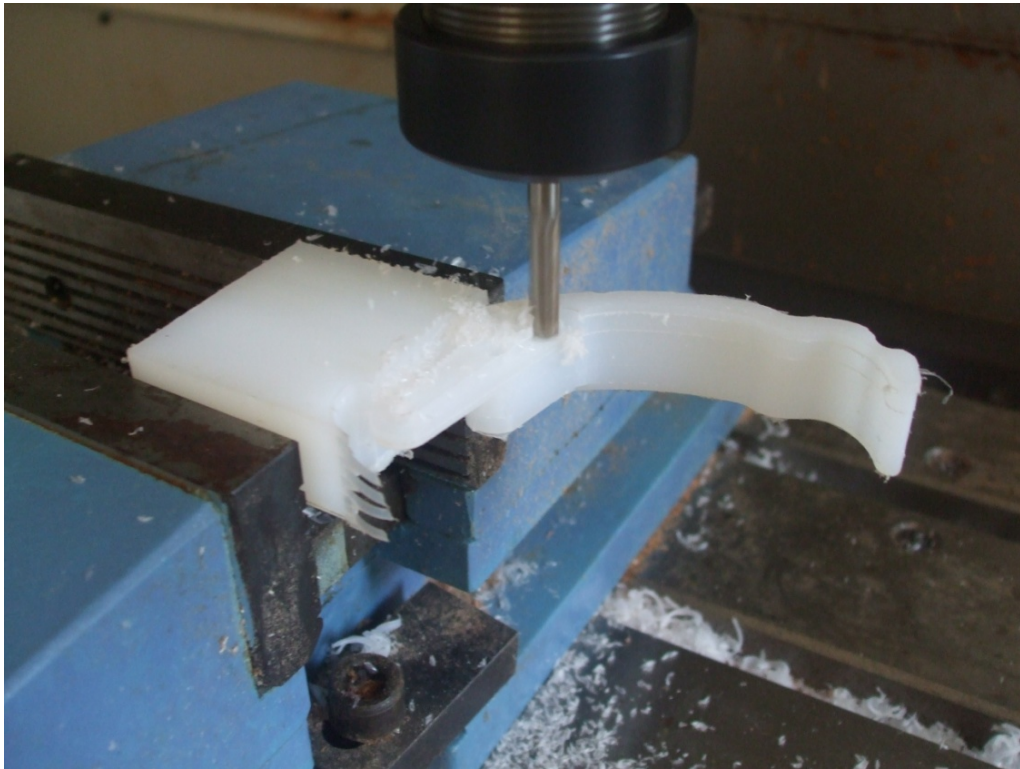
Polyamid malzemede ise esnemeden kaynaklanan dalmalar ve takım sıfırlama sorunu yaşanmış ve yine işleme aşamaları tamamlanamamıştır.

İşlemede kullanılan takımlar ve özellikler Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Kullanılan takımlar ve özellikleri

Kesici Takım Çapı [mm]	Kesici Boyu [mm]	Kesici Takım	Devir Sayısı [dev/dk]	İlerleme Hızı (mm/dakika)
6	25	Parmak freze	2000	250
6	20	Küresel uçlu parmak freze	2500	150
5	30	Matkap	2000	200

CNC’de polyamid malzeme üzerinde ikinci yüzey 1. slot işlemi yaparken görülmektedir (Resim 4.33).



Resim 4.33. CNC’de ikinci yüzey 1. slot işlemi uygulaması



Resim 4.34. Ahşaptan üretilmiş ergonomik iç kapı kolu

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada soyut olarak beyinde canlandırılan bir parçayı somut olarak ele alabilmek için aşağıda listelenen tasarım-üretim süreci gerçekleştirilmiş ve basamaklarda ilerlerken CAD/CAM/CNC entegrasyonu sağlanmıştır.

- Tasarım
- Analiz
- Çizim
- Süreç planlama
- Parça programlama
- Program doğrulama
- Parça işleme
- Kontrol

3 boyutlu modellemede kendini kanıtlamış bir yazılım olan SolidWorks, modellemenin oldukça kolay olmasını sağlamıştır. Sadece öteleyerek katılama ve radius operasyonlarıyla modelleme tamamlanmıştır”ır.

Çalışmada kullanılan SolidWorks ve SolidCAM, entegre yazılımlar olmaları ile büyük kolaylık sağlamıştır. CAD ve CAM’in bu şekilde entegrasyonunun sağlanması ile parametriklik artırılmış ve modeldeki anlık değişiklikler bile hiçbir işleme gerek duyulmadan işleme parametrelerine aksettirilmiştir. Bu da kullanıcının yükünü önemli derecede azaltan bir fayda sağlamıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi üretilecek model, kalıp ile üretime daha uygun bir parçadır. CNC freze tezgahında parça işlenirken, seçilen malzemelerin (ahşap ve polyamid) mungenede ezilmesinden ve esnemesinden kaynaklı takım sıfırlama sorunları yaşanmıştır.

Tasarlandığı şekilde olmasa da istenen ergonomik iç kapı kolunun modeli işlenmiştir.

Bu sorunları aşmak için bir sonraki aşamada malzeme olarak otomat çelikleri kullanılabilir. Bu durumda esneme ve ezilme sorunları ortadan kaldırılabilir.

Çalışma asıl amacının yanında, testere sapının kavislerine benzer bir yapının araç iç kapı kollarına uygulanmasıyla ergonomide de farklı bir tasarım ile bir adım atmıştır.

Çalışma göstermiştir ki; CAD/CAM sistemleri ve CNC takım tezgahları her ne kadar tasarımı ve üretimi kolaylaştırırsa da, insan faktörü yine en önemli etken olmaya devam etmektedir. Öyle ki; malzeme, mukavemet, tezgah takımları, tasarım ve işleme yöntemleri konularının tamamında bilgi sahibi olmayan, henüz tasarım aşamasındayken parçanın CNC'deki üretimini göremeyen bir kullanıcı için sistemin getirdiği bir fayda bulunmamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1]. Yağmur, L, “Tasarım ve İmalatta CNC ve CAD/CAM Sistemlerinin Fonksiyonları”, *TÜBİTAK-UME*, Ağustos 2004.
- [2]. <http://www.cadcamdizayn.com/makale.asp?ID=32> (10.04.2008).
- [3]. Kırıl, Z, “Bilgisayar Destekli Tasarım Ders Notları”, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 2007 [http://www.deu.edu.tr/userweb/zeki.kiral/dosyalar/hafta\\_6.pdf](http://www.deu.edu.tr/userweb/zeki.kiral/dosyalar/hafta_6.pdf) (10.04.2008).
- [4]. Kibaroglu, M. A, “Tasarım Sürecinde Üç Boyutlu Modellemenin Rolü ve CAD/CAM Programlarının Sınıflandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *T.C. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Endüstri Ürünleri Tasarımı A.B.D.*, İstanbul, (2006).
- [5]. Aykut, Ş, “CNC Tezgahlarında Kullanılan Kesici Takımların Tasarım Esasları”, Yüksek Lisans Tezi, *T.C. Marmara Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü*, İstanbul, (1999).
- [6]. <http://www.cadcamsektoru.com/cnc-takim-tezgahlari-9170.htm> (15.04.2008).
- [7]. <http://www.turkcadcam.net/rapor/imalatta-cadcam/> (13.04.2008).
- [8]. <http://abone.turk.net/eren43/> (10.04.2008).
- [9]. Gözlüklüoğlu Erdinler, E. S, “CAD Siteimleri ve Türkiye Mobilya Endüstrisinde Kullanma Etkinliğinin Analizi”, Doktora Tezi, *T.C. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2005).
- [10]. <http://www.turkcadcam.net/rapor/cnc-tezgahlar/index.html> (10.04.2008).
- [11]. <http://www.cadcamsektoru.com/cad-cam-sistemlerinin-yapisi-ve-tarihsel-gelisimi-9205.htm> (10.04.2008).
- [12]. [http://www.wired.com/images/article/full/2007/11/AutoCAD\\_1000x.jpg](http://www.wired.com/images/article/full/2007/11/AutoCAD_1000x.jpg) (10.04.2008).
- [13]. <http://abone.turk.net/eren43/pro.htm> (12.04.2008).
- [14]. [http://www.intermech.ru/cadmech\\_proe/proe1.png](http://www.intermech.ru/cadmech_proe/proe1.png) (12.04.2008).
- [15]. <http://abone.turk.net/eren43/CATIA.htm> (12.04.2008).
- [16]. [http://pj.piotr.free.fr/turbofan\\_catia.png](http://pj.piotr.free.fr/turbofan_catia.png) (12.04.2008).

- [17]. <http://abone.turk.net/eren43/unigraph.htm> (12.04.2008).
- [18]. [http://www.cfturbo.com/images\\_imp/unigraphics.jpg](http://www.cfturbo.com/images_imp/unigraphics.jpg) (12.04.2008).
- [19]. <http://www.supermeydan.net/forum/forum69/thread7249.html> (13.04.2008).
- [20]. [http://www.dansystempoland.dk/EdgeCAM\\_trochoidal\\_milling.JPG](http://www.dansystempoland.dk/EdgeCAM_trochoidal_milling.JPG) (13.04.2008).
- [21]. Akkurt, M, “Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları (CNC) ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat (CAD-CAM) Sistemleri”, **Birsan Yayınevi**, İstanbul, (1996).
- [22]. [http://www.acam.si/izdelki/big\\_3\\_mastercam\\_mill2.jpg](http://www.acam.si/izdelki/big_3_mastercam_mill2.jpg) (13.04.2008).
- [23]. Alan, S, “CNC Eğitim Seti Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, **T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, (2006).
- [24]. Büyüksahin, U, “3 Eksenli Tezgah Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, **T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2005).
- [25]. <http://www.turkcadcaml.net/rapor/cnc-md/index.html#top> (05.04.2008).
- [26]. <http://www.taksan.com/trtaksan/indextr.htm> (20.04.2008).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : TUTAR, Mümin  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 26.10.1982 Alanya  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (544) 638 58 45  
e-mail : [mmntr@hotmail.com](mailto:mmntr@hotmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Anadolu Üniversitesi, İşletme, AÖF	Devam
Lisans	Pamukkale Üniversitesi, Otomotiv Öğretmenliği	Devam
Lisans	Ege Üniversitesi, Fizik (Terk)	2004
Lise	Isparta Gazi Lisesi (Y.D.A.)	2000

### Yabancı Dil

İngilizce (ÜDS 60),

### Hobiler

Müzik dinlemek, internette sörf yapmak, gitar çalmak, yüzmek



**Bu tez çalışmasının içeriğinden oluşturulan bildiri**

**S.D.Ü. TEFUOS 2008’de**

**(Teknik Eğitim Fakóltesi 7. Ulusal Öğrenci Sempozyumu)**

**poster olarak yayınlanmıştır.**

Bildirinin tamamı ektedir.

# CAD/CAM'İN CNC TAKIM TEZGAHLARINA ENTEGRASYONU

Mümin TUTAR<sup>1</sup>

Email: mmnttr@hotmail.com

(Danışman: Dr. Şeref AYKUT)

<sup>1</sup> Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Kınıklı 20070,  
DENİZLİ

## Özet

Üretimde verimliliği ve kaliteyi arttırmak amacıyla 20. yy.'ın ikinci yarısından itibaren yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlardan CAD (Computer Aided Design – Bilgisayar Destekli Tasarım), üretilecek parçanın 3 boyutlu modelinin oluşturulması, mevcut parçalar üzerinde değişiklikler yapılması ve üretim için gerekli olan veritabanını hazırlayan bir sistem yaklaşımı olarak tanımlanırken; CAM (Computer Aided Manufacturing – Bilgisayar Destekli Üretim) ise üretim sürecini kontrolde, doğrudan veya dolaylı olarak yapılan işlerin bilgisayar desteğiyle gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. CAD/CAM, tasarımcının üretkenliğini ve tasarımın kalitesini arttırmaktadır. Tezgahların kontrolü, işlem planlaması, malzemenin taşınması, kalite kontrol vb. safhalar bu sistem içerisinde bilgisayar desteğiyle gerçekleştirilmektedir. CNC (Computer Numerical Control-Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) ise sayısallaştırılmış komutların bilgisayardan direkt olarak tezgaha aktarıldığı ve tezgahın da geribildirim sağlayabildiği sistemdir.

Bilgisayar sistemlerinin mühendislik alanlarına uygulanması sonucu önce CAD/CAM ve CAM/CNC entegrasyonu sağlanmış, tasarım-üretim sürecinin gereği olarak da CAD/CAM/CNC entegrasyonu haline dönüşmüştür. Bu şekilde tasarım ve üretimin bütün safhalarında bilgisayar desteği alınmaktadır.

Bu çalışmada; öncelikle CAD yazılımları ile araçlar için ergonomik iç kapı kolu modeli tasarlanmış ve tasarlanan model CAM yazılımlarına aktarılmış, ardından da CAM yazılımlarında takım yolları oluşturularak simülasyonla doğrulanmış ve CNC freze tezgahında modelin üretimi yapılmıştır. Bu süreçte de CAD/CAM/CNC entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.

## 1. Giriş

CAD, mekanik ve elektromekanik parça ve sistem tasarımlarının yapılmasını kolaylaştırmak, hızlandırmak, kalitesini yükseltmek gibi amaçlarla bilgisayarlardan yararlanmayı içermektedir. Ürünü her açıdan görmek, o ürünün gerçek yapı ve şekli hakkında daha iyi fikir edinmek için bilgisayar ortamında ürünün gerçek ölçüleri temel alınarak görüntüsünün oluşturulması sağlanmaktadır [1].

CAD sistemleri genel olarak yazılım ve donanım kısımlarından oluşur. Yazılım kısmı, katı modelin oluşturulması ile tasarlanan modelin statik, dinamik ve termal performansının belirlenmesinde kullanılan modülleri kapsamaktadır. Donanım kısmı ise monitör, fare, klavye vb. çevre birimlerinden oluşur [2-4].

CAM, sürecin CAD'den sonraki aşamasıdır. CAD model bilgisi; CAM yazılımlarında, tornalama, frezeleme gibi yöntemlerle hammaddeyi istenen şekle getirirken kullanılır. Örneğin; CAD modelinde seçilen malzeme; devir ve ilerleme hızlarının, CAD modelinin boyutları ise takım seçiminin ve takım yollarının belirlenmesinde kullanılır. Böylece gerçek bir makine parçası, üç boyutlu olarak üretilir hale gelir [5].

CAM, aynı zamanda bilgisayar sistemlerini planlama, yönetme ve bir imalat sürecinin kontrolünde doğrudan veya dolaylı olarak yapılan işlemleri de kapsamaktadır. CAD/CAM teknolojisi, tasarım ile imalatın daha fazla entegrasyonu yönünde gelişmektedir [1,4,6].

Günümüzde kullanılan CAD ve CAM yazılımları sürekli olarak geliştirilmektedir. En çok kullanıcıya sahip olan CAD yazılımları arasında SolidWorks, CATIA, Unigraphics, Pro/Engineer, Autocad, Inventor sayılabilir. CAM yazılımları arasında ise CAMWorks, SolidCAM, EdgeCAM, SurfCAM ve MasterCAM yazılımları vardır. Bu

CAD ve CAM yazılımlarından bazıları entegre, bazıları ise bağımsız olarak kullanılmaktadır.

CNC’de temel düşünce takım tezgahlarının sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen, belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmesi ve tezgah kontrol ünitesinin parça programı yardımıyla üretim yapabilmesidir [7].

## 2. CAD/CAM Sistemlerinin Tarihçesi

Bilgisayarlı grafik sistemlerinin, dijital bilgisayarlarla birlikte ortaya çıkıp çıkmadığı çok tartışılmıştır. Tasarım ve üretim mühendisliğinde bilgisayar kullanımının tarihi, ilk bilgisayarların çıktığı 50’li yılların başlarına kadar uzanmaktadır. İlk fikir Amerika’da devlet desteği ile gerçekleştirilen simülasyon ve radar projeleri gibi araştırma-geliştirme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar 1949-1952 yıllarında ABD hava kuvvetlerinin Massachusetts Institute of Technology (MIT)’e verdiği proje ile uçak sanayisine yönelik olarak geliştirilmiştir. İlk sistemlerde karmaşık, uzun ve masraflı, toplu işlevli programlar büyük işlemcilere dayalı bilgisayarlarda çalıştırılmıştır. 1955-1959 yıllarında MIT’de sürdürülen çalışmalar sırasında D.T.Roos ilk defa “Bilgisayar Destekli Tasarım” terimini kullanmıştır [8].

Akademik düzeyde CAD sistemine ilk adım 1963 yılında I.E. Sutherland’ın MIT’deki doktora tezi ile atılmıştır. “Sketchpad” adı verilen sistemde uygun programlama teknikleri ve veri yapılarıyla yenileme (görüntüyü sürekli yeniden üreten) ile bir çalışma sergilenmiştir.

CAD/CAM uygulamalarının temelini oluşturan pahalı sistemler, önceleri karşılığının fazlasıyla alınabildiği havacılık sanayi gibi büyük endüstrilerde kullanılsa da; teknolojinin gelişmesi ve fiyatların düşmesiyle seksenli yıllarda tüm sektörlerde yaygınlaşmaya başlamıştır.

Daha güçlü daha ucuz elektronik, artan deneyim ve rekabet, kullanımın yaygınlaşmasında büyük rol oynamıştır. Aynı yıllarda gözlemlenen diğer bir gelişme de piyasa şartları sonucu farklı donanım ve yazılım kullanan şirketlerin üretim sürecinde bütünleşik bilgi işleme ihtiyacından kaynaklanmıştır. Böylece yeni donanım ve yazılım arabirimleri ve standartları geliştirilmeye başlanmıştır.

1960’larda yüzyılın en önemli teknolojik gelişmelerinden biri olarak kabul edilen CAD/CAM tekniği bugün basit bilgisayar grafiği kavramının oldukça ilerisinde bulunmakta ve küçük işletmelerde bile etkin bir şekilde kullanılmaktadır [8].

## 3. CNC Takım Tezgahlarının Gelişimi

Takım tezgahlarının ilk görünürlüğü 16. yüzyıla kadar gitmektedir. 1540 yılında Torriano isimli bir İtalyan, İspanyol kralı V. Charles’ a hediye edilecek saatin imalatında freze tezgahının ilk örneklerinden birini kullanmıştır.

Modern takım tezgahlarının ilk atası olarak, 1775 yılında John Wilkinson tarafından yapılan yatay delik işleme tezgahı kabul edilmektedir. İlk torna tezgahı ise 1780’li yılların ortasında İngiliz Henry Maudstay tarafından yapılmıştır.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak takım tezgahlarında kaliteyi artırmak, kolay üretilebilirliği sağlamak, düşük maliyet ve işleme koşullarının kolaylıkla değiştirilebilmesini sağlamak amacıyla otomasyona geçilmiştir. Böylece parçanın işlenmesine ait verilerinin insan tarafından girildiği konvansiyonel tezgahlardan sonra verilerin tezgahın anlayabileceği kodlardan oluşmuş program tarafından verildiği sayısal kontrollü (NC) takım tezgahları ortaya çıkmıştır.

Sayısal kontrol fikri II. Dünya Savaşı’nın sonlarında ABD hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan kompleks uçak parçalarının üretimi için ortaya atılmıştır. CAD/CAM sistemleri ile CNC takım tezgahlarının ilk buluşması bu amaca dayanmaktadır [2,10].

1952 yılında ilk olarak bir CINCINNATTI-HYDROTEL freze tezgahını NC ile teçhiz ederek bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu tarihten itibaren pek çok takım tezgahı imalatçısı NC takım tezgahı imalatına başlamıştır. İlk önceleri NC takım tezgahlarında vakumlu tüpler, elektrik röleleri, komplike kontrol ara yüzleri kullanılmıştır. Ancak bunların sık sık tamirleri hatta yenilenmeleri gerektiği için daha sonraları NC takım tezgahlarında daha kullanışlı olan minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler kullanılmaya başlandı. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler NC sistemleri de etkilemiştir. Bu gelişmelerle birlikte NC tezgahlarda daha ileri düzeyde geliştirilmiş olan entegre devre elemanları, ucuz ve güvenilir olan donanımlar kullanılmaya başlanmıştır. ROM (Read Only Memory) teknolojisinin kullanılmaya başlanmasıyla da programların hafızada saklanması mümkün olmuştur. Sonuç olarak bu sistemli gelişmeler CNC’nin doğmasına öncülük etmiştir [2,10].

## 4. CAD/CAM/CNC Entegrasyonu

CAD/CAM sistemlerinin CNC’lerle entegrasyonu tasarım ve imalat sürecinin bir gereksinimidir.

Aslında birbirinden farklı olan bu kavramlar günümüzde küçük işletmelerde dahi entegre edilmiş şekilde kullanılmaktadır [1,6,11].

#### 4.1. CAD

Tasarım-imalat sürecinin ilk basamağı olarak CAD sistemleri kullanılır. CAD sistemlerinde amaç üretilecek parçanın modellenmesi ve gerekli analizlerinin yapılmasıdır. CAD sistemlerinde parçaların iki boyutlu ve üç boyutlu modellenmesinde çeşitli operasyonlar ve modüller kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin seçimi parçanın tanımlanabilirliğine bağlıdır. Bir parça katı olarak, yüzeyleriyle veya tel kafes şeklinde tanımlanır. Her parçanın katı olarak modellenmesi gerekli olmayabilir. Katı modelde parçanın tüm özellikleri tanımlanabilir durumdadır ve tüm analizleri CAD’de yapılabilir. Makine parçaları genel olarak katı model şeklinde tasarlanmaktadır. Katı modellemede döndürerek, öteleyerek veya iki profil arasını katılama ya da süpürme gibi operasyonlar kullanılmaktadır.

#### 4.2. CAM

Üretilecek parçanın gerekli çizimleri ile oluşturulan model CAM yazılımına aktarılır. Bu aşama kullanılan sisteme göre farklılıklar gösterebilir. Bazı CAD ve CAM yazılımları entegre şekilde çalışırken bazı yazılımlar bağımsız çalışmaktadır. Entegre çalışan yazılımlarda modelleme ekranından direkt olarak CAM’deki işleme ekranına geçiş yapılırken, entegre olmayan yazılımlarda CAD’de hazırlanan model kullanılacak CAM yazılımına uygun bir formatta

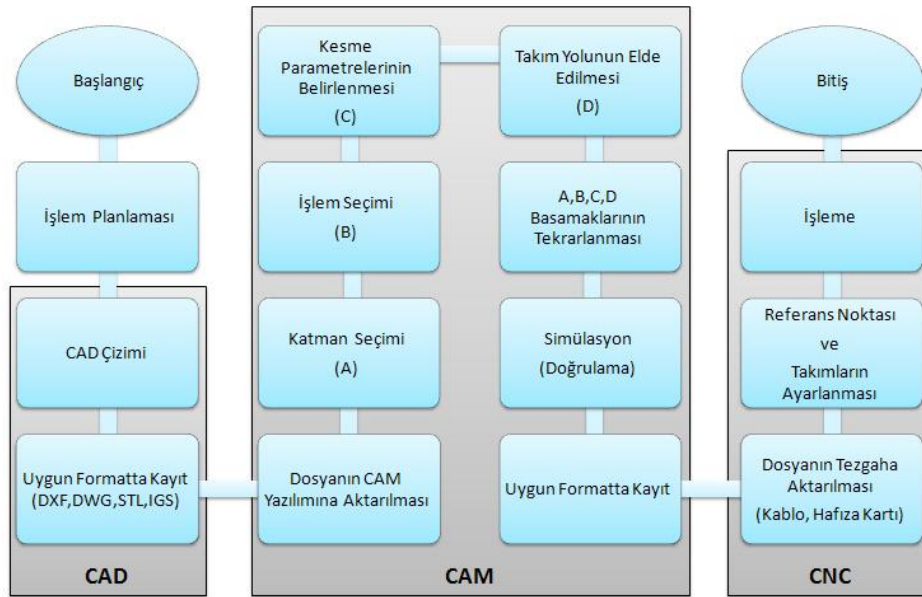
kaydedilir ve CAM yazılımında açılarak işleme devam edilir.

CAM’de öncelikle, CAD’den alınan tasarım modeli için ölçüler verilerek veya otomatik olarak bir stok model oluşturulur. Stok model, parçanın işlenmeden önceki yarı mamul halidir. Başka bir deyişle hedef modele ulaşmak için simülasyonda kullanılan CNC tezgahına bağlanacak parçadır. Hedef model ise parçanın CNC tezgahından çıkan işlenmiş halidir. Hedef modele ulaşmak için stok model üzerinde yapılacak işlemler, uygun takımlar ve uygun takım yolları belirlenir. CAM’de, yapılan işlemlerin simülasyonu izlenir ve dalmalar varsa düzeltilerek takım yolları doğrulanır.

#### 4.3. CNC

CAM’de yapılan doğrulamanın ardından CNC takım tezgahlarına bu bilgilerin aktarılması için gerekli olan NC kodları yazdırılır. Bu dönüşüm sırasında dikkat edilmesi gereken parametrelerden bir tanesi de kullanılacak olan CNC tezgahının post processor türüdür.

NC kodları CNC tezgahına kablo bağlantısı ya da hafıza kartı kullanılarak aktarılır. CAM’de belirlendiği şekilde belirlenen boyutlardaki stok model tezgaha bağlanır. CAM’de belirlenmiş referans noktası ve takımlar ayarlandıktan sonra program çalıştırılır. Yapılan işlem CAM’de yapılan simülasyonun gerçekleştirilmesidir. İşlem bittiğinde stok modelden hedef model elde edilmiş olur. Yukarıda anlatılan sürecin akış şeması Şekil 1’de gösterilmektedir.



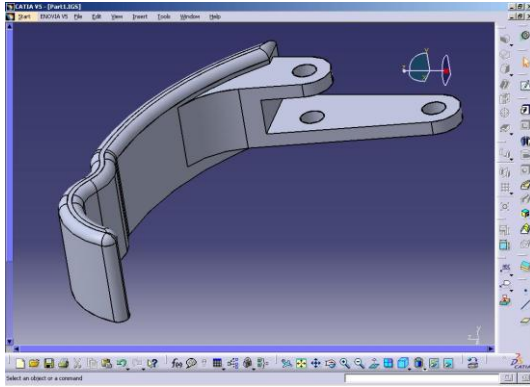
Şekil 1: CAD/CAPP/CAM Entegrasyonu

## 5. Uygulama

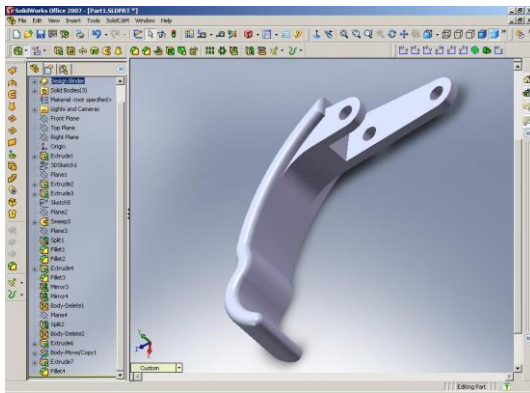
Bu çalışmada amaç, tasarım-üretim sürecini işletip CAD/CAM/CNC entegrasyonunu gerçekleştirerek araçlar için ergonomik bir iç kapı kolu prototipi oluşturmaktır. Bu parçanın seçilmesinin nedeni; yapılan küçük çaplı bir araştırmada kapı kollarının parmak ergonomisine uygun olmadığı görüşünün yaygın olmasıdır.

Tasarım-üretim sürecinin CAD aşamasında SolidWorks ve CATIA yazılımları tercih edildi. CAM aşamasında da iki ayrı yazılım (EdgeCAM ve SolidCAM) kullanılarak tasarım-üretim sürecine devam edildi.

SolidWorks ve CATIA ile modellemelerde öteleme ve süpürme operasyonları, model düzenlemede de kenar radüsleri için fillet operasyonu ile yardımcı referans düzlemler kullanıldı. Şekil 2 ve Şekil 3'te geliştirilen ergonomik iç kapı kolunun tasarımı gösterilmektedir.



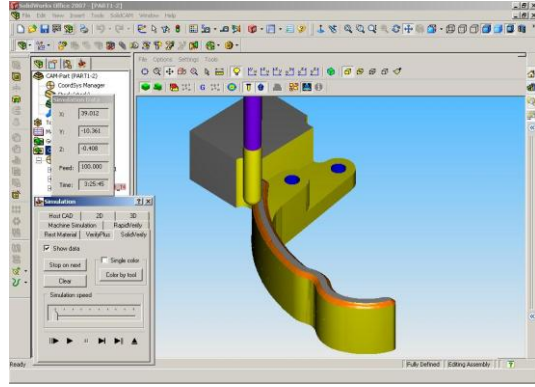
Şekil 2: Tasarlanan kapı kolunun CATIA'daki görüntüsü



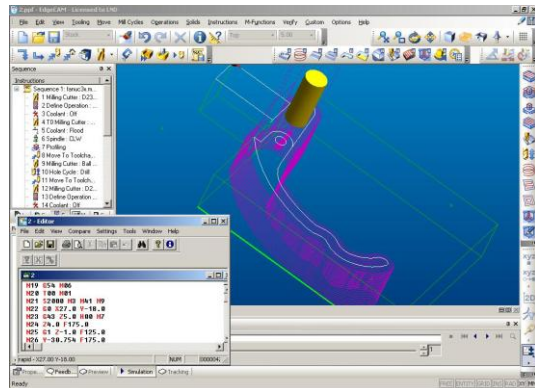
Şekil 3: Tasarlanan kapı kolunun SolidWorks'teki görüntüsü

SolidWorks ile SolidCAM entegre yazılımlar oldukları için SolidWorks modelleme ekranından SolidCAM ekranına direkt geçiş imkanı vardır. EdgeCAM'de ise DXF (ya da DWG) formatında model iki boyutlu olarak ve IGS (ya da STL) formatında üç boyutlu olarak CAM ortamına aktarılmıştır.

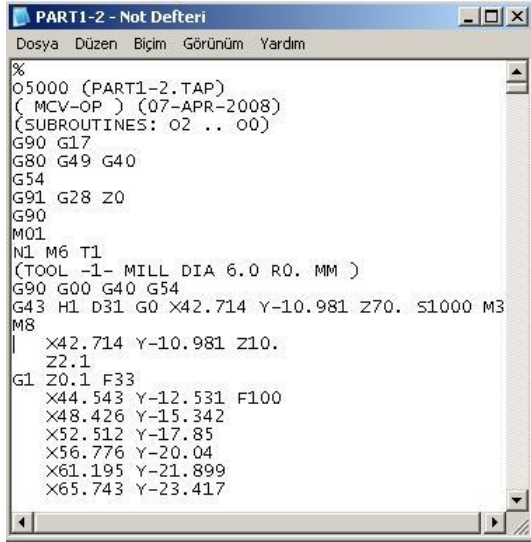
Model, yapısından dolayı olarak üç eksenli CNC freze tezgahında üç aşamada işlenebilmektedir. Hedef modele erişebilmek için parçayı tezgaha üç kez farklı pozisyonlarda bağlamak ve referans belirlemek gerekmektedir. İşlemede kullanılan takımlar ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Takım yolları da belirledikten sonra Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterildiği gibi her iki yazılımla da yapılacak işlemler simüle edilerek doğrulanmıştır. Doğrulamanın ardından NC kodları çıkartılarak üç eksenli bir CNC freze tezgahında parçanın işlenebilmesi için gerekli tüm aşamaları bitirilmiştir. Şekil 6'da CAM'de oluşturulan NC kodu çıktısı görülmektedir.



Şekil 4: Tasarlanan kapı kolunun SolidCAM'deki simülasyonunun görüntüsü



Şekil 5: Tasarlanan kapı kolunun EdgeCAM'deki simülasyonunun görüntüsü



Şekil 6: NC kodu çıktısı

Tablo 1: İşlemede kullanılan takımlar ve özellikleri

Kesici Takım Çapı	Kesici Boyu	Takım Adı
6 mm	25	Parmak freze
6 mm	20	Küresel uçlu parmak freze
5 mm	30	Matkap

Şekil 6'da gösterilen NC kodları hafıza kartıyla, uygulamada kullanılan TAKSAN TMC 500/700 CNC freze tezgahına (Dik işleme merkezi) aktarılarak modelin üretimi yapılmıştır.

Modelin üretiminde önce kolay işlenebilirlik özelliği ile tahta malzeme kullanılmıştır. Tahtanın mendenede ezilmesinden dolayı ikinci aşamada sıfırlama sorunu yaşanmıştır. İlk aşamanın işlenmiş hali Şekil 7'de görülmektedir.

Daha sonra malzeme olarak polyamid kullanılmış, bu sefer de malzemenin esnemesinden dolayı sıfırlama sorunu yaşanmıştır.

Çalışma devam etmekte ve bir sonraki aşamada metal malzeme ile üretimin yapılması planlanmaktadır.



Şekil 7: Üretilen ergonomik iç kapı kolu

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada soyut olarak beyinde canlandırılan bir parçayı somut olarak ele alabilmek için aşağıda listelenen tasarım-üretim süreci gerçekleştirilmiş ve basamaklarda ilerlerken CAD/CAM/CNC ilişkisi kurulmuştur.

- Tasarım
- Analiz
- Çizim
- Süreç planlama
- Parça programlama
- Program doğrulama
- Parça işleme
- Kontrol

Sürecin CAD aşamasında SolidWorks ve CATIA olmak üzere 2 ayrı yazılım kullanılmıştır. Bunun amacı farklı CAD yazılımları kullanıldığında çizim ve modelleme esnasında karşılaşılabilecek farklılıkları belirleyerek, bu programlar arasında karşılaştırma yapabilmektir.

İki CAD yazılımıyla tasarımın modellenmesinde SolidWorks'ün esnekliği ve kullanım kolaylığı dikkate değer bulunmuştur. CATIA'nın ayrıntılı ve karışık modülleri karmaşık modellerde yaratıcı çözümler sunsa da daha basit modeller için SolidWorks kullanılması uygundur.

CAM aşamasında da iki ayrı yazılımla (EdgeCAM ve SolidCAM) sürece devam edilmiştir. SolidCAM'de (entegre bir program olmasının avantajıyla) takım yolları modelin üzerinde daha rahat oluşturulabilmektedir. Aslında istisnaların dışında SolidCAM takım yolu belirlemeyi de gereksiz bir hale getirmiş durumdadır. Oluşturulan stok model ve hedef model sayesinde 3 boyutlu frezelemede birçok işlemi otomatik olarak tanımlanmaktadır.

Ayrıca CNC freze tezgahında parça işlenirken, seçilen malzemelerin (tahta ve polyamid)

mengenede ezilmesinden ve esnemesinden kaynaklı takım sıfırlama sorunları yaşanmıştır.

Bu şekilde CAD/CAM/CNC entegrasyonu sağlanarak tasarım-üretim sürecinin her aşamasında bilgisayar desteğiyle çalışma tamamlanmıştır.

Çalışma göstermiştir ki; CAD/CAM sistemleri ve CNC takım tezgahları her ne kadar tasarımı ve üretimi kolaylaştırırsa da, insan faktörü yine en önemli etken olmaya devam etmektedir. Öyle ki; henüz tasarım aşamasındayken parçanın CNC'deki üretimini göremeyen bir kullanıcı için sistemin getirdiği hiçbir fayda bulunmamaktadır.

## 7. Teşekkür

Bu çalışmaya bilgi ve deneyimleriyle katkıda bulunan danışmanım Dr. Şeref AYKUT'a, ayrıca desteklerinden dolayı Yrd. Doç. Dr. Süleyman SEMİZ'e teşekkür ederim.

## 8. Kaynaklar

- [1] M. P. Groover ve E. W. Zimmers, (M. Carnis) *CAD/CAM Computer-Aided Design And Manufacturing*, Antony Rowe Ltd, Eastbourne, 2002 .
- [2] L. Yağmur, "Tasarım ve imalatla CNC ve CAD/CAM sistemlerinin fonksiyonları", *TÜBİTAK – UME*, Ağustos 2004. <http://www.turkcadcam.net/rapor/imalatta-cadcam/index.html> (08.04.2008).
- [3] Z. Kırıl, "Bilgisayar Destekli Tasarım Ders Notları", *T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, 2007. [http://www.deu.edu.tr/userweb/zeki.kiral/dosyalar/hafta\\_6.pdf](http://www.deu.edu.tr/userweb/zeki.kiral/dosyalar/hafta_6.pdf) (10.04.2008).
- [4] M. Akkurt, *Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları (CNC) ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat (CAD-CAM) Sistemleri*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1996.
- [5] M. A. Kibaroglu, "*Tasarım Sürecinde Üç Boyutlu Modellemenin Rolü ve CAD/CAM Programlarının Sınıflandırılması*", T.C. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Endüstri Ürünleri Tasarımı A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.
- [6] Ş. Aykut, "*CNC Tezgahlarında Kullanılan Kesici Takımların Tasarım Esasları*", T.C. Marmara Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1999.
- [7] <http://www.cadcamsektoru.com/cnc-takim-tezgahlari-9170.htm> (15.04.2008).
- [8] E. S. Gözlüklüoğlu Erdinler, "*CAD Sistemleri ve Türkiye Mobilya Endüstrisinde Uygulanma Etkinliğinin Analizi*", T.C. İstanbul Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği A.B.D., Doktora Tezi, İstanbul, 2005.
- [9] S. Alan, "*CNC Eğitim Seti Tasarımı*", T.C. Selçuk Üniversitesi Bilgisayar Sistemleri A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2006.
- [10] U. BüyükAlan, "*3 Eksenli CNC Tezgâh Tasarımı ve Uygulaması*", T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği A.B.D., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.
- [11] A. Kurtoğlu, K. H. Koç, Ü. Öner, "CAD/CAM Sistemler ve Türkiye Mobilya Endüstrisi", *Makine-Metal Teknoloji Dergisi*, Sayı 66, s 114-120, 1997.