

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURGU PLANLAMA ve  
MODÜLER APARAT TASARIMINDA UNSUR KULLANIMI**

**NECMETTİN KAYA**

DOKTORA TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 1999

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURGU PLANLAMA ve  
MODÜLER APARAT TASARIMINDA UNSUR KULLANIMI**

NECMETTİN KAYA

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 15.11.1999 tarihinde aş ağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiş tir.

Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK  
(Danış man)

Prof.Dr.-Ing. Fatih C. BABALIK

Prof.Dr.Cemal ÇAKIR

.....

.....

.....

Doç. Dr. Hikmet KOCABAŞ

Doç.Dr. Ümit KOCABIÇAK

.....

.....

## ÖZET

Bu çalışmada ürün tasarımı ile iş leme planlama arasındaki bütünleşmeyi sağlamak için geliştirilen bir sistem ve yöntemden bahsedilmiştir. Bu bütünleşme bilgisayar destekli tasarım - kurgu planlama ve aparat planlama arasında oluşturulmuştur. Sistem; unsur çıkarma ve tanıma, kurgu planlama ve aparat planlama olmak üzere üç aşamadan oluşmuştur.

Kurgu ve aparat planlama için gerekli imalat bilgileri üç boyutlu parça modeli üzerinden alınmış, böylece parçanın hem geometrik hem de geometrik olmayan özellikleri elde edilmiştir. Bazı unsurlar model üzerinden doğrudan çıkarılmış, diğerleri ise unsur tanıma ile belirlenerek imalat unsurları elde edilmiştir. Öncelik matris analizi ile unsurların işleme sıralarının elde edilmesi için tolerans bilgileri ve unsurlar arası geometrik ilişkiler kullanılmıştır.

Unsurların gruplanarak kurgu planlarının oluşturulması için takım yaklaşım yönleri kullanılmıştır. Mümkün unsur işleme sıraları oluşturulmuş ve en az kurguyu oluşturacak sıradikkate alınmıştır.

Bilgisayar destekli imalat ortamında, tasarım ile imalat arasındaki bağı sağlayan aparat tasarımı, işleme planlamanın en önemli yapı taşlarından birisidir. Destek, dayama ve bağlama elemanlarının parça üzerine yerleştirilmeleri için yerleştirme kuralları tanımlanmıştır. Modüler aparat elemanları kullanılarak her bir kurgu için aparat konfigürasyonları otomatik olarak oluşturulmuştur. Elde edilen aparat konfigürasyonunun doğrulanması için sonlu elemanlar modeli üzerinde işleme operasyonları tanımlanmıştır. Analiz işleminde takımın parça üzerindeki hareketi ve talaş kaldırılması da dikkate alınmıştır. Önerilen analiz modeli ile, iş parçasının işleme boyunca dengesinin bozulmaması ve dayama elemanlarından ayrılmaması için gerekli bağlama kuvvetleri hesaplanmıştır.

## ABSTRACT

The purpose of this research is to develop a system and a methodology that allows the integration of product design with process planning. The task is achieved through an integrated CAD - set-up planning - fixture planning. The system consist of three major modules, namely, feature extraction and recognition, set-up planning and fixture planning. These modules are linked to a commercial CAD software.

The manufacturing information of a part required for set-up and fixture planning is extracted from the 3D geometric model, thereby both geometric and non-geometric attributes of a part can be obtained. Some of the features are extracted and the others are recognized from a feature based model of a part. Tolerance and geometric relationships between manufacturing features are taken into account in order to obtain the sequence of features using precedence matrix algorithm.

Tool approach directions of features are used to group of features into set-ups. An optimisation approach is developed to find the optimal plans from all the feasible feature sequences. The criteria used is the minimum number of set-ups.

Fixture planning is an important part of CAPP which is the link between design and manufacturing in a CIM environment. Rules are defined for support, locator and clamp placement based on these and a number of other commonly accepted machining practices. Fixture configuration are produced for every set-up using modular fixture elements. In order to verify the fixture configurations, machining operations are simulated on a finite element model. The model is analyzed respect to tool movement and chip removal. The proposed analysis model determines the clamping forces required to maintain the equilibrium of the workpiece during the process of machining.

**Keywords:** feature-based model, manufacturing features, feature extraction, set-up planning, fixture, fixturing, computer aided fixture planning, automatic fixture configuration, dynamic analysis of fixtures.

## İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Unsur Tanıma, Çıkarma ve Unsur Tabanlı Tasarım	6
2.2. Unsur ve Kurgu Planlama	10
2.3. İş lem Planlama	12
2.4. Aparat Tasarımı ve Planlama	13
2.5. Unsur, Kurgu Planlama ve Aparat Tasarımı	19
3. UNSUR KAVRAMI	23
3.1. Unsur Tanıma ve Çıkarma	26
3.2. Çizge Tabanlı Teknikler	26
3.3. Dış bükey Kabuk Ayrış tırma Tekniği	28
3.4. Kural Tabanlı Teknikler	29
3.5. Unsur Tabanlı Tasarım	31
4. KURGU PLANLAMA	33
4.1. Unsurlar Arası Öncelik İlişkileri	34
4.1.1. Geometrik Öncelikler	34
4.1.2. Referans Yüzeyi Önceliği	35
4.1.3. Tolerans Öncelikleri	35
4.1.4. Teknolojik Öncelik	36
4.1.5. Ekonomik Öncelik	36
4.1.6. Aparat Önceliği	37
4.2. Öncelik Matris Analizi	37
4.3. Kurgu Oluş turma	39
4.3.1. Takım Yaklaş ım Yönleri	39
4.4. Kurgu Optimizasyonu	40
5. APARAT TASARIMI ve PLANLAMA	43
5.1. Modüler Aparat Sistemi	43
5.2. Yerleş tirme Kuralları	48

5.3. Destek, Dayama ve Bağlama Elemanları Yerleş tirme Prensipleri	51
5.4. Aparat-İş Parçası Analizleri	56
5.4.1. Statik Analiz	56
5.4.2. Dinamik analiz	58
5.4.3. Aparat-İş Parçası Kinematik Analizleri	
58	
5.4.3.1. Vida Teorisi	58
5.4.3.2. Tam Yerleş im Şartı	
59	
5.4.3.3. Kinematik Hareket Kısıtlaması	60
5.4.3.4. Toplam Kinematik Sınırlama (Şekil-Kapalı: Form-Closure)	62
5.4.4. Deterministik Yerleş im	63
5.5. Aparat-İş Parçası Sentezi	65
5.6. Aparat-İş Parçası Sonlu Elemanlar Analizi	68
5.6.1. Kesme Kuvvetleri	72
6. MATERYAL ve METOT	75
6.1. Unsur Çıkarma ve Tanıma	77
6.1.1. Unsur Veritabanı	84
6.1.2. Takım Yaklaş ım Yönleri	85
6.1.3. Yüzey Veritabanı	86
6.1.4. Kenar Veritabanı	88
6.2. Geometrik Öncelik İliş kilerinin Belirlenmesi	90
6.2.1. Toleransların Verilmesi ve Tolerans Önceliklerinin Belirlenmesi	91
6. 3. Kurgu Planlama ve Unsur Öncelik Dosyası	92
6.4. Otomatik Modüler Aparat Konfigürasyonu	93
6.4.1. İş Parçasının Tabla Üzerine Yerleş tirilmesi	95
6.4.2. Alt Destek Yüzeyinin Belirlenmesi	99
6.4.3. Destek Elemanlarının Yerleş tirilmesi	100
6.4.4. Birinci Dayama Yüzeyinin Belirlenmesi	101
6.4.5. İkinci Dayama Yüzeyinin Belirlenmesi	103
6.4.6. Yatay Bağlama Elemanlarının Yerleş tirilmesi	105

6.4.7. Düşey Bağlama Elemanlarının Yerleştirilmesi	106
7. UYGULAMA ÖRNEKLERİ	108
7.1. ÖRNEK1	108
7.2. ÖRNEK2	115
8. APARAT-İŞ PARÇASI SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	126
8.1. Kurgu1 aparat konfigürasyonunun analizi	127
8.1.1. Açık cep unsurunun işlenmesi	127
8.1.2. Kademeli delik unsurunun işlenmesi	131
8.2. Kurgu2 aparat konfigürasyonunun analizi	136
8.2.1. Adım unsurunun işlenmesi	136
8.2.2. Delik unsurlarının işlenmesi	140
9. TARTIŞMA ve SONUÇ	145
KAYNAKLAR	147
EK-1	156
EK-2	160
EK-3	163
EK-4	165
TEŞEKKÜR	167
ÖZGEÇMİŞ	168

## SİMGELER DİZİNİ

$F$	: Kuvvet (N)
$M$	: Moment (Nmm)
$w$	: Vida bileş ke kuvveti (wrench)
$t$	: Vida hareketi (twist)
$\omega$	: Açısal hız (rad/s)
$v$	: Doğrusal hız (mm/s)
$f$	: İlerleme hızı (mm/dev)
$v_c$	: Kesme hızı (m/dak)
$M$	: Moment (Nm)
$F_y$	: Eksenel kuvvet (N)
$D$	: Delik çapı (mm)
$L$	: Delik uzunluğu (mm)
$HBN$	: İş parçası Brinell sertlik değeri
$R_a$	: Delik yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )
$t$	: İşleme zamanı (dak)
$\theta$	: Kesme kavrama açısı
$f_z$	: Diş başına ilerleme (mm/diş)
$a$	: Kesme derinliği (mm)
$\kappa$	: Yerleş tirme açısı
$\gamma$	: Talaş açısı
$B_r$	: Kesme genişliği (mm)
$D$	: Kesme çapı (mm)
$z$	: Kesme işlemi yapan diş sayısı
$h_m$	: Ortalama talaş kalınlığı (mm)
$F_s$	: Teğetsel kesme kuvveti
$F_r$	: Radya kesme kuvveti
$F_v$	: İlerleme kesme kuvveti



**Kısaltmalar**

BDT (CAD)	: Bilgisayar Destekli Tasarım - Computer Aided Design
BDÜ (CAM)	: Bilgisayar Destekli Üretim - Computer Aided Manufacturing
BDİP (CAPP)	: Bilgisayar Destekli İş lem Planlama - Computer Aided Process Planning
BBÜ (CIM)	: Bilgisayar Bütünleş ik Üretim - Computer Integrated Manufacturing
B-Rep	: Sınır Temsili - Boundary Representation
CSG	: Yapısal Katı Geometrisi - Constructive Solid Geometry
NC	: Nümerik Kontrol - Numeric Control
OLE	: Nesne Bağlama ve Katış tırma - Object Linking and Embedding
TYY	: Takım Yaklaş ım Yönü - Tool Approach Direction
DYİ	: Düzlem Yüzey İndeksi
SYİ	: Silindirik Yüzey İndeksi
DOKİ	: Doğrusal Kenar İndeksi
DAKİ	: Dairesel Kenar İndeksi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 3.1. Modelleme programlarının tarihsel gelişimi
- Şekil 3.2. Unsur örnekleri
- Şekil 3.3. Tasarım unsur modeli
- Şekil 3.4. İmalat unsur modeli
- Şekil 3.5. Unsur tanıma ve çıkarma
- Şekil 3.6. Örnek parça ve çizgesi
- Şekil 3.7. Bazı unsur ve çizgeleri
- Şekil 3.8. Hayali cep olarak tanınan unsur
- Şekil 3.9. Örnek parça
- Şekil 3.10. Dış bükey kabuk ayrış tırma yöntemi
- Şekil 3.11. Kurallar ile tanınabilen adım ve açık kanal unsuru
- Şekil 3.12. Unsur tabanlı tasarım
- Şekil 4.1. Unsurların işleme sırasının belirlenmesi
- Şekil 4.2. Unsurların gruplanarak kurgu oluşturması
- Şekil 4.3. Geometrik öncelik
- Şekil 4.4. Referans yüzeyi önceliği
- Şekil 4.5. Tolerans öncelikleri
- Şekil 4.6. Teknolojik öncelik
- Şekil 4.7. Ekonomik öncelik
- Şekil 4.8. Aparat önceliği
- Şekil 4.9. Bazı unsurların takım yaklaşım yönleri
- Şekil 4.10. Kurgu planlama için örnek parça
- Şekil 4.11. Örnek parça kurgu planı
- Şekil 5.1. Modüler aparat elemanları
- Şekil 5.2. Aparat sistemi seçim kriteri
- Şekil 5.3. Farklı alt tabla elemanları
- Şekil 5.4. İş parçasının modüler aparatlarla bağlantısı
- Şekil 5.5. Destek elemanları
- Şekil 5.6. Dayama elemanları

- Şekil 5.7. Yatay ve düşey bağlama elemanları
- Şekil 5.8. 12 serbestlik derecesi
- Şekil 5.9. Birinci referans yüzeyine dayama
- Şekil 5.10. İkinci referans yüzeyine dayama
- Şekil 5.11. Üçüncü referans yüzeyine dayama
- Şekil 5.12. İki veya daha fazla delikli parçanın yerleş tirilmesi örneği
- Şekil 5.13. Destek elemanlarının yerleş tirilmesi
- Şekil 5.14. Ek destek elemanı kullanılması
- Şekil 5.15. Modüler destek ve dayama elemanları
- Şekil 5.16. Dayama elemanları arasındaki mesafe miktarı
- Şekil 5.17. Dayama elemanları takım kuvvetlerine zıt yönde yerleş tirme örneği
- Şekil 5.18. Yerleş tirmede belirsizlik içeren konfigürasyon
- Şekil 5.19. Üçüncü dayama elemanı yerleş tirme örneği
- Şekil 5.20. Serbest cisim diyagramı
- Şekil 5.21. Bir cisim üzerine etkileyen kuvvet
- Şekil 5.22. 3-2-1 yönteminde temas vida hareketleri
- Şekil 5.23. Hareket kısıtlanması
- Şekil 5.24. Deterministik yerleş tirme
- Şekil 5.25. Deterministik olmayan yerleş tirme
- Şekil 5.26. Bağlama kuvvetleri ve seçimi için örnek yerleş tirme
- Şekil 5.27. Takımın kanal unsur iş lemesi sırasında hareketi
- Şekil 5.28. Bir kanal unsurunun iş leme aş amaları
- Şekil 5.29. Delme iş leminde delme kuvveti ve moment
- Şekil 5.30. Parmak freze ile frezeleme iş leminde kuvvetler
- Şekil 6.1. İş akış diyagramı
- Şekil 6.2. SolidEdge ve Visual Basic arasındaki etkileş im
- Şekil 6.3. SolidEdge programına eklenen modüller
- Şekil 6.4. Unsur çıkarma ve tanıma ekranı
- Şekil 6.5. Unsur çıkarma ve tanıma akış diyagramı
- Şekil 6.6. Part modülü nesne hiyerarş isi
- Şekil 6.7. İş parçası BRep bilgileri

- Şekil 6.8. Yüzey ve kenar özellikleri
- Şekil 6.9. Blok, kesme ve delik nesnelere
- Şekil 6.10. Çıkarılabilen ve tanınabilen unsurlar
- Şekil 6.11. Açık kanal unsuru yüzey normalleri
- Şekil 6.12. Adım unsuru ve yüzey normalleri
- Şekil 6.13. Takım yaklaşım yönleri
- Şekil 6.14. Örnek parça
- Şekil 6.15. Tolerans ekleme ekranı
- Şekil 6.16. Öncelik matris analizi ile kurgu planlama
- Şekil 6.17. Modüler aparatların yerleş tirmesi için kurgu parçasının çağırılması
- Şekil 6.18. Örnek modüler aparat konfigürasyonu
- Şekil 6.19. Otomatik modüler aparat konfigürasyonu akış şeması
- Şekil 6.20. Alt tabla elemanı
- Şekil 6.21. Delik matrisi sistemi
- Şekil 6.22. İş parçası ve alt tabla konumları
- Şekil 6.23. Tablanın -x ve -y de kaydırılması
- Şekil 6.24 Parça altında kalan delik sayıları
- Şekil 6.25. Maksimum delik için kaydırma işlemi
- Şekil 6.26. Alt destek yüzeyi altında kalan delikler
- Şekil 6.27. Alt destek noktaları seçimi
- Şekil 6.28. Dayama yüzeyleri
- Şekil 6.29. Dayama yüksekliğinin tespiti
- Şekil 6.30. Birinci dayama yüzeyine elemanların yerleş tirilmesi
- Şekil 6.31. Dayamaların kaydırılıp parça ile temasının sağlanması
- Şekil 6.32. İkinci dayama yüzeyi de dayama elemanının yerleş imi
- Şekil 6.33. Üçüncü dayama elemanının kaydırılması
- Şekil 6.34. Birinci ve ikinci yatay bağlama elemanı ve yerleş imi
- Şekil 6.35. Yatay bağlama elemanlarının kaydırılıp temasın sağlanması
- Şekil 6.36. Düşey bağlama elemanları yerleş imi
- Şekil 7.1. Örnek1 iş parçası teknik resmi
- Şekil 7.2. Parça üzerinde bulunan unsurlar

Şekil 7.3. Örnek1 kurgu planı

Şekil 7.4. Örnek1 - kurgu1 modeli

Şekil 7.5. Aparat konfigürasyonu için kurgu seçimi

Şekil 7.6. Örnek1 - kurgu1 aparat konfigürasyonu

Şekil 7.7. Örnek1 aparat konfigürasyonu önden görünüş

Şekil 7.8. Örnek1 aparat konfigürasyonu arkadan görünüş

Şekil 7.9. Örnek2 iş parçası teknik resmi

Şekil 7.10. Parça üzerinde bulunan unsurlar

Şekil 7.11. Örnek2 kurgu planı

Şekil 7.12. Kurgu1

Şekil 7.13. Örnek2 - kurgu1 aparat konfigürasyonu

Şekil 7.14. Örnek2 - kurgu1 aparat konfigürasyonu önden görünüş

Şekil 7.15. Örnek2 - kurgu1 aparat konfigürasyonu arkadan görünüş

Şekil 7.16. Örnek2 - kurgu2 modeli

Şekil 7.17. Örnek2 - kurgu2 aparat konfigürasyonu

Şekil 7.18. Örnek2 - kurgu2 aparat konfigürasyonu önden görünüş

Şekil 7.19. Örnek2 - kurgu2 aparat konfigürasyonu önden görünüş

Şekil 8.1. Açık cep sonlu elemanlar modeli

Şekil 8.2. Kurgu1 mesnet noktaları

Şekil 8.3. Açık cep unsurunun iş lenmesi sırasında oluş an kesme kuvveti değerleri

Şekil 8.4. Açık cep kesme kuvvetleri ve takım konumları

Şekil 8.5. Açık cep unsurunun iş lenmesi

Şekil 8.6 Örnek2 - kurgu1

Şekil 8.7 Destek noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri

Şekil 8.8 Dayama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri

Şekil 8.9 Bağlama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri

Şekil 8.10. Kademeli delik sonlu elemanlar modeli

Şekil 8.11. Kademeli delikte kesme kuvvetleri ve momentleri

Şekil 8.12. Delik üzerinde bulunan düğüm noktalarına etki eden kuvvetler

Şekil 8.13. Kademeli delikte destek reaksiyon kuvvetleri

Şekil 8.14. Kademeli delikte dayama reaksiyon kuvvetleri

- Şekil 8.15. Kademeli delikte bağlama elemanları reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.16. Bağlama kuvvetlerinin etkisi altında oluş an destek reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.17. Bağlama kuvvetlerinin etkisi altında oluş an dayama reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.18. Adım sonlu elemanlar modeli
- Şekil 8.19. Kurgu2 mesnet noktaları
- Şekil 8.20. Adım unsurunun iş lenmesi sırasında oluş an kesme kuvveti değerleri
- Şekil 8.21. Adım iş leme kesme kuvvetleri ve takım konumları
- Şekil 8.22. Örnek2 - kurgu2
- Şekil 8.23 Destek noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.24 Dayama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.25 Bağlama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.26. Delik unsurlarının sonlu elemanlar modeli
- Şekil 8.27. Mesnet noktaları
- Şekil 8.28. Delik unsuru için kesme kuvvet ve moment değerleri
- Şekil 8.29. Delik üzerinde bulunan düğüm noktalarına etki eden kuvvetler
- Şekil 8.30 Destek noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.31 Dayama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.32 Bağlama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.33 Bağlama kuvvetlerinin etkisi altında oluş an destek reaksiyon kuvvetleri
- Şekil 8.34 Bağlama kuvvetlerinin etkisi altında oluş an dayama reaksiyon kuvvetleri
- Şekil II.1. Poligon içinde nokta
- Şekil II.2. Poligon içinde poligon olma durumu
- Şekil II.3. Noktanın daire içinde olup olmama durumu
- Şekil III.1. Bir üçgenin ağırlık merkezi ve alanı
- Şekil III.2. Poligon ağırlık merkezi

## 1. GİRİŞ

Bir iş parçasının, tasarımdan ürün haline gelinceye kadar geçen aşamalarda yapılması gereken işlerin belirlenmesine iş lem planlama (process planning) adı verilir. Bir iş lem planı aş ağıdaki fonksiyonlardan oluş ur:

- İş leme operasyonlarının seçimi,
- İş leme operasyonlarının sıralanması,
- Kesici takımların seçimi,
- Tezgah seçimi,
- Kurguların belirlenmesi,
- Kesme parametrelerinin belirlenmesi,
- Takım yolu planlaması ve NC parça programlama,
- Aparat planlama.

Parça tipi, üretim yöntemi ve imalat ortamına göre iş lem planları farklılıklar gösterebilirler. Ayrıca iş lem planı, büyük ölçüde planlama yapan kiş inin tecrübesine bağlıdır. Farklı planlamacılar, aynı parça ve aynı üretim şartlarında farklı planlar oluş turabilirler. Tecrübeli planlamacıların eksikliği bu alanda bazı olumsuzluklara sebep olmuş tur. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla Bilgisayar Destekli İş lem Planlama (BDİP) kavramı ortaya atılmış tır. BDİP aş ağıdaki avantajlara sahiptir:

- Tecrübeli planlamacıya olan ihtiyacı azaltır,
- İş lem planı hazırlama zamanını azaltır,
- İş lem planı ve imalat fiyatlarını düşürür,
- Uyumlu ve doğru planlar oluş turulur,
- Verimliliği artırır.

Daha sonra otomatik iş lem planlama kavramının ortaya çıkması ile, hazır parça BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) veritabanından geometrik bilgiler alınarak insan desteği olmadan iş lem planı oluş turulabilmektedir. Ancak ilk yıllarda BDT ortamında

oluş turulan modellerin iş lem planlamada doğrudan kullanılamaması sonucu yeterli verim elde edilememiş tir. BDT programlarındaki geliş meler sonucunda unsur kavramı ortaya çıkmış ve böylece BDT veri tabanları sadece geometrik bilgiler ihtiva etmeyip, geometrik olmayan bilgileri de bünyelerinde bulundurmaya baş lamış lardır. Ancak bu bütünleş me henüz yeterli düzeyde değildir. Bu bütünleş menin sağlanması için çalış malar sürmektedir.

Bu çalış manın amacı, ürün tasarımı ile iş lem planlamanın bütünleş mesini sağlayan bir prototip sistem ve yöntem geliştirmektedir. Bu yöntemde, BDT sisteminde modellenen iş parçası analiz edilip, imalat iş lem planı otomatik olarak oluş turulur.

Tasarım ve imalat arasındaki bütünleş me ihtiyacı hem endüstri hemde akademik çevrelerden oldukça büyük ilgi görmüş tür. Bu bütünleş me; daha iyi ürün kalitesi, düşük maliyetler, yüksek verimlilik ve BBÜ (Bilgisayar Bütünleş ik Üretim)' in gerçekleş mesi açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, eş zamanlı mühendislik yaklaş ımında tasarım aş amasında imalat şartları da düşünülür ve tasarımcının imalat tecrübesine ihtiyaç duyulur. Böylece imalat açısından doğacak problemler daha tasarım aş amasında belirlenir.

İş lem planlama fonksiyonlarının otomatik belirlenmesi için;

- Parça tasarım unsurları ve imalat özellikleri kullanıcı yardımı olmadan BDT veritabanından otomatik olarak çıkarılabilmelidir,
- Tasarım ve imalat bilgileri ile kurallar oluş turulmalıdır,
- Aparatların planlanması ve konfigürasyonu için sistematik yaklaş ım gereklidir.

Bu yüzden bu çalış mada aş ağıdaki konular üzerinde yoğunlaş ılmış tır:

- Parça tasarımından geometrik ve geometrik olmayan bilgilerin çıkarılması,
- Bu bilgilerden faydalanılarak kurgu planının otomatik olarak çıkarılması,
- Aparat planlama kurallarının geliştirilmesi,



- Aparat planlama ile iş lem planlama arasındaki bütünleş mesinin sağlanması.

Aparat tasarımı ve planlama, iş lem planlamanın son ve önemli bir aş amasıdır. Son yıllarda otomatik iş lem planlama konusunda birçok çalış ma yapılmasına rağmen, aparat planlama konusundaki çalış malar yetersizdir ve bu alanda bütünleş me açısından önemli eksiklikler mevcuttur.

Bu eksikliklerin giderilmesi için bu çalış ma 3 aş amalı olarak gerçekleştirilmiştir:

1. BDT veritabanından unsur tanıma ve çıkarma (feature recognition and extraction)
2. Kurgu planlama (set-up planning)
3. Aparat planlama (fixture planning)

İmalat için unsur tanıma ve çıkarma iş lemi, parça geometrik bilgilerinden, tezgahta iş lenecek bölgelerin belirlenmesi şeklinde olur. Unsur kavramı imalat bakış açısından, takım ile iş parçası üzerinden hacim boş altma anlamına gelir. Eğer parça geometrisi unsurlar kullanılarak oluşturulmuş sa, unsurlar bu geometriden elde edilebilirler. Eğer sadece yüzey, kenar, köş e ve bunlar arasındaki ilişkiler biliniyorsa (Brep formatında - sınır temsili) unsur tanıma iş lemi gereklidir. Unsurların tanınması için çeş itli algoritmalar geliştirilmiştir. Ancak uygulama alanı geniş olduğundan henüz güçlü bir algoritma geliştirilememiştir.

Kurgu planlama ile iş parçasının tezgaha bağlama konumları ve her bağlama konumunda hangi iş lemlerin yapılacağı belirlenir. Unsur kavramının ortaya çıkması ile unsurların iş leme sıralarının belirlenmesi ve otomatik kurgu planı oluşturma çalış maları artmıştır. Unsurların iş leme sıralarının oluşturulmasında değişik kriterler göz önüne alınır. Bu sıra oluşturulduktan sonra takım yaklaşım yönleri kullanılarak unsurların gruplanması ile kurgular teş kil edilir.

İş lem planlamanın fonksiyonlarından olan aparat tasarımı ve planlama, iş

parçasının tezgahta iş lenmesi sırasında parçanın hareketsiz tutulması için destek, dayama ve bağlama elemanlarının parça üzerinde konumlandırılması ile ilgilidir. İş lem planlama ile ilgili çok sayıda çalış ma olmasına rağmen, aparat konusundaki çalış malara ş imdiye kadar gerekli önem verilmemiş tir.

Bu tez çalış masında, ilk olarak kaynak araştırması çeş itli baş lıklar altında gruplanarak değerlendirilmiş ve görülen eksiklikler vurgulanmış tir.

Üçüncü bölümde unsur kavramı, unsur tanıma teknikleri ve unsur tabanlı tasarım konularından bahsedilmiş tir.

Dördüncü bölümde ise, kurgu planlama için iş leme öncelikleri ve öncelik matris analizi ile kurgu planının çıkarılması ele alınmış tir.

Aparat tasarımı ve planlama, modüler aparat sistemleri, yerleş tirme kuralları, aparat-iş parçası analizleri ve kesme kuvvetlerinden beş inci bölümde bahsedilmiş tir.

Altıncı bölümde, unsur tabanlı modelden unsur çıkarma ve tanıma algoritmaları, kurgu planlama ve modüler aparat konfigürasyonu için geliş tirilen algoritmalar tanıtılmış tir.

Yedinci bölümde, iki örnek parça için unsur tanıma ve çıkarma, kurgu planlama ve otomatik modüler aparat konfigürasyonu oluş turma aş amaları verilmiş tir.

Sekizinci bölümde ise, örnek parça üzerinde, aparat-iş parçası takım konumuna bağlı olarak sonlu elemanlar metodu ile analiz edilerek uygun bağlama kuvvetleri tayin edilmiş tir.

Yapılan çalış manın değerlendirilmesi, sonuçları ve gelecekte yapılabilecek uygulamalardan dokuzuncu bölümde bahsedilmiş tir.

Modüler aparat kütüphanesi, poligon içinde nokta algoritması, poligonun ağırlık merkezinin bulunması algoritması ve aparat yerleş tirme kuralları sırasıyla Ek-1, Ek-2, Ek-3 ve Ek-4'te verilmiş tir.

WWW

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez konusu ile ilgili derlenen kaynaklar beş grupta değerlendirilmiş tir.

### 2.1. Unsur Tanıma, ıkarma ve Unsur Tabanlı Tasarım

BDT veritabanlarından unsurların tanınması, çıkarılması ve unsur tabanlı tasarım yaklaşımları ile ilgili yapılan çalışmalar ve içerikleri aş ağıda verilmiş tir.

Börklü (1998) yaptığı çalışmada, unsur tabanlı modelleme konusundaki yayınları incelemiş ve değerlendirmiş tir. Araştırmacılar tarafından önerilen unsur eşitleri gruplanmış ve unsur tanıma tekniklerinden bahsedilmiş tir.

Case ve ark. (1994), işlem planlama için unsur tabanlı tasarım sistemi önermişlerdir. Bu sistem, unsurların tanımı, değiştirilmesi ve geçerliliğinin kontrolü imkanına sahip klasik B-Rep (sınır temsili) modelleyicisi ile bütünleşik çalışmaktadır.

Chamberlain ve ark. (1992), unsur tabanlı tasarımda kullanılan çıkarma ve ekleme unsurlarından imalat unsurlarının elde edilmesi ile ilgilenmiş tir. Ekleme unsurlarının imalat unsurlarına çevrilmesi sırasında ortaya çıkan problemler incelenmiş ve çözümler önerilmiş tir.

Dereli ve ark. (1998), geerleştirdikleri çalışmada prizmatik ve dönel parçaların modellenmesi ve parça veri tabanının hazırlanması amacıyla geliştirilen bir sistemi tanıtmışlardır. Bu sistemde, geometrik olarak modellenen parçaların B-Rep bilgileri kullanılarak geometrik veri tabanı oluşturulmaktadır.

Dong ve ark. (1993) yaptıkları çalışmada, ham ve bitmiş parça modellerini grafik olarak karşılaştırıp, imalat unsurlarının elde edilebilmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir.

Fields ve Anderson (1994), katı geometrik parça bilgilerinden biçim unsurlarının çıkarılması ile ilgilenmişlerdir. B-Rep grafiği ve yüzey setleri kullanarak unsur çıkarma işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Gu (1994), unsur tanıma yöntemlerinde bazı teknik bilgilerin (tolerans, yüzey işleme vb.) olmayışı üzerinde durmuş, mevcut katı modelleme programlarında bu bilgilerin eksikliğini vurgulamış tır. Bu problemi ortadan kaldırmak için yeni bir unsur modeli önermiş tir. Unsurlara bazı bilgiler tasarım aşamasında eklenerek, bu unsurların işleme planlama aşamasında kullanılması vurgulanmış tır.

Han ve ark. (1997), parça geometrisi, toleranslar ve tasarım unsurları kullanılarak imalat unsurlarının çıkarılmasını incelemişlerdir. Elde edilen imalat unsurlarının yorumu yapılmış ve alternatif unsurlar elde edilmiş tir.

Hanada ve Hoshi (1992) yaptıkları çalışmada, BDT ortamında tasarlanan parçaların işlenmesi için bir unsur tabanlı BDT/BDÜ sistemi geliştirmişlerdir. Prizmatik parçaların işlenmesi için geliştirilen sistemde imalat unsurları kullanılmış tır.

Kang ve Nnaji (1993), genelleştirilmiş unsur tanımını yapmışlar, mekanik montaj ve saç parça modellenmesinde unsurların gruplandırılması ve sınıflandırılması ile ilgilenmişlerdir.

Kayacan ve Çelik (1997), BDT/BDÜ bütünleşmesinde gerekli bilgileri içeren STEP standardını kullanarak unsur tanıma işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Laako ve Mantyla (1993), unsur tanıma ve unsur tabanlı tasarımın birlikte kullanıldığı birleşik unsur modelleme sistemi üzerinde durmuşlardır. Tanınan unsurların değiştirilmesine ve değiştirilen unsurun saklanabilmesine imkan veren bir yöntem kullanılmış tır.

Li ve ark. (1991, 1995) yaptıkları çalışmalarda ilk olarak iki aşamalı bir unsur

tabanlı tasarım sistemi geliştirmişler ve daha sonra bu unsurların imalat unsurlarına dönüş türülmeleri için birtakım değiş iklikler yapılmasına imkan veren bir sistem önermişlerdir.

Lin ve ark. (1997) gerçekleştirdikleri bu çalış mada, unsur tabanlı model üzerinden, unsur tanıma ve unsur tabanlı tasarım yöntemlerini kullanarak imalat unsurlarının otomatik olarak çıkarılması ile ilgilenmişlerdir. Parça modelleri ProEngineer programında oluş turulmuş tur. Veritabanından çıkarılan unsurlar daha sonra, yüzeylerin yeniden organizasyonu ve unsur tanıma yöntemleri ile analiz edilmişlerdir. Elde edilen imalat unsurları iş lem planlama ve NC kesici takım yolu oluş turma aş amalarında kullanılabilmektedir.

McNally (1998), unsur tabanlı tasarımın imalat endüstrisinde kullanım özelliklerini inceleyen bir araş tırma yapmış tır. Unsur tanımlarını vermiş ve uygulama alanlarından bahsetmiş tir.

Perng ve ark. (1990), CSG katı model bilgilerinden imalat unsurlarının çıkarılması ile ilgilenmişlerdir. Modelleme adımlarındaki fark iş lemleri kullanılarak prizmatik unsurlar elde edilmiş tir. Elde edilen unsurların takım yaklaş ım yönleri çıkarılabilmektedir.

Salomons ve ark. (1993), unsur tabanlı tasarım konusunda yayınlanmış çalış maları incelemişlerdir. Unsur tanımları üzerinde durulmuş , unsur temsili, unsur ve toleranslar ve unsur geçerliliği kavramlarını açıklamışlardır. Bazı akademik unsur tabanlı sistemler incelenmiş ve ilerde yapılacak çalış malardan bahsedilmiş tir. Unsur tabanlı tasarım yaklaş ımının gerekli bütünleş meyi henüz tam olarak sağlayamadığı vurgulanmış tır.

Shah ve ark. (1988), biçim unsurlarını kullanarak bütünleş ik bir sistem geliştirmişlerdir. Kullanıcının biçim unsurlarını tanımlaması için nesne yönelimli programlama desteği kullanılmış tır. Unsur tanımına paralel olarak parçanın katı

modelinin temsili için bir katı modelleme programı kullanılmıştır. Modüler olarak tasarlanan sistemde tolerans ve malzeme özellikleri tanımlanabilmektedir.

Shah (1991)' in yaptığı bu çalışmada, unsur tabanlı modellemede kullanılan ana kavramlar ve yaklaşımlar incelenmiştir. Çeşitli yöntemler ele alınmış ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca unsurlar arası etkileşim ve geçerlilik kavramlarına değinilmiş ve unsurları oluşturmak için kullanılan yöntemler ve unsur tipleri açıklanmıştır.

Ssemakula ve Satsangi (1989), PDES standardı ile BDT/BDİP arasında güçlü bir arayüz geliştirilmesi ile ilgilenmişlerdir. Çalışma unsur tabanlı tasarım kavramı üzerinde geliştirilmiş, unsurlar tasarım veri tabanından çıkarılarak işlem planlama modülünde giriş olarak kullanılmıştır.

Unger ve Ray (1988) yaptıkları çalışmada, işlem planlama için geliştirilen unsur tabanlı sistemi tanıtmışlardır. Unsurlar hakkında bilgi verilmiş ve unsur konusundaki çalışmalar incelenmiştir.

Wang ve Özsoy (1991), bir geometrik modelde boyutların ve toleransların temsili için bir metod geliştirmişlerdir. CSG ağaç yapısı ile B-Rep yüzey-kenar ilişkileri birleştirilerek biçim unsurları elde edilmiştir.

Wang (1992), BDT/BDİP bütünleşmesi için unsur tanıma işleminin gerekliliğini vurgulamıştır. Farklı unsur tanıma sistemleri incelenerek uygunluklarını değerlendirilmiştir. Hacimsel ayrıştırma metodu ile unsur tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Wu ve Liu (1996) yaptıkları çalışmada, mevcut unsur tanıma yöntemlerini analiz etmişler ve katı model B-Rep tekniğine dayanan bu yöntemlerin dezavantajlarını vurgulamışlardır. Kesişen unsurlarla ilgili problemlere cevap aranmış, aynı takım yaklaşım yönüne sahip yüzeyler gruplanarak yeni imalat unsurları tanımlanmıştır.

İlk yıllarda unsur kavramının ortaya çıkması ile birlikte unsur tanıma ile başlayan çalışmalar, daha sonra unsur tabanlı tasarım programlarının gelişmesi ile; unsur tabanlı tasarımlardan unsurların elde edilmesi, dönüşürülmesi ve değişik alanlara uygulanması şeklinde devam etmiştir. BDT/BDÜ bütünleşmesi için gerekli temel eleman olan unsur konusunda yapılan çalışmalarda eksikler gözlenmektedir. Özellikle unsur tanıma konusundaki çalışmalarda güçlü bir algoritma geliştirilememiştir. Bu alanda çalışmalar farklı tekniklerin kullanımı ile devam etmektedir ve bu eksikliklerin giderilmesi için sınır ağları yaklaşımı önerilmektedir.

Uygulama alanının geniş olması nedeniyle unsurun tam olarak tanımlanamamıştır. Yapılan çalışmalardaki genel amaç, tasarım ve imalat arasındaki bütünleşmenin sağlanması olmasına rağmen özellikle bütünleşme açısından eksikler mevcuttur.

## **2.2. Unsur ve Kurgu Planlama**

Unsurların kullanılması ile kurgu planlarının otomatik çıkarılması konusunda yapılan çalışmalar ve içerikleri şu şekildedir:

Champati ve ark. (1996), farklı tipte unsurlar içeren prizmatik bir parçada, işleme operasyonlarının ve sıralarının otomatik olarak belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Operasyonların sıralanması için durum tabanlı (case-based) yaklaşım kullanılmıştır.

Chen ve ark. (1994), unsur tabanlı tasarım ile işlenecek unsurları gruplayarak kurgu planı oluşturma yöntemini incelemişlerdir. Kesişen ve kesişmeyen unsurlar elde edilmiş, unsurların işleme sıraları oluşturulmuş ve bir unsurun işlenmesi için en iyi takım yolunun belirlenmesi amacıyla birkaç algoritma önermişlerdir.

Chen ve ark. (1998), prizmatik parçalar için; hopfield yapay zeka ağları ve



simulated annealing yaklaşımları ile kurgu planlama iş lemini gerçekleştiretilmişlerdir. Önce geometrik ve teknolojik kısıtlamalara göre unsurların sırası elde edilmiş , sonra bu sıra dikkate alınarak kurgu planı çıkarılmıştır.

Chu ve Gadh (1996), yaptıkları çalışmada, kurgu sayısının minimum olması için bir unsur tabanlı tasarım sistemini tanıtmışlardır. Kural tabanlı yaklaşım kullanılmış ve imalat unsurları işleme yönlerine göre gruplanarak optimum plan oluşturulmuştur.

Das ve ark. (1996), işlenebilir unsurlardan ibaret bir iş parçasında orijinal unsurlarda değişiklik yaparak birbirini izleyen imalat unsurları oluşturmayı amaçlamışlardır. Parçanın tasarım felsefesi bozulmadan alternatif unsurlar oluşturulmuş ve daha kısa işleme zamanları elde edilmiştir.

Delbressine ve ark. (1993), parçanın tasarım sırasındaki işlemlerin saklanıp daha sonra kurgu planının elde edilmesinde kullanılması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.

Ong ve Nee (1994), gerçekleştirdikleri çalışmada parçanın ara ve bitmiş durumlarını dikkate alarak bulanık küme mantığı ile kurgu planını elde etmişlerdir. Prizmatik parçalar için geliştirilen bu sistemde unsurlar arası ilişkiler ve parçanın ara durumları dikkate alınmıştır.

Wu ve Zhang (1998), kurgu planlama için nesne yönelimli bulanık küme tabanlı bir yaklaşım kullanmışlardır. Optimum kurgu planı elde etmek için bulanık küme teorisine göre değerlendirme fonksiyonu önerilmiş , alternatif ve optimum kurgu planları çıkarılmıştır.

Zhang ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada; kural ve sezgisel tabanlı bir yaklaşım kullanarak, prizmatik parçalardaki unsurların işleme sıralarının belirlenmesinde farklı kısıtlamalar tanımlamışlar ve unsurlar arası öncelik ilişkilerini kullanarak bir optimizasyon yaklaşımı geliştirmişler ve optimum kurgu planı elde etmişlerdir.

Unsur ve kurgu planlama alanında yapılan çalışmalarda, kurgu planlama için unsur kavramından faydalanılmıştır. Bu alanda değişik yaklaşımlar sunulmuştur. Hemen hemen tüm çalışmalarda geometrik öncelikler kullanılmış ancak tolerans bilgilerinden doğan öncelik ilişkilerini ise 3 yazar ele almıştır (CHEN ve ark. 1998, ONG ve NEE 1994, DELBRESSINE ve ark. 1993). Tüm çalışmalar prizmatik parçalar üzerine yapılmış ve takım yaklaşım yönleri kullanılmıştır. Ayrıca kurgu planlamada gerekli olan optimizasyondan bazı çalışmalarda bahsedilmemiştir (CHAMPATI ve ark. 1996, ONG ve NEE 1994, DELBRESSINE ve ark. 1993).

### 2.3. İşlem Planlama

Aldakhilallah ve Ramesh (1998), imalat unsurlarının çıkarılması, takım yaklaşım yönlerinin elde edilmesi, uygun olmayan kurgu planlarının elenmesi, tezgah ve takımların seçilmesi, imalat zamanları ve fiyat analizi işlemlerini yerine getiren bir sistemi tanıtmıştır. Sezgisel yaklaşım kullanılarak parçaların verimli işlem planının çıkarılması ile uğraşmışlardır.

Gupta (1997), 3 eksenli işleme merkezinde işlenecek parçalar için imal edilebilirlik bilgilerinin imalat planlamada nasıl kullanılabileceğinin üzerinde durmuştur. Tasarım safhasında imalat ile ilgili problemlerin saptanması sonucu tasarım zamanı ve iterasyonlarının azaltılacağı sonucuna varmıştır.

Ham ve Lu (1988), Alting ve ark. (1989), Leung (1996), Marri ve ark. (1998), yaptıkları çalışmalarda mevcut işlem planlama konusundaki yayınları ve işlem planlama sistemlerini gözden geçirmişler, bu sistemlerin avantajlarını ve dezavantajlarını vurgulayarak ilerde olabilecek gelişmelerden bahsetmişlerdir.

Joshi ve ark. (1988), BDT sistemi ile etkileşimli bütünleşik ve hiyerarşik bir BDİP sistemini tanıtmışlardır. Yapay zeka teknikleri kullanılarak tasarım ve işlem planlama arasında bütünleşme amaçlanmıştır. Otomatik unsur tanıma, takım yaklaşım yönü ve unsurlar arası öncelik ilişkileri incelenmiştir. Parça tanımı ve bilgi veritabanı için hiyerarşik bilgi yapısı kullanılmıştır.

Kanumury ve Chang (1991) yaptıkları çalışmada, otomatik iş lem planlama sisteminde düşünce, geliştirme ve uygulama aş amalarındaki problem ve çözümlerinden bahsetmiş lerdir. Bir iş lem planlama prototipi (QTC) geliştirmiş lerdir. Bilgi tabanlı yaklaş ımın kullanıldığı sistem; tasarım, imalat, kontrol ve bakım iş levlerini yerine getirmektedir.

Park ve Khoshnevis (1993), prizmatik parçalar için eş zamanlı tasarım kavramını kullanan bir BDİP sistemini tanıtmış lardır. Sistemde hiyerarşik planlama tekniği, kural tabanlı uzman sistem ve dinamik programlamaya dayanan optimizasyon yaklaş ımları kullanılmış tır.

Sormaz ve Khoshnevis (1997), iş lem planlama için bilgilerin temsil edilmesi konusunu ele almış lardır. Mevcut BDİP sistemlerindeki bilgi tanımlamaları incelenmiş ; iş lem planlama fonksiyonu ve bunun için gerekli nesne tabanlı bilgi yapısı tanımlanmış tır.

Züst ve Taiber (1990), modellenmiş prizmatik parçalardan iş lem planlama bilgilerinin elde edilmesi için bir yöntem tanıtmış lardır. BDT ortamında modelin oluş turulması, verilerin transferi, iş lemlerin belirlenmesi ve sıralanması incelenmiş tir.

#### **2.4. Aparat Tasarımı ve Planlama**

Asada ve By (1985), yeniden konfigüre edilebilir ş ekilde tasarlanan bir aparat sistemi ve donanımı geliştirmiş lerdir. Ayrıca aparat tasarımı konusunda bu alanda temel kabul edilen bazı tanımlar yapmış lardır. Ayrıca aparat sisteminin kinematikini ve bağlama kuvvetlerini analiz eden bir yöntem geliştirmiş lerdir.

Bicchi (1995), bir robot elinin bir cisimi tutması sırasında, ş ekil-kapalı ve kuvvet-kapalı analizleri ile ilgilenmiş tir.

Brissaud ve Paris (1997), farklı kurgularda işlenen unsurlar arasındaki toleransları elde etmek için bir yöntem önermişlerdir. İş parçasındaki küçük yerdeğiş tirmelerin dağılımı ile yerleş tirme kalitesini gösteren model geliştirmişlerdir.

Cabadaj (1990) yaptığı çalışmada, bilgisayar destekli aparat tasarımı konusuna teorik açıdan yaklaşmış tır. Aparat sistemi kuvvet modeli oluşturularak çözülmüş ve aparat elemanlarına etkileyen reaksiyon kuvvetleri bulunmuş tur.

Cai ve ark. (1997), yerleş im hatalarından kaynaklanan iş parçası hatalarını en aza indirmek ve güçlü bir aparat konfigürasyonu oluşturmak amacıyla varyasyonel metod geliştirmişlerdir.

Chou ve ark. (1989), prizmatik parçalar için vida teorisi ve mühendislik mekaniği yaklaşımları ile aparatların otomatik konfigürasyonu için bir matematiksel teori geliştirmişlerdir. Analiz ve sentez olarak iki kısımdan oluşan bu teoride iş parçası yerleş imi, bağlama sırasında iş parçasının dengesi ve toplam sınırlama (total restraint) kavramlarını incelemişlerdir.

Dai ve ark. (1997), aparat elemanları için bir kütüphane oluşturulması ve montajı için yeni bir metod tanıtmışlardır. Bir kütüphane oluşturularak montaj sırasında kullanım kolaylığı sağlanmış tır. Sistemin montajı, alt montaj elemanlarının bir araya getirilmesi ile yapılmış tır.

Darvishi ve Gill (1990), aparat tasarımında optimum çözüm elde etmek için kural tabanlı bir uzman sistemi tanıtmışlardır.

DeMeter (1994), bir aparat sisteminde; sürtünmeli ve sürtünmesiz temas durumunda sınırlama analizinin nasıl uygulanacağını açıklamış tır. Ayrıca toplam sınırlamanın varlığını kanıtlamak için denge durumunu dikkate alan doğrusal programlama yöntemi kullanılmış tır.

Hargrove ve Kusiak (1994), bilgisayar destekli aparat tasarımı konusunda mevcut çalışmaları değerlendirmişler ve gelecekte olabilecek gelişmelerden bahsetmişlerdir.

Holzmann ve McCarthy (1985), 3 parmaklı bir mekanik el kullanılması durumunda, uygulanan kuvvetle parçanın dengede kalması için gerekli sürtünme kuvvetlerinin hesaplanması ile ilgilenmişlerdir.

Huang ve Trappey (1992), bu çalışmalarında modüler aparat veritabanı, aparat temas noktaları seçimi ve 3 boyutlu grafik arayüzün bütünleşmesi için bir sistem önermişlerdir.

Jeng ve Gill (1997), bir BDT sisteminde modüler aparat tasarımı için bilgi yapısı ve geometrik modelleme teknikleri üzerinde durmuşlardır. Modüler aparat konfigürasyonu için dayama ve bağlama noktalarının seçiminde sistematik yaklaşım kullanılmıştır. Modüler aparat elemanları, fonksiyonel ve geometrik kısıtlamalara göre seçilmiştir.

King ve Lazaro (1994), işleme aparatlarının tasarımı için sezgisel ve matematiksel model yaklaşımını sunmuşlardır. Giriş olarak verilen tolerans ve işleme bilgilerinden kural tabanlı yaklaşım ile aparat tasarımı gerçekleştirmişlerdir.

Lee ve Haynes (1987), aparat tasarım ve analizi için sürtünmeyi de dikkate alan, parça üzerinde oluşan gerilme ve yerdeğişmelerin minimum olması için optimizasyon uygulayan bir yazılım geliştirmişlerdir.

Lee ve Cutkosky (1991) yaptıkları çalışmada, aparat tasarımında sürtünmeyi dikkate alarak aparat sisteminin kinematikliğini ve bağlama kuvvetlerini analiz eden bir yaklaşım sunmuşlardır.

Li ve Melkote (1999), aparat tasarımında iş parçası yerleşirme hassasiyetini

artırmak için bir model önermişlerdir. Aparat-iş parçası etkileşimi kesikli elastik temas modeli ile modellenmiştir. Rijit gövde yerdeğiştirilmesi yüzünden oluşan iş parçası yerleşme hatasındaki azalma, iş parçası etrafında dayama ve bağlama elemanlarının optimum yerleşmesi ile elde edilmiştir.

Lin ve Huang (1997), uygun aparat elemanları ile oluşturulan değişik kombinasyonların seçimini anlatılmışlardır. Grup teknolojisi ile elemanlar kodlanmış ve sezgisel kurallar ile belli fonksiyonları yerine getirecek aparat elemanları seçilmiştir. Farklı sayıda aparat konfigürasyonları simulated annealing optimizasyon yöntemi ile belirlenmiştir.

Lin ve Yang (1995), modüler aparat sistemi için bir uzman sistem geliştirmişlerdir. Farklı tipteki parçalar için bilgi tabanlı bir sistem kullanılarak modüler aparatların bağlanması, kinematik denge analizi yapmışlar ve kesme kuvvetlerini belirlemişlerdir. Optimum düzenleme için tamsayı programlama yöntemi kullanılmıştır.

Ma ve ark. (1997) bu çalışmada, bir bilgisayar destekli aparat sistemini tanıtmışlardır. Dayama ve bağlama yüzeylerinin giriş olarak alan bu sistem, aparat elemanlarını kütüphaneden seçerek aparat konfigürasyonunu oluşturulmaktadır. Ayrıca aparat elemanları arasındaki montaj ilişkileri otomatik olarak belirlenmektedir.

Menassa ve DeVries (1989), prizmatik parçalar için aparat tasarımında dayama noktalarının seçimi ve yerlerinin belirlenmesi için bir metod önermişlerdir. B-Rep katı model bilgilerinden 3-2-1 dayama yöntemi kullanılarak dayama yüzeyleri tespit edilmiş ve kinematik kurallar ile destek ve dayama noktaları bulunmuştur.

Menassa ve DeVries (1991), prizmatik parçalar için aparat tasarımında ve değerlendirilmesinde optimizasyon teknikleri önermişlerdir. Kesme kuvvetlerine maruz parça üzerinde oluşan yerdeğiştirmeler formülize edilmiş ve optimum destek noktaları bulunmuştur.

Meyer ve Liou (1997), yaptıkları çalışmada parça tezgahta işlenirken oluş an kesme kuvvetlerinin zamana göre değişimini dikkate alarak aparat tasarımını incelemişlerdir. Bağlama elemanlarının sırası doğrusal programlama ile bulunmuş tur.

Nee ve Kumar (1991), nesne/kural tabanlı uzman sistem kullanarak katı modelleme ortamında otomatik aparat tasarımı için bir yapı önermişlerdir. Geometrik ve geometrik olmayan bilgiler katı modelden çıkarılarak operasyon tipi ve kurgu sayısı belirlenmiştir. Destek, bağlama ve dayama yüzeyleri kural tabanlı ve matematiksel analiz ile bulunmuş tur.

Ngoi ve Leow (1994), modüler aparat montajında kullanılmak üzere bir yazılım geliştirmişlerdir. Sistem; bilgi tabanlı yol gösterici, aparat elemanı montaj modülü ve bir BDT programından oluşmaktadır.

Ong ve Nee (1998) yaptıkları çalışmada, unsurlarla modellenmiş bir parçanın aparatlarla bağlanabilme yönünden imal edilebilirliğini incelemişlerdir. Unsurlar arasındaki ilişkiler belirlenmiş ve parçanın bağlanabilirlik analizi için bulanık küme tabanlı bir yöntem kullanılmıştır.

Penev ve Requicha (1995), 3 dayama ve 1 bağlama elemanından oluş an bir aparat sisteminde, poligonal bir iş parçasının doğru şekilde bağlanması için gerekli ek elemanın bağlantı yerinin tespitine yarayan bir algoritma geliştirmişlerdir.

Penev ve Requicha (1996,1997), 2 ve 3 boyutlu prizmatik olmayan parçalar için sürtünmesiz nokta teması dikkate alınarak aparat temas noktalarının potansiyel alan algoritması ile bulunmasını incelemişlerdir.

Ponce ve ark. (1997), üç boyutlu bir çokyüzlünün tutulmasında ortaya çıkan problemleri incelemişlerdir. 4 parmaklı bir tutucu ile sürtünme kuvvetlerini de dikkate alarak kuvvet-kapalı analizleri gerçekleştirmişlerdir.

Promponbang ve ark. (1992), aparat tasarımının iş lem planlama ile bütünleş mesi için bir matematiksel model önermiş lerdir. Optimize edilmiş aparat sistemi tartış ılmış ve örnek çalış malar verilmiş tir.

Rong ve Bai (1997), modüler aparat sisteminde aparat elemanları arasında iliş ki grafiğini oluş turarak uygun aparat elemanlarının seçimi ve uygun yerlere konumlandırılması için algoritma gelişt irmiş lerdir. Ayrıca bu sistemde montaj elemanları kesiş me kontrolü mümkün olmaktadır.

Roy ve ark. (1997), nesne tabanlı ortamda bir otomatik aparat tasarım sistemi gelişt irmiş lerdir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yerdeğ iş tirme analizi yapılmış ve konfigürasyonda gerekli değ iş iklikler yapılmasına imkan veren bir yapı oluş turulmuş tur.

Roy ve Liao (1998), BDT ortamında modellenmiş bir parçanın uygun bağ lama yüzeylerinin tespiti ve otomatik aparat tasarımı için gelişt irilmiş yapay zeka tekniğine dayalı bir yaklaş ım önermiş lerdir.

Sayeed ve DeMeter (1994), karmaş ık aparat sisteminin tasarımı için bir yöntem önermiş lerdir. Tasarımcı her adımda aparat elemanlarının temel geometrisini belirlemekte ve tasarımın sonunda konfigürasyonun geçerliliğ i bir yazılım ile test edilmektedir. Aparat konfigürasyonunun kinematik sınırlama analizi ve toplam sınırlama analizi yapılmakta ve takım yolu ç akış ması kontrol edilmektedir.

Sun ve Chen (1995), durum tabanlı metoduna dayalı bir modüler aparat sistemi önermiş lerdir. Tasarımda kurallar yerine durum ifadeleri kullanılmış tır. Durum tabanlı sistemin tanımı yapılmış ve kural tabanlı sisteme göre avantajlarından bahsedilmiş tir.

Sun ve Chen (1996), modüler aparat sisteminde iş parçası ve aparat özelliklerine göre indeksleme yöntemi önermiş lerdir.



Trappey ve Matrubhutam (1993), prizmatik olmayan parçalarda, parça geometrisi ve kesme kuvvetlerinin değer ve yönlerini kullanarak aparat dayama ve bağlama noktalarının belirlenmesi için bir algoritma önermişlerdir. İş parçasının 2 boyuta izdüşürülmüş şekli üzerinde sezgisel arama teknikleri ile bağlama ve dayama noktaları tespit edilmiştir.

Wang ve ark. (1999), bir aparat sisteminin yapısı, kontrol şeması ve prensibi üzerinde durmuşlardır. Çevrim içi ve çevrim dışı benzetimlerle sistem test edilmiş ve değerlendirilmiştir. Dinamik işleme ortamında adaptif bağlama kuvvetleri izlenmiştir.

Zhuang ve ark. (1994), verilen bir parça ve aparat planının, şekil-kapalı analizi ile kontrol edilip bu sistemin farklı sayıda dayama ve bağlama ile sabitleme durumunun kontrolü için bir yaklaşım sunmuşlardır.

Aparat konusunda yapılan çalışmalarda unsur kullanımı birkaç çalışmada görülmüştür (NEE ve KUMAR 1991. SUN ve CHEN 1995. BRISSAUD ve PARIS 1997. JENG ve GILL 1997. MA ve ark. 1997). Genellikle prizmatik parçalar incelenmiş olup 3-2-1 veya 4-2-1 yerleştirme metodu kullanılmıştır. Çalışmaların birçoğunda modüler aparat sistemleri göze çarpmaktadır. Destek, dayama ve bağlama yüzeyleri ve yerlerinin tespiti için değişik yöntemler uygulanmıştır. Aparat sistemi üzerinde kuvvet ve kinematik analizler oldukça az çalışmada yapılmıştır. Otomatik aparat konfigürasyonu ve bu konfigürasyonun analizi az sayıdaki çalışmada incelenmiştir (MENASSA ve DeVRIES 1991. LEE ve HAYNES 1987). Aparat sisteminin optimizasyonu ise birçok yazar tarafından ele alınmış olup sürtünmeyi dikkate alan yazar sayısı azdır (LEE ve CUTKOSKY 1991. LEE ve HAYNES 1987. LI ve MELKOTE 1999, WANG ve ark. 1999).

## **2.5. Unsur, Kurgu Planlama ve Aparat Tasarımı**

Boerma ve Kals (1988), kurgu planı oluşturma ve aparat tasarımı için bir bilgisayar destekli planlama sistemi tanıtmışlardır. Parça üzerinde bulunan unsurlar

arasındaki tolerans ilişkileri kullanılarak kurgu planı çıkarılmış , dayama ve bağlama yüzeyleri seçilip aparat konfigürasyonu oluşturulmuş tur.

Boerma ve Kals (1989), prizmatik parçalar için destek, dayama ve bağlama noktalarının otomatik seçimi üzerinde durmuşlardır. Seçme işlemi; parça topolojisi ve unsurlar arasındaki ilişkiler kullanılarak yapılmıştır. Dönüş türülmüş tolerans şeması ile unsurlar arası öncelikler tespit edilmiştir.

Dong ve DeVries (1991) yaptıkları çalışmada unsurların aparat tasarımında kullanılması üzerinde durmuş , özellikle dayama yüzeylerinin belirlenmesi ve dayama elemanlarının seçilmesi ile ilgilenmişlerdir.

Fuh ve ark. (1992,1996), unsur analizi, kurgu planlama ve aparat tasarımından ibaret bir yapı oluşturmuşlardır. Geometrik ve geometrik olmayan bilgiler katı modelleme veritabanından alınmış , unsur işleme sırası elde edilmiş ve 3-2-1 prensibi ile aparat konfigürasyonu oluşturulmuş tur.

Hanada ve ark. (1995), işleme unsurlarından oluşan blok veya plaka şeklindeki parçaların işlenmesi sırasında aparatlarla parçanın tutturulması için işleme merkezi tasarlamışlardır. BDT/BDÜ sistemi ile işleme merkezi beraber kullanılarak karmaşık parçaların sabitlemesi incelenmiştir.

Nee ve ark. (1992), 3 boyutlu katı modelleme programı, unsur çıkarma ve nesne tabanlı uzman sistem yapısı kullanarak unsur tabanlı sınıflandırma yapmışlardır. İşleme yönü ve tolerans faktörü dikkate alınarak katı model üzerinden unsurlar çıkarılmış , kurgu planı elde edilmiş ve aparat elemanları sembolik tanımlamalarla kodlanmış tur.

Ong ve Nee (1996), imal edilebilirlik ve bağlanabilirlik analizi yapan, bulanık kurgu planlama sistemi geliştirmişlerdir. Unsurların işlenebilirlikleri sezgisel kurallar ile ifade edilmiş , unsurlar arası ilişkilerin ve operasyonların tanımlanmasında bulanık küme mantığı kullanılmış tur.

Sakurai (1992), kurgu planlama ve aparat tasarımının bütünleşmesini amaçlayan bir çalışma yapmıştır. Kurgu planı ve aparat konfigürasyonunun analiz ve sentezi için algoritmik ve sezgisel metotlar geliştirmiştir.

Tseng (1998), unsur tabanlı bir modelde, birbiri ile kesişen unsurları dikkate alarak parçanın en uygun şekilde bağlanması açısından unsur setlerinin oluşturulmasını incelemiştir. 3-2-1 ve 4-2-1 yöntemi kullanılarak prizmatik parçalar üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir.

Young ve Bell (1991), kurgu planlamada; teknolojik ve geometrik bilgilerin aparat tasarımı ile bütünleşmesini anlatmışlardır.

Bu alanda yapılan çalışmaların hepsi genel olarak prizmatik parçalar ile ilgilidir. Kurgu planlama için değişik teknikler kullanılmış ancak kurgu planının oluşturulmasında bazı yazarlar sadece geometrik öncelikleri, bazı yazarlar tolerans önceliklerini dikkate alırken çok az çalışmada her ikisi de dikkate alınmıştır (BOERMA ve ark. 1988, 1989, ONG ve NEE 1996). Bazı çalışmalarda kurgu planı optimizasyonu yapılmıştır (FUH ve ark. 1992,1996, TSENG, 1998, ONG ve NEE 1996). Birçok çalışmada 3-2-1 metodu modüler aparatlar ile kullanılmış ancak hiçbir çalışmada otomatik aparat konfigürasyonu ve bu konfigürasyonun doğrulanması ve optimum bağlama kuvvetleri incelenmemiştir.

Tüm kaynaklar ele alındığında yapılan çalışmalar ve eksikleri şöyle sıralanabilir.

- 1) Unsur kullanımı ilk yıllardaki çalışmalarda unsur tanıma ile başlamış ancak henüz istenen düzeye ulaşamamıştır. Yeni yaklaşımlarla ilgili çalışmalar devam etmektedir. Özellikle BDT programlarındaki gelişmeler ile daha çok uygulama alanı bulmuş, unsur tabanlı tasarım ile modellenen parçalardan unsur çıkarılması ve dönüştürülmesi şeklinde çalışmalar yapılmıştır.

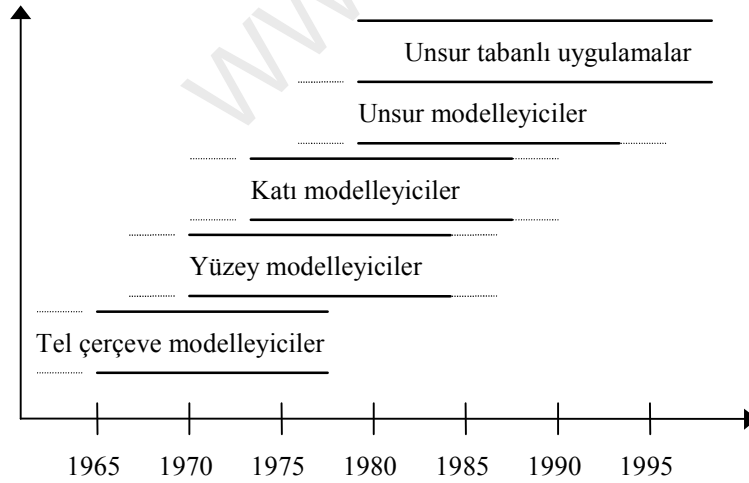
- 2) Son yıllardaki çalış malarda, unsur tabanlı tasarım kavramı ile tasarımda ve imalatta unsur kullanımını artmış tır.
- 3) Unsur tabanlı tasarım kavramının ortaya çıkması ile birlikte kurgu planının otomatik olarak çıkarılması ile ilgili yayınlarda artış gözlenmiş tir.
- 4) İş lem planlama fonksiyonları arasında bütünleş me çalış maları araş tırılmış ancak henüz yeterli düzeye getirilememiş tir. Otomatik iş lem planlama sistemini oluş turan fonksiyonlardan unsur tabanlı tasarım, kurgu planlama ve aparat tasarımının bütünleş mesi için yapılan çalış malar yetersizdir.
- 5) Kurgu planlamada boyut ve geometrik toleranslar çok az sayıdaki çalış mada kullanılmış tir. Kurgu planlamada daha çok geometrik iliş kiler ve takım yaklaş ım yönleri kullanılmış tir. Hepsini ele alarak kurgu planı oluş turma iş lemi çok az sayıda yazar tarafından incelenmiş tir.
- 6) BDT ortamında unsur kullanımı ve bunun kurgu planlama ve aparat tasarımında kullanılması sınırlı kalmış tir.
- 7) Otomatik aparat konfigürasyonu ile ilgili çalış malar yeterli değildir.
- 8) Önerilen aparat konfigürasyonunun test edilip doğrulanmasında ve optimizasyonunda ise eksiklikler göze çarpmaktadır. Kuvvet ve yerdeğiş tirme analizleri statik durum için yapılmış tir ve gerçek durumu yansıtmaktan uzaktır. Ancak iş leme sırasında iş parçası üzerine etki eden kesme kuvvetleri zamana göre yer değiş tirmekte ve dolayısı ile aparat elemanlarında oluş an reaksiyon kuvvetleri de buna bağlı olarak değiş mektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılacak olan analizlerle kesme kuvvetlerinin parça üzerinde dolaş tığı dikkate alınmalıdır. Böylece aparat elemanlarında oluş an reaksiyon kuvvetleri takımın konumuna göre belirlenecek ve iş parçasının dayamalardan uzaklaş ıp uzaklaş madığı kontrol edilebilecektir. İş parçasının iş leme boyunca destek ve dayamalardan ayrılmaması yani dengede kalması için uygun bağlama kuvvetleri tayin edilebilecek ve böylece daha önceden tecrübeye bağlı olan bağlama kuvvetlerinin tayini ile parçanın aş ırı sıkılması önlenip, bundan dolayı oluş acak deformasyonlar azaltılabilecektir. Ayrıca yetersiz bağlama kuvvetlerinin sebep olacağı kayma ve dengenin bozulması durumu da önceden tespit edilebilecektir. Bu çalış mada dikkate alınan diğer bir nokta ise parça üzerinden kaldırılan talaş miktarının dikkate alınmasıdır. Parça üzerinden boş altılan hacimden

dolayı parça rijitliği azalmaktadır ve buda yerdeğiş tirmelerin artması demektir. Böylece bağlama kuvvetleri ve kesme kuvvetlerine maruz parça üzerinde en fazla yerdeğiş tiren kritik bölgeler tespit edilecek ve gerekiyorsa uygun yerlere ek aparat elemanları konabilecektir.

WWW

### 3. UNSUR KAVRAMI

Son yıllarda BDT alanında önemli gelişmeler olmuş tur. Her yeni gelişme yeni ihtiyaçlardan ortaya çıkmış ve yeni teknikleri de beraberinde getirmiştir. Bu modelleyiciler arasındaki temel fark desteklenen bilgi seviyesidir. İlk geliştirilen modelleme programları sadece tel çerçeve şeklinde modelleme yapmakta ve iki boyutlu çizim işlemlerini desteklemekteydiler. Sadece nokta ve çizgi ile çizim yapmak mümkün olabiliyordu. Parametrik ve sınırlandırma temelli sistemlerin devreye girmesi ile, değişken geometri veya denklemleri içeren tasarım problemlerinin çözümünde büyük kolaylıklar sağlanmış tur. Ancak tüm bu yaklaşım veya sistemlerin hiç birisi BDT/BDÜ bütünleşmesi veya tasarım-üretim arası tam otomasyon sağlanmasında yeterli olamamıştır. Çünkü bu tür sistemler; doğru, daire, prizma veya silindir gibi düşük düzeyli temel elemanlar kullanarak parça geometrisini temsil edebilmektedirler. Ayrıca bu tür elemanlar veya bunlardan oluşan nesnelere; ne tasarım fikirlerini ifade etmeye ne de üretim işlemlerini otomatik yapmaya uygun değildir.

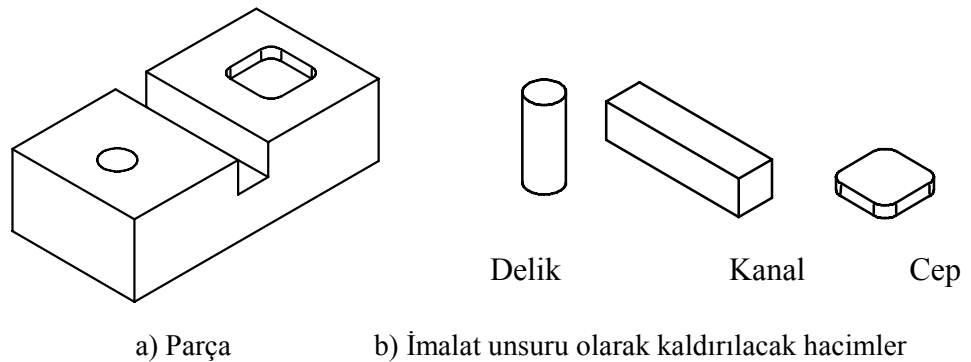


Şekil 3.1. Modelleme programlarının tarihsel gelişimi

Yukarıda bahsedilen bu eksikliklerin giderilmesi için, unsur (feature) olarak adlandırılan yeni bir kavram ortaya atılmış tur. Farklı uygulama alanları için farklı unsur tanımlamaları yapılmış ve böylece BDT/BDÜ uygulamalarının bütünleşmesi sağlanmaya çalışılmış tur.

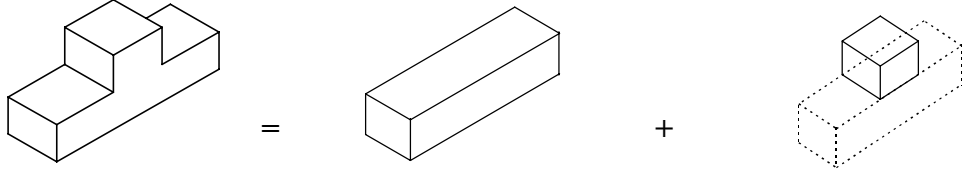
Zaman içinde unsur kavramı; tasarım, üretim ve montaj gibi faaliyetleride içerecek şekilde genişlemiştir. Bu tür faaliyetler ile ilgilenen her araştırmacının değişik bir konuya öncelik vermesi ve konuya farklı bir açıdan yaklaşmasından ötürü genelde kabul edilmiş tek ve geçerli bir unsur tanımı bulunmamaktadır (BÖRKLÜ, 1998). Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış unsur tanımları şunlardır:

1. Bir parçanın şekil veya diğer özelliklerini barındıran bilgi setleri (SALOMONS ve ark. 1993).
2. Bir parça veya montajın mühendislik anlamını temsil eden geometri (SHAH, 1991).
3. İmalat işlemleri ile bağlantılı şekil ve özelliklerin temsil edilmesi (SHAH, 1991).
4. Bir parçanın veya yüzeyin ilgilenilen kısmı (PERNG ve ark. 1990).
5. Belli bir metal işleme yöntemi ile oluşturulan parçanın belli bir bölgesi (PERNG ve ark. 1990).
6. Gerçek veya hayali yüzeylerle çevrilmiş hacim (CASE ve ark. 1994).
7. Geometrik elemanlar (GU, 1994).
8. Tasarımda, analizde ve imalatta uygun bir biçimde kullanılmak üzere; geometrik, topolojik ve fonksiyonel bilgilerin bir eleman içinde gruplanması (UNGER ve RAY, 1988).
9. İşleme operasyonundan etkilenen parçanın ilgili kısmı (GUPTA, 1997).
10. Bir iş parçası geometrisi üzerinde özel tasarım veya imalat karakteristiğine sahip bir bölge (CHANG, 1990).

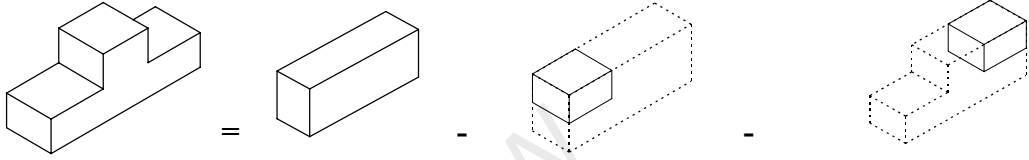


Şekil 3.2. Unsur örnekleri (HAN, 1996)

Ancak unsurların gruplanması konusunda kabul gören yaklaşıma göre, unsurlar genel olarak tasarım veya biçim unsurları (form features) ve imalat unsurları (manufacturing features) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Biçim unsurları ekleme ve çıkarma olabileceği gibi, imalat unsurları sadece çıkarma olarak tanımlanırlar. Biçim unsurları tasarımın fonksiyonel bilgilerini ihtiva ederken, imalat unsurları imalat ile ilgili bilgileri bulundurlar.



Şekil 3.3. Tasarım unsur modeli



Şekil 3.4. İmalat unsur modeli

Bu çalışmada unsur tanımı şu şekilde yapılmıştır: Bir parçanın hem geometrik hemde geometrik olmayan fonksiyonel bilgilerini içeren elemanlara unsur adı verilir.

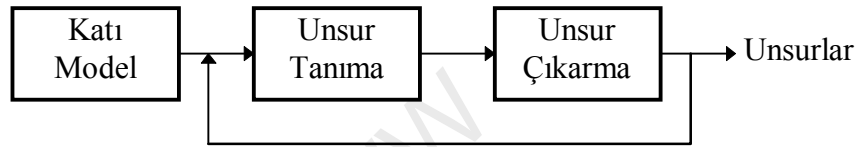
Unsur kavramının uygulamaları üç şekilde karşımıza çıkmaktadır:

- mevcut katı modellerden (CSG : Yapısal Katı Geometri veya B-Rep: Sınır temsili ile tanımlı) unsur tanıma veya çıkarma
- Unsur Tabanlı Tasarım
- Her iki yaklaşımın birleştirilmesi
- Etkileşimli unsur tanıma



### 3.1. Unsur Tanıma ve Çıkarma

İş parçası katı modeli üzerinde bir bilgisayar programı ile geometrik verilerin analiz edilip, belli unsur prototip yapıları ile karşılaştırılmak suretiyle unsur elde edilmesine unsur tanıma veya çıkarma adı verilir. Unsur tabanlı modellemenin mümkün olmadığı yıllarda ihtiyaç duyulan bu yöntem ile CSG veya BRep formatında oluşturulan parça geometrik verileri analiz edilerek unsurlar elde edilir. Araştırmacılar değişik unsur tanıma algoritmaları geliştirmişlerdir. Bunlardan bazıları; çizge (graph) tabanlı teknikler, dış bükey kabuk (convex hull) teknikleri ve kural tabanlı (rule-based) tekniklerdir (McNALLY, 1998). Ayrıca CSG ağacından unsur tanıma, hücre tabanlı teknikler, sinir ağları kullanarak unsur tanıma yöntemleri de mevcuttur.

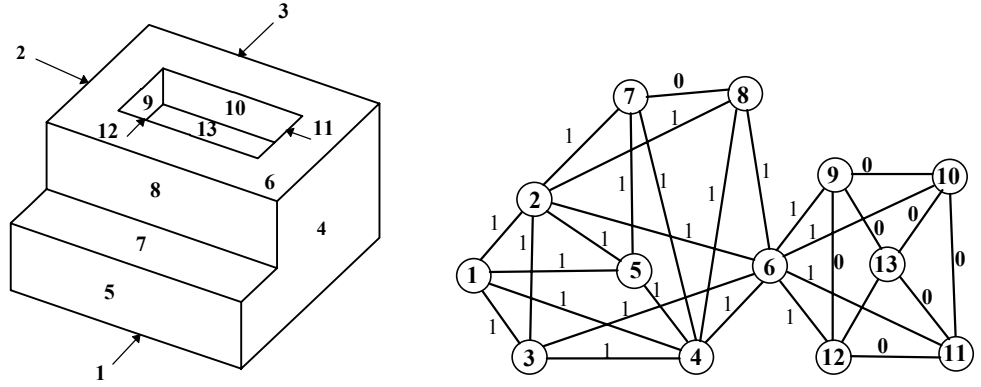


Şekil 3.5. Unsur tanıma ve çıkarma

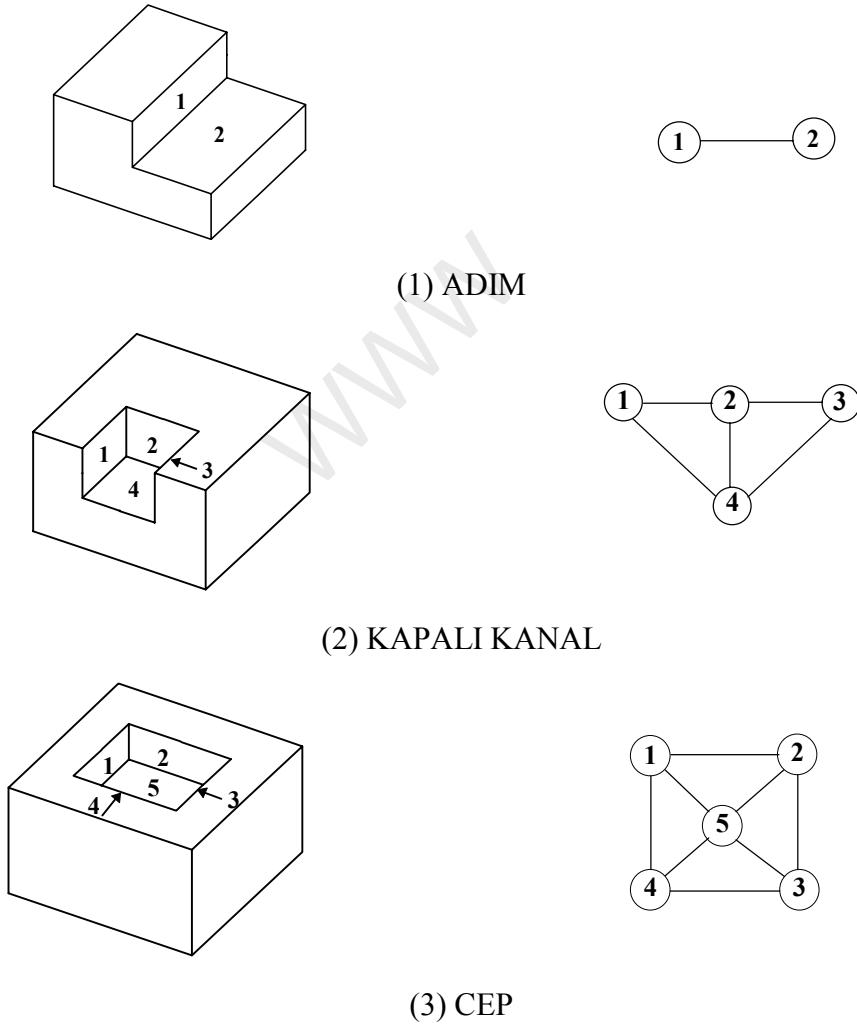
### 3.2. Çizge Tabanlı Teknikler

Çizge (graph) tabanlı teknikler ile unsur tanımda, parçanın topolojik biçimi bir çizge olarak temsil edilmektedir. Genellikle bu çizgenin düğümleri parça yüzeylerini, kenarları ise parça kenarlarını temsil etmektedir. Daha sonra bu çizgede yapılacak arama işlemi ile, çizge ile temsil edilen parçaya ait unsurlar belirlenir.

Çizge tabanlı yaklaşımlar çok yüzlü parçalar için kullanılmıştır. Bu yöntemin olumsuz tarafları; alt çizgelere ayrıştırma problemi, bilgisayar işlemlerindeki karmaşıklık ve dolayısı ile fazla zaman ve hafıza kullanılmasıdır. Ayrıca kesişen unsurları tanımda zayıf oldukları ve unsur temsilinde çok fazla veriye gereksinim duydukları belirtilebilir (BÖRKLÜ,1998).



Şekil 3.6. Örnek parça ve çizgesi (1: dış bükey, 0: içbükey) (JOSHI ve ark. 1988)

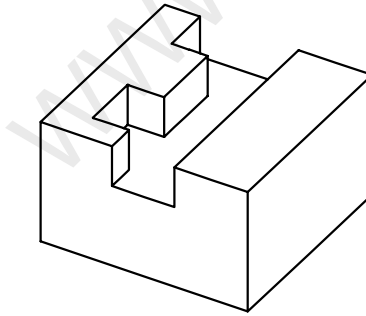


Şekil 3.7. Bazı unsur ve çizgeleri (JOSHI ve ark. 1988)

Parçanın çizgesi üzerinde arama yapılarak alt çizgeler çıkarılır. Bundan sonraki

iş lem bu çizgelerin hangi unsurlara karş ılık geldiğinin bulunmasıdır. Düğüm noktaları taranarak 1 değ erine sahip bağ lar silinir ve elde edilen alt çizgeler şek il 3.7.' de verilen unsurların çizgeleri ile karş ıla ş tırılarak unsurlar elde edilir. Ş ekil 3.6.' da verilen ö rnekte bu iş lemler yapılırsa elde edilen alt çizgelerin adım ve cep unsurlarına karş ılık geldiğ i görü lür.

Eğ er parça üzerinde kesiş en unsur varsa, elde edilen alt çizgeler tek bir unsura karş ılık gelmeyebilir. Değ iş ik şek illerde kesiş me olabileceğ inden önceden tanımlanmış kurallar ile unsurların tanınması mümkün olmayabilir. Bu durumda alt çizgeler ayrış tırılarak basit unsurlar elde edilmeye çalış ılır. Ayrış tırma iş lemi, belli kenarların silinmesi veya düğüm noktalarının sezgisel kurallar ile ayrılması şek lindedir. Unsurların birbirleri ile kesiş meleri sonunda silinen yüzeyler olabilir. Bu durumda ise hayali yüzeyler kullanılarak hayali cepler oluş turulur. Ş ekil 3.8.'de hayali cep olarak tanınan bir ö rnek parça verilmiş tir (JOSHI ve ark. 1988).



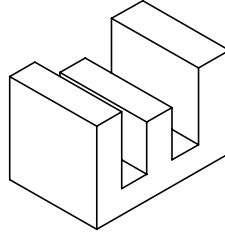
Ş ekil 3.8. Hayali cep olarak tanınan unsur

Çizge kullanarak bir baş ka unsur tanıma iş leminde ise parça yüzeyleri arasındaki iliş ki çizgesi çizilir ve iliş ki matrisi oluş turulur. Bu matris üzerinde önceden belli unsur kalıplarına uyan bölgeler aranarak hangi yüzeylerin unsur oluş turduğ u ortaya çıkarılır (NEE ve KUMAR, 1991).

### 3.3. Dış bükey Kabuk Ayrış tırma Tekniğ i

Bu yöntemde katı modeldeki unsurlar tanımak için hacimsel özellikler kullanılır.

Bu teknik, bir parçayı ham malzemeden imal edebilmek için talaş kaldırılacak malzemeleri belirleme fikrine dayanmaktadır. Dış bükey kabuk algoritması ve Boolean işlemleri kullanılır. Parça, hacim ekleme veya çıkarma şeklinde bir dizi dış bükey hacimle ifade edilebilir. Şekil 3.9.'daki parçanın tasarım ve imalat dış bükey kabuk ayrıştırmaya aşamaları Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Örnek parça

$$\text{[Part]} = \text{[Box]} - \text{[Slot]} + \text{[Notch]}$$

a) Tasarım unsurları

$$\text{[Part]} = \text{[Box]} - \text{[Slot]} - \text{[Notch]} - \text{[Slot]}$$

b) İmalat unsurları

Şekil 3.10. Dış bükey kabuk ayrıştırmaya yöntemi

Bu yöntemle tanıma işleminin bazı dezavantajları vardır. Elde edilen unsur tek bir işleme operasyonuna karşılık gelmeyebilir. Ayrıca bu yöntemin eğri yüzeylere sahip parçalara uygulanması zordur (SHAH, 1991).

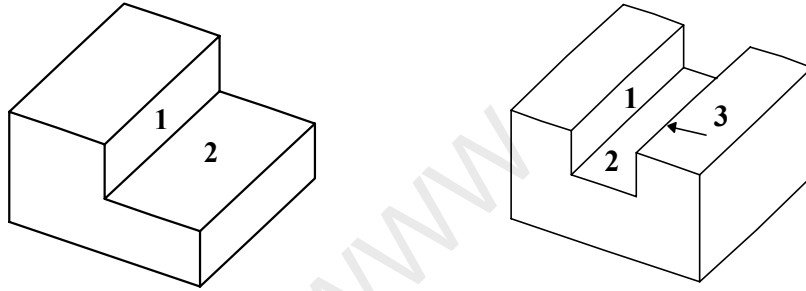
### 3.4. Kural Tabanlı Teknikler

Urusların geometrik özelliklerinden faydalanılarak oluşturulan kurallar ile, parça geometrisinin sorgulanması sonucu unsurlar tanınır. Örneğin bir adım unsurunu tanımak için kural şu şekilde oluşturulmuş tur:

- EĞER *yüzey1, yüzey2'* ye komş u  
 VE *yüzey1 ile yüzey2* arasındaki açı  $90^\circ$  ise  
 O ZAMAN *yüzey1 ile yüzey2* bir ADIM unsuru oluş tururlar.

Açık kanal unsuru için kural:

- EĞER *yüzey1, yüzey2'* ye komş u  
 VE *yüzey2, yüzey3'e* komş u  
 VE *yüzey1 ile yüzey2* arasındaki açı  $90^\circ$  ise  
 VE *yüzey2 ile yüzey3* arasındaki açı  $90^\circ$  ise  
 O ZAMAN *yüzey1, yüzey2 ve yüzey3* bir AÇIK KANAL unsuru oluş tururlar.



Şekil 3.11. Kurallar ile tanınabilen adım ve açık kanal unsuru

Ayrıca çizge tabanlı tanıma yönteminde oluş turulan çizge üzerinde de kurallar ile tanıma işlemi gerçekleştirilebilir. Örneğin adım unsurunu tanımak için gerekli kural:

- EĞER parça çizgesinde iki düğüm noktası birbirine 0 değeri ile bağlanmış sa  
 VE bu düğüme olan diğer bağlantılar 1 ise,  
 O ZAMAN bu iki düğüm noktası bir ADIM unsuru oluş turur.

Unsur temsilinde ve karmaş ık unsurların tanınmasında oldukça fazla kural gerektirmesi ve bir kuralın birden çok unsura karş ılık gelmesi bu yöntemin dezavantajları olarak sayılabilir.

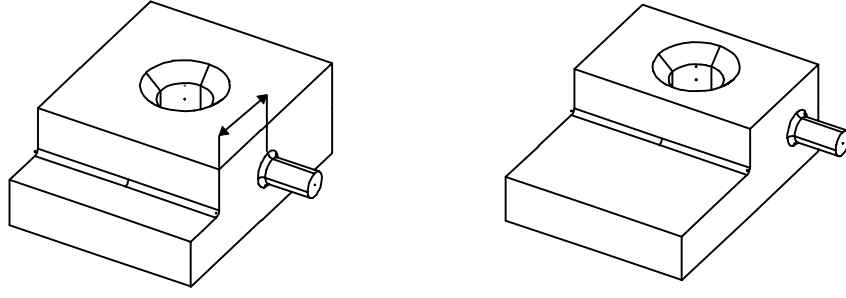
Geliştirilen algoritmalar oldukça karmaşık ve model bağımlıdır. Birçok sistemin tanıdığı unsur çeşitleri sınırlıdır ve birçok unsur tanıma sisteminde birleşik bir unsuru çıkartmak oldukça zordur. Gerçekte bir unsur tanıma sistemi teknolojik kavramlarında (tolerans, yüzey işleme kalitesi, malzeme bilgisi vb.) dikkate alınmalıdır.

### 3.5. Unsur Tabanlı Tasarım

1992 yılından bu yana ticari BDT sistemlerinde ilişkiye dayalı modelleme tekniklerinin kullanılması ile, bir tasarım aracı olan katı modellemenin gücü oldukça artmıştır. Katı modelleme, tasarımlarının 3B geometrik tanımlarını tam ve eksiksiz temsil etmekle birlikte, üretim aşamasında bu şekilde ile yetersiz kalmaktadır. Katı model veritabanında teknolojik bilgilerin bulunmaması da bir diğer olumsuzluktur. Böylece katı modele dayalı BDÜ uygulamalarında insan katkısı kaçınılmaz olmaktadır (BÖRKLÜ, 1998).

Parça tasarımı sırasında daha önceden tanımlanmış unsurların kullanılması ile yapılan tasarıma Unsur Tabanlı Tasarım - UTT (Feature Based Design) denir. Tasarımcının fikrinin daha iyi ifade edilebildiği bu yaklaşımda, ön tanımlı parametrik hacimler unsur kütüphanesinden seçilmekte ve bunlara boolean (kesme-çıkarmakleme) operasyonları uygulanarak parça modellenmektedir. Bu yaklaşım ile tasarım hızlandırılmakta ve tasarım sürecinde oluşan bilgilerin sonraki uygulamalara aktarılmasına izin verilmektedir. UTT yaklaşımı ile yeniden tasarım sürecinde oldukça hızlandırılmıştır.

Tasarım esnasında unsurların kullanımı ve parçanın parametrik tasarımı ile parça tasarım fonksiyonelliği ve verimliliği artmıştır. Şekil 3.12.'de görülen örnekte unsurlarla modellenen parçada, adım unsurunda yapılan derinlik artımı sonucunda delik ve çıkıntı şeklindeki unsurun konumlarında otomatik olarak değişmektedir.



Şekil 3.12. Unsur tabanlı tasarım

Tasarımda kullanılan unsur teknolojisi hala deneysel safhada ve geliş me süreci içindedir. Ticari BDT programlarındaki mevcut unsurlar, üretim bilgisi ekleme iş lemlerine izin vermemektedirler. Malzeme özellikleri, teknolojik parametreler ve imalat hassasiyeti gibi bir unsurun sahip olabileceği yüksek düzeyli bilgiden farklı olarak bu BDT sistemlerindeki unsurlar, sadece geometrik biçim tanımlarını içermektedir. Bu ise, yüksek düzeyli bilgi gereksinimlerinden daha çok geometrik hesaplamalar için uygundur. Bu yüzden tasarım unsurları imalat unsurlarına çevrilerek bu problem ortadan kaldırılmaya çalış ılmaktadır.

UTT' in dezavantajları; tasarımcıya sınırlama getirmesi, tasarım unsurlarının imalat unsurlarına dönüş türülmesi gerekliliği, fazla sayıda unsur içeren unsur kütüphanesi oluş turma problemi olarak sayılabilir.

Tasarım ile imalat arasındaki bütünleş menin sağlanması için anahtar eleman unsur kullanımıdır. Daha önceden sadece tasarım için kullanılan unsurların imalat unsurlarına dönüş türülmesi ile iş lem planlama aş amalarında bütünleş me sağlanması yoluna gidilmiş tir. Böylece tasarım aş amasında imalatında düş ünülmesi gerçekleştirilmiş ve ortaya çıkabilecek problemlerin tasarım sırasında fark edilmesi sağlanmış tir. Ancak bu bütünleş me henüz yeterli değildir.

Unsur tanıma ve unsur tabanlı tasarım yaklaşı mlarından her biri, bazı güçlü ve zayıf özelliklere sahiptir. Bu iki metottan hiç birisi, yeterli olmamakta ve böylece bu iki metodun birlikte uygulandığı karış ık (hybrid) yaklaş ım en iyi ve etkili çözüm sağlamaktadır (BÖRKLÜ, 1998).

#### 4. KURGU PLANLAMA

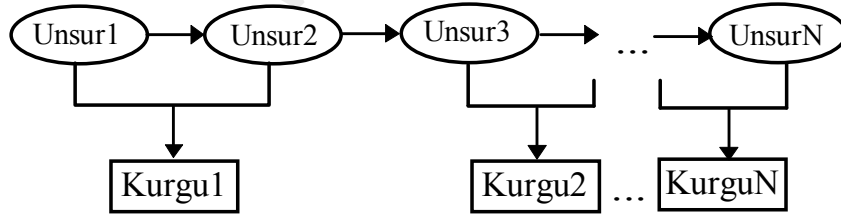
İş lem planlama için önemli adımlardan biriside kurgu planlama (set-up planning)' dir. İş lenecek parça üzerinde bulunan unsurların iş leme sırasının bulunması ve daha sonra bu parçanın kaç kurguda iş leneceğinin hesaplanması kurgu planlama olarak adlandırılır. İş parçasının tezgaha her bağlanışı 1 bir kurgu olarak kabul edilir. Bir iş parçasında birçok unsur bulunması birden fazla kurguyu gerektirebilir.

Kurgu planlama 2 aş amadan oluş ur.

1. Unsur iş leme sırasının bulunması (ş ekil 4.1.)
2. Unsurların gruplanarak kurguların oluş turulması (ş ekil 4.2.)



Şekil 4.1. Unsur iş leme sırasının belirlenmesi



Şekil 4.2. Unsurların gruplanarak kurguların oluş turulması

Ancak kurgu planlama konusundaki çalış maların birçoğu, önce unsurların gruplanarak kurgu oluş turulması sonra kurguların sıralanması ş ekinde yapılmış tır. Bu yöntemin dezavantajı, kurguların sıralanması sırasında unsurlar arası öncelik kurallarının hepsine uyulamayacağıdır (CHEN ve ark. 1994).

İş leme maliyetlerinin düş ürlmesi, zamandan tasarruf edilmesi ve istenen iş leme toleranslarının elde edilmesi için kurgu sayısının en az sayıda tutulması gerekir.



Bu yüzden kurgu planlamada optimizasyon iş lemi kaçınılmazdır. Bu konuda yapılan çalış malarda farklı optimizasyon teknikleri kullanılmış tır.

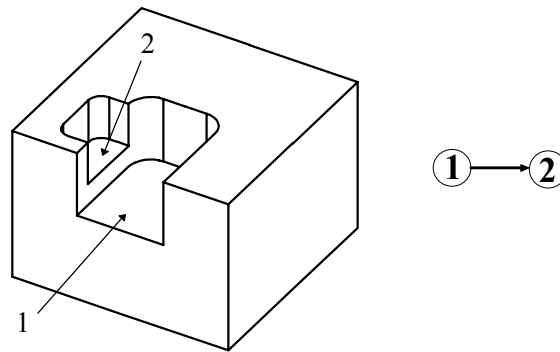
#### 4.1. Unsurlar Arası Öncelik İliş kileri

Parça üzerinde bulunan unsurların iş leme sıraları değiş ik kriterlere göre belirlenir. Bu ş artları sağlayacak ş ekilde unsur iş leme sıralarının elde edilmesi gerekir. Bu sıralamayı belirleyen öncelik iliş kileri 6 kısımda ele alınabilir:

- a) Geometrik öncelik,
- b) Referans yüzeyi önceliği,
- c) Tolerans öncelikleri,
- d) Sezgisel veya teknolojik öncelikler,
- e) Ekonomik öncelik,
- f) Aparat önceliği.

##### 4.1.1. Geometrik Öncelikler

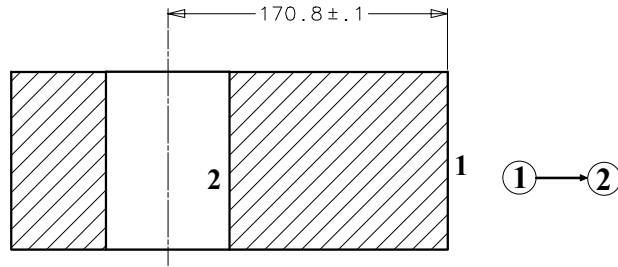
Bu tip öncelikler, parça üzerinde bulunan unsurların geometrik konumları gereği kesiş en unsurlarda ortaya çıkar. Ş ekil 4.3.'de verilen örnek parçada 1 ve 2 unsurları kesiş mektedir. Burada geometri gereği, ilk önce 1 nolu cep, sonra 2 nolu cep unsuru iş lenmelidir (ZHANG ve ark., 1995).



Ş ekil 4.3. Geometrik öncelik

#### 4.1.2. Referans Yüzeyi Önceliği

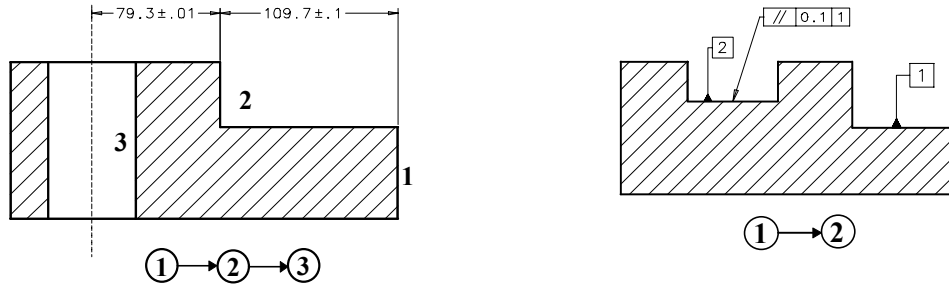
Aralarında tolerans verilen iki unsurdan birisi yüzey unsuru ise önce yüzey unsuru iş lenir, daha sonra tolerans verilen unsur iş lenir. Yüzey unsuru iş lendikten sonra bu yüzey aparat planlama aş amasında dayama yüzeyi olarak kullanılır. Şekil 4.4. 'de önce 1 nolu yüzey, daha sonra 2 nolu delik unsuru iş lenir (ZHANG ve ark., 1995).



Şekil 4.4. Referans yüzeyi önceliği

#### 4.1.3. Tolerans Öncelikleri

Parça tasarımında unsurlar arasında verilen hem boyut, hem de geometrik toleranslar unsurlar arası iş leme önceliği teş kil ederler. Şekil 4.5. a)' da verilen örnekte, zincirleme verilen boyut toleransları gereği, önce 1 nolu yüzey, sonra 2 nolu adım unsuru, en son olarak 3 nolu delik unsuru iş lenir. Şekil 4.5. b)' de ise verilen geometrik toleransa göre önce 1, sonra 2 nolu unsur iş lenmelidir.



a) Boyut toleransı

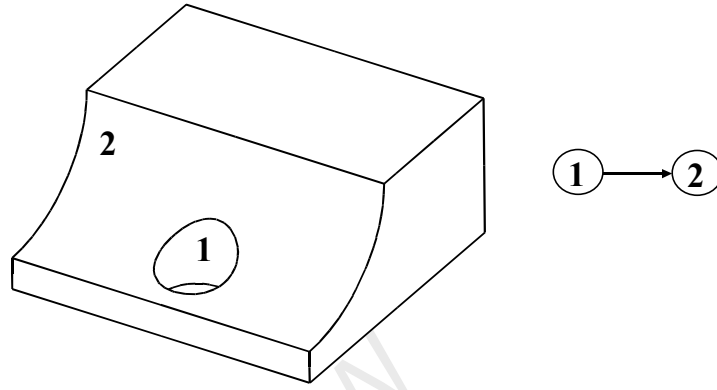
b) Geometrik Tolerans

Şekil 4.5. Tolerans öncelikleri

Eğer parça üzerinde verilen geometrik ve boyut öncelikleri çakış ırsa, boyut önceliği dikkate alınmalıdır.

#### 4.1.4. Teknolojik Öncelik

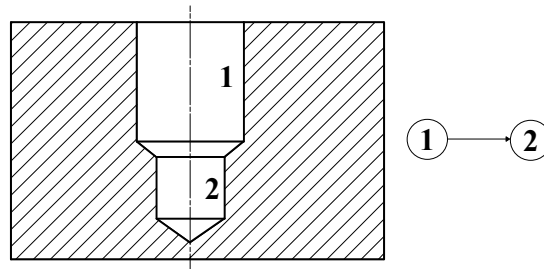
Sezgisel veya teknolojik önceliklerde, daha önceden kazanılmış deneyimlerden veya teknolojik olarak işlenmesi zor olan durumlardan kaynaklanan öncelikler mevcuttur. Örnek olarak şekil 4.6.'da verilen iş parçasında, silindirik yüzey üzerinde takımın doğru olarak konumlanması zor olacağından, önce 1 nolu delik unsuru, ardından 2 nolu yüzey unsurunun işlenmesi gerekir (ONG ve NEE, 1994).



Şekil 4.6. Teknolojik öncelik

#### 4.1.5. Ekonomik Öncelik

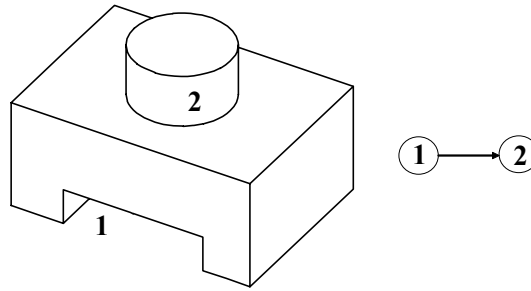
Unsur işleme sırasının ekonomik açıdan fayda sağladığı durumlara örnek olarak verilen aşğıdaki şekilde, işleme zamanı ve uzunluğunu düşürmek için önce 1 nolu büyük delik unsuru, daha sonra 2 nolu küçük delik unsuru işlenmelidir (HALEVI ve WEILL, 1995).



Şekil 4.7. Ekonomik öncelik

#### 4.1.6. Aparat Önceliği

İş parçasının bağlama aparatları ile daha kolay bağlanmasını sağlamak amacıyla unsur işleme sırası değiştirilebilir. Şekil 4.8.'de verilen örnekte önce 2 nolu çıkıntı unsurunun işlenmesi durumunda, daha sonra kanalın işlenmesi için parçanın sabitlenmesi zor olacağından, önce 1 nolu kanal unsuru işlenmeli, sonra 2 nolu çıkıntı unsuru işlenmelidir (ZHANG ve ark., 1995).



Şekil 4.8. Aparat önceliği

Unsurlar arası öncelikler bulunduğundan sonra parça üzerindeki unsurların işleme sırasının bulunması için öncelik matris analizi yöntemi kullanılır.

#### 4.2. Öncelik Matris Analizi

Öncelik matris analizi, parça üzerinde bulunan unsurların aralarında verilen öncelik ilişkilerini kullanarak bu sıralamayı bozmayacak şekilde unsur işleme sırasının bulunması işlemidir. Öncelik matris analizi ile önceden belirlenen unsur öncelikleri kullanılarak unsur işleme sıralarının bulunması sağlanır. Bu analizi bir örnek ile açıklayalım (HALEVI ve WEILL, 1995).

1. Unsur öncelikleri şu şekilde verilmiş olsun: (4 →1), (2→3), (4→2), (1→2)
2. Unsur sayısı n ise, nxn boyutlarında elemanları boş bir kare matris oluşturulur ve matrisin satırlarına soldan sağa ve sütunlarına yukarıdan aşağıya doğru sırayla unsur numaraları yazılır.

	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

3. Unsur öncelikleri sırayla ele alınarak, önce olan unsurun bulunduğu kolon ile sonra olan unsurun bulunduğu satırın kesiş tiği hücreye 1 yazılır. Bu şekilde tüm öncelikler matrise eklenir.

	1	2	3	4
1				1
2	1			1
3		1		
4				

4. Matriste bulunan tüm satırlar toplanarak yeni bir kolon oluşturulur.

	1	2	3	4		
1				1	$\Sigma$	1
2	1			1	$\Sigma$	2
3		1			$\Sigma$	1
4					$\Sigma$	0

5. Toplam kolonunda bulunan 0 değerleri için şu işlemler yapılır; önce 0'ın bulunduğu satırdaki unsur ele alınarak matristeki kolonu bulunur, kolonda 1 değeri aranır, bulunan 1 değerine karşılık gelen satırlar belirlenerek sonradan oluşturulan toplam kolonunda bu satırlardaki değerler 1 eksiltilir ve değişen değerlerle yeni kolon oluşturulur, değişmeyen değerler aynen yazılır. Değeri 0 olan satırlar yeni kolona -1 olarak taşınırlar.

	1	2	3	4		
1				1	Σ	1 0
2	1			1	Σ	2 1
3		1			Σ	1 1
4					Σ	0 -1

6. Bu şekilde kolonda tüm elemanlar -1 olana kadar devam edilir.

	1	2	3	4						
1				1	Σ	1	0	-1	-1	-1
2	1			1	Σ	2	1	0	-1	-1
3		1			Σ	1	1	1	0	-1
4					Σ	0	-1	-1	-1	-1

7. Toplam kolonundan baş layarak sonradan oluş turulan kolonlar taranır, ilk kolonda 0 değerine sahip unsurların sırası baş ta olmak üzere sona doğru sıralama yapılır. Aynı kolonda 0 değerine sahip unsurlar arasında öncelik sırası yoktur.

Buna göre unsur iş leme sırası; 4, 1, 2, 3 şeklinde elde edilir.

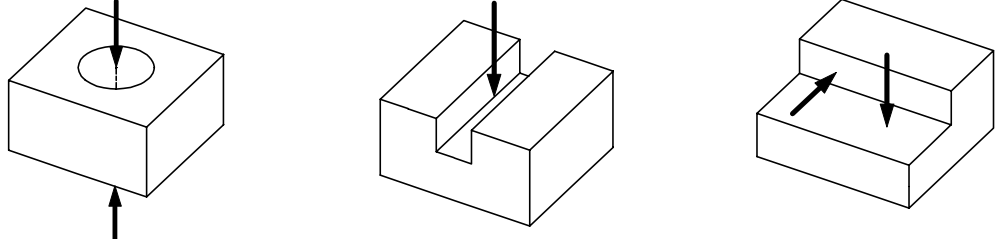
### 4.3. Kurgu Oluş turma

Unsur iş leme sırası elde edildikten sonra, bu unsurların takım yaklaş ım yönleri (TYY) dikkate alınarak gruplanması kurgu planlamanın son aş amasıdır. Unsur iş leme sırasında 1. unsurdan itibaren kurgular oluş turulmaya baş lanır, eğer takip eden unsurun takım yaklaş ım yönü farklı ise yeni bir kurgu oluş turularak iş leme devam edilir.

#### 4.3.1. Takım Yaklaş ım Yönleri

Takım yaklaş ım yönü (TYY), bir unsurun iş lenmesi sırasında takımın o unsura hangi eksenden yaklaş tığını ifade eder. Unsur ve iş leme merkezinin tipine göre, bir unsur birden fazla TYY' ne sahip olabilir.

Aş ağıda bazı unsurların takım yaklaşım yönleri verilmiştir.



Şekil 4.9. Bazı unsurların takım yaklaşım yönleri

Unsur tabanlı tasarımda takım yaklaşım yönleri parça veritabanında saklıdır yada geometrik bilgilerden çıkarılır. Birden fazla TYY' ne sahip unsurlarda kurgu sayısının en az olması için en uygun yön, TYY olarak seçilir.

#### 4.4. Kurgu Optimizasyonu

Zaman tasarrufu, işleme maliyetlerinin düşürülmesi ve istenen işleme toleranslarının elde edilmesi için kurgu sayısının en az sayıda tutulması gerekir. Böylece parçanın tazgaha bağlanıp sökülmesi için gereken zamandan tasarruf edilecek, istenen toleranslar sağlanabilecek ve işleme hassasiyeti artacaktır.

Bazı unsurlar arasında öncelik ilişkisinin bulunmaması ve yine bazı unsurların birden fazla TYY' ne sahip olmaları nedeniyle farklı sayıda ve sırada kurgu planı oluşturulabilir. Örneğin, parça üzerinde öncelik ilişkisi bulunmayan unsurlar varsa öncelik sırası aşağıdaki formda çıkabilir.

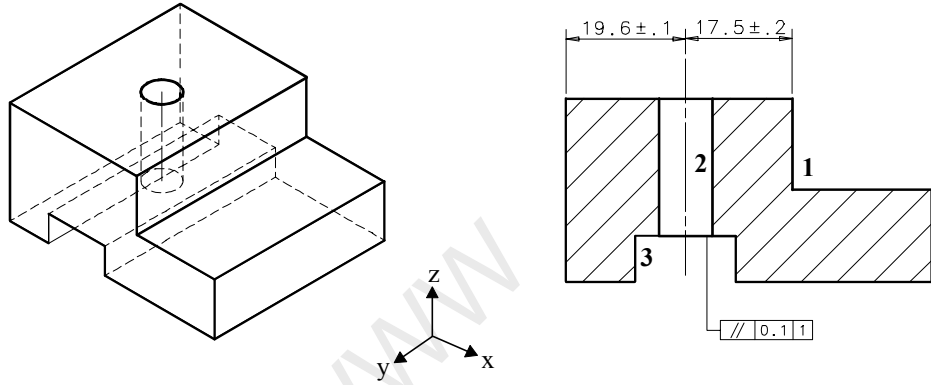
1. {3}
2. {1,5}
3. {2}
4. {4,6}

Burada (1 ve 5) ile (4 ve 6) nolu unsurların birbirleri arasında öncelik ilişkisi

yoktur. Buna göre unsur işleme sırası 4 farklı formda oluşabilir.

$$\{3, 1, 5, 2, 4, 6\}, \{3, 1, 5, 2, 6, 4\}, \{3, 5, 1, 2, 4, 6\}, \{3, 5, 1, 2, 6, 4\}$$

Bu 4 farklı işleme sırası ele alınarak her birinin kurgu sayısı hesaplanır ve en az kurgu sayısına sahip sıra, işleme sırası olarak kabul edilir. Ayrıca bu işleme sıralarından kurgular oluşurken birden fazla TYY' ne sahip unsurların TYY, kurgu sayısının en az olması durumuna göre seçilmelidir. Örnek bir parça için kurgu planlama örneği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.10. Kurgu planlama için örnek parça

Parçada bulunan unsurlar; adım(1), açık delik(2) ve açık kanal(3) unsurlarıdır. Tolerans önceliğine göre unsur öncelikleri :  $\{ (2 \rightarrow 1), (1 \rightarrow 3) \}$  şeklindedir.

Öncelik matris analizine göre;

	1	2	3	
1		1		$\Sigma$ 1 0 -1 -1
2				$\Sigma$ 0 -1 -1 -1
3	1			$\Sigma$ 1 1 0 -1

Buna göre unsur sırası; 2, 1, 3 şeklinde elde edilir. Şekil 4.9.'dan unsur takım yaklaşım yönleri:



Açık Delik(2) : +z, -z

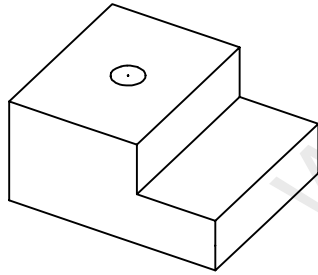
Adım (1) : -x, -z

Açık Kanal (3) : +z

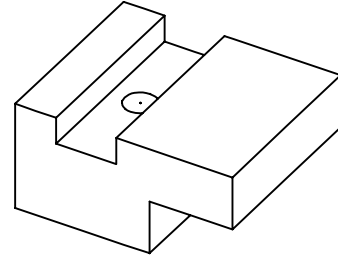
Unsurların takım yaklaşım yönleri incelendiğinde 1 ve 2 nolu unsurların 2 takım yaklaşım yönüne sahip oldukları görülür. Buna göre en az sayıda kurgu için sıralama şu şekilde yapılmalıdır:

1. Kurgu (-z) : 2,1
2. Kurgu (+z) : 3

1 ve 2 nolu unsurların -z yönünde ortak takım yaklaşım yönleri olduğundan bu yön takım yaklaşım yönü olarak seçilmelidir. Kurgu planı Şekil 4.11.'de verilmiştir.



a) Kurgu 1



b) Kurgu 2

Şekil 4.11. Örnek parça kurgu planı

## 5. APARAT TASARIMI ve PLANLAMA

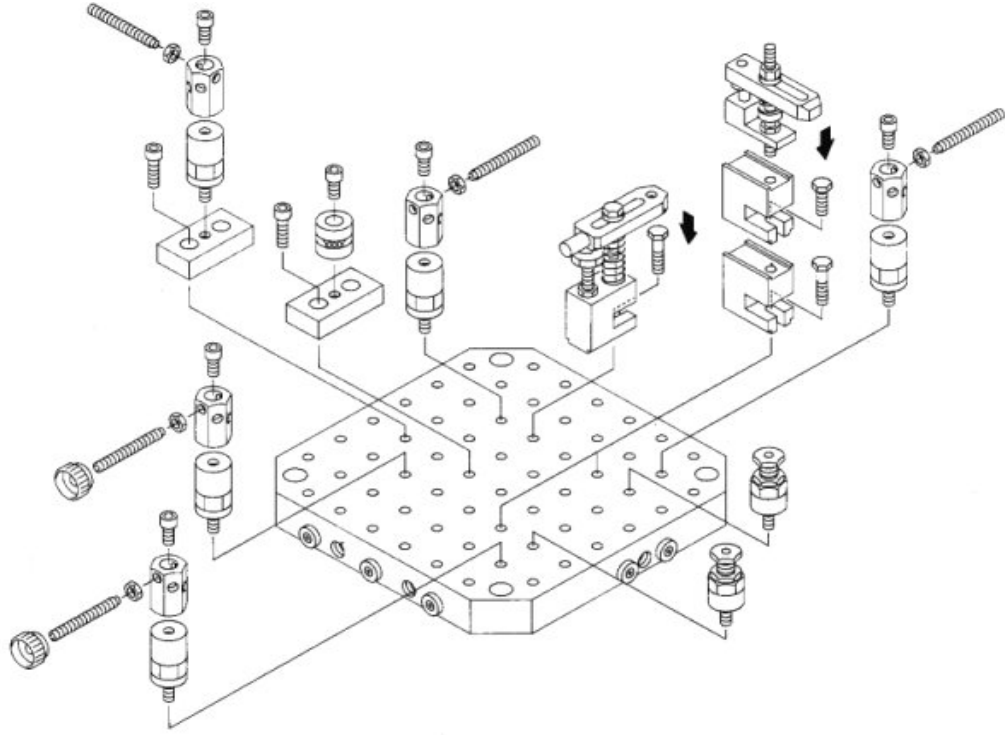
Aparatlar, iş parçasının istenen pozisyonda yerleş tirilmesi ve sabitlenmesi için talaş lı imalat, kontrol ve montaj iş lemlerinde kullanılan elemanlardır (ÖZTÜRK ve ark. 1996. DAI ve ark. 1997). Aparatların en önemli fonksiyonları, imalat iş lemlerinin tasarım istekleri çerçevesinde doğru ve kolay bir şekilde yapılabilmesini sağlamaktır. Günümüzdeki modern imalat sistemleri, isteğe bağlı olarak değiş en ve farklı ürünlerin karşı laş ıldığı küçük-orta hacimde parti ürünlere cevap veren sistemlerdir. Dolayısı ile, imalat yapısının sürekli değiş en dinamik bir yapıda olması kullanılan imalat sistemlerinin de buna uyumlu olmasını beraberinde getirir. Bir bağlama aparatından; iş parçasını çabuk ve tam olarak konumlandırması, uygun ve etkili bir şekilde desteklemesi, emniyetli bir şekilde operasyon sonuna kadar parçayı tutabilmesi beklenir

Esnek imalat sistemlerinin ortaya çıkması ile birlikte daha esnek ve verimli aparat sistemlerine ihtiyaç duyulmuş tur. Klasik aparat sistemleri bu esnekliğe sahip değildir. Modüler ve esnek aparat sistemleri bu ihtiyaçlara cevap verebilecek yapıdadırlar.

### 5.1. Modüler Aparat Sistemi

Klasik (kalıcı, parçaya özel) aparat tasarımında sadece belli bir parça için aparat elemanları tasarlanırken, modüler aparat sistemleri parça şeklinden bağımsız ve yeniden kullanılabilir elemanlardan oluş an bir set şeklinde kullanılmaktadır. Şekil 5.1'de bazı modüler aparat elemanları görülmektedir.

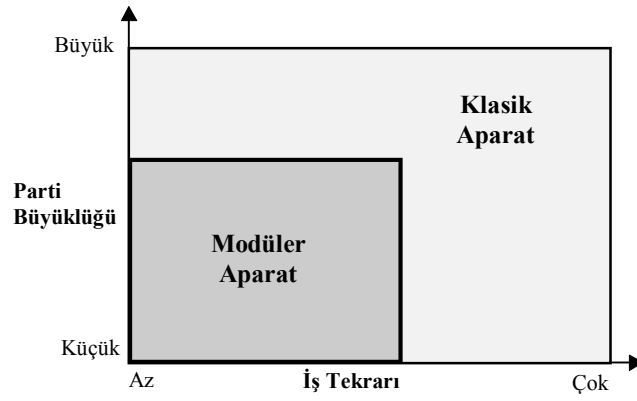
Tipik bir modüler aparat sistemi farklı geometrideki parçaları, farklı kombinasyonlarda montajını oluşturmak için yüzlerce aparat elemanlarından ibarettir ve montajları oldukça kolaydır (ş ekil 5.1.).



Şekil 5.1. Modüler aparat elemanları (KIPP modüler aparat kataloğu)

Hem klasik aparat sistemleri hemde modüler aparat sistemleri aynı fonksiyonu yerine getirirler. Talaş lı imalat esnasında parçanın desteklenmesi, hareketsiz biçimde tutulması ve istenen işleme doğruluğunun sağlanması, her iki sistemin de ortak amacıdır. Dolayısı ile, bu sistemlerden hangisinin seçileceği, fonksiyonlarına göre değerlendirmeden baş ka bir de ekonomiklik kriterine göre değerlendirilir. Burada en önemli faktör; yapılan iş in devamlılığıdır. Özellikle yüksek hacimli üretimlerde klasik aparat sistemleri daha uygundur; küçük partilerden oluş an değişik parça geometrili üretimlerde ise modüler aparat sistemleri daha uygun olmaktadır (CARR LANE, 1991).

Ayrıca tasarımdan üretime giden aş amalarda parçanın prototipi oluş turulurken modüler aparat sistemleri kullanmak uygun olur. Böylece her parça değişikliğinde o parça için aparat tasarlanmayıp mevcut modüler aparat elemanları kullanılarak daha kısa zamanda imalata geçilir. Klasik aparat tasarımında tasarımcının tecrübesine olan bağlılık modüler aparat sistemlerinde büyük ölçüde ortadan kalkmış tır.



Şekil 5.2. Aparat sistemi seçim kriteri (CARR LANE, 1991)

Modüler aparat sistemleri yeni olmayıp, 1940' lı yıllarda İngiltere ve daha sonra ABD' de ortaya çıkmış tır ve bugün Avrupa'da iş leme merkezlerinin yarısından fazlasında modüler aparat elemanları kullanılmaktadır. Klasik aparat sistemlerinde tecrübeli elemanlara olan ihtiyaç, modüler aparat elemanlarında azalmış tır. Az bir eğitimle bir kullanıcı yeni bir aparat sisteminin montajını 2-4 saatlik bir zaman aralığında gerçekleştirebilir (MILLER, 1988, CARR LANE, 1991).

Halder Modüler Aparat Sistemleri firması modüler aparatlar ile yapılan montaja harcanan zamanı 100 saatten 1.5 saate kadar indirmeyi başarmış tır (LIN ve HUANG, 1997).

İlk yatırım maliyeti modüler aparat sistemlerinde fazla olmakla beraber takip eden işlerde bu maliyet geri kazanılır. Başlangıç modüler aparat setleri 10000-15000 \$ arasındadır. İhtiyaca göre eleman sayısı belirlenmelidir. Tasarımı değişen veya yeni parçalarda hep aynı modüler aparat elemanları kullanılacağından bu elemanların depolanması sorunu da yoktur (MILLER, 1988).

Modüler aparat elemanları 4 farklı kategoride incelenebilir. Bunlar alt tabla, destek, dayama ve bağlama elemanlarıdır (DAI ve ark. 1997, LIN ve YANG, 1995, NGOI ve LEOW, 1994).

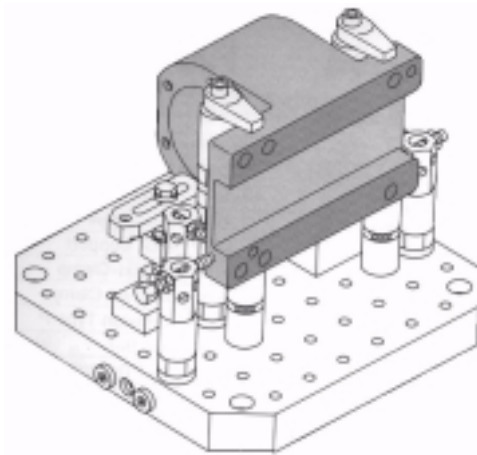
Alt tabla elemanı: T kanallı veya delik-matris tipinde olabilir. Fonksiyonel açıdan aralarında fark olmayıp montaj iş lemleri farklıdır. Ayrıca delik-matris alt tabla elemanlarının yerleş tirme hassasiyeti daha yüksektir. Bu yüzden delik-matris tipi modüler elemanlar daha fazla kullanım alanı bulmuş tur.

Alta tabla elemanlarının seçimi; parça büyüklüğüne ve şekline, iş leme şekline ve tezgah tipine bağlıdır. Yatay veya dikey iş leme tezgahı seçimine göre alt tabla elemanı seçilir. Şekil 5.3' te 3 farklı tipte alt tabla elemanları görülmektedir.



Şekil 5.3. Farklı alt tabla elemanları (KIPP modüler aparat kataloğu)

Alt tabla elemanları tezgaha bağlanır. Daha sonra modüler aparat elemanları ile iş parçası bu alt tabla üzerinde yerleş tirme kurallarına uygun olarak bağlanır. Şekil 5.4'te bir iş parçasının modüler aparatlarla bağlanmış resmi görülmektedir.



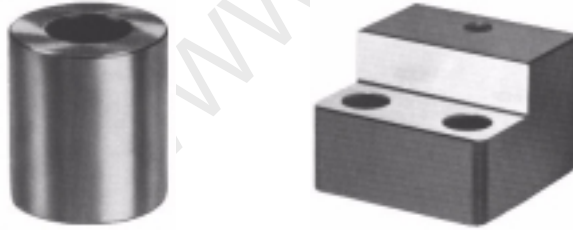
Şekil 5.4. İş parçasının modüler aparatlarla bağlanması (KIPP modüler aparat kataloğu)

Destek elemanları: Bu elemanlar parçanın alt yüzeyine yerleş tirilirler. Parçanın kendi ağırlığından, bağlama kuvvetlerinden, ve kesme kuvvetlerinden dolayı parça üzerinde oluş acak deformasyonları en aza indirmek için kullanılırlar (NGOI ve LEOW, 1994).



Şekil 5.5. Destek elemanları (KIPP modüler aparat kataloğu)

Dayama elemanları: İş parçasının pozisyonunu sabitlemek ve statik dengesini sağlamak görevini üstlenirler. Parça yan yüzeylerine yerleş tirilirler.



Şekil 5.6. Dayama elemanları (KIPP modüler aparat kataloğu)

Bağlama elemanları: Bağlama elemanları yan ve üst yüzeyden iş parçasını sıkış tirarak, iş parçasının destek ve dayama elemanları ile temasını sağlarlar. Yatay (yan yüzey) ve düş ey (üst yüzey) bağlama elemanları olmak üzere 2 tipte kullanılırlar.



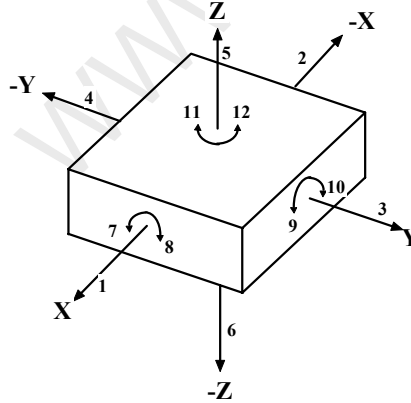
Şekil 5.7. Yatay ve düş ey bağlama elemanları (KIPP modüler aparat kataloğu)

Bu temel elemanlara ek olarak yardımcı elemanlarda kullanılır. Bunlar yükseltme, uzatma ve farklı tipte yerleş tirme elemanlarıdır.

## 5.2. Yerleş tirme Kuralları

Bağlama aparatlarının temel görevleri, iş parçasının istenen pozisyonda yerleş tirilmesi ve sabitlenmesi, statik dengesinin sağlanması ve tasarımda istenen boyut ve toleransların işleme sonunda elde edilmesidir (WARRINGTON, 1997).

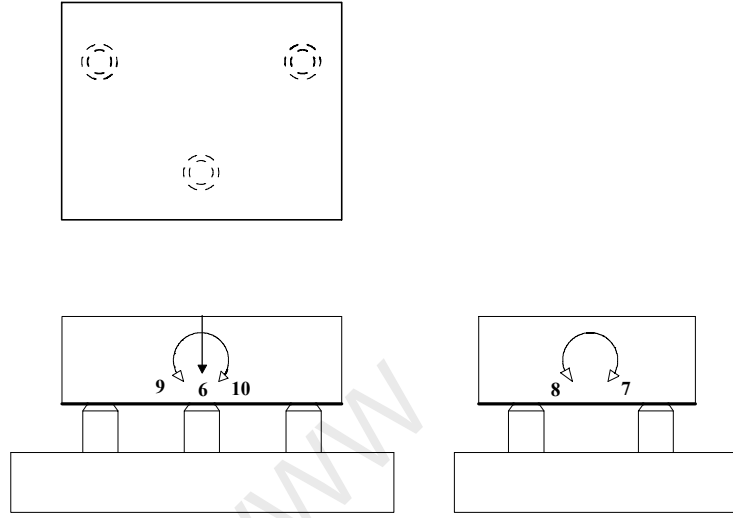
İş parçasının uygun bir şekilde yerleş tirilmesini sağlamak için yerleş tirme kavramı üzerinde durmak gerekir. Uzayda herhangi bir parça sonsuz sayıda hareket kabiliyetine sahiptir. Bununla beraber aparat yerleş tirme kavramında, yerleş tirme kavramının basitleştirilmesi için bu hareket yönleri Kartezyen koordinat sisteminde 12 serbestlik derecesine indirgenebilir (Şekil 5.8.).



Şekil 5.8. 12 serbestlik derecesi

Kartezyen koordinat sisteminde bu serbestlik dereceleri parçasının xyz eksen takımı ile ilişkilidir. 3 ekseninde 12 serbestlik derecesi olduğuna göre, her ekseninde 4 serbestlik derecesi mevcuttur. Bu serbestlik derecesi öteleme ve dönme olarak ikiye ayrılabilir. Herbir ekseninde farklı 2 öteleme, 2 de dönme hareketi tanımlıdır. Sabitlenmemiş bir iş parçasının 12 serbestlik derecesine sahip olduğu kabul edilir.

İş parçasının sabitlenmesi için bu 12 serbestlik derecesinin yok edilmesi gerekir. Bunun için değişik yöntemler mevcuttur, ancak en yaygın kullanılan metot 3-2-1 yerleş tirme metodudur ve prizmatik parçalar için uygundur. Bu metotta parça üzerinde birinci, ikinci ve üçüncü referans yüzeyleri seçilerek 1. referans yüzeyine 3 destek elemanı konur (ş ekil 5.9). 3 nokta bir düzlem tanımlar ve bu 3 nokta parçanın düş ey ekseninde yerleş tirilmesini sağlar.



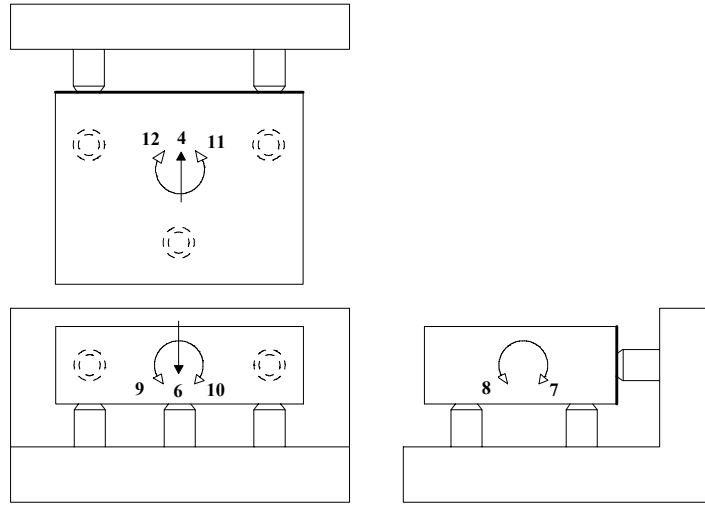
Şekil 5.9. Birinci referans yüzeyine dayama

Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi 3 nokta üzerine yerleş tirme sonunda parçanın 5 serbestlik derecesi sıfırlanmış olur (6, 7, 8, 9, 10). İkinci referans yüzeyine ise 2 dayama elemanı konur. Böylece 3 serbestlik derecesi daha sıfırlanmış olur (4, 11, 12) (ş ekil 5.10.).

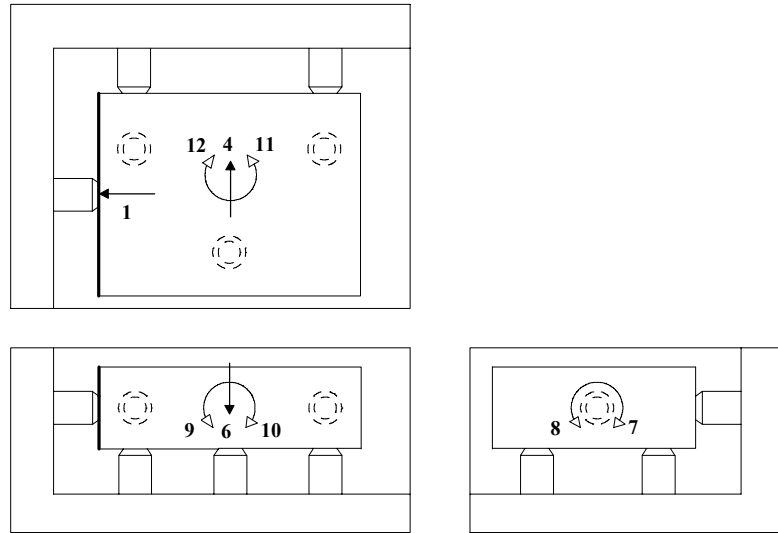
Son olarak üçüncü referans yüzeyine ise 1 dayama elemanı konarak 1 serbestlik derecesi daha sıfırlanır (1) (ş ekil 5.11.).

Geriye kalan 3 serbestlik derecesi ise (2, 3, 5), uygun bağlama elemanları ile sıfırlanarak parça hareketsiz hale getirilir (CARR LANE, 1991).



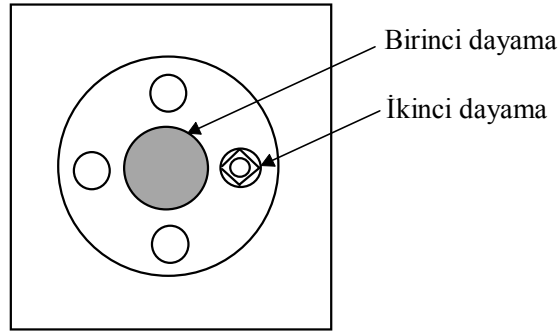


Şekil 5.10. İkinci referans yüzeyine dayama



Şekil 5.11. Üçüncü referans yüzeyine dayama

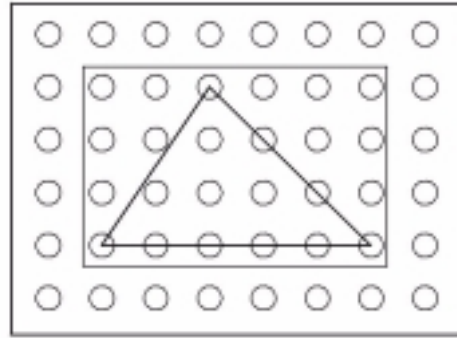
Diğer bir yerleşirme metodu ise iki veya daha fazla deliğe sahip parçalarda kullanılan yöntemdir. Burada parça düzlem bir tabla üzerine konarak iki sabitleme elemanı ile parçanın tamamen yerleştirilmesi sağlanır. Birinci yerleşirme elemanı parça merkezindeki deliğe yerleştirilerek 3 serbestlik derecesi sıfırlanır. İkinci sabitleme pimi ile toplam 11 serbestlik derecesi sıfırlanmış olur. Kalan 1 serbestlik derecesi ise bağlama elemanı ile yok edilerek parça hareketsiz hale getirilir (Şekil 5.12.).



Şekil 5.12. İki veya daha fazla delikli parçanın yerleş tirilmesi örneği (CARR LANE, 1991)

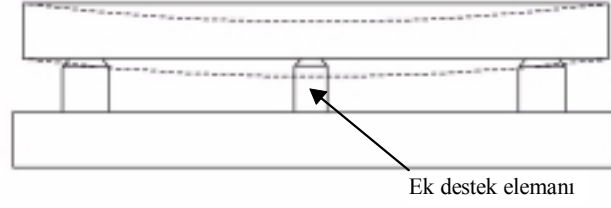
### 5.3. Destek, Dayama ve Bağlama Elemanları Yerleş tirme Prensipleri

3-2-1 yönteminde iş parçasının sabitlenmesi için ilk önce destek ve dayama yüzeylerinin seçilmesi gerekir. 3 destek elemanının konacağı yüzey parçanın alt yüzeyi olmalıdır. Bu üç eleman, parçanın statik dengesi açısından oluşturdukları alan maksimum olacak şekilde yerleş tirilmelidir (Şekil 5.13.).



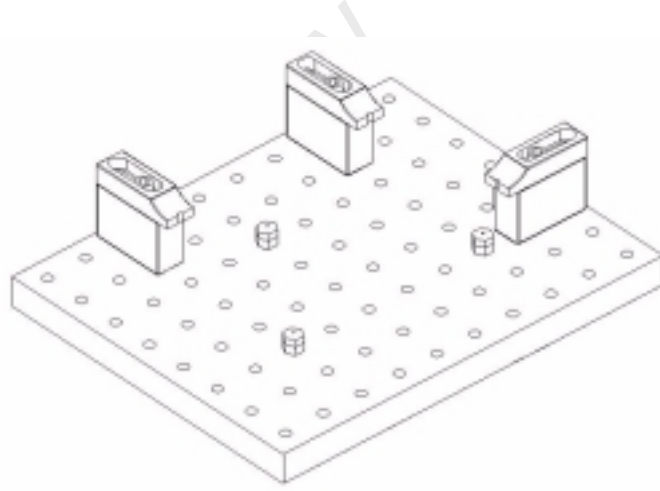
Şekil 5.13. Destek elemanlarının yerleş tirilmesi

Ayrıca parçanın ağırlık merkezinin bu üçgenin içinden geçmesi denge açısından gereklidir. Eğer parça alt yüzey alanı büyükse, deformasyona uğrayacak bölgelere ek destek elemanları konabilir (Şekil 5.14.).



Şekil 5.14. Ek destek elemanı kullanılması

İki dayama elemanının konacağı dayama yüzeyi, statik denge açısından parçanın yan yüzeylerinden (alt destek yüzeyine dik) uzun kenara sahip olan yüzeylerden seçilmelidir. İki dayama elemanı bu yüzey üzerine konumlandırılır. Üçüncü dayama yüzeyi ise ikinci dayama yüzeyine dik yüzeylerden birisi seçilir ve bir dayama elemanı üzerine konumlandırılır. Şekil 5.15.'te destek ve dayama yüzeyleri seçildikten sonra alt tabla üzerine montajı yapılmış modüler aparat elemanları görülmektedir.

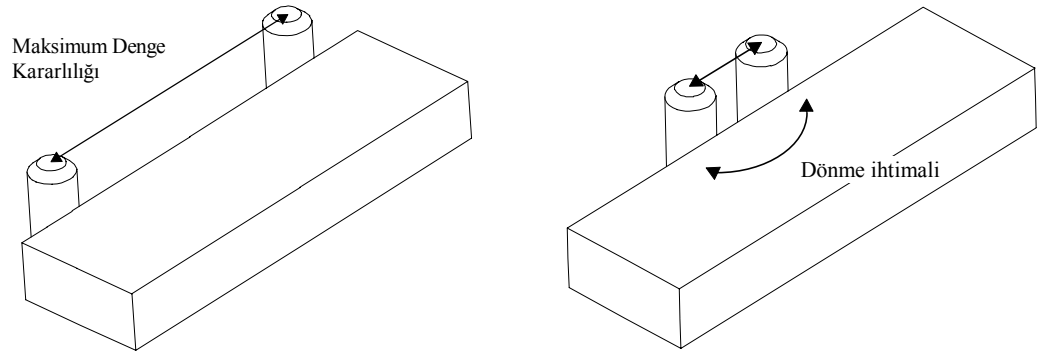


Şekil 5.15. Modüler destek ve dayama elemanları

Dayama elemanlarının uygun bir şekilde yerleştirilmesi ile parçanın istenen hassasiyette işlenmesi gerçekleştirilir. Ayrıca bu aparatla işlenecek tüm iş parçalarının aynı işleme hassasiyetinde olması sağlanır.

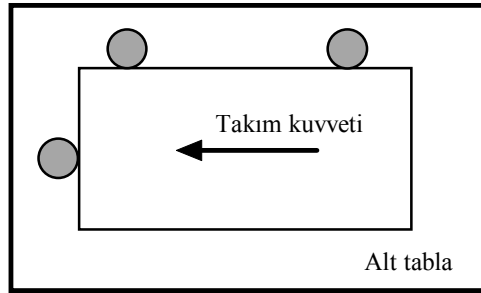
Genel olarak dayama elemanları yerleştirme prensipleri şu şekilde özetlenebilir:

- Referans yüzeyleri rijit, düz ve büyük alana sahip olmalıdır.
- Dayama elemanları mümkün olduğunca birbirinden uzak konumlandırılmalıdır. Parçanın geometrisine göre, dayama elemanları arasındaki uzaklık fazla ise işleme esnasında yüksek deformasyonlar olabilir, eğer mesafe az ise bu kez parçanın dengesi bozulabilir. Parçanın uzunluğuna göre uygun bir yer tespit edilmelidir.



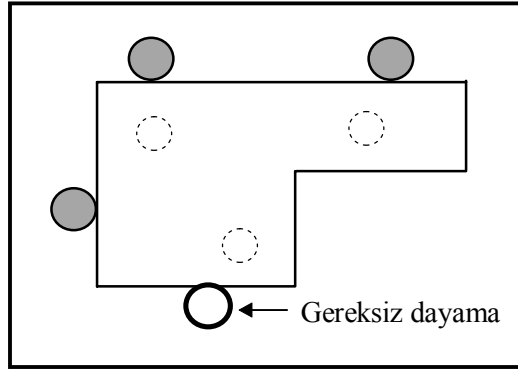
Şekil 5.16. Dayama elemanları arasındaki mesafe miktarı (CARR LANE, 1991).

- Dayama elemanları takım kuvvetlerine karşı gelecek şekilde konumlandırılmalıdır (Şekil 5.17.). Böylece deformasyonlar azaltılabilir.



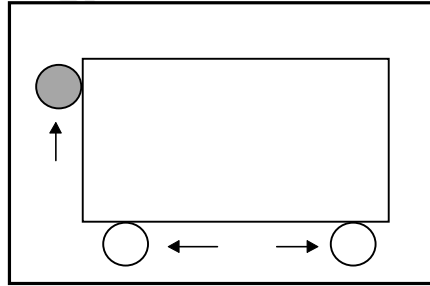
Şekil 5.17. Dayama elemanları takım kuvvetlerine zıt yönde yerleştirme (PACHECO, 1993).

- 6'dan fazla dayama elemanı kullanılması durumunda yerleşimde belirsizlik (redundancy) oluşacağı için parça düzgün olarak yerleştirilemeyeceğinden kaymalar oluşabilir (Şekil 5.18.).



Şekil 5.18. Yerleş tirmede belirsizlik içeren konfigürasyon

- 6 dayama elemanı mümkün olduğunca geniş bir alanı kapsayacak şekilde yerleş tirilmelidir. Böylece parça dengesi daha kolay sağlanabilir.
- Dayama elemanları iş lenmiş düzgün yüzeyler üzerine konumlandırılmalıdır.
- Dayama elemanları mümkün olduğunca aynı yükseklikte bulunmalıdır. Kesme kuvvetlerinden dolayı oluş acak deformasyonlar bu sayede azaltılabilir.
- Denge açısından 3. referans yüzeyine konacak dayama elemanı, 2. dayama yüzeyinin uzak köş esine konulmalıdır (ş ekil 5.19.)



Şekil 5.19. Üçüncü dayama elemanı yerleş im örneği (JENG ve GILL, 1997)

- Kesici takım ile dayama elemanları kesiş meyecek şekilde yerleş tirme iş lemi yapılmalıdır.

Parça iş leme ve yerleş tirme hassasiyeti açısından destek ve dayama elemanları aparat tasarımında önemli bir yere sahip olmakla birlikte; bağlama elemanları da iş leme, montaj ve kontrol sırasında parçanın istenen pozisyonda kalmasını sağlamaları

açısından önemlidir. Bağlama elemanlarının parça üzerine doğru şekilde uygulanması ile iş parçasının istenen işleme hassasiyeti elde edilir. İşleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve aparat bağlama kuvvetleri, bağlama elemanı seçiminde ve uygulanmasında göz önüne alınmalıdır.

Bağlama elemanlarının temel fonksiyonu, iş parçasının destek ve dayama elemanları ile olan temasını işleme boyunca sağlamaktır. Yan yüzeylere ve üst yüzeye konumlandırılır. İşleme esnasında, iş parçasının dayama ve destek elemanları ile devamlı temasta olması ve ayrılmaması işleme hassasiyeti açısından son derece önemlidir. Bu yüzden bağlama elemanlarının ve iş parçası üzerindeki konumlarının dikkatle seçilmesi gerekir ve mümkünse takım kuvvetlerine karşı gelecek şekilde konulmamalıdır.

Bağlama elemanları parça üzerine konumlandırılırken en uygun bölge olarak iş parçasının rijit bölgeleri seçilmelidir. Böylece bağlama esnasında deformasyon ihtimali azalır. Eğer bu şekilde uygun bir yer bulunamazsa ek destek elemanı kullanılarak bu bölgenin rijitliği artırılmalı ondan sonra bu bölgeye bağlama elemanı tatbik edilmelidir.

Bağlama elemanlarını yerleştirirken diğer önemli bir nokta ise, takım ile kesişme meselesidir. Takımın işleme esnasında parça üzerinde bulunacağı yerlere veya yakın bölgelere bağlama elemanı konulmamalıdır. Bu elemanların yüksekliği mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Ayrıca bağlama esnasında uygulanacak yüksek bağlama kuvvetleri parça üzerine geçici deformasyona sebep olur, parça aparatlardan söküldükten sonra eski haline döner ve istenen işleme toleransları elde edilemez. Bağlama kuvvetlerinin büyüklüğü, kesme kuvvetlerine, parça geometrisine ve tecrübeye bağlıdır.

Bağlama sırasında dikkate edilecek noktalar şu şekilde özetlenebilir:

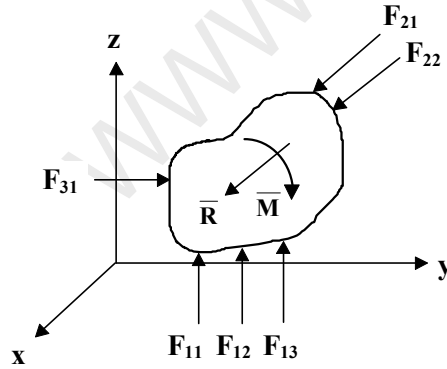
- Doğrudan destek elemanlarının üzerine uygulanmalıdır.
- Alt tabla elemanına paralel veya dik yüzeyler üzerine uygulanmalıdır.

- Bağlama kuvveti parçayı destek ve dayama elemanlarından ayırmayacak şekilde minimum değerde olmalıdır.
- Parçanın sökülmesi ve tekrar takılması işlemlerinin kolaylaşacak şekilde yerleş tirilmelidir.
- Bağlama kuvvetleri, parçanın tüm dayama ve destek elemanları ile temasını sağlayacak şekilde uygulanmalıdır.
- İşlenecek yüzeyler üzerine bağlama elemanı gelmemelidir.
- Önceden işlenmiş yüzeyler üzerine mümkün ise bağlama elemanı konulmamalıdır.

Aparat yerleş tirme kurallarının tümü Ek-4' te verilmiş tir.

#### 5.4. Aparat-İş Parçası Analizleri

##### 5.4.1. Statik Analiz



Şekil 5.20. Serbest cisim diyagramı

Kesme kuvvetleri matematiksel olarak, kuvvet vektörü ve moment olarak tanımlanabilir. İş parçası üzerine etki eden kuvvetler ve kesme kuvvetleri karş ı oluş an reaksiyon kuvvetleri statik açıdan birbirini dengelemelidir. İş parçasının ağırlık merkezine etki eden yük vektörü R, ve moment M olarak tanımlıdır. 3-2-1 yöntemine göre basitleş tirilmiş serbest cisim diyagramı üzerinde, kesme kuvvetine karş ı etkiyen aparat kuvvetleri Ş ekil 5.20.'de görülmektedir.

xy düzleminde 3 destek noktasında oluş an reaksiyon kuvvetleri  $F_{11}$ ,  $F_{12}$ ,  $F_{13}$ , yz düzleminde  $F_{21}$ ,  $F_{22}$  ve xz düzleminde ise  $F_{31}$  olarak verilmiş tir.

Statik denge şartına göre;

$$\sum_{i=1}^3 F_i = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^3 M_i = 0 \quad (2)$$

$$R_x = F_{21} + F_{22}$$

$$R_y = F_{31}$$

$$R_z = F_{11} + F_{12} + F_{13} \quad (3)$$

ve moment dengesinden;

$$\sum_{i=1}^3 F_{ij} a_{i+3,j+3} = M_a \quad i=1,2,3 \quad a = x, y, z \quad (4)$$

Burada  $a_{ij}$ ' ler  $M_a$  momentini oluşturan moment kolu değerleridir. (3) ve (4) eşitlikleri düzenlenip matris şeklinde ifade edilirse;

$$\begin{Bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{11} \\ F_{12} \\ F_{13} \\ F_{21} \\ F_{22} \\ F_{31} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Burada R ve M değerleri kesme kuvvetleri ve momentlerine karşı gelmekte, F değerleri ise pozitif reaksiyon kuvvetleri olup bu matris eşitliğinden elde edilecek değerlerdir. Bu matris eşitliği Gauss Eliminasyon metodu ile çözülerek F değerleri elde edilir. Dayama sayısının fazla olması durumunda sistem statik olarak belirsiz olacağından (bilinmeyen sayısının denklem sayısından fazla olması) sistem çözümsüz hale gelir. Dayama ve destek elemanlarının sayısının 6'dan fazla olması durumunda



analitik çözüm mümkün olmadığından sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmelidir.

#### **5.4.2. Dinamik analiz**

Kesme kuvvetlerinin parça üzerinde yerdeğiş tirmesi dikkate alınarak yapılan analizlerle parçanın işleme boyunca dengede kalıp kalmadığı bulunan reaksiyon kuvvetlerinin incelenmesi ile anlaşılır. Ayrıca gerekli bağlama kuvvetleri tayin edilebilir ve parçanın dengesinin sağlanması için ek aparat elemanlarının yerleşimine karar verilebilir.

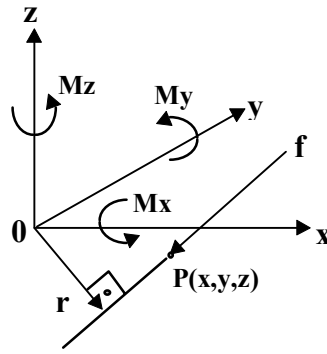
Dinamik analizler, kesme kuvvetlerinin parça üzerindeki belli noktalarında analizleri ile yapılır. Kesme kuvvetleri belli adımlarla kesme yönü boyunca ilerletilerek analizler gerçekleştirilir. Bu analizler için en uygun yöntem sonlu elemanlar metodudur.

Bu konuda yapılan çalışmalar oldukça azdır ve yeterli düzeyde değildir.

#### **5.4.3. Aparat-İş Parçası Kinematik Analizleri**

##### **5.4.3.1. Vida Teorisi**

Vida teorisine göre, 3 boyutlu ortamda bir parçanın hareketi; belirli bir eksende dönme ve aynı eksende öteleme olarak tanımlanabilir. Bu iki hareketin birleş tirilmiş şekline vida hareketi (twist) adı verilir. Benzer şekilde bir cisim üzerine etki eden kuvvet ve momentlerde; belirli bir eksen doğrultusunda kuvvet ve bu eksen üzerinde kuvvet çifti olarak tanımlanır. Bu kuvvet ve kuvvet çiftine ise vida bileş ke kuvveti (wrench) denir (CHOU ve ark. 1989).



Şekil 5.21. Bir cisim üzerine etkiyen kuvvet

P noktasına etki eden kuvvet,  $f = \{f_x, f_y, f_z\}$  olarak tanımlanır. 0 noktasına göre vida bileş ke kuvvet ifadesi;

$$w = \frac{1}{|f|} \{f_x, f_y, f_z, M_x, M_y, M_z\}^T \quad (6)$$

olarak tanımlanır. Burada,  $\{M_x, M_y, M_z\}^T = r \times f$  olarak verilmiş tir. r değerleri, 0 dan f'nin doğrultusundaki çizgiye olan dik uzaklıklardır.

Vida hareketi ise  $t = \{v_x, v_y, v_z, w_x, w_y, w_z\}$  olarak tanımlanır. v doğrusal hız, w ise açısal hıza karş ılık gelir (LEE ve CUTKOSKY, 1991).

#### 5.4.3.2. Tam Yerleş im Şartı

Sürtünme ihmal edilirse, temas vida hareketlerinin kesiş imi boş vektör olmalıdır:

$$t_1 \cap t_2 \cap \dots \cap t_n = \emptyset \quad (7)$$

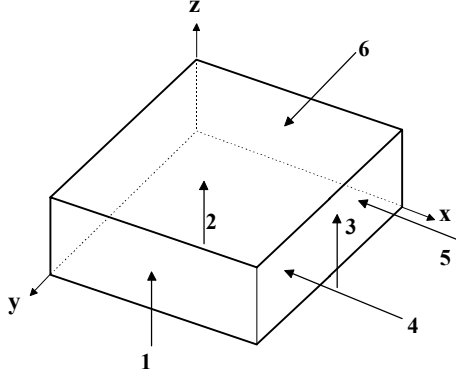
Şekil 5.22.'de;

Birinci referans yüzeyindeki vida hareketi :  $t_{123} = [1, 1, 0, 0, 0, 1]^T$

İkinci referans yüzeyindeki vida hareketi :  $t_{45} = [0, 1, 1, 1, 1, 0]^T$

Üçüncü referans yüzeyindeki vida hareketi:  $t_6 = [1, 0, 1, 1, 1, 1]^T$

$$t_{123} \cap t_{45} \cap t_6 = \emptyset \quad (8)$$



Şekil 5.22. 3-2-1 yönteminde temas vida hareketleri

### 5.4.3.3. Kinematik Hareket Kısıtlaması

SHIMMELS ve PESHKIN (1992)' e göre, Ohwovoriol (1981), bir iş parçasının kinematik olarak hareketsiz olmasını, sistemin virtüel iş değerinin sıfırdan küçük olması durumunda sağlandığını ifade etmiştir. Eğer;

$w^T t \geq 0$  ise  $t$  hareketi kısıtlanmamıştır. Düzlemsel hareket için vida bileş ke kuvveti ve vida hareketi ifadeleri ;

$$w = \begin{bmatrix} f \\ rxf \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad t = \begin{bmatrix} rxw \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (9)$$

olarak yazılır. Burada ;

$f$  : Aparat elemanından iş parçası üzerine gelen kuvvet

$r$  : Orijininden temas noktasına olan yön vektörü

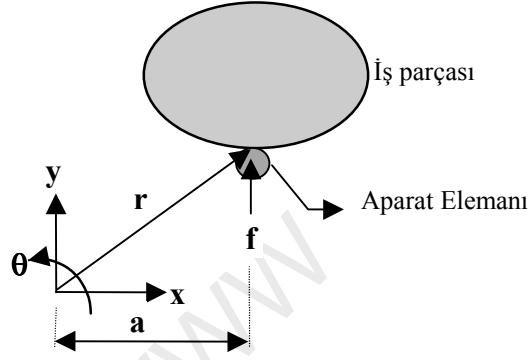
$v$  : İş parçasının orijinde ölçülen doğrusal hızı

$\omega$  : İş parçasının açısal hızı

Ohwovoriol ve Roth (1981), virtüel iş metodunun sonucunu 3 durumda sınıflandırmıştır:

1. İtici :  $w^T t > 0$ , vida hareketleri iş parçasını aparat elemanlarından uzaklaştırarak iş parçası ile aparat elemanları arasındaki teması bozmaktadır.
2. Ters :  $w^T t = 0$ , vida hareketleri iş parçasının aparat elemanları ile temasını sağlamaktadır.
3. Karşıt :  $w^T t < 0$ , vida hareketleri rijit aparat elemanlarını iş parçasının içine doğru itmektedir.

Virtüel iş prensibine göre itici ve ters durum koşullarında hareket kinematik olarak kısıtlanmamıştır.



Şekil 5.23. Hareket kısıtlanması

Şekil 5.23'de verilen iş parçası aparat elemanı temasında,  $f = [0, 1]^T$  ve  $\tau = r \cdot x f = a$  olduğuna göre;  $w^T t \geq 0$  ise  $t$  hareketi kısıtlanmamıştır.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} \geq 0 \text{ dır.} \quad (10)$$

Bu eşitliğin çözümünden,  $v_y + a\omega \geq 0$  olarak bulunur.  $v_x$  değerinin keyfi bir değer alınması ve  $v_y$  değerinin ise  $v_y + a\omega \geq 0$  şartını sağlayacak şekilde seçilmesi durumunda kinematik olarak hareket kısıtlanmamış olacaktır (SHIMMELS ve PESHKIN, 1992).

#### 5.4.3.4. Toplam Kinematik Sınırlama (Şekil-Kapalı: Form-Closure)

Tüm aparat elemanlarının oluştuğu virtüel işler negatif ise sistem kinematik olarak hareketsizdir ve şekil-kapalı şartı sağlanır.

Cisimlerin serbestlik dereceleri ve kısıtlamalar ile ilgili çalışmalar ilk defa 1876'da Reuleaux tarafından yapılmıştır. Bu alandaki çalışmalar daha çok robotik konusu üzerinedir. Robot ellerinin parçayı kavraması ve sıkıca tutması için gerekli koşullar incelenmiş ve analizler yapılmıştır (ASADA ve BY, 1985. HOLZMANN ve McCARTHY, 1985. BICCHI, 1995. PONCE ve ark. 1997).

Reuleaux, düzlemsel bir parçanın şekil-kapalı şartını sağlaması için en az 4 temas noktasına ihtiyaç olduğunu göstermiştir. Somov, vida teorisini kullanarak üç boyutlu ortamda şekil-kapalı şartı için en az yedi temas noktasına ihtiyaç olduğunu belirlemiştir. Lakshminarayana ise Reuleaux ve Somov'un sonuçlarını doğrulamış ve sonuçları izah etmiştir. Ohwovoriole, virtüel iş prensibini kullanarak bir nesnenin tamamen nasıl sabitlendiğini göstermiş ve kısıtlanmamış hareketleri tanımlamıştır (SHIMMELS ve PESHKIN, 1992).

Eğer sürtünmeler dikkate alınır ise iki boyutlu ortamda 3 temas, üç boyutlu ortamda ise 4 temas, şekil-kapalı şartı için yeterlidir (PONCE ve ark. 1997.).

Robotik konusunda, bir cismin tutulup kavranması ve aparat kullanılarak iş parçasının sabitlenmesi arasında benzerlikler mevcuttur. Her iki alanda da bir parçanın geometrik açıdan serbestlik derecelerinin yok edilmesi ve sabitlenmesi analizleri (şekil-kapalı, form-closure) ve sıkma ve tutma kuvvetleri ile parçanın sabitlenmesi analizleri (kuvvet-kapalı, force-closure) söz konusudur. Kuvvet-kapalı sistemde sabitleme sürtünme kuvvetleri ile sağlanır. Bu sisteme en iyi örnek mengene mekanizmasıdır.

Bir robot elinin parçayı kavraması ile aparat-iş parçası arasında benzerlikler olduğu gibi farklılıklarda mevcuttur. Her iki kavram arasında fonksiyonel açıdan fark;

aparar-ış parçası sisteminde yerleşim doğruluğunun daha önemli olduğudur. Diğer önemli fark ise sürtünme kuvvetlerinin rolüdür. Robot elinin parçayı tutmasında sürtünme kuvvetleri önemli rol oynar. Birçok robot uygulamasında tutma olayı sadece sürtünme kuvvetleri ile sağlanır. Ancak aparat-ış parçası sisteminde; kesme kuvvetlerinin büyük olması ve dinamik olarak değişmesi nedeniyle sürtünme kuvvetleri ile aparatın sabitlenmesi oldukça zordur. Bu yüzden aparat-ış parçası sistemlerinde sabitleme olayı ş ekil-kapalı sistemi ile sağlanır (CHOU ve ark., 1989).

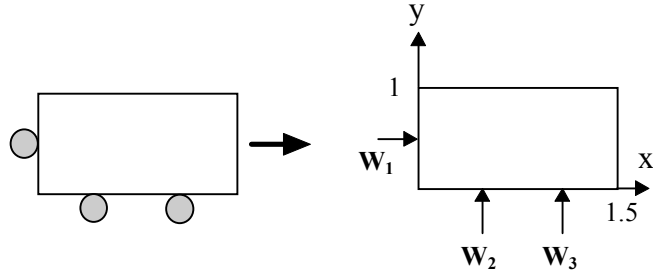
#### 5.4.4. Deterministik Yerleşim

Bir aparat-ış parçası yerleşim ş emasında, eğer iş parçasının sonsuz küçük hareketi için, tüm temas noktalarında temas devam ediyorsa iş parçası deterministik olarak yerleş tirilmemiş demektir. Bu kavram ilk defa Asada ve By (1985) tarafından tanımlanmış tır. Düzlemsel bir aparat sisteminin deterministik olması için 3 bağımsız temas vida bileş ke kuvveti gereklidir (SHIMMELS ve PESHKIN, 1992). Diğer bir deyiş le eğer;

$$rank(W)=N \quad (11)$$

ise iş parçası deterministik olarak yerleş tirilmiş demektir. Burada,  $W=[w_1, w_2, \dots, w_m]$ 'dir.  $W$  matrisi, aparat-ış parçası temas noktalarında oluş an vida bileş ke kuvveti değerleridir ve her eleman  $W$  matrisinde kolon olarak bulunur.  $N$  ise serbestlik derecesi olup, düzlem uygulamalarında 3, üç boyutlu uygulamalarda ise 6 olarak alınır.

Deterministik ve deterministik olmayan durumlara örnek aş ağıda verilmiş tir (SHIMMELS ve PESHKIN, 1992).



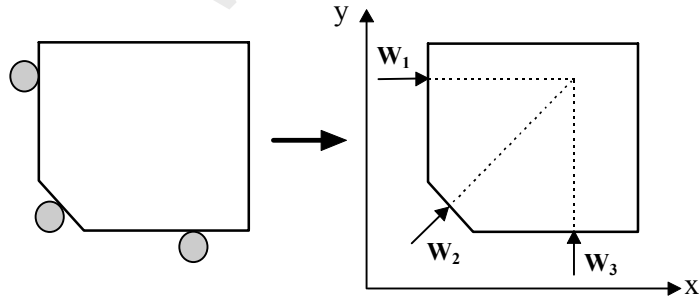
Şekil 5.24. Deterministik yerleşim

Temas vıda bileş ke kuvvetleri  $w_i^T = [f_x, f_y, \tau]$ , ş u ş ekilde yazılır:

$$w_1^T = [1, 0, -0.5], \quad w_2^T = [0, 1, 0.5], \quad w_3^T = [0, 1, 1] \quad (12)$$

$$\text{rank}(W) = \text{rank} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ -0.5 & 0.5 & 1 \end{bmatrix} = 3 \quad (13)$$

olduğu için sistem deterministik bir yerleşim sağlar.



Şekil 5.25. Deterministik olmayan yerleşim

Şekil 5.25.'deki yerleşim ş emasında temas vıda bileş ke kuvvetleri;

$$w_1^T = [1, 0, -1], \quad w_2^T = [0.707, 0.707, 0], \quad w_3^T = [0, 1, 1] \quad (14)$$

$$\text{rank}(W) = \text{rank} \begin{bmatrix} 1 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0.7071 & 1 \\ -1 & 0.5 & 1 \end{bmatrix} = 2 \quad (15)$$

$\text{rank}(W)=2<3$  olduğu için bu yerleşim deterministik değildir.

### 5.5. Aparat-İş Parçası Sentezi

Bir aparat konfigürasyonu aşağıdaki denklemle ifade edilebilir (CHOU ve ark. 1989).

$$[W_p, W_a] [F_p, F_a]^T + f_c w_c = [0] \quad (16)$$

Burada p indisi dayama elemanlarını (pasif), a indisi ise bağlama elemanlarını (aktif) temsil etmektedir.  $W_p$  ve  $W_a$  normalleştilmiş vida bileşke kuvveti matrisleri,  $F_p$  ve  $F_a$ , bu elemanlardaki kuvvetleri,  $f_c w_c$  ise kesici takımından gelen vida bileşke kuvvetini göstermektedir.

Genel olarak bir aparat sisteminde bağlama elemanlarının konabileceği aday noktalar oldukça fazladır. Her bir dayama seti  $W_p$  için bağlama elemanlarının belirlenmesi problemine; aktif vida bileşke kuvvetlerinin değerleri ve sıralanması, dayama elemanlarının parça ile temasını sağlayan  $F_p$  kuvvetlerinin pozitif olması için çözüm aranır. Ayrıca deterministik yerleşim için  $W_p$ 'nin rankı düzlem için 3, 3 boyutlu parçalar için 6 olmalıdır.

3-2-1 yerleşimi için, yukardaki ifade şu şekilde değiştirilebilir;

$$[F_p] = -[W_p^{-1} W_a] [F_a] - [W_p^{-1} w_c] f_c \quad (17)$$

Farklı notasyonlar kullanılarak sadeleştirme işleminden sonra;



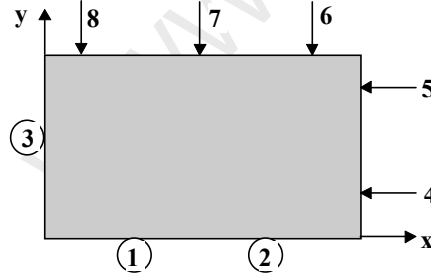
$$[F_p] = \sum_A f_i V_i + f_c V_c \geq 0 \quad (18)$$

Burada  $f_i$  değeri  $F_a$ 'nın bileşenleri,  $V_i$  değeri  $[-W_p^{-1} w_i]$ , A ise aktif elemanlar kümesidir.

Bağlama elemanları vida bileşke kuvvetleri parçayı dengede tutmaya çalışırken, kesme vida bileşke kuvvetleri ise parçanın dengesini bozmaya çalışır.

(18) denklemindeki eşitsizlik ifadesi, bağlama elemanları vida bileşke kuvvetinin oluşturduğu ( $\sum f_i V_i$ ) sıkma değerinin, kesme kuvveti vida bileşke kuvveti ( $-f_c V_c$ )'den büyük olması gerektiğini belirtir.  $F_p$  vektörü dayamalarda reaksiyon kuvvetine karşılık gelir.

Yukarıda verilen denklemleri 2 boyutlu bir örnekle açıklayalım.



Şekil 5.26. Bağlama kuvvetleri ve seçimi için örnek yerleşim

Şekil 5.26.'daki örnekte 3 dayama elemanı ve 5 aday bağlama yeri verilmiştir. Bu bağlama elemanlarından hangilerinin seçileceği (18) denklemini yardımı ile bulunabilir.

$F_p$  vektörünün  $f_1, f_2, f_3$  olmak üzere 3 bileşeni vardır ve bağlama elemanlarının, dayama elemanları üzerindeki reaksiyon kuvvetlerini ifade eder.

Dayama ve bağlama noktalarının koordinatları;

$d_1(2,0)$ ,  $d_2(4,0)$ ,  $d_3(0,2)$ ,  $b_4(6,1)$ ,  $b_5(6,3)$ ,  $b_6(5,4)$ ,  $b_7(3,4)$ ,  $b_8(1,4)$  olarak verilir. Dayama ve bağlama kuvvetleri 1 birim alınırsa vida bileş ke kuvveti matrisi şu şekilde elde edilir:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 2 & 4 & -2 & 1 & 3 & -5 & -3 & -1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$W_p = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & -2 \end{bmatrix} \quad W_a = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 3 & -5 & -3 & -1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$W_p^{-1} = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -0.5 \\ 1 & -1 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$V = [-W_p^{-1} w_a], \quad V = \begin{matrix} & V_4 & V_5 & V_6 & V_7 & V_8 \\ \begin{matrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -0.5 & 0.5 & -0.5 & 0.5 & 1.5 \\ 0.5 & -0.5 & 1.5 & 0.5 & -0.5 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (22)$$

$$F_p = f_4 \begin{bmatrix} -0.5 \\ 0.5 \\ 1 \end{bmatrix} + f_5 \begin{bmatrix} 0.5 \\ -0.5 \\ 1 \end{bmatrix} + f_6 \begin{bmatrix} -0.5 \\ 1.5 \\ 0 \end{bmatrix} + f_7 \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} + f_8 \begin{bmatrix} 1.5 \\ -0.5 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

(22) denkleminde  $V_4$ ,  $V_5$ ,  $V_6$ ,  $V_8$  vektörleri negatif değerleri ihtiva etmektedir. Bunun anlamı, bu bağlama elemanları dayama noktalarında negatif reaksiyon kuvvetleri oluş tururlar demektir. İş parçası dayama elemanlarından ayrılabilir veya kayabilir.  $V_7$  vektöründe  $f_1$  ve  $f_2$  elemanları pozitif olmasına rağmen,  $f_3$  elemanı sıfırdır. 7 nolu bağlama elemanı iş parçasının dengesi açısından ilk önce uygulanmalıdır. Bununla beraber iş parçasının 3 nolu dayama elemanı üzerine sıkış tırmak için bir bağlama elemanına daha ihtiyaç vardır.  $V_4$  ve  $V_5$  vektörlerinin  $f_3$  bileş enleri pozitif olması

dolayısıyla her ikisinde, uygun bağlama kuvveti belirlenerek, ikinci bağlama elemanı olarak seçilebilir. Örneğin  $f_7=2$  ve  $f_4=1$  seçilirse  $F_p=[0.5, 1.5, 1]^T$  olarak elde edilir. İkinci bağlama elemanı parça üzerine uyguladığı zaman 1 ve 2 nolu dayama elemanlarında sürtünme kuvvetleri sorun olabilir. Bu yüzden 7 nolu bağlama elemanı önce hafif şekilde sıkılmalı, 4 nolu bağlama elemanı sıkıldıktan sonra 7 nolu eleman sıkılmalıdır (CHOU ve ark. 1989).

CAI ve ark. (1997), varyasyonel yaklaşımla aparat-ış parçası analizleri yapmışlardır. Deterministik yerleşim ve yerleşirme hatalarının minimum olması için 3-2-1 metodunun en uygun metot olduğunu ve bir kürenin hiçbir şekilde deterministik olarak yerleştirilemeyeceğini ispat etmişlerdir. Ayrıca şekil 5.26.'da, 3 nolu dayamanın karşısına gelecek bağlama elemanının, parçanın dengesi açısından 3 nolu dayamanın karşısına konulması gerektiğini belirtmişlerdir.

## 5.6. Aparat-İş Parçası Sonlu Elemanlar Analizi

İş parçasının aparatlar ile sabitlenmesinde düşünülmesi gereken bir diğer önemli nokta ise iş parçası üzerinde oluşan elastik deformasyonların en az olması gerektiğidir. Bağlama elemanlarının iş parçası üzerine uyguladığı kuvvetler ve kesme kuvvetleri iş parçası üzerinde elastik deformasyona sebebiyet verirler. İşleme toleranslarının belli sınırlar içinde kalması, bu kuvvetlerin etkisi altında kalan iş parçasının deformasyon büyüklüğüne de bağlıdır. İş parçası dayamalar üzerine yerleştirildikten sonra, bağlama elemanları ile sıkılır. Sıkma sırasında uygulanacak aşırı sıkma kuvvetleri iş parçasının orijinal şeklini bozar. Bu şekilde işleme yapıldığı takdirde, aparatlardan söküldükten sonra orijinal halini alan parça üzerindeki yüzeylerde istenen hassasiyet elde edilemez. Bu yüzden sıkma kuvvetlerinin uygun bir değerde olması gerekir. Sıkma kuvvetlerini ayarlanması büyük ölçüde operatörün tecrübesine bağlıdır. Optimum bağlama kuvvetleri konusunda yapılan çalışmalar çok az ve yetersizdir.

Bir diğer etki ise kesme kuvvetlerinin iş parçası üzerinde sebep olduğu

deformasyonlardır. İş parçası uygun aparatlar ile bağlanıp sabitlendikten sonra parça üzerine etki eden kesme kuvvetleri iş parçasında deformasyona sebep olurlar. Kesme kuvveti değerlerinin yüksek oluşu veya iş parçasının uygun şekilde bağlanmaması nedeniyle bu tür problemler ortaya çıkabilir ve işleme hassasiyeti bozulur. Daha önce bahsedilen yerleş tirme ve bağlama kuralları ile uygun şekilde yerleş tirme yapılmalı ve gerekiyorsa ek destek ve dayama elemanları kullanılmalıdır.

Statik denge analizi ile, altıdan fazla aparat elemanının kullanıldığı iş parçasının analizi, sistemin belirsiz olması nedeniyle (bilinmeyen sayısı denklem sayısından fazla) mümkün değildir ve bu yöntemle parça üzerindeki deformasyonlar ve reaksiyon kuvvetleri hesaplanamaz. Ayrıca yapılan kinematik analizler, parçanın kinematik olarak hareketinin sınırlandırılması ile ilgilidir. Kinematik analizlerde kesme kuvvetleri dikkate alınmaz. Bu yüzden öngörülen aparat konfigürasyonunun sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilip bu konfigürasyonun uygun olup olmadığının ortaya çıkarılması ve elde edilen sonuçlar ile ek destek elemanları kullanılıp kullanılmamasına karar verilmesi gerekir.

Parça üzerindeki deformasyonların azaltılması için bağlama kuvvetlerinin optimum olması gerekir. Ayrıca ek destek elemanları yerine mevcut destek yerlerinin optimizasyonu ile de deformasyonlar azaltılabilir. Analiz sonucunda elde edilen yerdeğiş tirme değerlerine göre, yerdeğiş tirmenin fazla olduğu bölgelere ek destek elemanları konarak bu bölgelerdeki deformasyonlar sınırlandırılabilir.

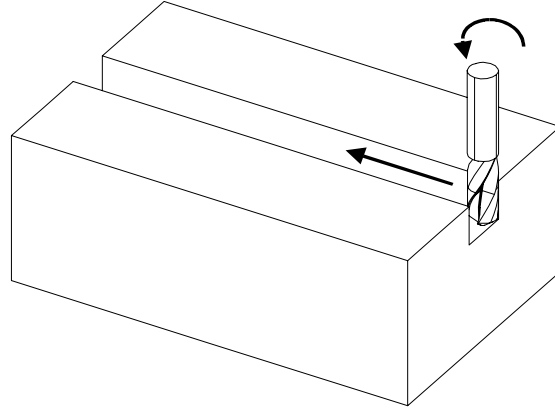
Aparat yerleş tirme kuralları ile oluşturulan konfigürasyonun, kesme kuvvetleri altındaki davranışı incelenmeli ve problem varsa gerekli önlemler alınmalıdır. Bu yüzden aparat yerleş tirme problemlerinde takımın hareketinin de dikkate alındığı sonlu elemanlar ile analiz kaçınılmazdır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan aparat-iş parçası analizlerinde genel olarak şu eksiklikler görülmüş tür ve ilgili yayınlar parantez içinde belirtilmiş tir.

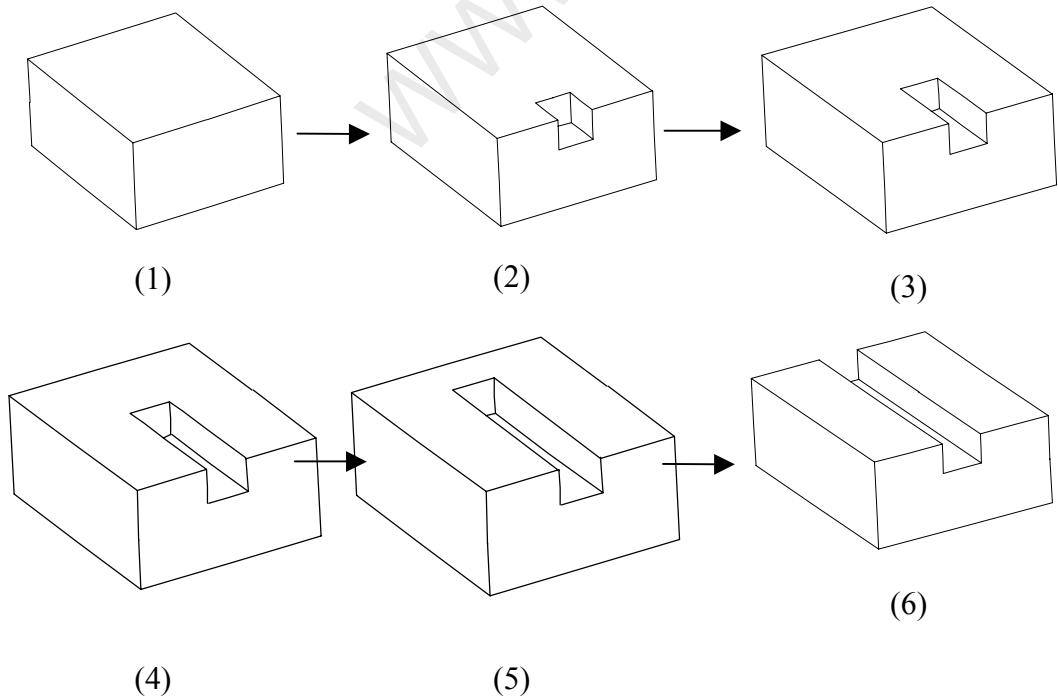
- Talaş kaldırma esnasında, takım parça üzerinde zamana göre yer değişikliği halde, yapılan analizler statiktir. Yani kuvvetin yeri parça üzerinde sabit tutulup buna göre analizler yapılmıştır. Bu ise gerçek durumdan oldukça uzaktır (LEE ve HAYNES, 1987. MENASSA ve DeVRIES, 1991. ROY ve ark., 1997. KASHYAP, 1997. LI ve MELKOTE, 1999. WANG ve ark., 1999).
- Yapılan optimizasyon işlemleri oldukça basit parçalar için yapılmıştır (LEE ve HAYNES, 1987. MENASSA ve DeVRIES, 1991. ROY ve ark., 1997. KASHYAP, 1997. LI ve MELKOTE, 1999).
- Destek yerlerinin optimizasyonunda statik durum dikkate alınmıştır (LEE ve HAYNES, 1987. MENASSA ve DeVRIES, 1991. ROY ve ark., 1997. KASHYAP, 1997. LI ve MELKOTE, 1999). Optimizasyon işlemi statik durum için yapıldığından pratikte uygulama imkanı yoktur. Ayrıca bir kurguda birden fazla unsur işleme olacağından optimizasyon yaparken tüm unsurlar dikkate alınmalıdır. O kurgudaki tüm unsurların işlendiği düşünülmeli, optimizasyon işlemi buna göre yapılmalıdır.
- Kesme kuvvetinin konumunun değiştiğini dikkate alıp inceleyen iki çalışma mevcuttur (MEYER ve LIOU, 1997. WANG ve ark. 1999). Meyer ve Liou, yaptıkları çalışmada, doğrusal programlama ile dinamik kesme kuvvetlerini dikkate alarak uygulanması gereken bağlama kuvvetlerinin tayini için bir algoritma geliştirmişlerdir. Ancak zamana göre parça üzerinden kaldırılan talaş miktarı dikkate alınmamıştır. Wang ve ark. (1999) ise bir aparat-iş parçası sisteminde bağlama elemanlarına gelen kuvvetleri deneysel olarak tespit etmişlerdir ve bağlama elemanları sıkma kuvvetinin talaş kaldırma sırasında değişken olarak uygulanması gerektiğini savunmuşlardır. Aynı şekilde geliştirilen yöntemde parça üzerinden kaldırılan talaş miktarı dikkate alınmamıştır. Zamana göre parça üzerinden talaş kaldırıldığından parçanın rijitliği azalacak ve deformasyon miktarı artacaktır.

Bu çalışmada, herbir unsurun işlenmesi esnasında, yukarıda bahsedilen eksiklikler dikkate alınarak daha gerçekçi bir yaklaşım sunulmuştur. Takımın bir kurgu

boyunca dolaştığı düşünülerek kesme kuvvetleri de takımın konumuna göre yerdeğiştirmiş ve kaldırılan talaş miktarı parça üzerinden eksiltiştir. Böylece işleme zamanı boyunca bağlama elemanlarına gelen reaksiyon kuvvetleri incelenerek, problemlerin tasarım aşamasında ortaya çıkması sağlanarak gerekli önlemlerin alınmasına imkan verilmiştir.



Şekil 5.27. Takımın kanal unsurunu işleme sırasında hareketi



Şekil 5.28. Bir kanal unsurunun işleme aşamaları

Ticari BDT programlarının gelişmesi ve buna paralel olarak gelişen sonlu

elemanlar analiz programlarıyla bu tür analizler yapılabilmektedir. Ayrıca sınır şartı olarak verilecek olan kesme kuvvetlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

### 5.6.1. Kesme Kuvvetleri

İş parçası üzerinden talaş kaldırılması esnasında takımdan parça üzerine bazı kuvvetler etki eder. Bu kuvvetler iş lemin tipine ve karakteristiğine göre değişir. Bu kuvvetler için bazı ampirik formüller geliştirilmiştir.

Plaketli (insert) delici takım için kesme koşullarının seçimi aşağıdaki eşitlikler ile yapılabilir (HALEVI ve WEILL,1995):

$$f = 0.3 \left( \frac{D}{56} \right)^{0.424} \left( \frac{R_a}{12.5} \right)^{0.4} \quad (24)$$

$$v_c = \frac{7.32D^{0.6}}{f^{0.3} \left( \frac{HBN}{220} \right)^{0.9}} \quad (25)$$

$$t = \frac{\pi DL}{v_c f} \quad (26)$$

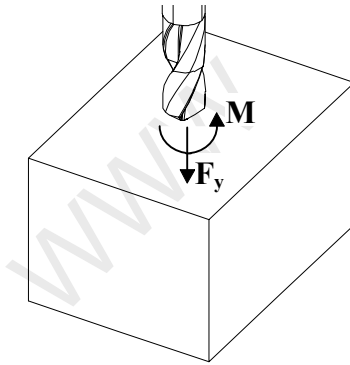
Delme iş lemi sırasında oluşan ilerleme yönündeki aksenal kuvvet ve moment değeri;

$$F_y = 0.23D^{1.4} f^{0.8} HBN^{0.75} \quad (27)$$

$$M = \frac{0.4D^2 f^{0.75} HBN^{0.7}}{1000} \quad (28)$$

ile verilir. Bu denklemlerde;

- $f$  : İlerleme hızı (mm/dev)  
 $v_c$  : Kesme hızı (m/dak)  
 $M$  : Moment (Nm)  
 $F_y$  : Eksenel kuvvet (N)  
 $D$  : Delik çapı (mm)  
 $L$  : Delik uzunluğu (mm)  
 $HBN$  : İş parçası Brinell sertlik değeri  
 $R_a$  : Delik yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )  
 $t$  : İşleme zamanı (dak)



Şekil 5.29. Delme iş leminde delme kuvveti ve moment

Kanal, cep ve adım unsurlarının işlenmesinde hem alın hemde çevresel kesme yapabilen saplı frezeler kullanılır. Alın frezeleme için kesme kuvvetleri ise şu şekilde alınabilir (HALEVI ve WEILL,1995):

Bir diş için teğetsel kuvvet;

$$F_z = \left( \frac{a}{\sin \kappa} \right) \left[ \left( \frac{360}{\pi} \right) \left( \frac{1}{\theta} \right) f_z \sin \kappa \left( \frac{B_r}{D} \right) \right] \left[ 0.214(HBN) + 298 \right] \left( \frac{0.2}{h_m} \right)^{0.3} \left[ \frac{\gamma + 7}{66.7} \right] \quad (29)$$



$$h_m = \left( \frac{360}{\pi} \right) \left( \frac{1}{\theta} \right) f_z \sin \kappa \left( \frac{B_r}{D} \right) \quad (30)$$

Herhangi bir anda z kadar diş kesme iş lemi yapıyor ise toplam teğetsel kuvvet;

$$F_S = F_z z \left( \frac{\theta}{360} \right) \quad (31)$$

olacaktır.

$\theta$  : Kesme kavrama açısı

$f_z$  : diş başına ilerleme (mm/diş , ince iş lemede 0.1-0.2, kaba iş lemede 0.2-0.5 arası)

$a$  : kesme derinliği (mm)

$\kappa$  : yerleş tirme açısı (45-90° arası)

$\gamma$  : talaş açısı (5-10°)

$B_r$  : kesme genişliği (mm)

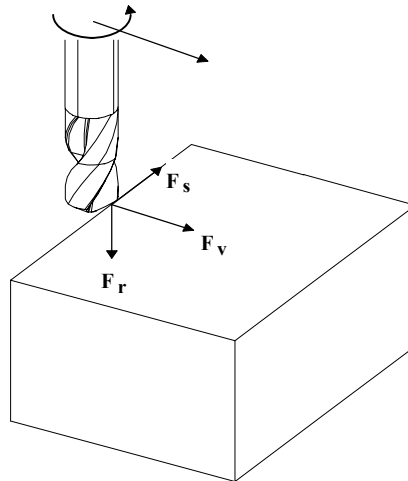
$D$  : kesme çapı (mm)

$z$  : kesme iş lemi yapan diş sayısı

$h_m$  : ortalama talaş kalınlığı (mm)

Ortalama radyal kuvvet ( $F_R$ ) ve ortalama ilerleme kuvveti ( $F_V$ ) deneylere dayanan aş ağıdaki bağıntılara göre tayin edilebilir (AKKURT, 1985):

$$F_R = (0.85 \dots 0.95) F_S \quad F_V = (0.3 \dots 0.4) F_S \quad (32)$$

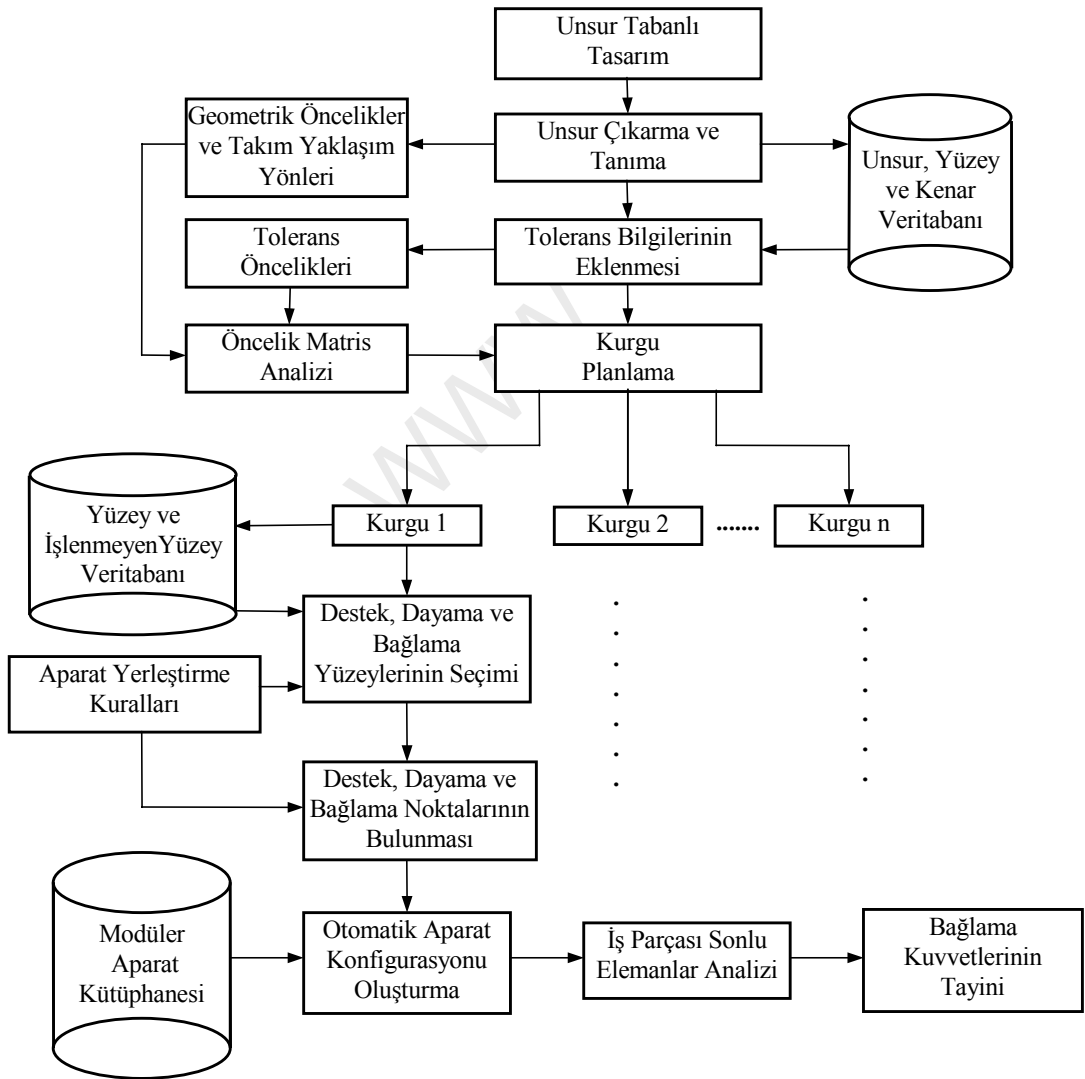


Şekil 5.30. Parmak freze ile frezeleme iş leminde kuvvetler



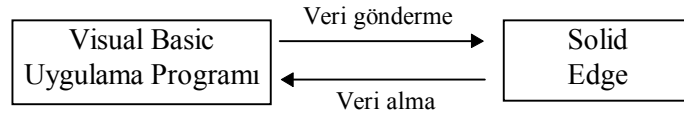
## 6. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde dikey işleme merkezinde işlenecek bir parçanın otomatik işleme planlaması için geliştirilen yöntem ve algoritmalar sunulmuş tur. BDT ortamında modellenen prizmatik bir iş parçasından imalat unsurlarının çıkarılması, kurgu planının elde edilmesi, aparat konfigürasyonunun oluşturulması ve son olarak bu konfigürasyonun takımın konumuna bağlı olarak sonlu elemanlar metodu ile analiz edilip bağlama kuvvetlerinin tayini şeklindeki iş akış diyagramı Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.1. İş akış diyagramı

BDT ortamı olarak SolidEdge 4.0 (SolidEdge, 1997), programlama dili olarak ise Visual Basic 5.0 (Visual Basic, 1997) kullanılmıştır. Programlar Windows NT işletim sistemi altında çalışmaktadır. Nesne yönelimli (object oriented) programlama tekniği ile SolidEdge programına müdahale edilebilmektedir. Bu etkileşim, mevcut modelden bilgi alma veya SolidEdge programına komut gönderme şeklindedir ve OLE Otomasyonu olarak bilinmektedir. OLE Otomasyonunda SolidEdge programı, programlama dillerinin ulaşabilmesi amacıyla bazı nesne ve fonksiyonları erişilebilir halde tutmaktadır. Böylece SolidEdge çalışırken modelleme ve veri alma ile ilgili birtakım nesnelere, fonksiyonlar ve bunların özelliklerine ulaşarak, hem SolidEdge programına komut gönderme hemde mevcut modelden geometrik bilgilerin (örneğin Brep bilgileri) alınması mümkün olmaktadır.



Şekil 6.2. SolidEdge ve Visual Basic arasındaki etkileşim

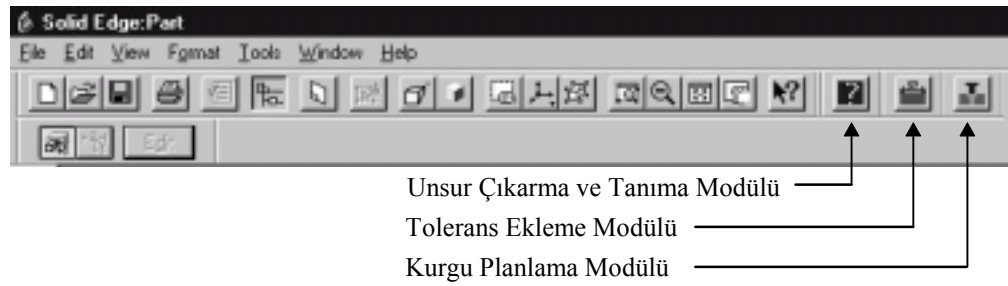
Örneğin SolidEdge programında bir daire çizildiği zaman aynı zamanda bir daire nesnesi (object) oluşturulur. Dairenin koordinatları ve yarıçapı gibi bilgiler ise bu nesnenin özellikleri (properties) içinde saklanır. Dairenin yarıçapı değiştirildiği zaman daire nesneside değişir. Nesnenin özelliklerine ek olarak dairenin kopyalanması, silinmesi, çoğaltılması gibi işlemler ise metodlar (method) yardımıyla yapılır.

SolidEdge programında programda 4 modül bulunmaktadır. Part, assembly, draft ve sheet metal. Part modülünde modelleme, assembly modülünde montaj, draft modülünde 2 boyutlu çizim ve sheet metal modülünde ise saç parça modelleme işlemleri yapılmaktadır.

Geliştirilen yazılımlar SolidEdge programına bir ikon olarak eklenebilmektedir. Bu çalışmada, parça modelleme kısmında;

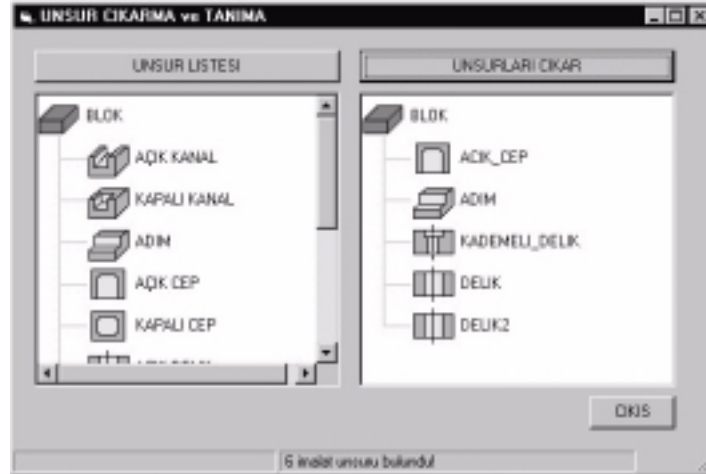
- unsur tanıma ve çıkarma,
- tolerans ekleme,
- kurgu planlama

şeklinde 3 yazılım geliştirilmiş tir (şekil 6.3). Ayrıca aparat konfigürasyonunun otomatik oluş turulması için montaj modelleme içerisinde modül olarak eklenen aparat montajı programı yazılmış tir. Oluş turulan kurgu konfigürasyonlarının takım konumuna bağılı analizi için ANSYS 5.4 (ANSYS, 1997) programı kullanılmış tir.



Şekil 6.3. SolidEdge programına eklenen modüller

### 6.1. Unsur Çıkarma ve Tanıma

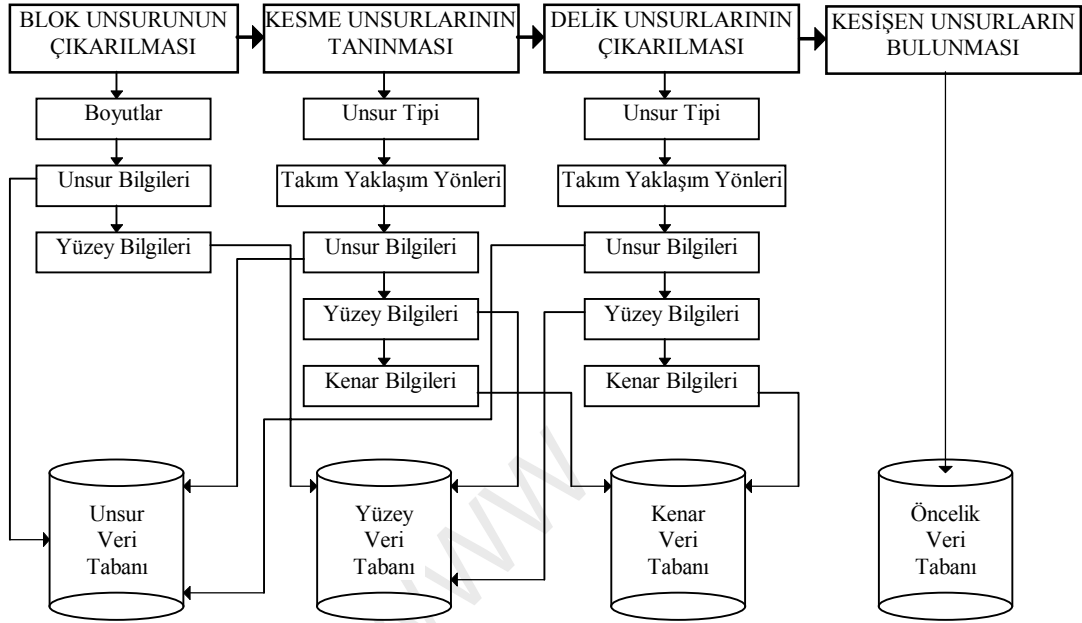


Şekil 6.4. Unsur çıkarma ve tanıma ekranı

Bu modülde, parça modeli oluş turulduktan sonra, şekil 6.3.'ta görülen unsur çıkarma ve tanıma ikonu tıklanarak yukarıda görülen form ekrana gelir. Bu formda, sol

tarafında unsur kütüphanesi bulunmakta, sağ tarafta ise o parçadan çıkarılan unsurların isimleri görülmektedir.

Geliştirilen yazılım ile unsur çıkarma ve tanıma işlemlerinde aşağıdaki yol izlenmiştir.



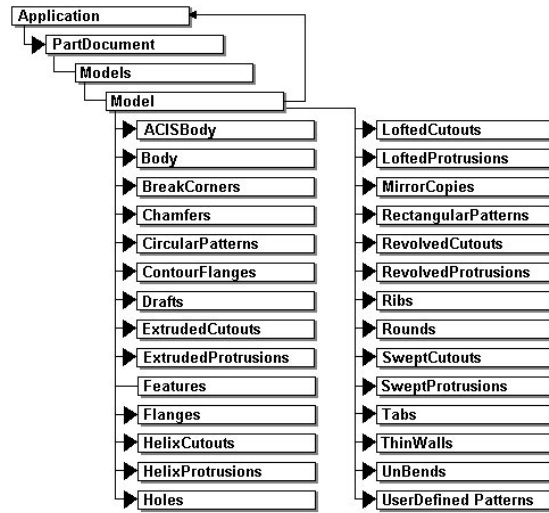
Şekil 6.5. Unsur çıkarma ve tanıma akış diyagramı

Şekil 6.5.' te verilen işlemler, modellenen iş parçasının geometrik verilerinden faydalanılarak gerçekleştirilir. Part modülünde modellenen bir parçanın geometrik verilerine ulaşmak için izlenecek yol Şekil 6.6.'da verilmiştir.

Mevcut modeldeki unsurlara ulaşmak için şu yol izlenir:

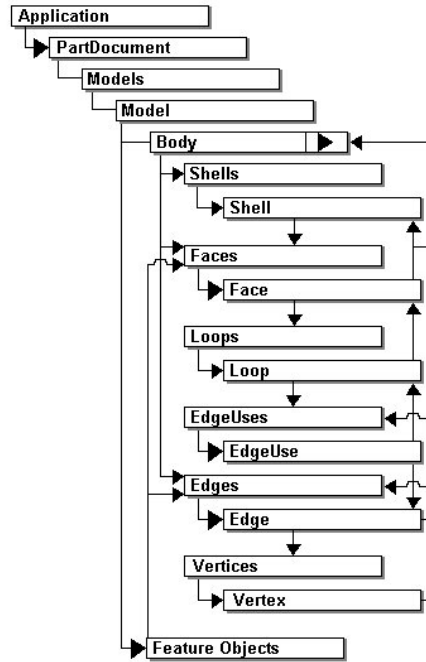
```

Set GetObjApp=GetObject(,"SolidEdge.Application")
Set GetObjPart=GetObjApp.ActiveDocument.Models(1)
Set ObjFeatures=GetObjPart.Features
  
```



Şekil 6.6. Part modülü nesne hiyerarşisi

Ayrıca modellenen parçanın BRep bilgilerine de ulaşmak mümkündür. BRep yapısında, parçanın yüzey, kenar ve köşelerin geometrik verileri saklanır. Bu bilgilere ulaşmak için izlenecek yol şu şekildedir:



Şekil 6.7. İş parçası BRep bilgileri

Parça yüzey bilgilerine ulaşmak için izlenecek yol;

```

Set GetObjApp=GetObject(,"SolidEdge.Application")
Set GetObjPart=GetObjApp.ActiveDocument.Models(1)
Set PartBody=GetObjPart.Body
Set PartFaces=PartBody.Faces(iqQueryAll)

```

Parçanın tüm yüzey bilgileri PartFaces nesnesinde toplanır. Tek tek parça yüzeylerine ise,

```
PartFaces(1), PartFaces(2), .. , PartFaces(n)
```

şeklinde ulaşılır. Aynı işlemler köşe (vertex), kenar (edge), döngü (loop) içinde geçerlidir. Örneğin 2 nolu yüzeydeki köşe noktalarına,

```
Set PartVertices=PartFaces(2).Vertices ile ulaşılır.
```

Parçanın yüzey ve kenar bilgilerine ulaştıktan sonra bu nesnelerin özellikleride bulunabilir.



Şekil 6.8. Yüzey ve kenar özellikleri

Bu çalışmada prizmatik parçalar ile ilgilenilmiş tir. Parçanın modellenmesi için ilk önce ana blok öteleme ile oluşturulur (extruded protrusion). Daha sonra bu blok üzerinde kesme işlemleri gerçekleştirilir (extruded cutout). Kesme işlemleri için ilk önce çalışma yüzeyi seçilir, o yüzeye kesme profili çizilir ve profil ötelenerek kesme işlemi gerçekleştirilir. Blok, kesme ve delik oluşturma nesnelere ulaşım hiyerarşisi aşağıdaki şekilde verilmiştir.





Şekil 6.9. Blok, kesme ve delik nesnelere

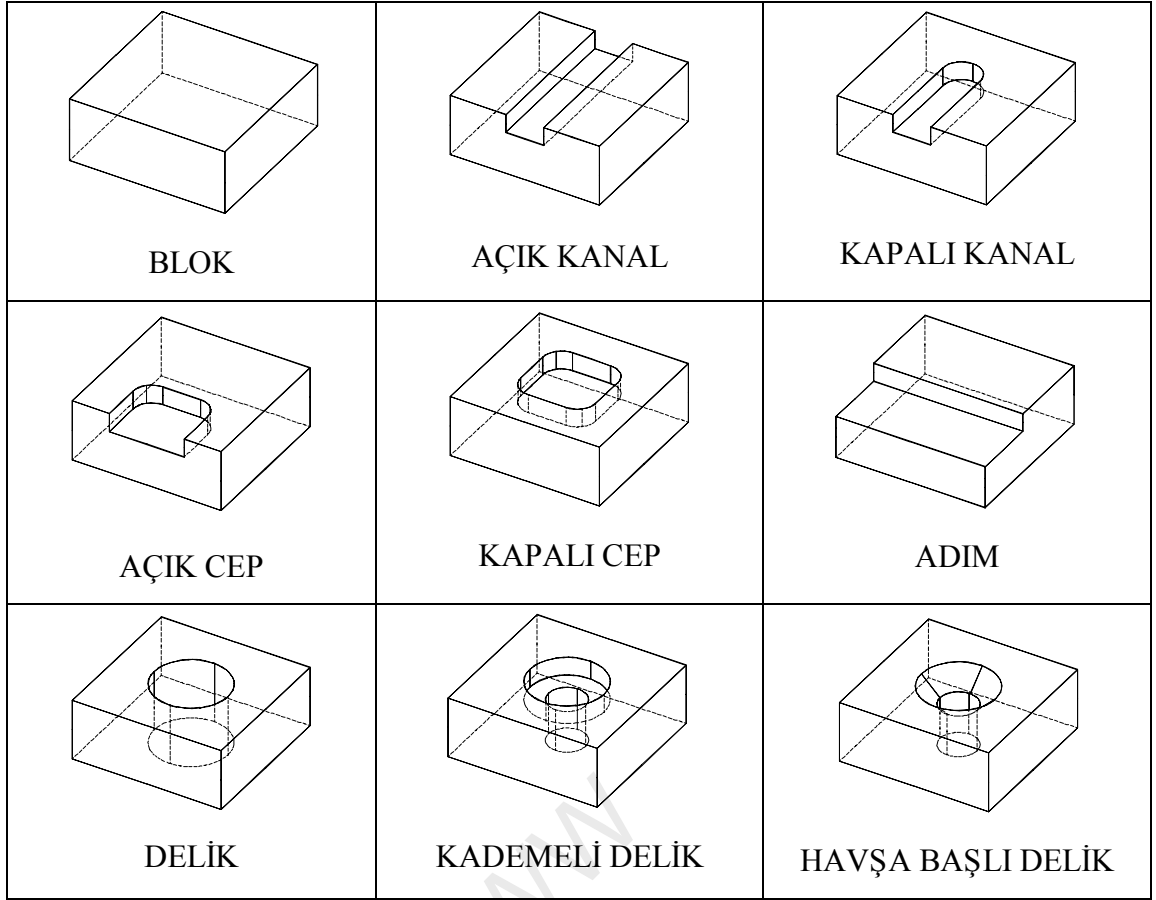
Parça üzerinde bulunan imalat unsurlarının çıkarılması için Şekil 6.9’ da verilen hiyerarşiler takip edilerek parçanın geometrik bilgileri elde edilir. Bu bilgilerin yardımıyla unsur tanıma ve çıkarma algoritmaları kullanılarak imalat unsurları belirlenir. Bu çalışmada parça veritabanından tanınan ve çıkarılabilen unsur kütüphanesi Şekil 6.10.’da verilmiştir. Model üzerinden her bir unsur ve ilgili parametreleri çıkarıldıktan sonra bu bilgiler diğer işlemlerde kullanılmak üzere unsur veritabanına yazılır. Ayrıca yine bu işlem sırasında unsur veritabanına ilave olarak kenar, yüzey ve öncelik veritabanları da oluşturulur.

Hazır nesne olarak bulunan unsurlar doğrudan çıkarılır. Bunlar blok (extruded protrusions) ve delik (holes) unsurlarıdır. Bu unsurlar için unsur tanıma işlemi gerekmez. Diğer unsurlar kesme (extruded cutouts) nesnesi içinde yer alırlar ve her bir kesme nesnesinin hangi unsura denk geldiği unsur tanıma işlemi ile bulunur.

Blok unsuru öteleme (extruded protrusions) nesnesi içinde yer alır. Aşağıdaki şekilde çıkarılır.

```
Set GetObjPro=GetObjPart.ExtrudedProtrusions
```

GetObjPro nesnesinin özelliklerinden başlangıç blok parçasının yüzey, kenar, köşe bilgileri elde edilir.



Şekil 6.10. Çıkarılabilen ve tanımlanabilen unsurlar

Açık kanal, kapalı kanal, açık cep, kapalı cep, adım unsurları ExtrudedCutouts nesnesi içinde yer alır. Bu unsurlara şu şekilde ulaşılır.

```
Set ObjCut=GetObjPart.ExtrudedCutouts
n= ObjCut.Counts
```

Bu gruptaki unsurlar  $ObjCut(1), ObjCut(2), \dots, ObjCut(n)$  şeklinde bulunurlar. Her bir unsur tek tek kontrol edilerek unsurun tipi belirlenir. Bunun için unsurların yüzey sayısı ve yüzey tipleri kullanılmıştır.

Açık kanal unsurunun tanınması için şu algoritma kullanılır:

1.  $i=1$  den  $n$ 'e kadar
2.  $i$ . Unsurun yüzey sayısını bul.

3. N=düzlem yüzey sayısı
4. M=silindirik yüzey sayısı
5. Eğer N=3 ve M=0 ise bu unsur AÇIK KANAL unsurudur.
6. Sonraki unsura geç.

Benzer şekilde,

Kapalı kanal için	: N=3, M=1
Kapalı cep için	: N=5, M=4
Açık cep için	: N=4, M=2
Adım için	: N=2, M=0

alınarak unsur tipleri belirlenir.

Delik unsurları için tanıma işlemine gerek yoktur. Delik unsurlarına şu şekilde ulaşılır.

```
Set ObjHoles=GetObjPart.Holes
n= ObjHoles.Counts
```

Delik unsurunun çıkarılması için kullanılan algoritma;

1. i=1 den n'e kadar
2. i. unsurun tip değerini bul (`type=ObjHoles(i).HoleData.HoleType`)
3. Eğer `type=33` ise bu unsur DELİK unsurudur.
6. Sonraki unsura geç.

Benzer şekilde `type=34` ise kademeli delik, `type=35` ise o unsurun havşa başlı delik olduğu anlaşılır. Delik unsurlarının kapalı veya açık olduğu `ExtentType` özelliği ile bulunur.

Bu şekilde parça üzerinde bulunan unsurlar elde edilmiş olur. Unsurların çıkarılması sırasında veritabanlarına yazılmak üzere diğer bilgilerde geometrik özelliklerden çıkarılır ve ilgili veritabanlarına yazılırlar. Bu veritabanları unsur veritabanı, yüzey veritabanı ve kenar veritabanıdır. Tüm veritabanları text tipinde, satır ve sütünlardan oluşur. Sütünlarda veri tipini, satırlar ise verileri ihtiva ederler.

### 6.1.1. Unsur Veritabanı

SN	GRUP NO	GRUP İNDEKSİ	UNSUR NO	UNSUR ADI	TYX (+X)	TYX (+Y)	TYX (+Z)	TYX (-X)	TYX (-Y)	TYX (-Z)
----	---------	--------------	----------	-----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Herbir unsura ait bilgiler satır olarak bulunur. Bu tabloda;

SN : Sıra No (0,1,2,...)

GRUP NO : Grup No (Protrusion=1, Cutout=2, Hole=3)

GRUP İNDEKSİ : Grup içindeki sıra

UNSUR NO : (0: Tanınmayan, 1: Blok, 2: Adım, 3: Açık kanal, 4: Kapalı kanal, 5: Kapalı cep, 6: Açık cep, 7: Delik, 8: Kademeli delik, 9: Havşa başlı delik)

UNSUR ADI : Unsur Adı

TYX(+X) : Unsurun +x ekseninde takım yaklaşım yönü varsa 1, yoksa 0

TYX(+Y) : Unsurun +y ekseninde takım yaklaşım yönü varsa 1, yoksa 0

TYX(+Z) : Unsurun +z ekseninde takım yaklaşım yönü varsa 1, yoksa 0

TYX(-X) : Unsurun -x ekseninde takım yaklaşım yönü varsa 1, yoksa 0

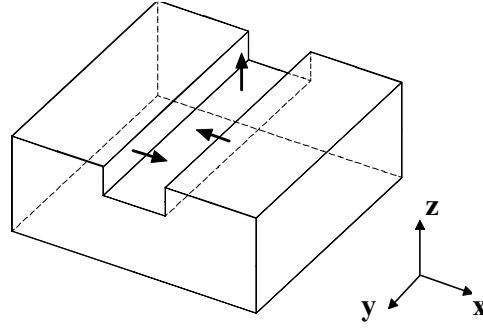
TYX(-Y) : Unsurun -y ekseninde takım yaklaşım yönü varsa 1, yoksa 0

TYX(-Z) : Unsurun -z ekseninde takım yaklaşım yönü varsa 1, yoksa 0

Unsur tanıma işlemi sırasında her unsurun takım yaklaşım yönleride çıkarılır. TYX'lerinin çıkarılmasında unsurlar üzerinde bulunan yüzeylerin normal vektörleri kullanılır.

### 6.1.2. Takım Yaklaşım Yönleri

Açık kanal unsuru: Şekil 6.11.'de görülen bu unsurun TYY, verilen koordinat eksenlerine göre -z eksenine yönündedir. Bu yön aşağıdaki algoritma ile çıkarılır.



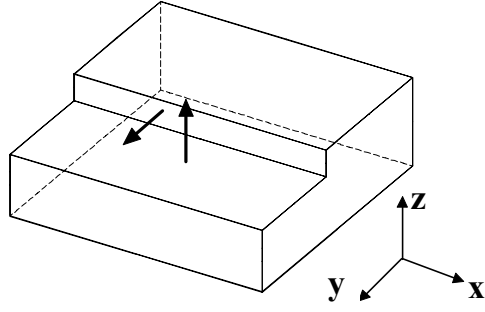
Şekil 6.11. Açık kanal unsuru yüzey normalleri

1. eğer unsur AÇIK KANAL unsuru ise
2. düzlem yüzeyin normal vektörlerini bul  $(x,y,z)$ .
3. bu vektörleri topla.
4. toplam vektörü içinde 1 değeri bulunan yönün negatif değeri takım yaklaşım yönüdür.

Yukarıdaki unsur için  $(-1,0,0) + (1,0,0) + (0,0,1) = (0,0,1)$ . TYY= $(0,0,-1)$  bulunur.

Adım Unsuru: Bu unsorda iki düzlem yüzey bulunur ve takım her iki yüzeyden yaklaşabilir. Her iki düzlem yüzeyin normal vektörünün ters işaretli yönleri takım yaklaşım yönleridir.

Şekil 6.12' deki unsur için,  $(0,-1,0)$  ve  $(0,0,-1)$  yönleri takım yaklaşım yönleridir.



Şekil 6.12. Adım unsuru ve yüzey normalleri

Diğer kesme unsurlar için (kapalı kanal, açık cep, kapalı cep) takım yaklaşım yönleri bu unsurların taban yüzey nesnesi (BottomCap) özelliğinden faydalanılarak bulunur. Parça modelleme aşamasında bu unsurlar parça yüzeyi üzerinde profilleri çizilerek ötelenip parçadan çıkartılırlar. Böylece taban yüzey nesnesinin yüzey normal vektörünün ters işaretlisi, bu unsurların takım yaklaşım yönleri olarak alınır.

Delik unsurları: Delik unsurlarının takım yaklaşım yönleri deliğin eksen doğrultusundadır. Yönü ise deliğin açık veya kapalı olmasına göre değişir.

Delik : Açık (eksen doğrultusunun her iki yönünde). Kapalı (Alt taban düzlem yüzeyinin normal vektörünün ters işaretlisi yönünde)

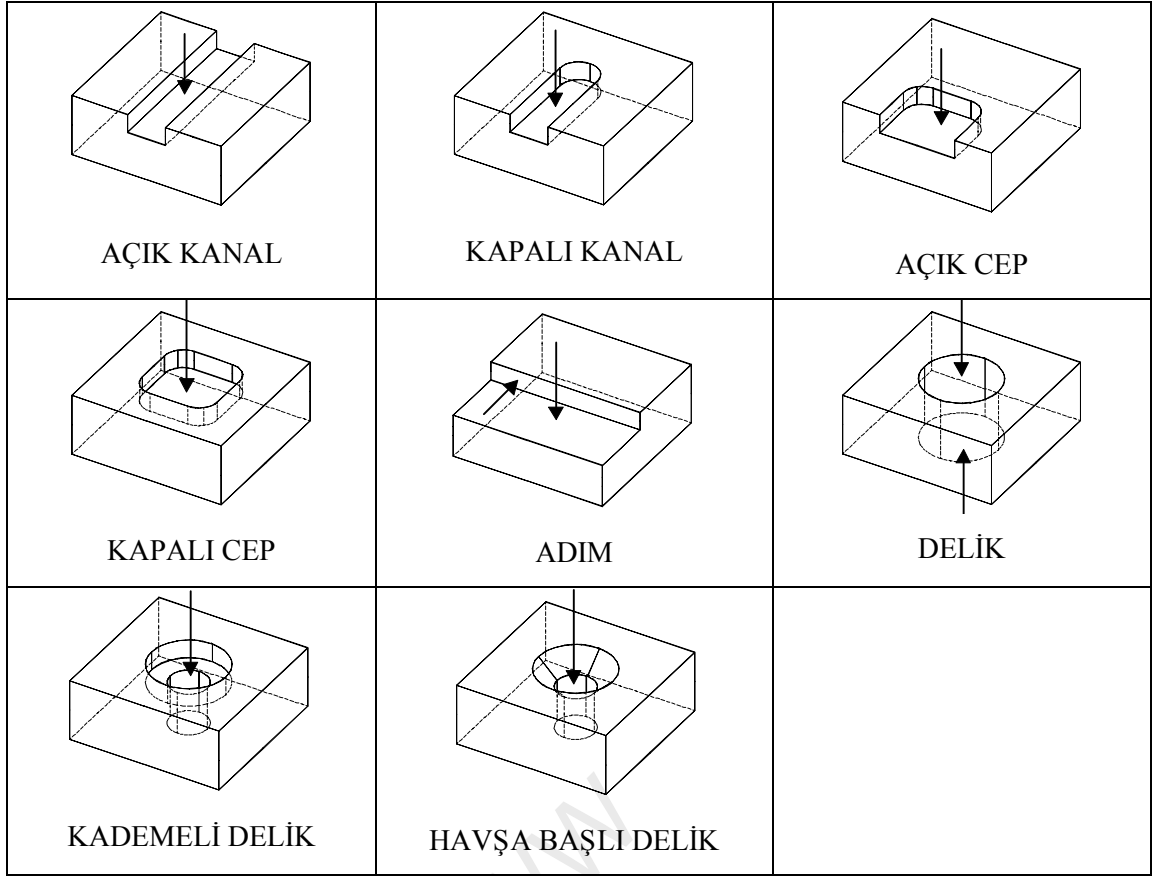
Kademeli Delik: Her iki durumda da birinci kademedeki deliğin düzlem yüzeyinin normal vektörünün ters işaretlisi yönünde.

Havşa Başlı Delik: Delik eksen vektörü yönünde.

Şekil 6.13.'te tüm unsurların TYY'leri gösterilmiştir.

### 6.1.3. Yüzey Veritabanı

Unsur çıkarma ve tanıma işlemi sırasında belirlenen unsurların yüzeyleri ve bazı yüzey özellikleri daha sonra kullanılmak üzere aşağıdaki formatta yüzey veritabanına yazılır.



Şekil 6.13. Takım yaklaşım yönleri

YÜZEY İNDEKSİ	YÜZEY ADI	UNSUR ADI	YÜZEY TİPİ	YÜZEY ALANI	DÖNGÜ veya YARIÇAP	Nx	Ny	Nz
---------------	-----------	-----------	------------	-------------	--------------------	----	----	----

Yüzey İndeksi: Her yüzeyde farklı bir değere sahip, o yüzeyin geometrisinden hesaplanan bir tamsayıdır. SolidEdge programında grafik ortamda mouse ile tıklanan bir yüzeyin hangi unsura ait olduğunu bulmak için bu index değeri kullanılmıştır. Düzlem ve silindirik yüzeyler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Düzlem yüzeylerde, o yüzeyi oluşturan köşe noktalarının koordinatlarının toplamı ve alanının çarpımı olarak hesaplanır. İndeks değerinin uygun olması için toplam 1000 ile çarpılmakta ve alanda 10 a bölünmektedir. Silindirik yüzeyler için indeks hesaplanırken eksen taban noktası koordinatları ile yarıçap toplanır. İndeks değerlerinin tamsayı olması için hesaplanan ondalıklı sayı tam sayıya çevrilir ve böylece her bir yüzeye farklı indeks değeri verilmiş olur. Düzlem yüzey indeksi (DYİ) ve silindirik yüzey indeksinin (SYİ) hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$DYİ = \text{Tam} \left( \frac{\text{Alan}}{10} \left( \sum_{i=1}^n k\ddot{o}\ddot{s}e_x(i) + k\ddot{o}\ddot{s}e_y(i) + k\ddot{o}\ddot{s}e_z(i) \right) * 1000 \right), n = \text{k\ddot{o}\ddot{s}e \text{ sayısı}}$$

$$SYİ = \text{Tam} \left( (Eksen\_x + Eksen\_y + Eksen\_z + \text{yarı\c{c}ap}) * 10000 \right)$$

Yüzey Adı : Yüzeylerin çıkarılması sırasında her bir yüzeye verilen isim (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, ...)

Unsur Adı : Yüzeyin bağlı olduğu unsurun adı

Yüzey tipi : Düzlem veya silindirik

Yüzey Alanı : Düzlem veya silindirik yüzeyin alanı

Döngü veya Yarıçap: Eğer yüzey düzlem ise bu yüzeyin döngü (loop) değeri yazılır.

Döngü değeri o yüzeyde kenarların oluş turdukları kapalı profillerin sayısıdır. Eğer bir yüzey üzerinde bir delik varsa o yüzeyin döngü değeri 2, yoksa 1' dir. Yüzey silindirik ise yarıçap değeri yazılır.

N<sub>x</sub>, N<sub>y</sub>, N<sub>z</sub> : Yüzeyin normal vektörleri

#### 6.1.4. Kenar Veritabanı

Parça üzerinde bulunan kenarlar kenar veritabanına yazılırlar. Kesiş en unsurların bulunmasında ve geometrik öncelik sırasının çıkarılmasında kullanılır ve blok unsurunun dışındaki unsurlar için oluşturulur. Kenar veri tabanının yapısı aşğıdaki gibidir.

SIRA NO	KENAR İNDEKSİ	UNSUR ADI	KENAR TİPİ	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>
------------	------------------	--------------	---------------	----------------	----------------	----------------

Sıra No: 1 den baş layarak her kenara verilen sıra numarası.

Kenar İndeksi: Yüzey indeksinde olduğu gibi, o kenarın geometrik verilerinden hesaplanan bir tamsayıdır. Doğrusal kenar indeksi (DOKİ), baş langıç ve bitiş noktalarının koordinatları belli katsayılarla çarpılarak toplanması suretiyle elde edilir. Dairesel kenar indeksi (DAKİ) ise merkez noktası koordinatlarının ve yarıçapın belli katsayılarla çarpılıp toplanması ile elde edilir. Çıkan ondalıklı değerlerin tamsayı kısmı dikkate alınır.



$$DOKİ = \text{Tam}((baş_x * 1.1 + baş_y * 1.2 + baş_z * 1.3 + bit_x * 1.4 + bit_y * 1.5 + bit_z * 1.6) * 10000)$$

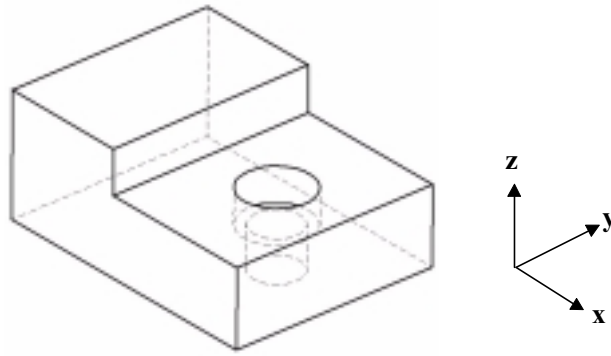
$$DAKİ = \text{Tam}((mrk_x * 1.1 + mrk_y * 1.2 + mrk_z * 1.3 + yarıçap * 1.4) * 10000)$$

Unsur Adı: Kenarın bağlı olduğu unsurun adı.

Kenar Tipi: Doğrusal veya dairesel.

V<sub>x</sub>,V<sub>y</sub>,V<sub>z</sub> : Kenar yön vektörü.

Örnek bir parça için, unsur tanıma ve çıkarma işlemi ile oluşturulan veritabanları aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.14. Örnek parça

#### Unsur veritabanı

```

3
0, 1, 1, 1, "BLOK",          0,0,0,0,0,0
1, 2, 1, 2, "ADIM",         0,0,0,1,0,1
2, 3, 1, 8, "KADEMELI_DELIK", 0,0,0,0,0,1

```

#### Yüzey veritabanı

```

1720, "F1", "BLOK",          "Duzlem",    2239,    1,  0, -1,  0
1658, "F2", "BLOK",          "Duzlem",    2148,    1,  0,  0,  1
851,  "F3", "BLOK",          "Duzlem",    1338,    1,  1,  0,  0
1260, "F4", "BLOK",          "Duzlem",    2100,    1, -1,  0,  0
1780, "F5", "BLOK",          "Duzlem",    2239,    1,  0,  1,  0
529,  "F6", "BLOK",          "Duzlem",    4646,    2,  0,  0, -1
1265, "F7", "ADIM",          "Duzlem",    762,     1,  1,  0,  0
1418, "F8", "ADIM",          "Duzlem",    2338,    2,  0,  0,  1
1083, "F9", "KADEMELI_DELIK", "Silindirik",541,     7,  0,  0, -1
1213, "F10", "KADEMELI_DELIK", "Silindirik",628,    10,  0,  0, -1
304,  "F11", "KADEMELI_DELIK", "Duzlem",    160,     2,  0,  0,  1

```

### Kenar veritabanı

```

1,1745,"ADIM ","dogrusal",0,0,1
2,2262,"ADIM ","dogrusal",0,-1,0
3,3327,"ADIM ","dogrusal",0,0,-1
4,2810,"ADIM ","dogrusal",0,1,0
5,1441,"ADIM ","dairesel",0,0,-1
6,2028,"ADIM ","dogrusal",-1,0,0
7,3367,"ADIM ","dogrusal",0,-1,0
8,3780,"ADIM ","dogrusal",1,0,0
9,2262,"ADIM ","dogrusal",0,-1,0
10,1109,"KADEMELI_DELIK ","dairesel",0,0,1
11,1269,"KADEMELI_DELIK ","dairesel",0,0,-1
12,1311,"KADEMELI_DELIK ","dairesel",0,0,1
13,1441,"KADEMELI_DELIK ","dairesel",0,0,-1
14,1269,"KADEMELI_DELIK ","dairesel",0,0,-1
15,1311,"KADEMELI_DELIK ","dairesel",0,0,1

```

## **6.2. Geometrik Öncelik İlişkilerinin Belirlenmesi**

Parça üzerinde bulunan imalat unsurları birbirleriyle kesişebilirler. Kesişme durumunda en az bir kenar her iki unsorda da ortaktır. İşleme açısından bu iki unsur arasında öncelik ilişkisi bulunur. Yani bir unsurun işlenmesi için, önceden diğer unsurun işlenmesi gerekir. Kesişen unsurlar arasında öncelik ilişkisini belirlemek için kenar veritabanı kullanılır. İlk önce oluşturulan unsurun kenarları ilk önce yazılır. Unsurdaki her bir yüzeyin kenarları tek tek yazılır. Dolayısıyla, aynı indeks numarasına sahip bir kenar birden fazla unsorda bulunabilir. Bu kenar, o unsurun iki yüzeyi arasındaki ortak kenardır. Eğer kenar veritabanında aynı indeks numarasına sahip iki kenar varsa bu kenarların bağlı oldukları unsurlar farklı ise bu iki unsur kesişiyor demektir. Bu noktadan hareketle veri tabanında üst satırda yer alan unsur ilk önce, o unsurun altındaki satırlarda yer alan unsur ise sonra işlenmelidir.

Burada geometrik öncelikler, aslında tasarımcının modelleme sırasına bağlı kalmaktadır. Tasarımcı imalat şartlarını da düşünerek tasarım yapmak durumundadır. Eş zamanlı mühendislik gereği tasarım aşamasında imalat şartları da düşünülmelidir.

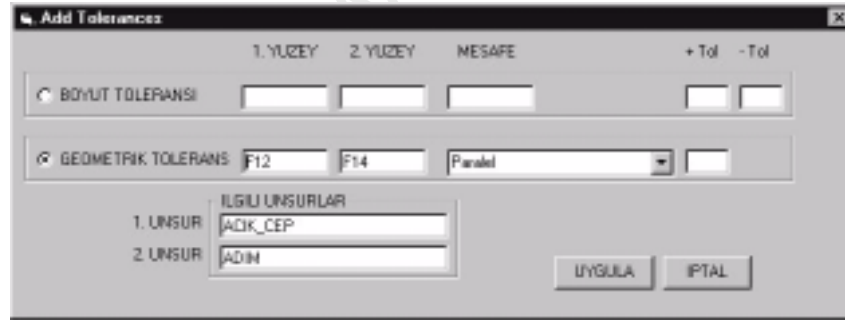
Şekil 6.13.'teki parçada tasarımcı doğal olarak önce adım, sonra delik unsurunu oluşturacaktır.

Örnek parça incelendiğine, adım unsuru ve kademeli delik unsuru kesişmektedir. Dolayısıyla bir dairesel kenarın her unsorda bulunması gerekir. Kenar veritabanı incelendiğinde;

```
5, 1441, "ADIM ", "dairesele", 0, 0, -1
13, 1441, "KADEMELI_DELIK ", "dairesele", 0, 0, -1
```

bu kenar bulunur. Buna göre ilk önce adım unsuru işlenmeli, daha sonra kademeli delik unsuru işlenmelidir. Bu şekilde kenar veritabanının tüm satırları taranarak bu ilişkiye uyan öncelikler çıkarılır ve öncelik matrisine yazılır.

### 6.2.1. Toleransların Verilmesi ve Tolerans Önceliklerinin Belirlenmesi



Şekil 6.15. Tolerans ekleme ekranı

Geliştirilen yazılımla, BDT modeli üzerindeki unsurların yüzeyleri arasında, boyut ve geometrik tolerans ekleme imkanı sağlanmış tır. BDT ve BDÜ arasındaki bütünleşmenin tam olmamasından dolayı BDT programları, sadece geometrik bilgiler içermektedir. Ancak günümüzde bir tasarımcı, model oluştururken imalatı da düşünmek zorundadır. Mevcut BDT programındaki bu eksiklik parça üzerine tolerans ekleme modülü ile ortadan kaldırılmış tır.

Tolerans ekleme modülünde, kullanıcı tolerans vermek istediği iki yüzeyi mouse ile seçmekte ve daha sonra karşısına çıkan şekil 6.15.'deki formda hem boyut hem de geometrik toleransları verebilmektedir. Yüzeylerin bağlı oldukları unsurlar ve yüzeyler arası mesafe otomatik olarak belirlenmekte, diğer bilgiler kullanıcı tarafından girilmektedir. Bölüm 4.1.3.'deki şekil 4.5 'de görülen her iki tolerans önceliği program tarafından belirlenebilmektedir. Bu öncelikler daha sonra unsur öncelik dosyasına yazılırlar.

### 6. 3. Kurgu Planlama ve Unsur Öncelik Dosyası

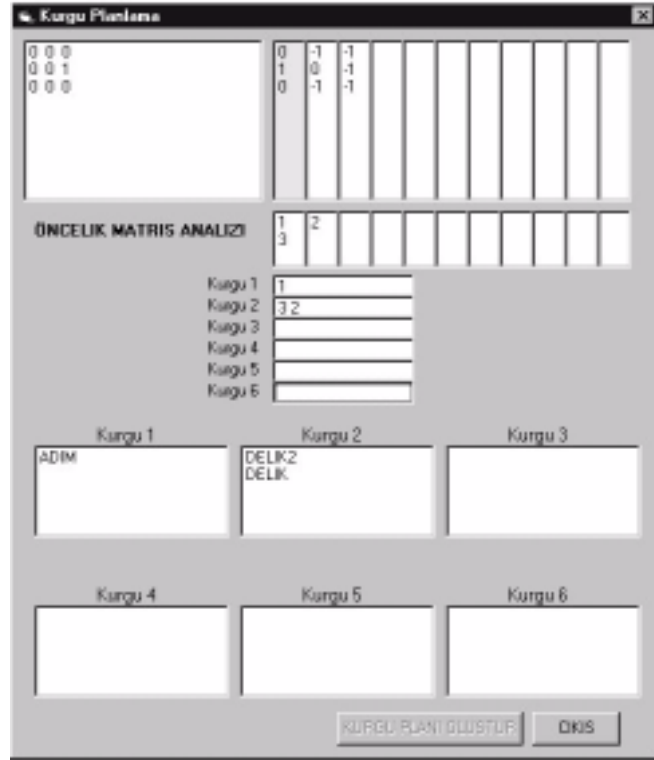
Geometrik ve tolerans öncelikleri, öncelik dosyasına yazılır. Bu dosyanın içeriği şu şekildedir:

```
unsur1, unsur2
unsur3, unsur4
..... , .....
```

Her satırda bir öncelik ilişkisi bulunur ve unsurlar sıra numaralarına göre yazılır. Şekil 6.13.'deki örnek için geometrik öncelikten dolayı oluşan unsur sırası “1, 2” şeklinde dosyaya yazılır. Ayrıca tolerans bilgilerinin eklenmesi sırasında belirlenen öncelik ilişkileride bu dosyaya eklenir. Bu öncelikler kurgu planlama aşamasında kullanılacaktır.

Bölüm 4.2.' de anlatılan öncelik matris analizi ile kurgu planı çıkarılır. Kurgu planlama ekranı aşağıda verilmiştir.

Böylece kurgu planı elde edilir ve her kurguda hangi unsurların olduğu belirlenir.



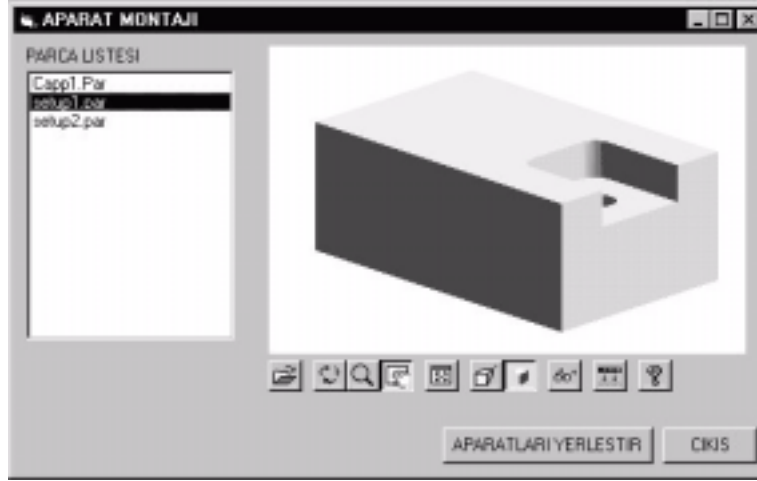
Şekil 6.16. Öncelik matris analizi ile kurgu planlama

#### 6.4. Otomatik Modüler Aparat Konfigürasyonu

Bu bölümde, kurgu planı belirlenen bir parçanın otomatik olarak modüler aparatlarla sabitlenip aparat konfigürasyonunun belirlenmesi için geliştirilen programın yöntem ve algoritmaları anlatılacaktır. Grafik arayüz olarak SolidEdge Assembly modülü kullanılmıştır.

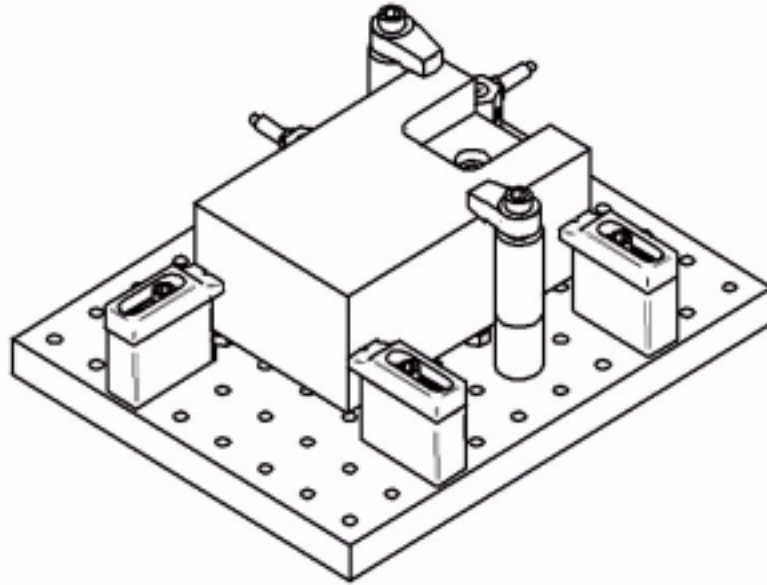
Modüler aparatlarla sabitlenmesi istenen parça seçildikten sonra aparat kütüphanesinden otomatik olarak seçilen uygun aparat elemanları ile montaj yapılır ve grafik olarak ekranda görüntülenir. Modüler aparat elemanları assembly modülünde alt-montaj olarak modellenmiş ve kütüphane oluşturulmuştur. Bir alt tabla ve değişik boyutlardaki iş parçaları için farklı yüksekliklerde destek, dayama ve bağlama elemanları oluşturulmuştur. KIPP firmasının kataloğundan faydalanılarak modellenen modüler aparat kütüphanesi Ek-1’de verilmiştir.

3-2-1 ve geometrik yerleş tirme kuralları ile uygun yüzeyler ve alt tabla üzerindeki delikler bulunup bu yerlere elemanlar yerleş tirilir. Aparatların parçaya temas etmeleri için gerekli kaydırma iş lemleri yapılır.



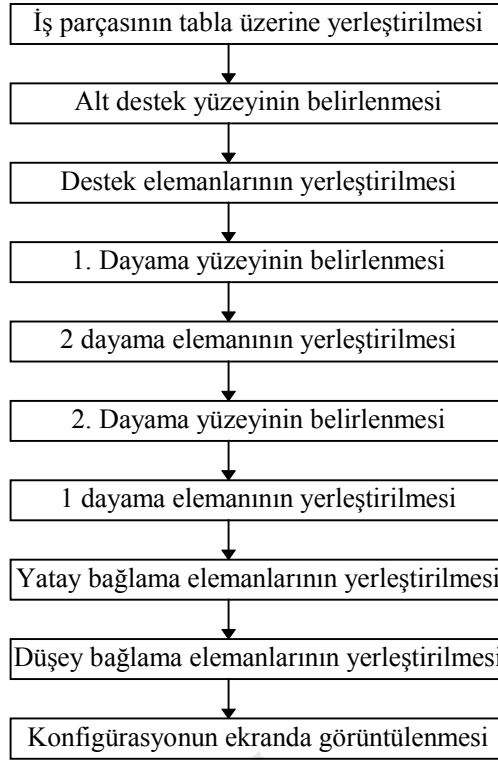
Şekil 6.17. Modüler aparatların yerleş tirmesi için kurgu parçasının çağırılması

Kurgu planlama iş leminden sonra her bir kurgu için, part modülünde kurgu dosyaları oluş turulur ve aparat konfigürasyonu aş amasında kullanılırlar.



Şekil 6.18. Örnek modüler aparat konfigürasyonu

Geliş tirilen programın akış ş eması ş u ş ekildedir:



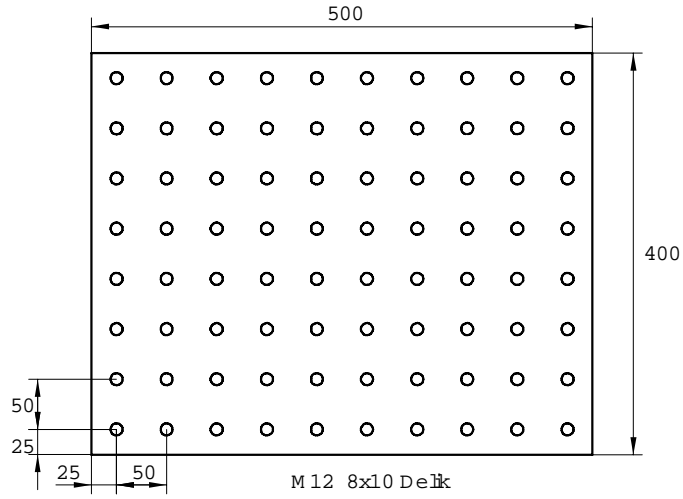
Şekil 6.19. Otomatik modüler aparat konfigürasyonu akış şeması

#### 6.4.1. İş Parçasının Tabla Üzerine Yerleştirilmesi

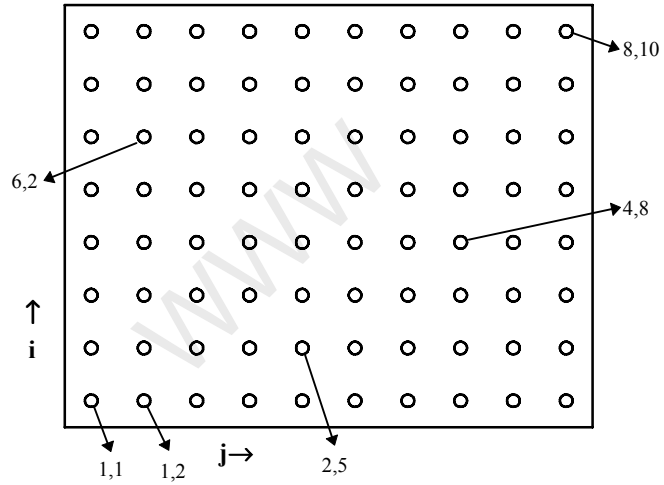
a) Alt tabla elemanının aparat kütüphanesinden çağırılması: Bu çalışmada Şekil 6.20'de görülen tabla elemanı kullanılmıştır. İş parçası ve diğer modüler bağlama elemanları bu tabla üzerine yerleştirilecektir. Tablada vida açılmış 80 adet M12 delik mevcuttur.

Aparat elemanlarının tabla üzerinde deliklere yerleştirilmesinde kolaylık sağlamak üzere alt tablayı temsil eden delik matrisi tanımlanmıştır. Delik matrisinin tüm elemanları başlangıçta sıfırdır.

$$\text{hole}(i,j)=[0] \quad i=1..8, j=1..10$$



Şekil 6.20. Alt tabla elemanı

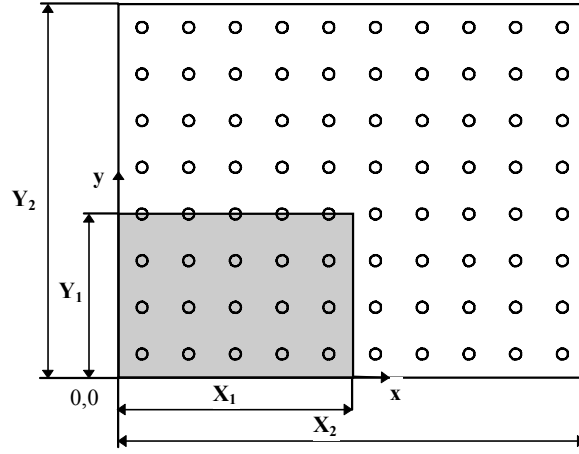


Şekil 6.21. Delik matrisi sistemi

Kütüphaneden çağrılan aparat elemanları bu matrisin içeriğine göre yerleş tirilirler. Örneğin destek elemanları, delik matrisinde 8 değerine sahip olan yerlere yerleş tirilirler. Ayrıca deliklerin koordinatlarını ihtiva eden delik koordinat matrisi oluş turulmuş tur.

b) Kurgu parçasının çağrılması: Tabla ve parça modellendikleri konumda montaj modülünde oluş tururlar. Her iki modelin de orijin noktası sol alt köş edir.

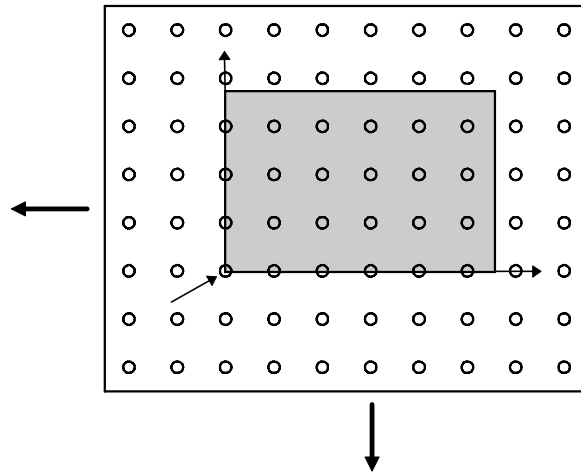




Şekil 6.22. İş parçası ve alt tabla konumları

İş parçasının tablanın orta kısmında bulunması gerekir ve etrafında boş delikler bulunmalıdır. Tabla belli büyüklükteki iş parçaları için kullanılabilir. Burada parça altında maksimum sayıda delik kalması kriter olarak alınmıştır. Orijin noktasının parça üzerinde kalması için tabla hareket ettirilir ve her taş ima iş leminden sonra delik koordinatları güncellenir.

c) Parçanın tablanın ortasında olması için tablanın kaydırılması: Parçanın tablanın tam ortasında kalması için kaydırma iş lemi gerçekleştirilir. Daha sonra parçanın 0,0 noktası en yakın deliğin merkezinde olacak şekilde tabla ötelenir.



Şekil 6.23. Tablanın  $-x$  ve  $-y$  de kaydırılması

d) Parçanın altında maksimum sayıda delik kalacak şekilde tablanın kaydırılması:

X ekseninde,  $X_1 < 62$  ise 1 delik

$62 \leq X_1 < 111$  ise 2 delik

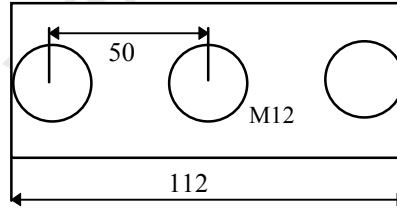
$112 \leq X_1 < 161$  ise 3 delik

$162 \leq X_1 < 211$  ise 4 delik

.....

kalmakta olup bu ifadeler y eksenini için de geçerlidir. Deliğin parçanın altında kalması şartı, tamamının parça altında kalmasıdır. Şekil 6.24'te 112 mm uzunluğundaki bir parçanın altında kalan delikler gösterilmiştir.

X ekseninde kalacak delik sayısı için ifade,  $\text{Int}((X_1-62)/50)+2$  şeklindedir. Y' de kalacak delik sayısı ise  $\text{Int}((Y_1-62)/50)+2$  ' dir (Int: tam sayı).  $X_1=215$  ve  $Y_1=168$  için parça altında kalacak toplam delik sayısı  $5*4=20$  ' dir.



Şekil 6.24 Parça altında kalan delik sayıları

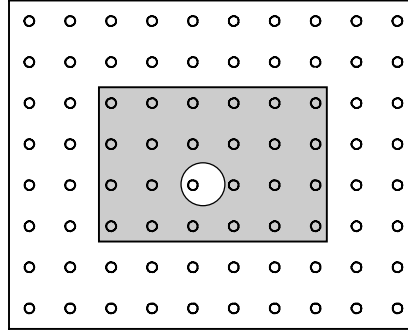
Parça altında maksimum delik kalması için kaydırma miktarları;

$$x\text{shift} = (215 - ((x\text{'te kalacak delik sayısı} - 1) * 50)) / 2$$

$$y\text{shift} = (215 - ((y\text{'te kalacak delik sayısı} - 1) * 50)) / 2$$

Tabla (-xshift, -yshift) kadar kaydırılarak parça altında maksimum sayıda delik kalması sağlanır.





Şekil 6.26. Alt destek yüzeyi altında kalan delikler

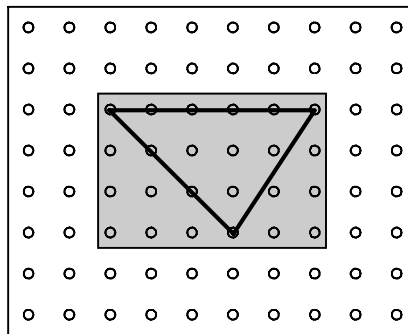
Böylece boş luk olan deliklere destek elemanı konulması önlenmiş olur. Alt deliklerden herhangi birinin belli bir kısmının bu boş lukların altına gelmesi, o deliğe 9 değerinin verilmesi için yeterlidir.

#### 6.4.3. Destek Elemanlarının Yerleş tirilmesi

3-2-1 metodunduna seçilen alt destek yüzeyine 3 destek elemanı konumlandırılır. Bunun için bu yüzeyde 3 destek noktası için delikler tespit edilir. Bu üç deliğin tespit edilmesinde ş u iki kural dikkate alınır.

Delik matrisinde değeri 1 olan delikler arasında;

- Üç deliğin oluş turduğu üçgenlerden en büyük alana sahip olanları seçilir
- Bu üçgenlerden, ağırlık merkezi yüzeyin ağırlık merkezine en yakın olanı alınır.



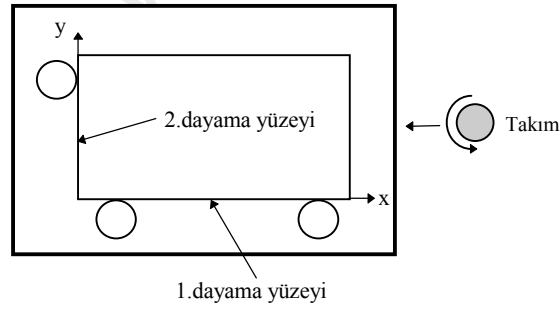
Şekil 6.27. Alt destek noktaları seçimi

Yüzeyin ağırlık merkezinin bulunması algoritması Ek-3' te verilmiştir. Bu iki kural ile 3 delik belirlenir ve delik matrisinde bu noktalara 8 değeri verilir. Modüler aparat kütüphanesinden bu deliklere 3 adet destek elemanı yerleş tirilir.

$$hole(i, j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 1 & 1 & 1 & 1 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 8 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

#### 6.4.4. Birinci Dayama Yüzeyinin Belirlenmesi

Dayama elemanı yerleş tirme kurallarına göre 2 dayamanın konacağı 1. dayama yüzeyi belirlenir.



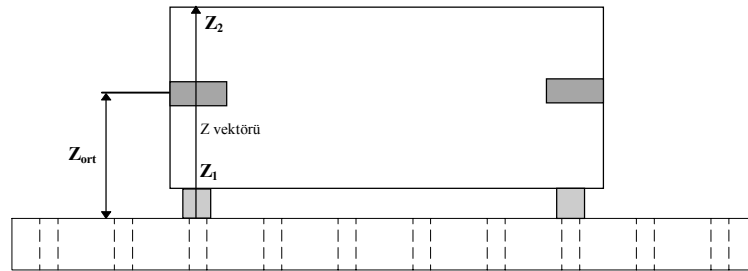
Şekil 6.28. Dayama yüzeyleri

Dayamaların takım kuvvetlerine karşı konulması gerektiği ve takımın dönüş ve ilerleme yönü düşünüldüğünde Şekil 6.28.'de görülen yüzeyler 3-2-1 metodunda dayama yüzeyleri olmalıdır.

2 dayamanın konacağı yüzey, bu kurguda işlenmeyen yüzeylerden destek yüzeyine dik olanların arasından takım yaklaşım ve dönüş yönü dikkate alınarak normal vektörü (0,-1,0) olan yüzey seçilir. Bu yüzeyin önünde bulunan deliklerden köşelere en yakın iki delik dayamaların konacağı delik olarak seçilir. Delik matrisinde bu deliğe karşılık gelen değerler 2 ve 3 olarak yazılır.

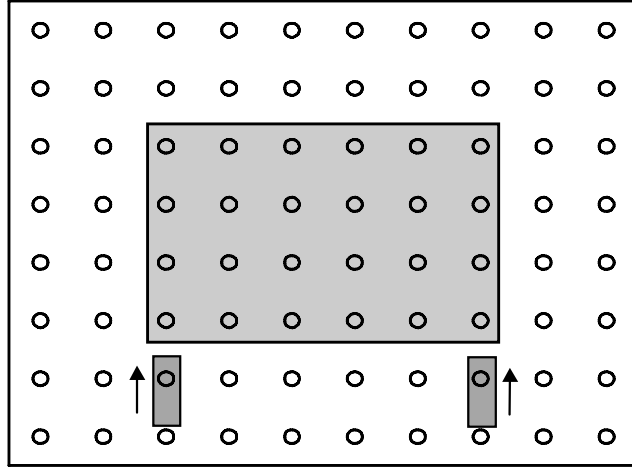
$$hole(i, j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 1 & 1 & 1 & 1 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 8 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Bu dayamaların yüksekliklerine göre kütüphaneden dayama elemanları seçilir. Dayama yüksekliğinin bulunmasında şu yol izlenir. Dayamanın konacağı delikten z yönünde çıkılan vektörün parçayı kestiği  $Z_1$  ve  $Z_2$  noktaları bulunur. Bu noktalardan dayama ortalama yüksekliği hesaplanır. Bu yüksekliğe erişebilen dayama elemanı kütüphaneden çağrılır ve yerleş tirilir.



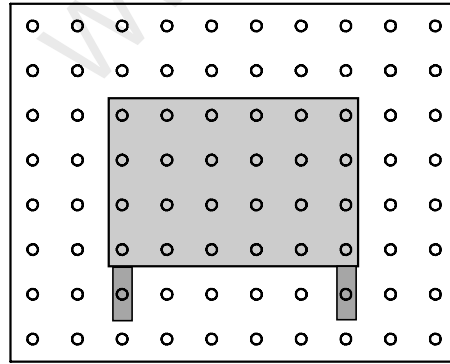
Şekil 6.29. Dayama yüksekliğinin tespiti

Ortalama dayama yüksekliği  $Z_{ort} = (Z_1 + (Z_2 - Z_1) / 2)$  formülü ile hesaplanır.



Şekil 6.30. Birinci dayama yüzeyine elemanların yerleş tirilmesi

Dayamalar yerleş tirildikten sonra, parçaya temas etmeleri için gerekli kaydırma miktarı hesaplanır. Parça yüzeyi ile dayama ön yüzeyi arasındaki mesafe hesaplanıp, dayama içindeki hareketli eleman +y yönünde kaydırılarak parça ile teması sağlanır (ş ekil 6.31.)



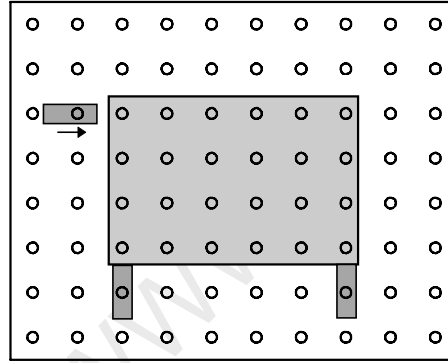
Şekil 6.31. Dayamaların kaydırılıp parça ile temasının sağlanması

#### 6.4.5. İkinci Dayama Yüzeyinin Belirlenmesi

3-2-1 metodunda ikinci dayama yüzeyinin seçiminde takımın yaklaşım yönü ve 1. dayama yönüne dik olması ş artı dikkate alınır. Buna göre bu kurguda iş lenmeyen yüzeylerden normal vektörü  $(-1,0,0)$  olan yüzey seçilir. Bu yüzeyin önünde yer alan

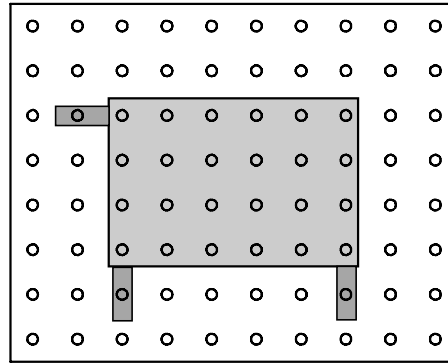
deliklerden, 1. dayama yüzeyine en uzak delik dayama elemanının yerleş tirileceği delik olarak seçilir. Delik matrisinde bu deliğe 4 değeri verilir.

$$hole(i, j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 8 & 1 & 1 & 1 & 1 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 8 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



Şekil 6.32. İkinci dayama yüzeyi ve dayama elemanının yerleş imi

Dayama elemanı ile temas edeceği yüzey arasındaki mesafe hesaplanıp, dayama +x yönünde kaydırılarak temas sağlanır.



Şekil 6.33. Üçüncü dayama elemanının kaydırılması



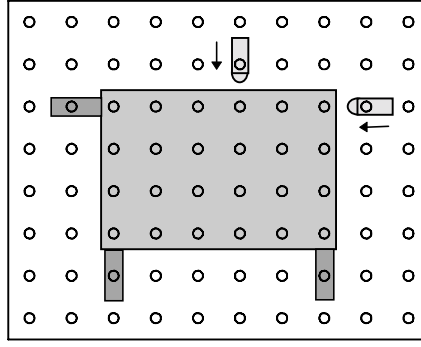
#### 6.4.6. Yatay Bağlama Elemanlarının Yerleş tirilmesi

İş parçasının iş lenmesi sırasında, dayama elemanları ile temasını sağlamak üzere 2 yatay bağlama elemanı kullanılır. Aynı zamanda iş parçasının +x ve +y yönlerindeki serbestlik derecelerini kısıtlayarak düzlemde hareketsiz hale getirirler. Daha önce bahsedilen yerleş tirme kuralları gereğince yatay bağlama elemanlarından birisi, 2 dayamanın konulduğu yüzeyin karşı ısındaki yüzeye, diğeri ise bir dayamanın konulduğu yüzeyin karşı ısındaki yüzeye yerleş tirilirler. Birinci bağlama yüzeyi, bu kurguda iş lenmeyen yüzeylerden yüzey normali (0,1,0) olan yüzey seçilir. Kütüphaneden uygun eleman seçilmesi için ortalama Z yüksekliğı ( $Z_{ort}$ ) hesaplanır. Bağlama yüzeyinin önündeki deliklerden, 2 dayamanın ortasına veya en yakınına denk gelen deliğ e, delik matrisinde 5 değeri verilir.

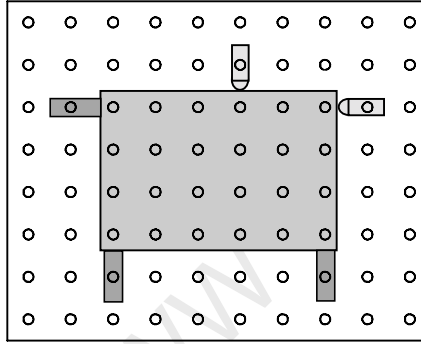
İkinci yatay bağlama yüzeyinin seçiminde ise bu kurguda iş lenmeyen yüzeylerden yüzey normali (1,0,0) olan yüzey seçilir. 2. yatay bağlama elemanı, bu yüzeyin önündeki deliklerden, bir dayamanın konduğu deliğ in tam karşı ısına denk gelen deliğ e yerleş tirilir (ş ekil 6.34.). Delik matrisinde bu deliğ e 6 değeri verilir.

$$hole(i, j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 8 & 1 & 1 & 1 & 1 & 8 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 8 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Yatay bağlama elemanları ile yüzeyler arasındaki mesafeler hesaplanıp, kaydırma iş lemleri yapılarak yüzeylerle temas sağlanır (ş ekil 6.35.).



Şekil 6.34. Birinci ve ikinci yatay bağlama elemanı ve yerleşimi



Şekil 6.35. Yatay bağlama elemanlarının kaydırılıp temasın sağlanması

Dayama ve yatay bağlama elemanlarının uygun deliklere yerleş tirilmeleri sırasında, seçilen delikle yüzey arasında yeterli mesafe yoksa, kaydırma yönünün bir arkasında kalan delik seçilir. Ayrıca bağlama elemanları yerleş tirilecekleri yüzeyin konumuna göre döndürülürler.

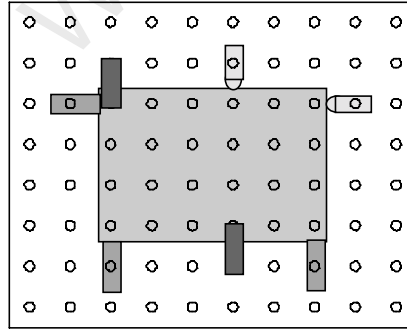
#### 6.4.7. Düş ey Bağlama Elemanlarının Yerleş tirilmesi

Düş ey bağlama elemanları iş parçasının destek elemanları ile olan temasını sağlarlar ve +z yönündeki serbestlik derecesini yok ederler. Aparat yerleş tirme kuralları gereği bir tane düş ey bağlama elemanı kinematik olarak yeterlidir. Ancak sistemin dengesi ve iş parçasının geometrisi gereği birden fazla kullanılabilir. Bu çalış mada iki

düşey bağlama elemanı kullanılmıştır. Bu elemanlar takımın geliş yönüne ve diğer elemanların konumuna göre şu şekilde yerleştirilirler.

Parçanın uzun kenarı x ekseninde olduğundan bu kenar üzerinde daha fazla delik bulunur. Buna göre en uygun yerleştirme için birinci dayama yüzeyinin önündeki delikler ile bunun karşısındaki yüzeyin önünde bulunan delikler aday delikler olmalıdır. Bağlama kuvvetinden dolayı iş parçasında deformasyon oluşmaması için düşey bağlama elemanlarının, alt yüzeye konulan destek elemanlarının üzerinde olması istenir. Bu mümkün değilse destek elemanlarına en yakın delikler seçilebilir. Ayrıca bu kurguda işlenen yüzeylere düşey bağlama elemanı konamaz.

Bu kurguda işlenmeyen yüzeylerden yüzey normal vektörü  $(0,0,1)$  olan yüzey veya yüzeyler seçilir. Bu yüzeyin z mesafesi bulunarak kütüphaneden uygun eleman bulunur. Yukarıdaki şartları sağlayan delikler bulunarak bu deliklere düşey bağlama elemanları yerleştirilir. Yüzeyle bağlama elemanları arasında mesafe kadar bağlama elemanı z ekseninde kaydırılır ve temas sağlanır.

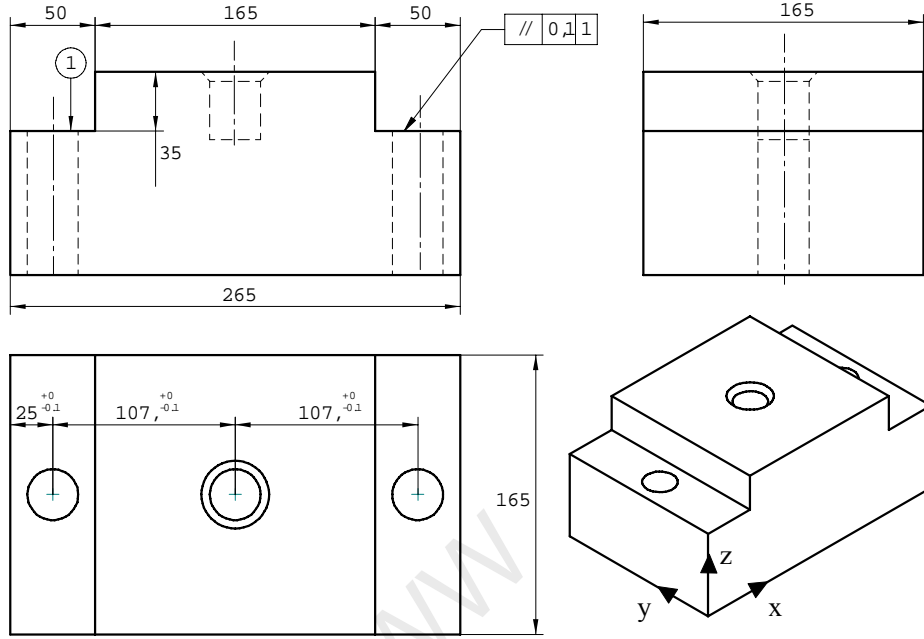


Şekil 6.36. Düşey bağlama elemanları yerleşimi

## 7. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

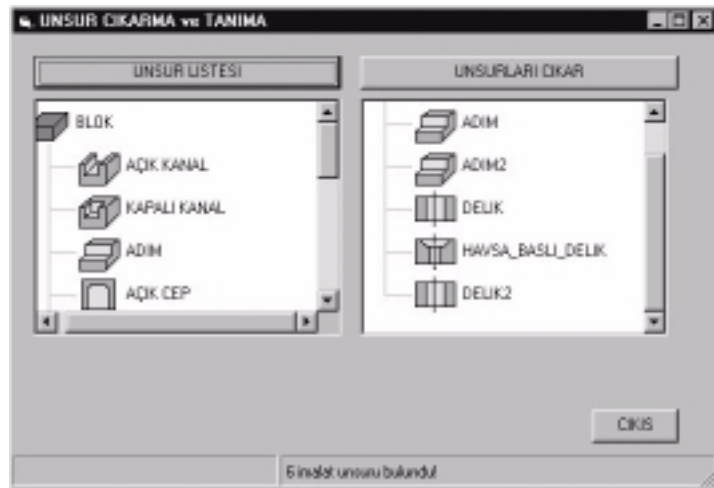
### 7.1. ÖRNEK1

#### a) Modelleme



Şekil 7.1. Örnek1 iş parçası teknik resmi

#### b) Unsur çıkarma ve tanıma



Şekil 7.2. Parça üzerinde bulunan unsurlar

Unsur veritabanı

6					
0, 1, 1, 1, "BLOK",		0,0,0,0,0,0			
1, 2, 1, 2, "ADIM",		1,0,0,0,0,1			
2, 2, 2, 2, "ADIM2",		0,0,0,1,0,1			
3, 3, 1, 7, "DELİK",		0,0,1,0,0,1			
4, 3, 2, 9, "HAVSA_BASLI_DELİK",		0,0,0,0,0,1			
5, 3, 3, 7, "DELİK2",		0,0,1,0,0,1			

Yüzey veritabanı

4390, "F1", "BLOK",	"Duzlem",	14025,	1, 1,	0,	0
9480, "F2", "BLOK",	"Duzlem",	28300,	1, 0,	-1,	0
3953, "F3", "BLOK",	"Duzlem",	14025,	1, -1,	0,	0
11666, "F4", "BLOK",	"Duzlem",	28300,	1, 0,	1,	0
9432, "F5", "BLOK",	"Duzlem",	25968,	2, 0,	0,	1
4862, "F6", "BLOK",	"Duzlem",	42311,	3, 0,	0,	-1
5202, "F7", "ADIM",	"Duzlem",	7543,	2, 0,	0,	1
4842, "F8", "ADIM",	"Duzlem",	5775,	1, -1,	0,	0
5652, "F9", "ADIM2",	"Duzlem",	7543,	2, 0,	0,	1
5387, "F10", "ADIM2",	"Duzlem",	5775,	1, 1,	0,	0
2075, "F11", "DELİK",	"Silindirik",	8011,	15,0,	0,	-1
3442, "F12", "HAVSA_BASLI_DELİK",	"Silindirik",	3228,	15,0,	0,	-1
992, "F13", "HAVSA_BASLI_DELİK",	"Duzlem",	707,	1, 0,	0,	1
3550, "F14", "HAVSA_BASLI_DELİK",	"Konik",	838,	20,0,	0,	-1
4225, "F15", "DELİK2",	"Silindirik",	8011,	15,0,	0,	-1

Kenar veritabanı

1,2580,"ADIM ", "dairesele",0,0,-1
2,3015,"ADIM ", "dogrusal",-1,0,0
3,6190,"ADIM ", "dogrusal",0,1,0
4,7620,"ADIM ", "dogrusal",1,0,0
5,4940,"ADIM ", "dogrusal",0,1,0
6,4170,"ADIM ", "dogrusal",0,0,-1
7,6710,"ADIM ", "dogrusal",0,-1,0
8,8730,"ADIM ", "dogrusal",0,0,1
9,6190,"ADIM ", "dogrusal",0,1,0
10,1475,"DELİK ", "dairesele",0,0,1
11,2580,"DELİK ", "dairesele",0,0,-1
12,4945,"ADIM2 ", "dairesele",0,0,-1
13,12995,"ADIM2 ", "dogrusal",1,0,0
14,9820,"ADIM2 ", "dogrusal",0,-1,0

15,8390,"ADIM2 ","dogrusal",-1,0,0  
 16,11070,"ADIM2 ","dogrusal",0,-1,0  
 17,12750,"ADIM2 ","dogrusal",0,0,-1  
 18,11330,"ADIM2 ","dogrusal",0,1,0  
 19,8400,"ADIM2 ","dogrusal",0,0,1  
 20,9820,"ADIM2 ","dogrusal",0,-1,0  
 21,3697,"HAVSA\_BASLI\_DELIK ","dairesel",0,0,1  
 22,4143,"HAVSA\_BASLI\_DELIK ","dairesel",0,0,1  
 23,3697,"HAVSA\_BASLI\_DELIK ","dairesel",0,0,1  
 24,4143,"HAVSA\_BASLI\_DELIK ","dairesel",0,0,1  
 25,4288,"HAVSA\_BASLI\_DELIK ","dairesel",0,0,-1  
 26,3840,"DELİK2 ","dairesel",0,0,1  
 27,4945,"DELİK2 ","dairesel",0,0,-1

### c) Tolerans bilgilerinin eklenmesi

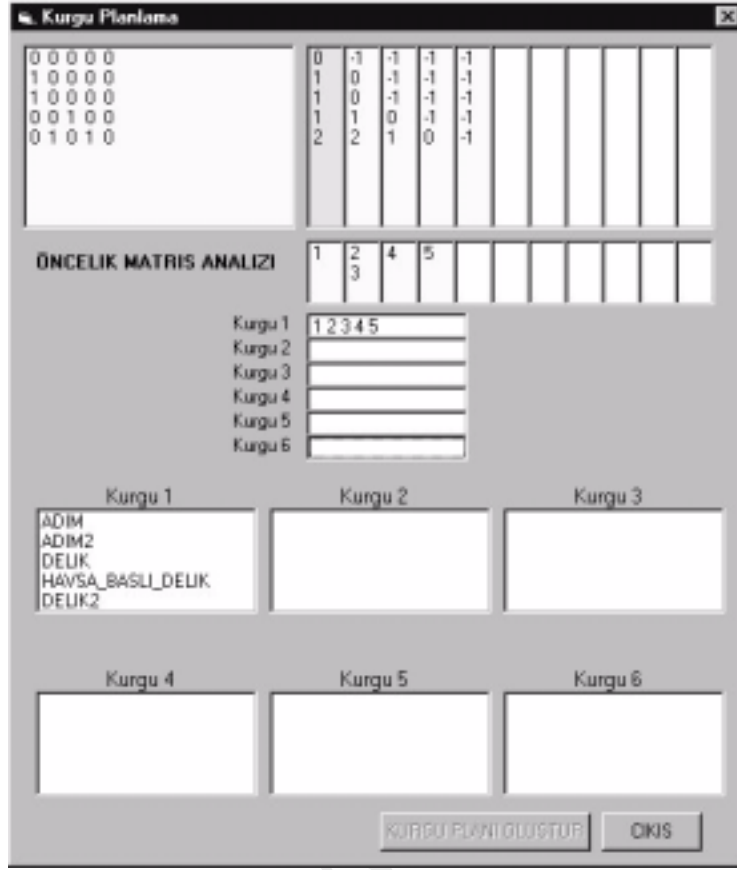
Tolerans ekleme modülü ile parça yüzeyleri seçilerek boyut ve geometrik toleranslar verilir. Bu işlem bittikten sonra aşağıdaki unsur öncelikleri elde edilir. Bu öncelikler hem geometrik hem de tolerans önceliklerini içerirler.

(1,3), (2,5), (1,2), (3,4), (4,5)

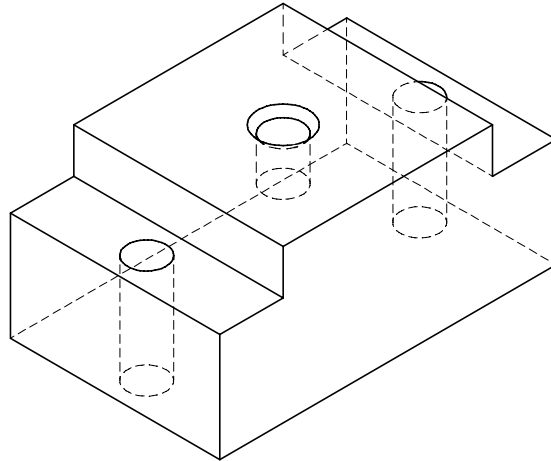
### d) Kurgu planlama

#### Kurgu planı

1  
 1,6,5  
 1,"ADIM"  
 2,"ADIM2"  
 3,"DELİK"  
 4,"HAVSA\_BASLI\_DELIK"  
 5,"DELİK2"



Şekil 7.3. Örnek1 kurgu planı

**KURGU1**

Şekil 7.4. Örnek1 - kurgu1 modeli

Kurgul yüzey veritabanı

4390,"S1F1", "BLOK",	"Düzlem",	14025,	1, 1,	0, 0
9480,"S1F2", "BLOK",	"Düzlem",	28300,	1, 0,	-1, 0
3953,"S1F3", "BLOK",	"Düzlem",	14025,	1, -1,	0, 0
11666"S1F4", "BLOK",	"Düzlem",	28300,	1, 0,	1, 0
9432,"S1F5", "BLOK",	"Düzlem",	25968,	2, 0,	0, 1
4862,"S1F6", "BLOK",	"Düzlem",	42311,	3, 0,	0, -1
5202,"S1F7", "ADIM",	"Düzlem",	7543,	2, 0,	0, 1
4842,"S1F8", "ADIM",	"Düzlem",	5775,	1, -1,	0, 0
2075,"S1F9", "DELİK",	"Silindirik",	8011,	15,0,	0, -1
5652,"S1F10", "ADIM2",	"Düzlem",	7543,	2, 0,	0, 1
5387,"S1F11", "ADIM2",	"Düzlem",	5775,	1, 1,	0, 0
3442,"S1F12", "HAVSA_BASLI_DELIK",	"Silindirik",	3228,	15,0,	0, -1
992, "S1F13", "HAVSA_BASLI_DELIK",	"Düzlem",	707,	1, 0,	0, 1
4225,"S1F15", "DELİK2",	"Silindirik",	8011,	15,0,	0, -1

Kurgul iş lenmeyen yüzey veritabanı

1, 4390, "BLOK",	"Düzlem",	14025,	1, 1,	0, 0
2, 9480, "BLOK",	"Düzlem",	28300,	1, 0,	-1, 0
3, 3953, "BLOK",	"Düzlem",	14025,	1, -1,	0, 0
4, 11666, "BLOK",	"Düzlem",	28300,	1, 0,	1, 0
5, 9432, "BLOK",	"Düzlem",	25968,	2, 0,	0, 1
6, 4862, "BLOK",	"Düzlem",	42311,	3, 0,	0, -1

**e) Modüler aparat konfigürasyonu**Kurgul delik matrisi

```
"0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 "
"0 0 0 0 0 5 0 0 0 0 0 "
"0 0 4 8 1 1 1 1 8 6 "
"0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 "
"0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 "
"0 0 0 1 1 1 8 1 1 0 "
"0 0 0 2 0 0 0 0 3 0 "
"0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 "
```

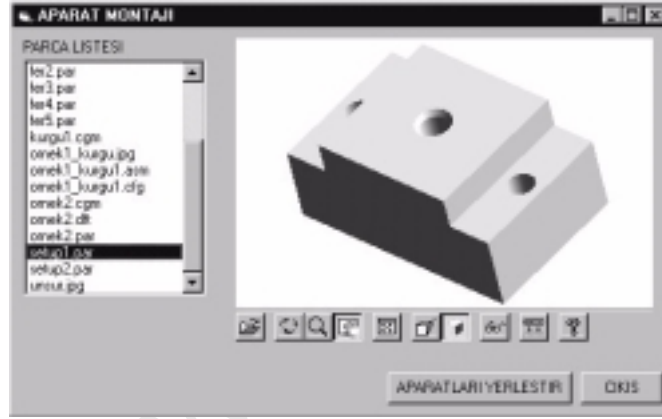
Kurgul aparat temas noktaları

"destek"

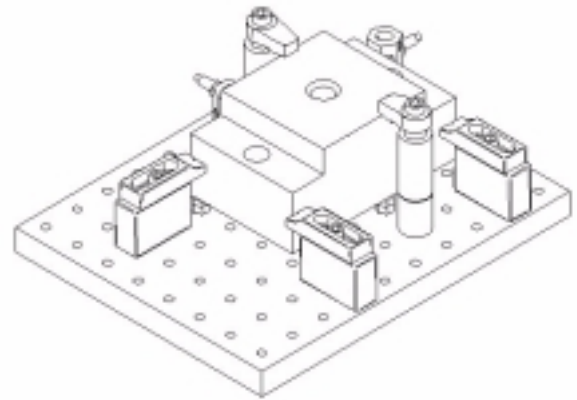
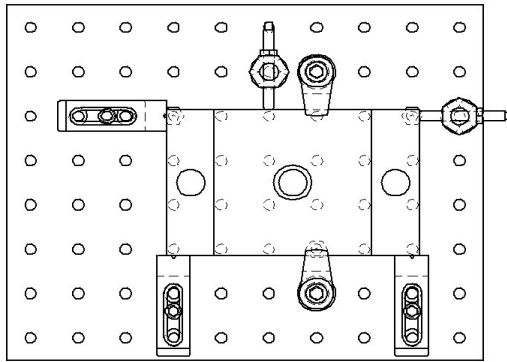
257.5,157.5,0



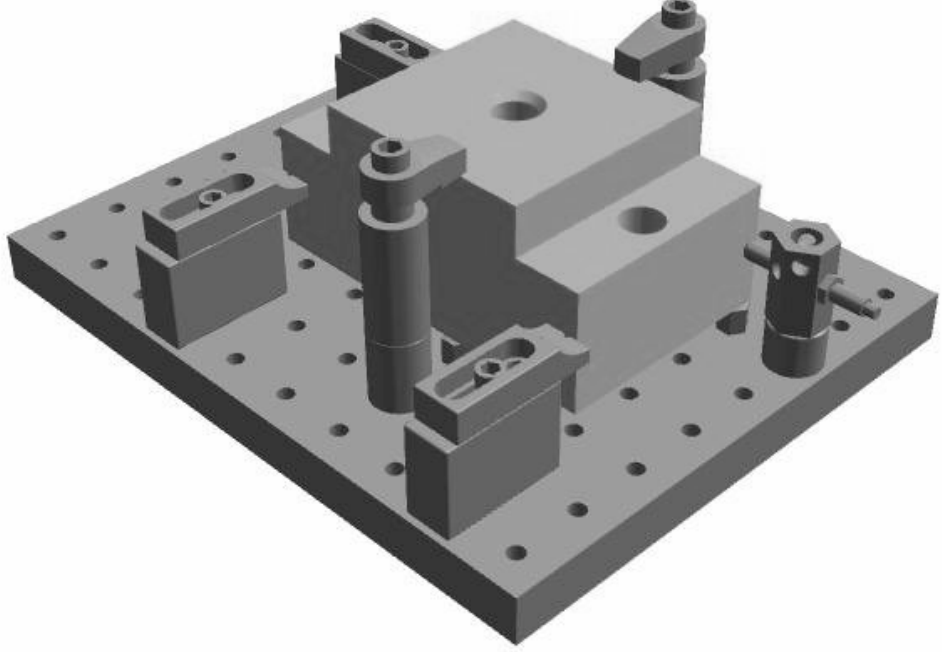
7.5,157.5,0  
 157.5,7.5,0  
 "dayama"  
 7.5,0,68  
 257.5,0,68  
 0,157.5,68  
 "yatay bağlama"  
 107.5,165,80  
 265,157.5,62  
 "düşey bağlama"  
 157.5,7.5,120  
 157.5,157.5,120



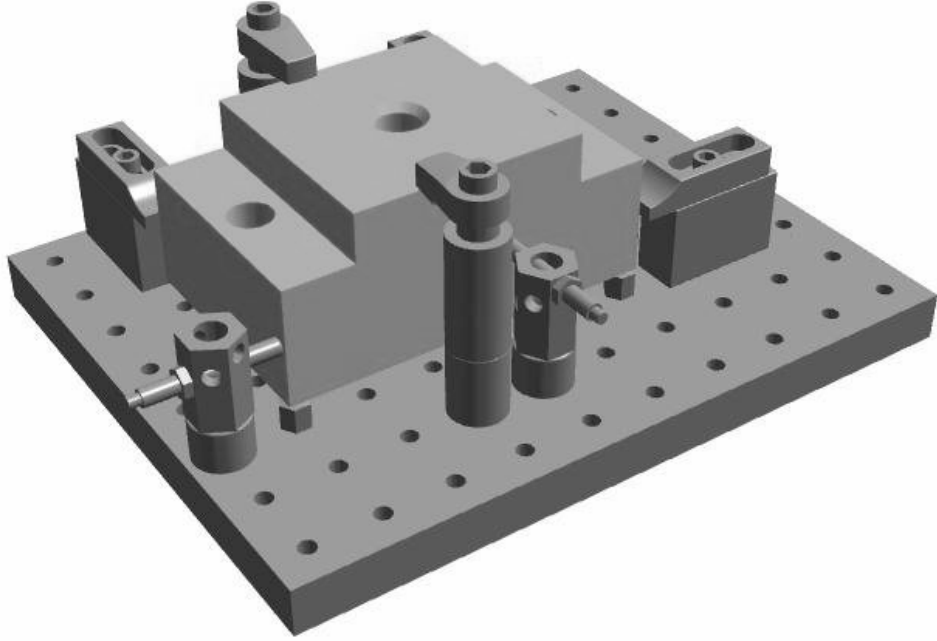
Şekil 7.5. Aparat konfigürasyonu için kurgu seçimi



Şekil 7.6. Örnek1 - kurgu1 aparat konfigürasyonu



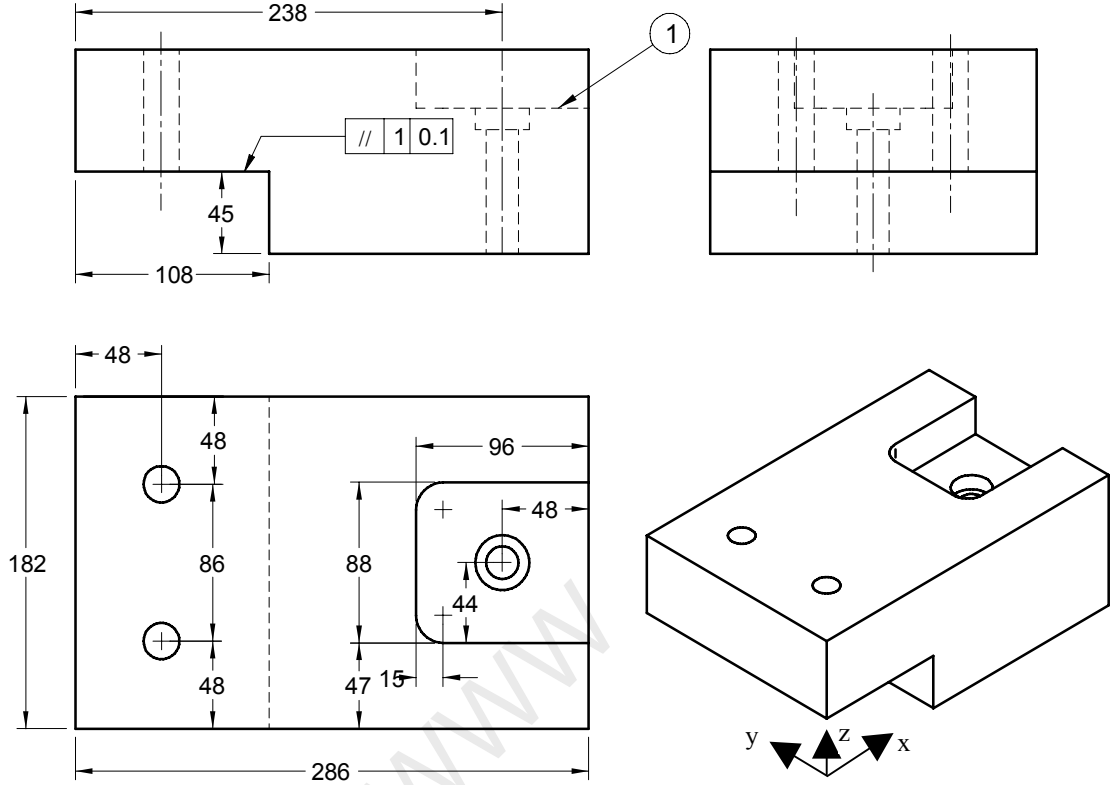
Şekil 7.7. Örnek1 aparat konfigürasyonu önden görünüş



Şekil 7.8. Örnek1 aparat konfigürasyonu arkadan görünüş

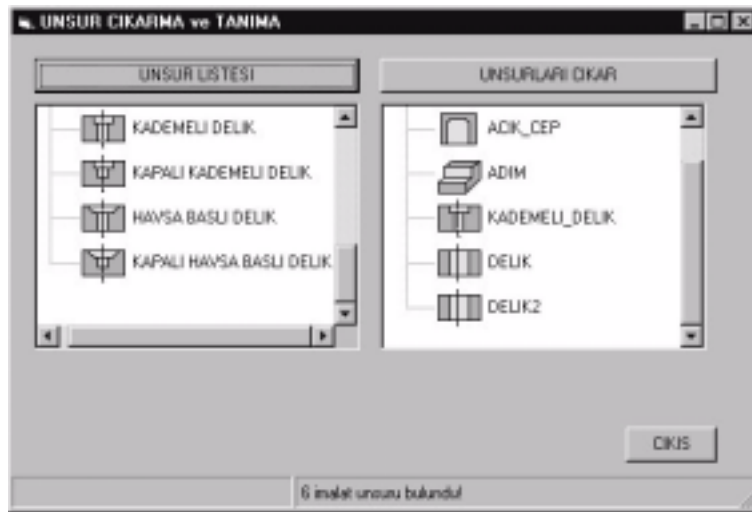
## 7.2. ÖRNEK 2

### a) Modelleme



Şekil 7.9. Örnek2 iş parçası teknik resmi

### b) Unsur çıkarma ve tanıma



Şekil 7.10. Parça üzerinde bulunan unsurlar

Unsur veritabanı

6									
0,	1,	1,	1,	"BLOK",	0,0,0,0,0,0				
1,	2,	1,	6,	"ACIK_CEP",	0,0,0,0,0,1				
2,	2,	2,	2,	"ADIM",	1,0,1,0,0,0				
3,	3,	1,	8,	"KADEMELI_DELIK",	0,0,0,0,0,1				
4,	3,	2,	7,	"DELİK",	0,0,1,0,0,1				
5,	3,	3,	7,	"DELİK2",	0,0,1,0,0,1				

Yüzey veritabanı

6527,	"F1",	"BLOK",	"Duzlem",	27172,	1,	0,	-1,	0
4140,	"F2",	"BLOK",	"Duzlem",	32142,	2,	0,	0,	-1
10518,	"F3",	"BLOK",	"Duzlem",	17568,	1,	1,	0,	0
5029,	"F4",	"BLOK",	"Duzlem",	12194,	1,	-1,	0,	0
8735,	"F5",	"BLOK",	"Duzlem",	27172,	1,	0,	1,	0
19864,	"F6",	"BLOK",	"Duzlem",	43072,	3,	0,	0,	1
5105,	"F7",	"ACIK_CEP",	"Duzlem",	2592,	1,	0,	-1,	0
4520,	"F8",	"ACIK_CEP",	"Silindirik",	754,	15,	0,	0,	-1
4397,	"F9",	"ACIK_CEP",	"Duzlem",	1856,	1,	1,	0,	0
3940,	"F10",	"ACIK_CEP",	"Silindirik",	754,	15,	0,	0,	-1
4561,	"F11",	"ACIK_CEP",	"Duzlem",	2592,	1,	0,	1,	0
7582,	"F12",	"ACIK_CEP",	"Duzlem",	7645,	2,	0,	0,	1
2112,	"F13",	"ADIM",	"Duzlem",	8190,	1,	-1,	0,	0
4672,	"F14",	"ADIM",	"Duzlem",	19028,	3,	0,	0,	-1
4060,	"F15",	"KADEMELI_DELIK",	"Silindirik",	3845,	9,	0,	0,	-1
4240,	"F16",	"KADEMELI_DELIK",	"Silindirik",	1131,	15,	0,	0,	-1
1860,	"F17",	"KADEMELI_DELIK",	"Duzlem",	452,	2,	0,	0,	1
2180,	"F18",	"DELİK",	"Silindirik",	4210,	10,	0,	0,	-1
3040,	"F19",	"DELİK2",	"Silindirik",	4210,	10,	0,	0,	-1

Kenar veritabanı

1,	11981,	"ACIK_CEP ",	"dogrusal",	-1,	0,	0
2,	13531,	"ACIK_CEP ",	"dogrusal",	0,	0,	-1
3,	13152,	"ACIK_CEP ",	"dogrusal",	1,	0,	0
4,	11506,	"ACIK_CEP ",	"dogrusal",	0,	0,	-1
5,	4945,	"ACIK_CEP ",	"dairesel",	0,	0,	1
6,	11506,	"ACIK_CEP ",	"dogrusal",	0,	0,	-1
7,	5361,	"ACIK_CEP ",	"dairesel",	0,	0,	-1
8,	10726,	"ACIK_CEP ",	"dogrusal",	0,	0,	-1
9,	9440,	"ACIK_CEP ",	"dogrusal",	0,	-1,	0
10,	10726,	"ACIK_CEP ",	"dogrusal",	0,	0,	-1

11,10542,"ACIK\_CEP ","dogrusal",0,1,0  
12,9160,"ACIK\_CEP ","dogrusal",0,0,-1  
13,4249,"ACIK\_CEP ","dairesel",0,0,1  
14,9160,"ACIK\_CEP ","dogrusal",0,0,-1  
15,4665,"ACIK\_CEP ","dairesel",0,0,-1  
16,9130,"ACIK\_CEP ","dogrusal",0,0,-1  
17,9848,"ACIK\_CEP ","dogrusal",1,0,0  
18,9130,"ACIK\_CEP ","dogrusal",0,0,-1  
19,10533,"ACIK\_CEP ","dogrusal",-1,0,0  
20,11251,"ACIK\_CEP ","dogrusal",0,0,1  
21,4960,"ACIK\_CEP ","dairesel",0,0,-1  
22,11981,"ACIK\_CEP ","dogrusal",-1,0,0  
23,4945,"ACIK\_CEP ","dairesel",0,0,1  
24,9440,"ACIK\_CEP ","dogrusal",0,-1,0  
25,4249,"ACIK\_CEP ","dairesel",0,0,1  
26,9848,"ACIK\_CEP ","dogrusal",1,0,0  
27,11795,"ACIK\_CEP ","dogrusal",0,-1,0  
28,3836,"KADEMELI\_DELIK ","dairesel",0,0,1  
29,4720,"KADEMELI\_DELIK ","dairesel",0,0,-1  
30,4804,"KADEMELI\_DELIK ","dairesel",0,0,1  
31,4960,"KADEMELI\_DELIK ","dairesel",0,0,-1  
32,4720,"KADEMELI\_DELIK ","dairesel",0,0,-1  
33,4804,"KADEMELI\_DELIK ","dairesel",0,0,1  
34,3285,"ADIM ","dogrusal",0,0,-1  
35,6189,"ADIM ","dogrusal",0,-1,0  
36,8334,"ADIM ","dogrusal",0,0,1  
37,5430,"ADIM ","dogrusal",0,1,0  
38,2861,"ADIM ","dairesel",0,0,1  
39,1829,"ADIM ","dairesel",0,0,1  
40,2817,"ADIM ","dogrusal",1,0,0  
41,3489,"ADIM ","dogrusal",0,-1,0  
42,7407,"ADIM ","dogrusal",-1,0,0  
43,6189,"ADIM ","dogrusal",0,-1,0  
44,1829,"DELİK ","dairesel",0,0,1  
45,2700,"DELİK ","dairesel",0,0,-1  
46,2861,"DELİK2 ","dairesel",0,0,1  
47,3732,"DELİK2 ","dairesel",0,0,-1

### c) Tolerans bilgilerinin eklenmesi

Tolerans ekleme modülü ile parça yüzeyleri seçilerek boyut ve geometrik toleranslar verilir. Bu işlem bittikten sonra aşağıdaki unsur öncelikleri elde edilir. Bu öncelikler hem geometrik hem de tolerans önceliklerini içerirler.

(1, 3), (2, 5), (2, 4), (1, 2)

### d) Kurgu planlama

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	-1	-1	-1																
1	0	-1	-1																
1	0	-1	-1																
1	1	0	-1																
1	1	0	-1																

**ÖNCELİK MATRİS ANALİZİ**

1	2	4																	
	3	5																	

Kurgu 1: 1 3  
 Kurgu 2: 2 4 5  
 Kurgu 3:   
 Kurgu 4:   
 Kurgu 5:   
 Kurgu 6:

Kurgu 1: ACIK\_CEP, KADÉMELI\_DELIK  
 Kurgu 2: ADIM, DELİK, DELİK2  
 Kurgu 3:   
 Kurgu 4:   
 Kurgu 5:   
 Kurgu 6:

KURGU PLANI OLUŞTUR ÇIKIŞ

Şekil 7.11. Örnek2 kurgu planı

### Kurgu planı

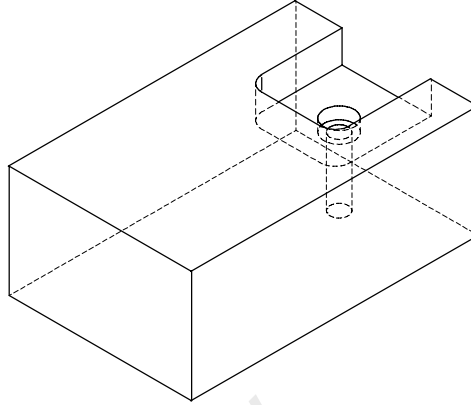
2

1, 6, 2

1, "ACIK\_CEP"

3, "KADEMELI\_DELIK"  
 2, 3, 3  
 2, "ADIM"  
 4, "DELİK"  
 5, "DELİK2"

## KURGU1



Şekil 7.12. Kurgul

### Kurgul yüzey veritabanı

10518,	"S1F1",	"BLOK",	"Düzlem",	17568,	1,	1,	0,	0
6563,	"S1F2",	"BLOK",	"Düzlem",	32032,	1,	0,	-1,	0
5398,	"S1F3",	"BLOK",	"Düzlem",	20384,	1,	-1,	0,	0
8125,	"S1F4",	"BLOK",	"Düzlem",	32032,	1,	0,	1,	0
17582,	"S1F5",	"BLOK",	"Düzlem",	43701,	1,	0,	0,	1
5909,	"S1F6",	"BLOK",	"Düzlem",	51798,	2,	0,	0,	-1
5105,	"S1F7",	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	2592,	1,	0,	-1,	0
4520,	"S1F8",	"ACIK_CEP",	"Silindirik",	754,	15,	0,	0,	-1
4397,	"S1F9",	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	1856,	1,	1,	0,	0
3940,	"S1F10",	"ACIK_CEP",	"Silindirik",	754,	15,	0,	0,	-1
4561,	"S1F11",	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	2592,	1,	0,	1,	0
7582,	"S1F12",	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	7645,	2,	0,	0,	1
4060,	"S1F13",	"KADEMELI_DELIK",	"Silindirik",	3845,	9,	0,	0,	-1
4240,	"S1F14",	"KADEMELI_DELIK",	"Silindirik",	1131,	15,	0,	0,	-1
1860,	"S1F15",	"KADEMELI_DELIK",	"Düzlem",	452,	2,	0,	0,	1

Kurgul iş lenmeyen yüzey veritabanı:

1,	10518,	"BLOK",	"Düzlem",	17568,	1,	1,	0,	0
2,	6563,	"BLOK",	"Düzlem",	32032,	1,	0,	-1,	0
3,	5398,	"BLOK",	"Düzlem",	20384,	1,	-1,	0,	0
4,	8125,	"BLOK",	"Düzlem",	32032,	1,	0,	1,	0
5,	17582,	"BLOK",	"Düzlem",	43701,	1,	0,	0,	1
6,	5909,	"BLOK",	"Düzlem",	51798,	2,	0,	0,	-1

**Modüler aparat konfigürasyonu**Kurgul delik matrisi

```
"0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 "
"0 0 0 0 0 5 0 0 0 0 "
"0 4 8 1 1 1 1 8 6 0 "
"0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 "
"0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 "
"0 0 1 1 1 8 1 1 0 0 "
"0 0 2 0 0 0 0 3 0 0 "
"0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 "
```

Kurgul aparat temas noktaları

"destek"

268,166,0

18,166,0

168,16,0

"dayama"

18,0,68

268,0,68

0,166,68

"yatay bağlama"

168,182,80

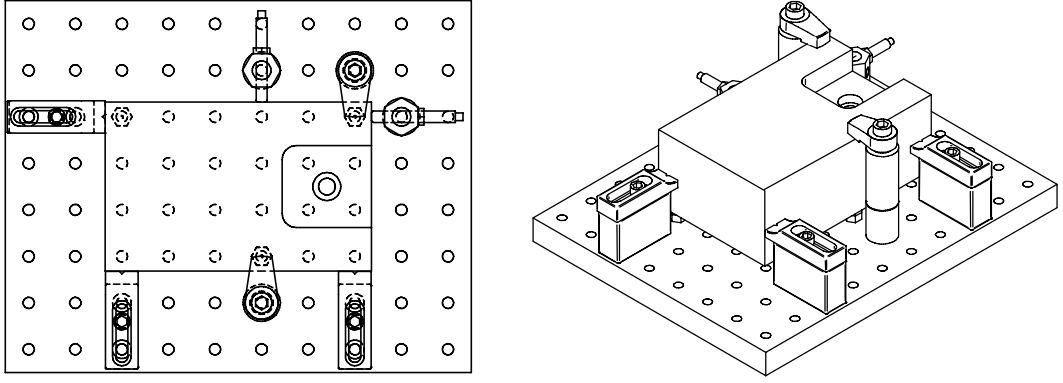
286,166,80

"düşey bağlama"

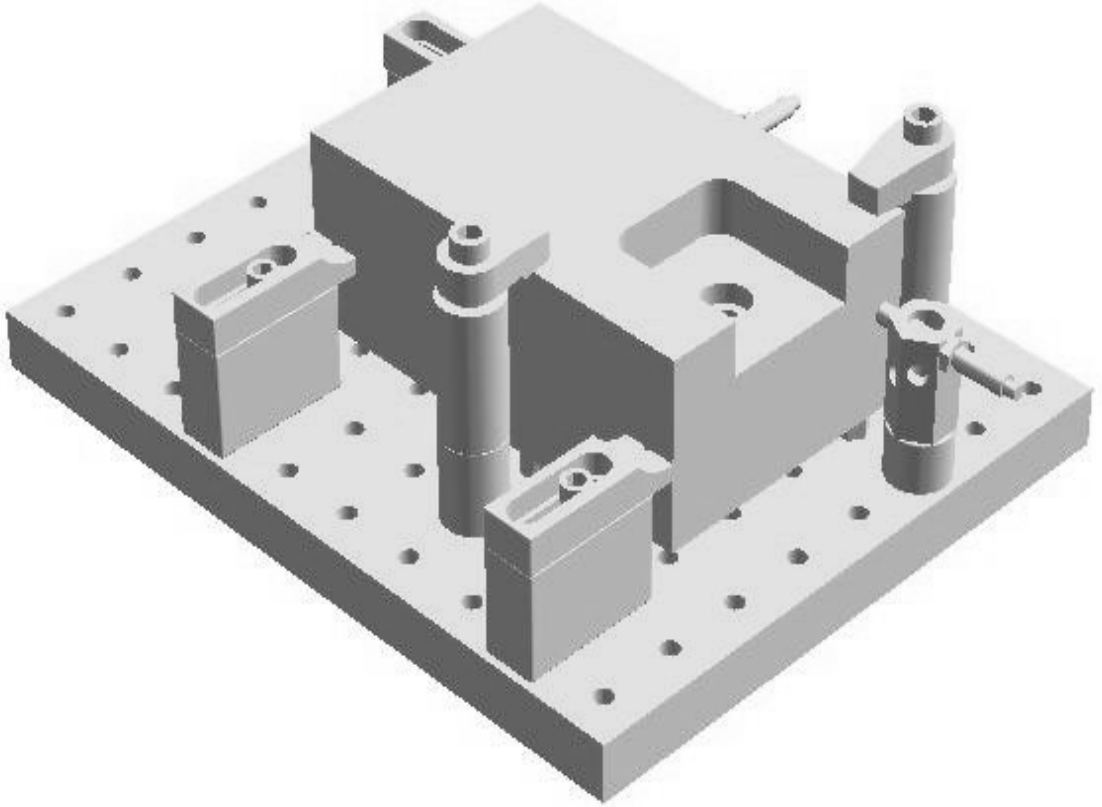
168,16,112

268,166,112

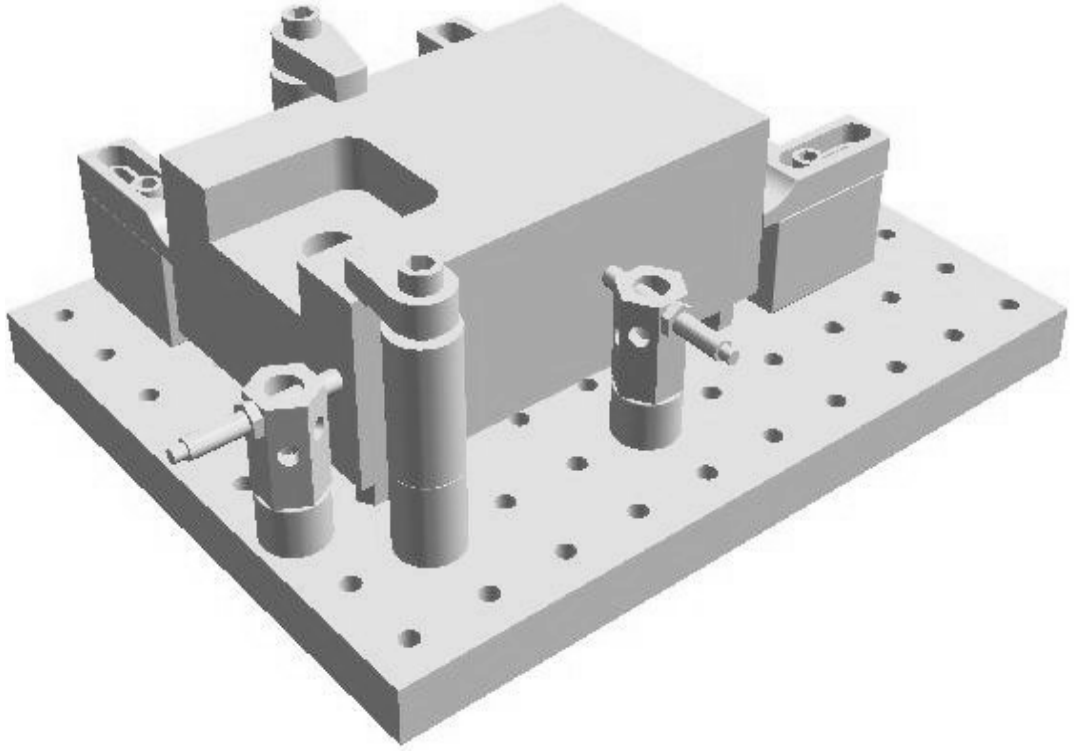




Şekil 7.13. Örnek2 - kurgul aparat konfigürasyonu

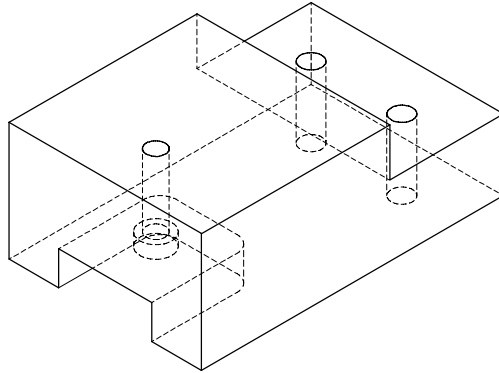


Şekil 7.14. Örnek2 - kurgul aparat konfigürasyonu önden görünüş



Şekil 7.15. Örnek2 - kurgu1 aparat konfigürasyonu arkadan görünüş

## KURGU2



Şekil 7.16. Örnek2 - kurgu2 modeli

### Kurgu2 yüzey veritabanı

7417, "S2F1", "BLOK",	"Düzlem",	27172,	1,	0,	-1,	0
9498, "S2F2", "BLOK",	"Düzlem",	32142,	2,	0,	0,	1
5757, "S2F3", "BLOK",	"Düzlem",	17568,	1,	-1,	0,	0
3750, "S2F4", "BLOK",	"Düzlem",	12194,	1,	1,	0,	0

9177,	"S2F5",	"BLOK",	"Düzlem",	27172,	1, 0,	1, 0
5601,	"S2F6",	"BLOK",	"Düzlem",	43072,	3, 0,	0, -1
975,	"S2F7",	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	2592,	1, 0,	1, 0
1438,	"S2F8",	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	2592,	1, 0,	-1, 0
2160,	"S2F9",	"ACIK_CEP",	"Silindirik",	754,	15,0,	0, 1
1495,	"S2F10",	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	1856,	1, -1,	0, 0
1580,	"S2F11",	"ACIK_CEP",	"Silindirik",	754,	15,0,	0, 1
3384,	"S2F12",	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	7645,	2, 0,	0, -1
1920,	"S2F13",	"KADEMELI_DELIK",	"Silindirik",	3845,	9, 0,	0, 1
1860,	"S2F14",	"KADEMELI_DELIK",	"Silindirik",	1131,	15,0,	0, 1
1034,	"S2F15",	"KADEMELI_DELIK",	"Düzlem",	452,	2, 0,	0, -1
5047,	"S2F16",	"ADIM",	"Düzlem",	8190,	1, 1,	0, 0
6858,	"S2F17",	"ADIM",	"Düzlem",	19028,	3, 0,	0, 1
3820,	"S2F18",	"DELİK2",	"Silindirik",	4210,	10,0,	0, 1
2960,	"S2F19",	"DELİK",	"Silindirik",	4210,	10,0,	0, 1

#### Kurgu2 iş lenmeyen yüzey veritabanı:

1,	7417,	"BLOK",	"Düzlem",	27172,	1, 0,	-1, 0
2,	9498,	"BLOK",	"Düzlem",	32142,	2, 0,	0, 1
3,	5757,	"BLOK",	"Düzlem",	17568,	1, -1,	0, 0
4,	3750,	"BLOK",	"Düzlem",	12194,	1, 1,	0, 0
5,	9177,	"BLOK",	"Düzlem",	27172,	1, 0,	1, 0
6,	5601,	"BLOK",	"Düzlem",	43072,	3, 0,	0, -1
7,	975,	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	2592,	1, 0,	1, 0
8,	1438,	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	2592,	1, 0,	-1, 0
9,	1495,	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	1856,	1, -1,	0, 0
10,	3384,	"ACIK_CEP",	"Düzlem",	7645,	2, 0,	0, -1
11,	1034,	"KADEMELI_DELIK",	"Düzlem",	452,	2, 0,	0, -1

#### **Modüler aparat konfigürasyonu**

##### Kurgu2 delik matrisi

```
"0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 "
"0 0 0 0 0 5 0 0 0 0 "
"0 4 8 1 1 1 1 8 6 0 "
"0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 "
"0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 "
"0 0 1 1 1 1 8 1 0 0 "
"0 0 2 0 0 0 0 3 0 0 "
"0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 "
```

Kurgu2 aparat temas noktaları

"destek"

268,166,0

18,166,0

218,16,0

"dayama"

18,0,68

268,0,55

0,166,68

"yatay bağlama"

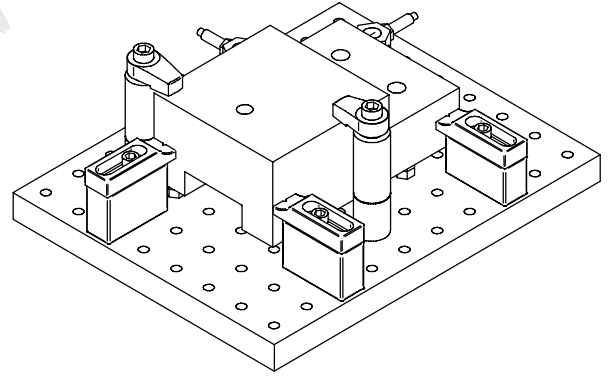
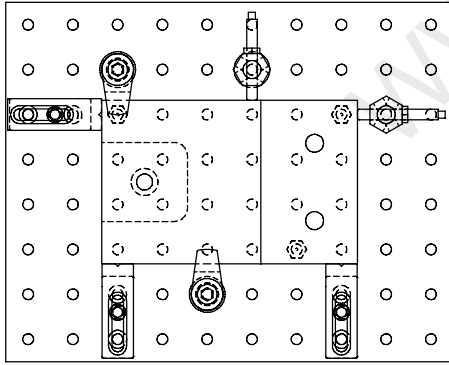
168,182,80

286,166,50

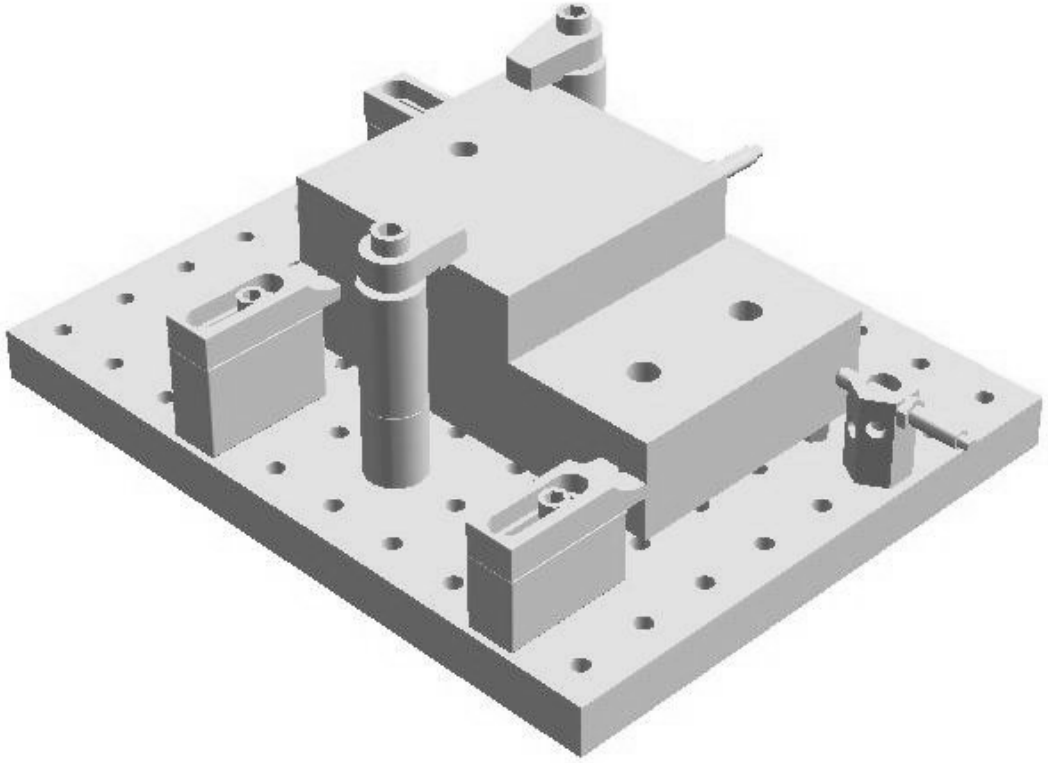
"düşey bağlama"

118,16,112

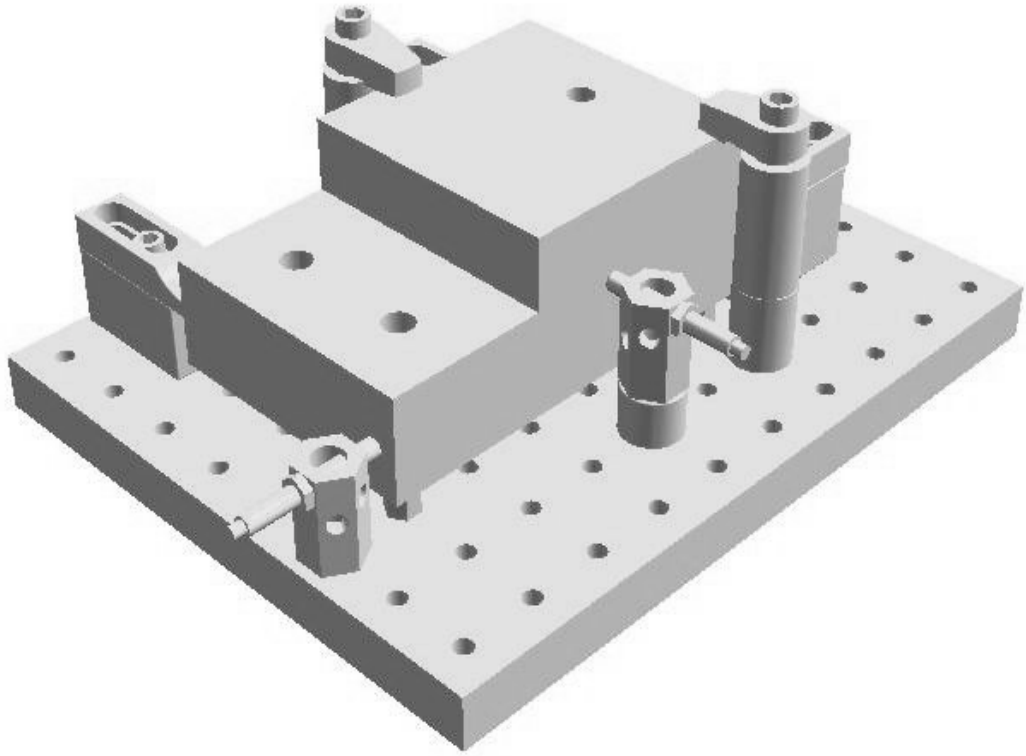
18,166,112



Şekil 7.17. Örnek2 - kurgu2 aparat konfigürasyonu



Şekil 7.18. Örnek2 - kurgu2 aparat konfigürasyonu önden görünüş



Şekil 7.19. Örnek2 - kurgu2 aparat konfigürasyonu arkadan görünüş

## 8. APARAT - İŞ PARÇASI SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Bu bölümde, bir önceki bölümde verilen örnek2 iş parçasının her iki kurgusu için önerilen aparat konfigürasyonunun, ANSYS 5.4 programı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizleri gerçekleştirilecektir. Analizlerde, temas noktaları nokta teması olarak ele alınmış ve sürtünmeler ihmal edilmiştir.

Kural tabanlı bir yapı ile oluşturulan modüler aparat konfigürasyonları analiz edilerek aparat elemanlarına gelen reaksiyon kuvvetleri hesaplanacak ve parçanın kesme kuvvetleri altında destek ve dayama elemanlarından ayrılmaması için gerekli bağlama kuvvetleri tespit edilecektir. Böylece yetersiz bağlama kuvvetlerinden dolayı iş parçasının kayması önlenilecek, aşırı bağlama kuvvetlerinden dolayı oluşacak deformasyonlar azaltılacaktır. Ayrıca sonuçların değerlendirilmesi ile ek aparat elemanları kullanma ihtiyacı ve yerleride belirlenebilecektir.

Takımın iş parçası üzerindeki hareketi sırasında aparat elemanlarına gelen reaksiyon kuvvetleri de değişecektir. Ayrıca takım ilerledikçe parçadan talaş kaldırılmaktadır. Bunun için takımın belli konumları için analiz gerçekleştirilir. İşlenecek bölge ayrı olarak modellenmiş ve takımın herbir konumunda bir önceki eleman silinmiştir. Bu işlem ANSYS programında elemanların öldürülmesi tekniği ile gerçekleştirilir. Elemanın rijitliği çok küçük bir değerle çarpılarak azaltılır. Böylece parçadan malzeme eksilmesi simüle edilmiş olur.

Analizler her bir kurgu için iki aşamalı olarak gerçekleştirilir.

1. Destek, dayama ve bağlama (düşey ve yatay) elemanları temas noktalarında yüzeydik yönde ötelemeler sıfırlanır. Parça üzerine kesme kuvvetleri etki eder. Bağlama kuvvetleri etki etmez.
2. Aparat elemanlarında oluşan reaksiyon kuvvetleri incelenerek yaklaşık olarak bağlama kuvvetleri tayin edilir ve bu defa analiz için bağlama temas noktalarında bağlama kuvvetleri etki ettirilir ve kesme kuvvetleri altında analiz yapılır.

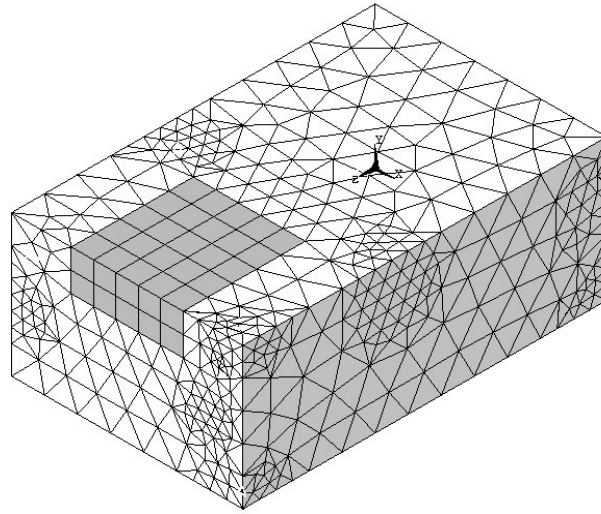
İş parçasının destek ve dayama elemanlarından ayrılmaması için bu noktalardaki reaksiyon kuvvetlerinin iş parçasına doğru olması gerekmektedir. Eğer parçadan uzaklaş an yönde ise ayrılma var demektir. İş parçasının destek ve dayama elemanlarından ayrılmamasını bağlama elemanları sağlarlar. Ayrılma durumunda destek ve dayama noktalarında oluş an, parçadan uzaklaş an yöndeki reaksiyon kuvvetlerinden daha büyük olacak ş ekilde bağlama kuvvetleri tayin edilir.

Tüm analizlerde eleman tipi olarak SOLID73 elemanı kullanılmış tır. Elastisite modülü  $E=2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$  olarak alınmış tır.

## 8.1. Kurgu1 aparat konfigürasyonunun analizi

### 8.1.1. Açık cep unsurunun iş lenmesi

#### a) Sonlu elemanlar modeli

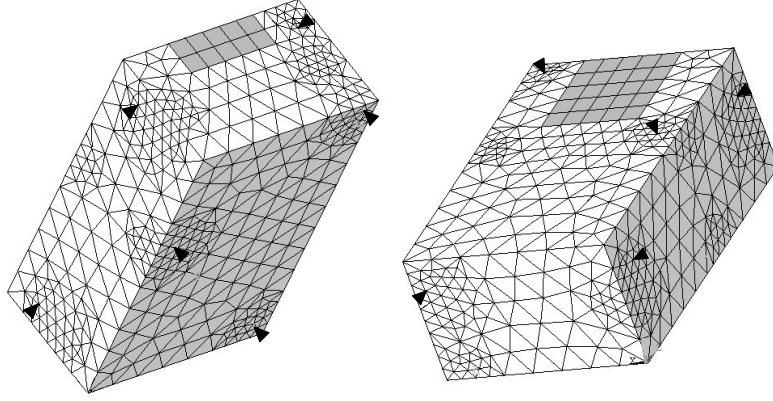


Şekil 8.1. Açık cep sonlu elemanlar modeli

Bu modelde 7005 eleman ve 1643 düğüm noktası mevcuttur. İş lenecek bölge map mesh tekniği ile elemanlara ayrılmış ve 50 eleman oluş turulmuş tur. İş leme 2 pasoda, ve takımın 60 değış ik konumu için analiz yapılacaktır.

## b) Sınır şartları

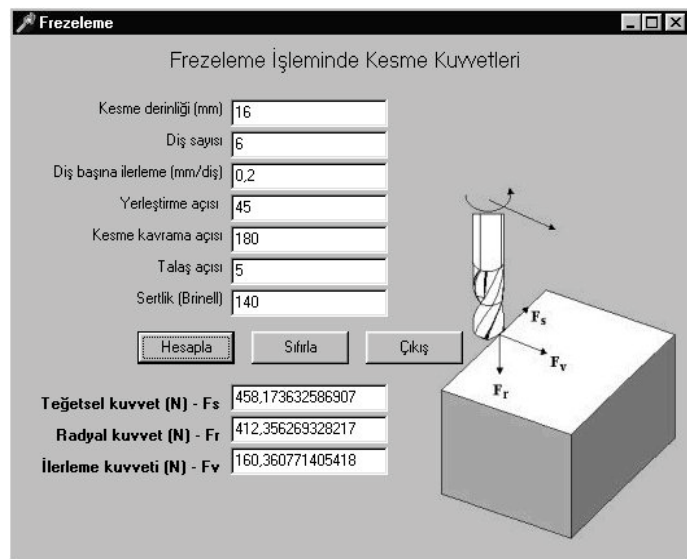
Temas noktalarına karşılık gelen en yakın düğüm noktaları mesnet noktaları olarak seçilmişler ve yüzeye dik yöndeki hareketleri sıfırlanmıştır.



Şekil 8.2. Kurgul mesnet noktaları

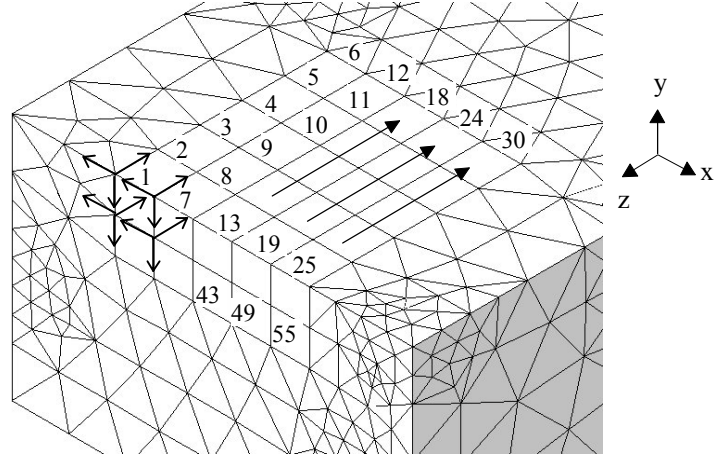
Kesme kuvvetleri için bölüm 5.6.1.'de verilen ifadeler kullanılır. Açık cep unsurunun işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri Şekil 8.3.'te verilmiştir.

Bu değerler elemanların ön yüzündeki 4 düğüm noktasına etki edeceğinden dörde bölünürler ve takım işleme yönüne göre düğüm noktalarına etki ettirilirler (Şekil 8.4.).



Şekil 8.3. Açık cep unsurunun işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvveti değerleri





Şekil 8.4. Açık cep kesme kuvvetleri ve takım konumları

Elemanın ön yüzünde bulunan her bir düğüm noktasına etki eden kuvvetler;

1. ve 2. pasoda parçaya ilk giriş te kesme kavrama açısı  $180^\circ$  ;

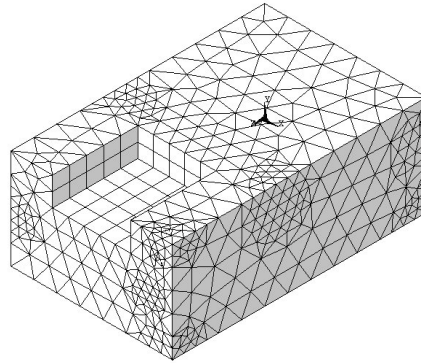
$$F_x = -458/4 = -114.5 \text{ N}, \quad F_y = -412/4 = -103 \text{ N}, \quad F_z = -160/4 = -40 \text{ N}$$

Diğer konumlarda kesme kavrama açısı  $90^\circ$ ;

$$F_x = -372/4 = -93 \text{ N}, \quad F_y = -335/4 = -83.75 \text{ N}, \quad F_z = -130/4 = -32.5 \text{ N}$$

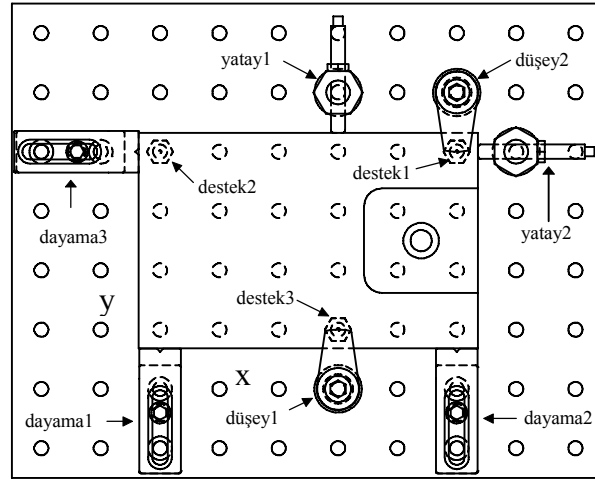
### c) Çözüm

Toplam 60 konum için analiz gerçekleştirilir. Herbir analizde, bir önceki eleman öldürülür ve takım kuvvetleri bir sonraki düğüm noktalarına taşınır. Böylece açık cep unsurunun tüm elemanları analiz sonunda öldürülmüş olur (Şekil 8.5.).

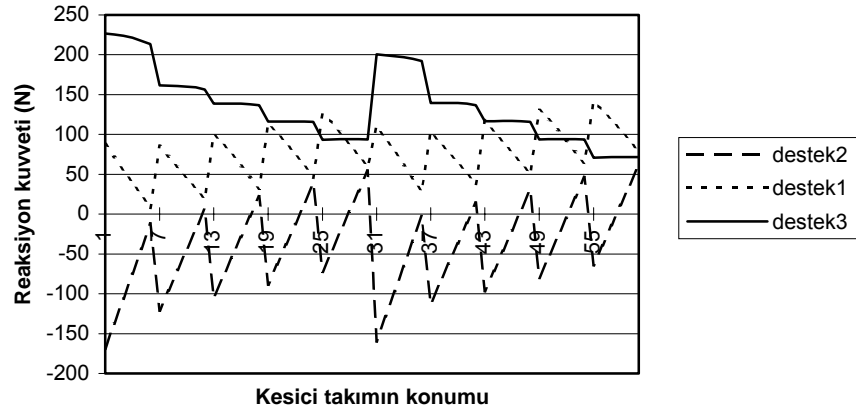


Şekil 8.5. Açık cep unsurunun işlenmesi

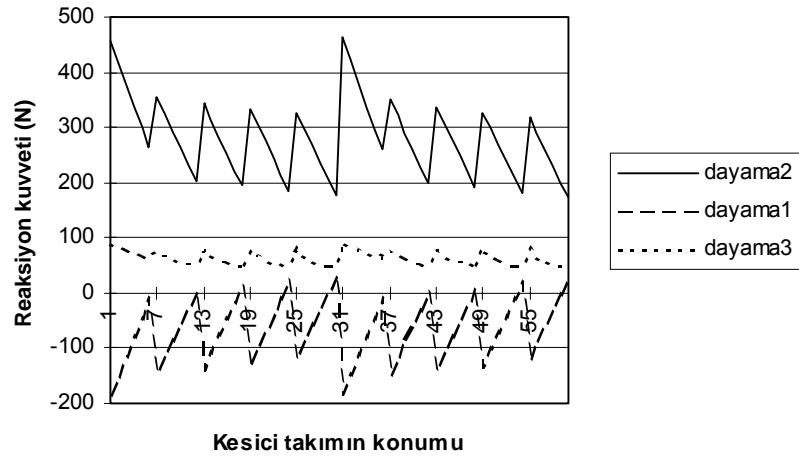
Çözüm sonunda elde edilen reaksiyon kuvvetleri aşağıda verilmiştir.



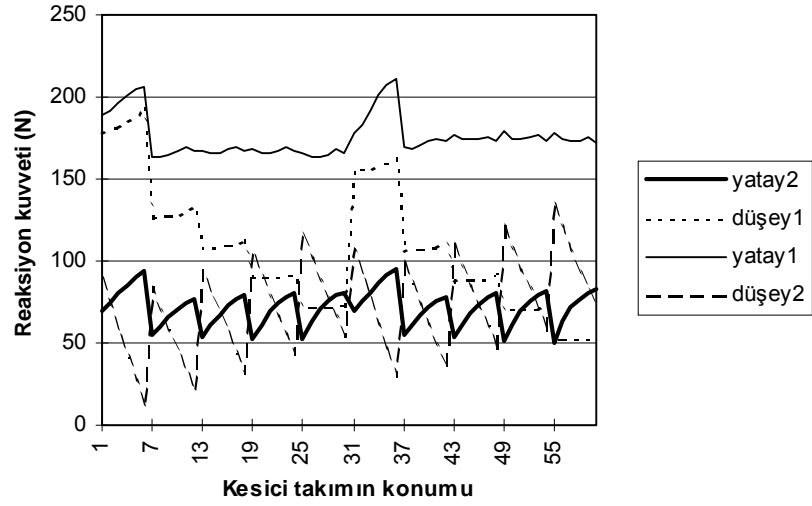
Şekil 8.6 Örnek2 - kurgul



Şekil 8.7 Destek noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri



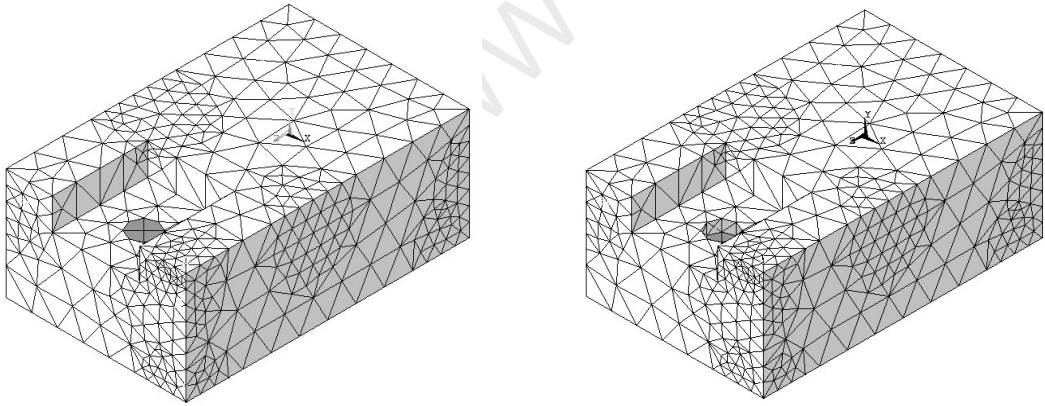
Şekil 8.8 Dayama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri



Şekil 8.9 Bağlama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri

### 8.1.2. Kademeli delik unsurunun iş lenmesi

#### a) Modelleme

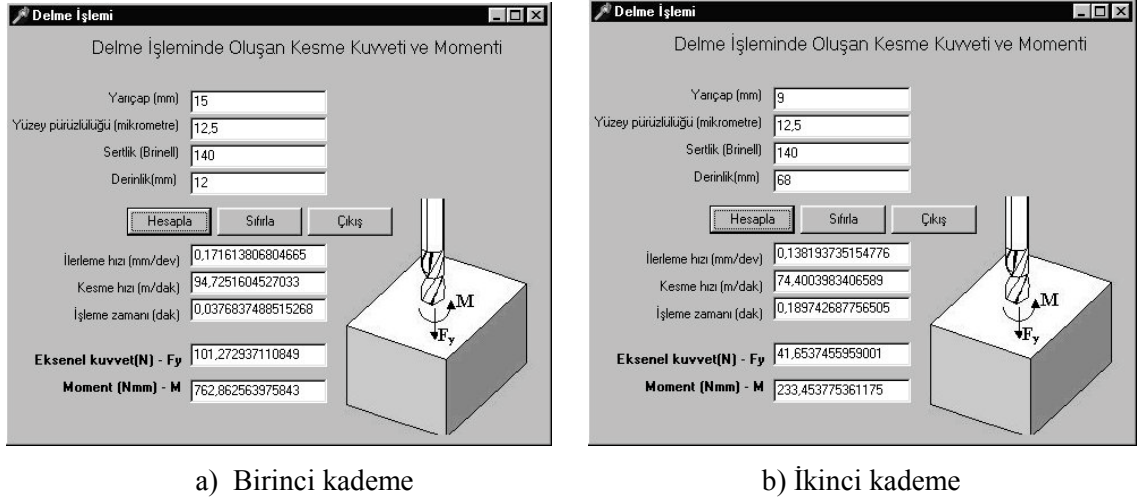


Şekil 8.10. Kademeli delik sonlu elemanlar modeli

6917 eleman ve 1585 düğüm noktası oluş turulmuş tur. Delik hacimleri ayrı olarak modellenmiş ve map mesh tekniği ile elemanlara ayrılmış tir.

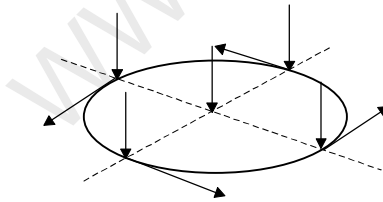
#### b) Sınır şartları

Açık cep unsurunun iş lenmesi sırasındaki mesnet yerleri geçerlidir. Kesme kuvvet ve moment değerleri ise Şekil 8.11.'de verilmiş tir.



Şekil 8.11. Kademeli delikte kesme kuvvetleri ve momentleri

Eksenel kuvvet değeri delik üzerinde bulunan 5 düğüm noktasına dağıtılmış, moment ise delik etrafındaki 4 düğüm noktasında eş değer kuvvet çifti olarak uygulanmıştır.



Şekil 8.12. Delik üzerinde bulunan düğüm noktalarına etki eden kuvvetler

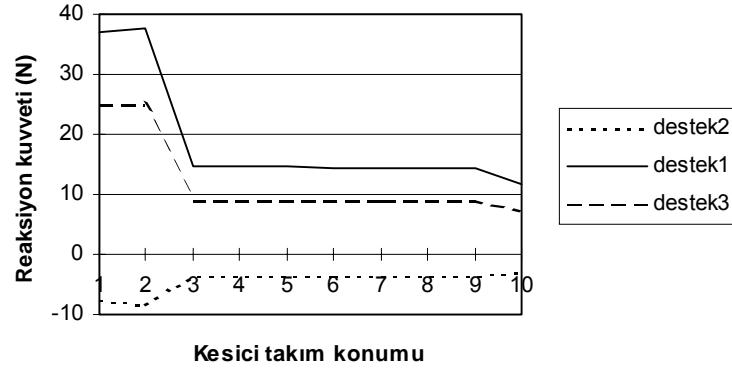
Herbir düğüm noktasına gelen kuvvetler;

Büyük delik için eksenel kuvvet değeri,  $F_y = -101/5 = -20.25$  N. Eş değer kuvvet çiftlerinden her bir kuvvet değeri  $F = 12.7$  N olarak bulunmuş tur.

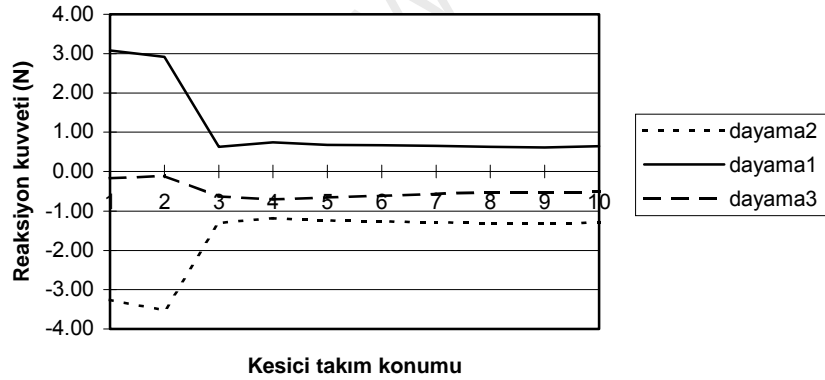
Küçük delik için eksenel kuvvet değeri,  $F_y = -41.65/5 = -8.33$  N. Eş değer kuvvet çiftlerinden her birinin kuvvet değeri  $F = 6.48$  N olarak bulunmuş tur.

### c) Çözüm

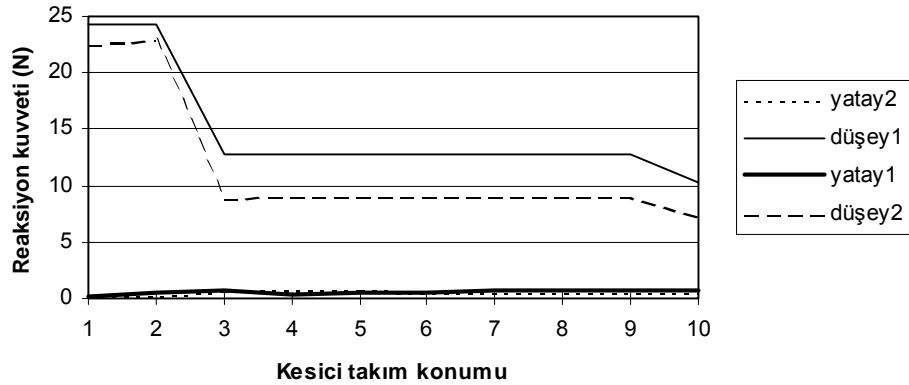
Büyük delik 2, küçük delik 8 olmak üzere analiz 10 aşamada gerçekleştirilmiştir. Analiz sonunda elde edilen reaksiyon kuvvetleri aşağıda görülmektedir.



Şekil 8.13. Kademeli delikte destek reaksiyon kuvvetleri



Şekil 8.14. Kademeli delikte dayama reaksiyon kuvvetleri



Şekil 8.15. Kademeli delikte bağlama elemanları reaksiyon kuvvetleri

Birinci kurguda iş lenen açıp cep ve kademeli delik unsurlarının analizi ile elde edilen reaksiyon kuvvetleri incelendiğinde delik unsurunun iş lenmesi sırasında oluş an reaksiyon kuvvetleri, açık cep unsuru reaksiyon kuvvetlerine göre düşük çıkmıştır. Bu yüzden bağlama kuvvetleri bulunurken açık cep unsurunun iş lenmesi sırasında oluş an reaksiyon kuvvetleri dikkate alınacaktır.

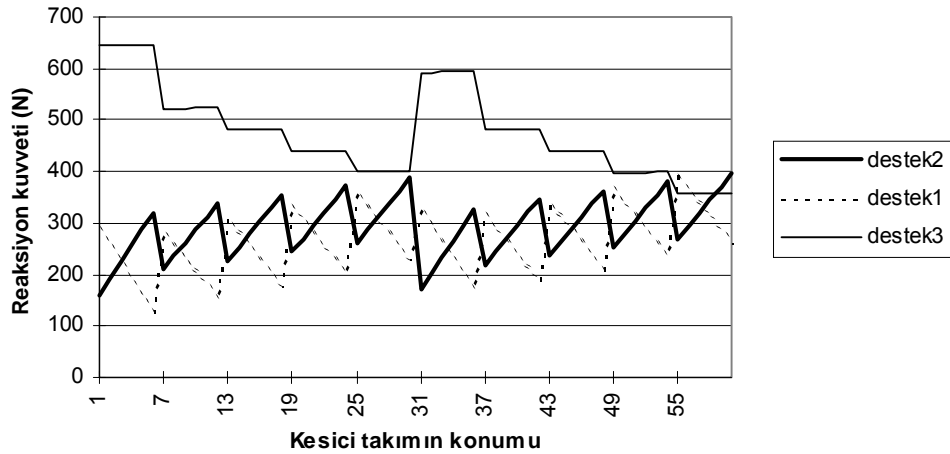
Şekil 8.7.'deki grafik incelendiğinde, parçaya giriş te destek2 elemanında oluş an reaksiyon kuvvetinin ayrılma yönünde olduğu görülmektedir (parçadan dışarı doğru). Takım parça içine doğru ilerlerken bu ayrılma reaksiyon kuvveti miktarı azalmakta ve iş parçası ile temas etme şeklinde devam etmektedir. Diğer iki destek elemanında ayrılma yoktur. Başlangıçta destek1'de ayrılma eğilimi görülmekte ancak daha sonra temas devam etmektedir. destek2 elemanının parça ile temasının sağlanması gerekir. Bunun için destek2' nin üzerine 3. düşey bağlama elemanı konulması uygun olur. Bir diğer çözüm, destek3 elemanı yerinin +x yönünde 2 delik sağa kaydırmak suretiyle işleme bölgesini desteklerin oluştuğu üçgenin içine alarak parçanın dengesi korunabilir.

Bağlama elemanlarına uygulanacak bağlama kuvveti olarak, ayrılma meydana gelen destek elemanlarındaki maksimum reaksiyon kuvvetinin belli bir emniyet faktörü ile çarpılması ile elde edilen değer alınabilir. Bu şekilde bu bağlama kuvveti bu reaksiyon kuvvetinden büyük olacağından bu noktada temas sağlanmış olur. Örneğin şekil 8.7' de destek2' nin max reaksiyon kuvvet değeri -175 N civarındadır. Bu değer 2 ile çarpılarak 350 N' luk bağlama kuvveti düşey3 elemanı ile parça üzerine etki ettirilebilir. Destek1 ve destek3'ün üzerinde bulunan düşey2 ve düşey1 elemanları da ayrılma eğiliminde oldukları görülmektedir (şekil 8.9). Düşey1' de oluş an maksimum reaksiyon kuvveti 180 N civarında, düşey2' de ise 150 N civarındadır. Bu elemanlardaki ayrılma miktarı düşük olduğundan emniyet faktörü 1 alınabilir. Bu değerler ikinci analizden sonra elde edilecek reaksiyon kuvvetleri incelenerek azaltılabilir veya artırılabilir. Buna göre düşey elemanlara uygulanacak kuvvetleri (parçaya doğru)  $F_{düşey1}=180\text{ N}$ ,  $F_{düşey2}=150\text{ N}$ ,  $F_{düşey3}=350\text{ N}$  olarak alalım.

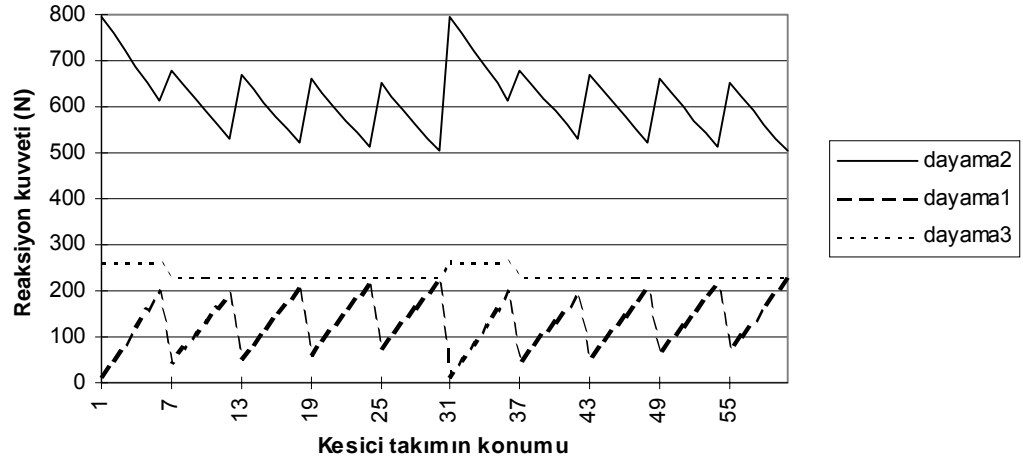
Şekil 8.8.'deki dayama reaksiyon kuvvetleri incelendiğinde, dayama1 elemanında ayrılma görülmektedir. Dayama1 in karşısındaki yatay1 bağlama elemanı, parçanın hem dayama1 hemde dayama2 elemanı ile temasını sağlamaktadır. Uygulanacak bağlama kuvvetini her iki dayamanında karşılayacağı düşünülerek ve yatay1 de oluşan reaksiyon kuvveti dikkate alınarak yatay1 bağlama kuvveti belirlenir. Yatay2 ise, parçanın dayama3 ile temasını sağlamaktadır. Buna göre yatay bağlama elemanlarına uygulanacak kuvvetler (parçaya doğru)  $F_{yatay1}=350$  N,  $F_{yatay2}=100$  N olarak alınabilir.

Bu değerler ile analiz tekrar yapıldığında elde edilen reaksiyon kuvvetleri Şekil 8.16. ve Şekil 8.17.' de verilmiştir. Bu grafiklerde, destek ve dayamalarda ayrılma olmadığı görülmektedir. Ancak dayama1 reaksiyon kuvveti başlangıçta 0'a yakın çıkmıştır. Dolayısıyla yatay1' in kuvvet değeri bir miktar artırılabilir.

Sonuç olarak, bağlama elemanlarına uygulanacak kuvvetler bu civarda olmalıdır. Parçada oluşan deformasyon değerleri oldukça küçük çıkmıştır ( $0.5 \cdot 10^{-3}$  ile  $1 \cdot 10^{-3}$  mm arası). Burada deformasyonlar bir problem teşkil etmemektedir.



Şekil 8.16. Bağlama kuvvetlerinin etkisi altında oluşan destek reaksiyon kuvvetleri

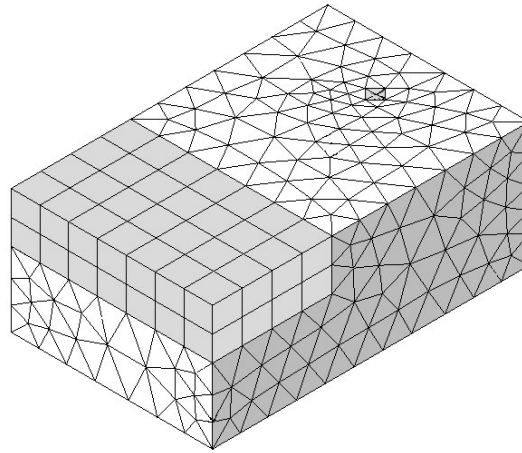


Şekil 8.17. Bağlama kuvvetlerinin etkisi altında oluş an dayama reaksiyon kuvvetleri

## 8.2. Kurgu2 aparat konfigürasyonunun analizi

### 8.2.1. Adım unsurunun iş lenmesi

#### a) Sonlu elemanlar modeli

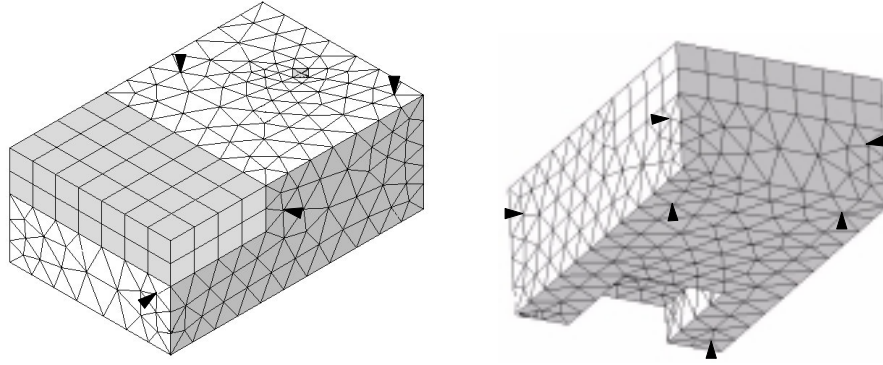


Şekil 8.18. Adım sonlu elemanlar modeli

Bu model 4542 eleman ve 1098 düğüm noktasından oluşmaktadır. İşlenecek bölge map mesh tekniği ile elemanlara ayrılmış 56 eleman oluşturulmuş tür. İşleme 2 pasoda, ve takımın 64 değişik konumu için analiz yapılacaktır.



### b) Sınır şartları



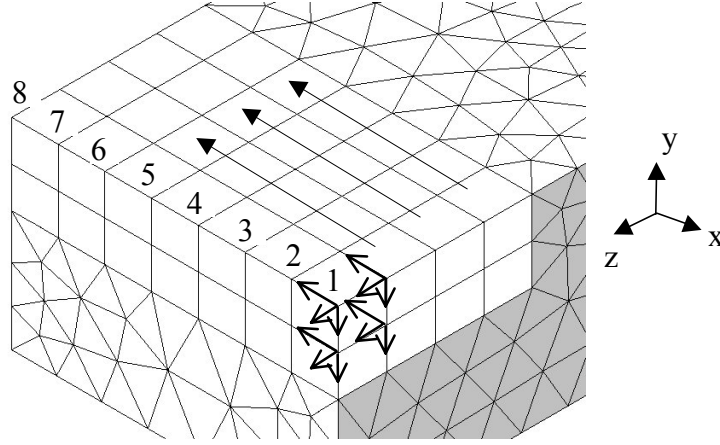
Şekil 8.19. Kurgu2 mesnet noktaları

Adım unsurunun iş lenmesi sırasında oluş an kesme kuvvetleri Şekil 8.20.' de verilmiş tir.

Frezeleme İşleminde Kesme Kuvvetleri	
Kesme derinliği (mm)	27,5
Diş sayısı	3
Diş başına ilerleme (mm/diş)	0,2
Yerleştirme açısı	45
Kesme kavrama açısı	90
Talaş açısı	5
Sertlik (Brinell)	140
<input type="button" value="Hesapla"/> <input type="button" value="Sıfırla"/> <input type="button" value="Çıkış"/>	
<b>Teğetsel kuvvet (N) - <math>F_s</math></b>	319,818667279338
<b>Radyal kuvvet (N) - <math>F_r</math></b>	287,836800551404
<b>İlerleme kuvveti (N) - <math>F_v</math></b>	111,936533547768

Şekil 8.20. Adım unsurunun iş lenmesi sırasında oluş an kesme kuvveti değerleri

Bu değerler elemanların ön yüzündeki 4 düğüm noktasına etki edeceğinden dörde bölünürler ve takım işleme yönüne göre düğüm noktalarına uygulanırlar (Şekil 8.21.).



Şekil 8.21. Adım iş leme kesme kuvvetleri ve takım konumları

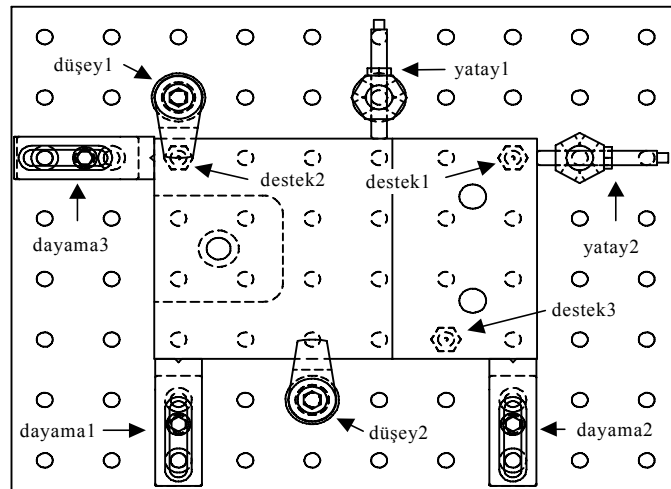
Elemanın ön yüzünde bulunan her bir düğüm noktasına etki eden kuvvetler;

$F_x = -111.9/4 = -27.98$  N,  $F_y = -287.8/4 = -71.95$  N,  $F_z = 319.8/4 = 79.95$  N  
olarak bulunurlar.

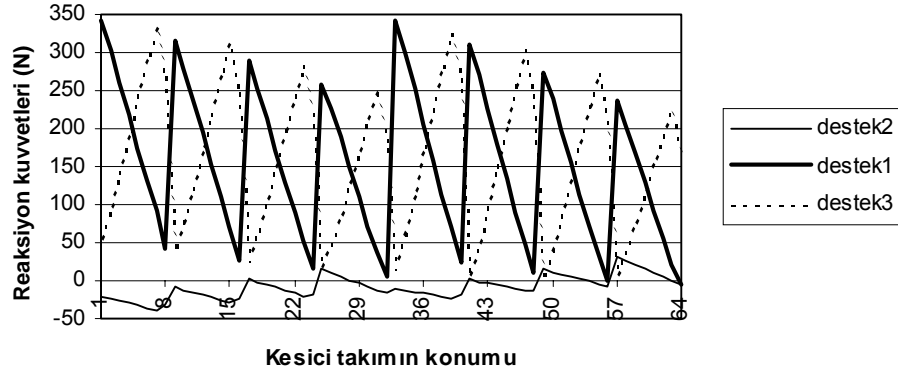
### c) Çözüm

Toplam 64 konum için analiz gerçekleştirilmiştir. Herbir analizde, bir önceki eleman öldürülür ve kesme kuvvetleri bir sonraki düğüm noktalarına taşınır.

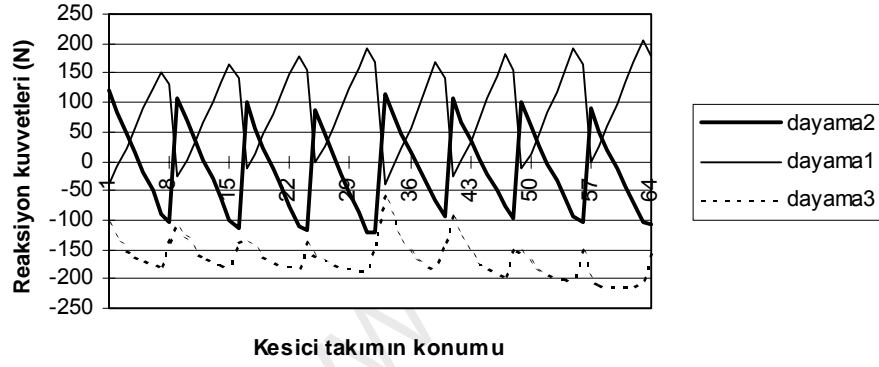
Çözüm sonunda elde edilen reaksiyon kuvvetleri aşağıda verilmiştir.



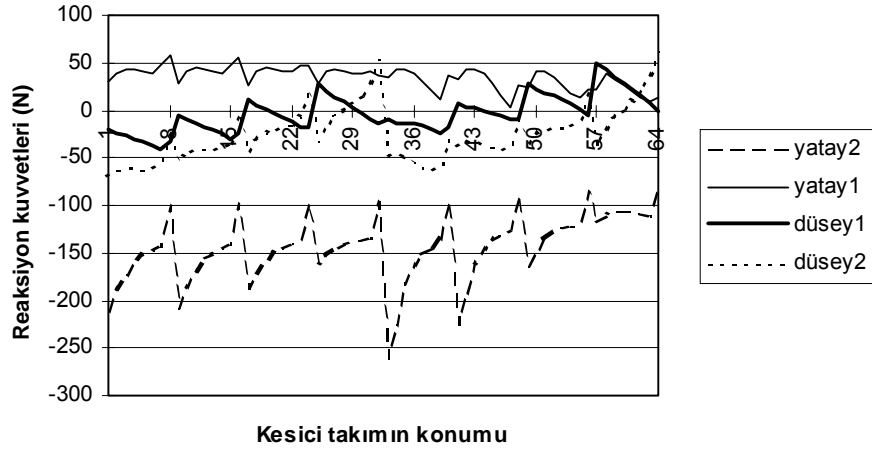
Şekil 8.22. Örnek2 - kurgu2



Şekil 8.23 Destek noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri



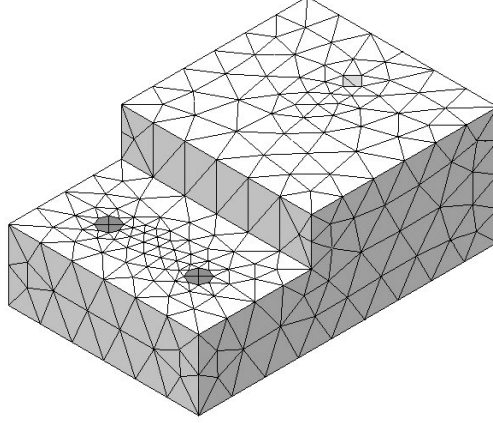
Şekil 8.24 Dayama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri



Şekil 8.25 Bağlama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri

### 8.2.2. Delik unsurlarının iş lenmesi

#### a) Modelleme

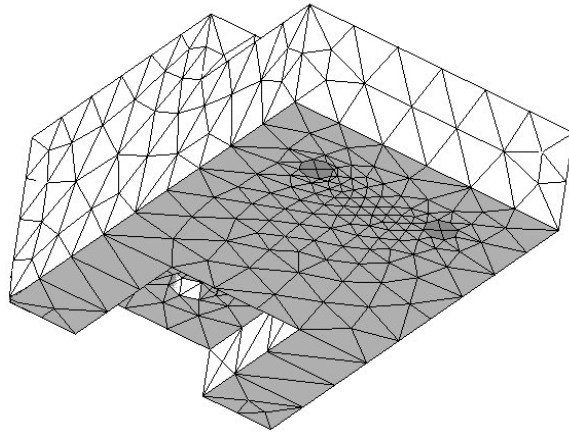


Şekil 8.26. Delik unsurlarının sonlu elemanlar modeli

4534 eleman ve 1125 düğüm noktası oluş turulmuş tur. Delik hacimleri ayrı olarak modellenmiş ve map mesh tekniği ile elemanlara ayrılmış tır.

#### b) Sınır şartları

Adım unsurundaki mesnet yerleri bu analizde de geçerlidir.



Şekil 8.27. Mesnet noktaları

**Delme İşlemi**

Delme İşleminde Oluşan Kesme Kuvveti ve Momenti

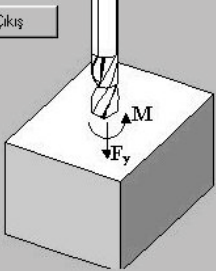
Yarıçap (mm)	10
Yüzey pürüzlülüğü (mikrometre)	12,5
Sertlik (Brinell)	140
Derinlik(mm)	67

Hesapla Sıfırla Çıkış

İlerleme hızı (mm/dev)	0,144507215016205
Kesme hızı (m/dak)	78,2004770306499
İşleme zamanı (dak)	0,189037098683922

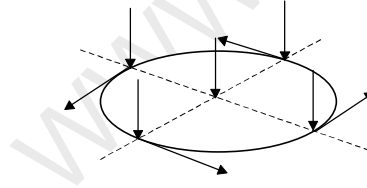
**Eksenel kuvvet(N) - F<sub>y</sub>** 50,0305742563937

**Moment (Nmm) - M** 298,034654083245



Şekil 8.28. Delik unsuru için kesme kuvvet ve moment değerleri

Eksenel kuvvet değeri delik üzerinde bulunan 5 düğüm noktasına dağıtılmıştır. Moment ise delik etrafındaki 4 düğüm noktasında eş değer kuvvet çifti olarak uygulanmıştır.



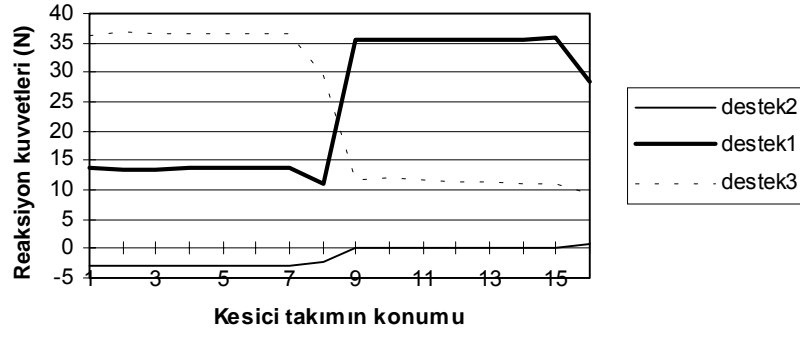
Şekil 8.29. Delik üzerinde bulunan düğüm noktalarına etki eden kuvvetler

Herbir düğüm noktasına gelen kuvvetler;

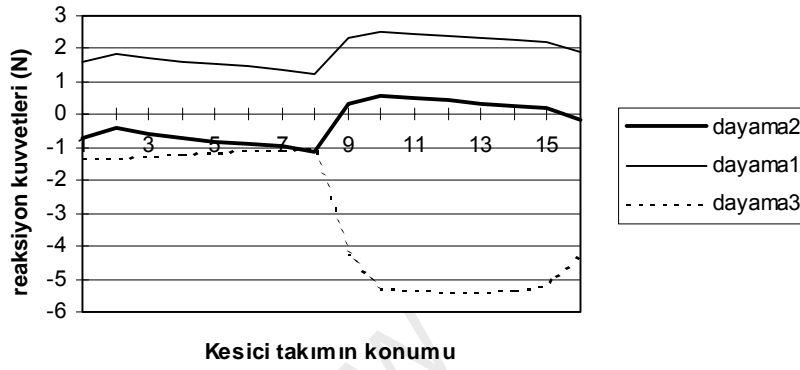
Eksenel kuvvet değeri,  $F_y = -50/5 = -12.5$  N. Eş değer kuvvet çiftlerinden her birinin kuvvet değeri  $F = 7.45$  N olarak bulunmuş tur.

### c) Çözüm

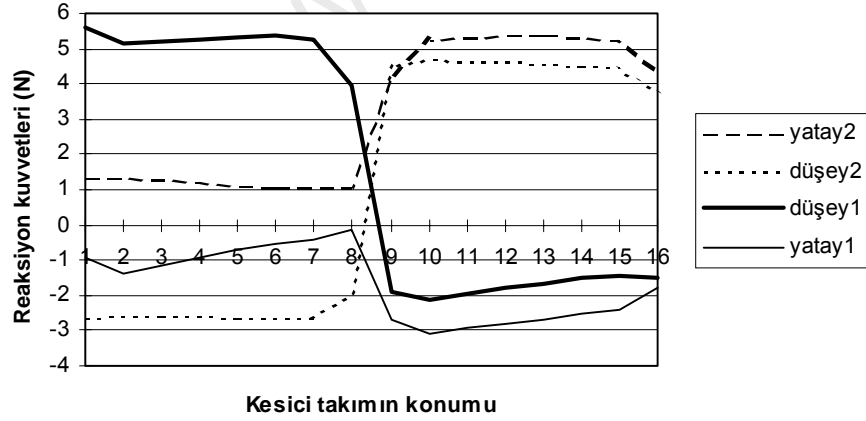
Her iki delik için  $8+8=16$  analiz yapılmıştır. Analiz sonunda elde edilen reaksiyon kuvvetleri aşağıda görülmektedir.



Şekil 8.30 Destek noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri



Şekil 8.31 Dayama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri



Şekil 8.32 Bağlama noktalarında oluş an reaksiyon kuvvetleri

Kurgu2 için elde edilen reaksiyon kuvvetleri incelendiğinde her iki deliğin iş lenmesi sırasında oluş an reaksiyon kuvvetleri, adım unsurunun iş lenmesi sırasında elde edilen reaksiyon kuvvetlerine göre oldukça küçüktür. Bu yüzden bu kurgu için bağlama kuvvetlerinin tayininde adım unsurunun iş lenmesi sırasında oluş an reaksiyon kuvvetleri dikkate alınacaktır.

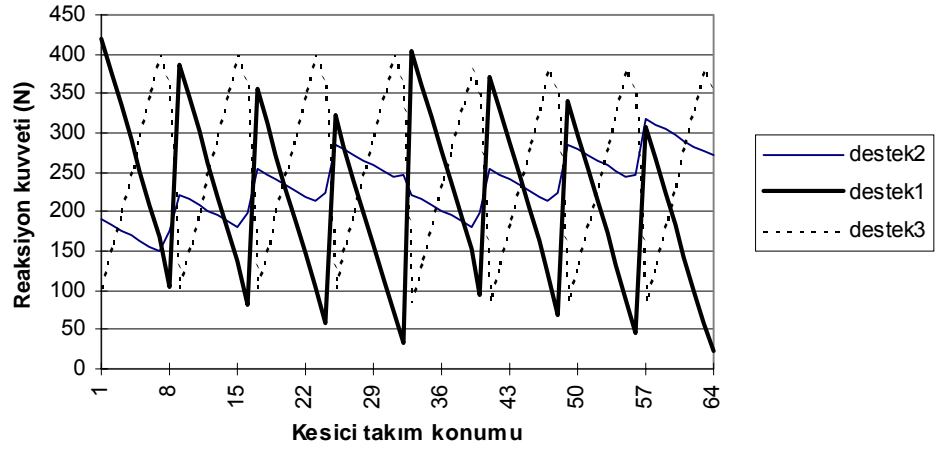
Şekil 8.23'deki grafik incelendiğinde destek2' nin parçadan ayrıldığı görülmektedir. Ayrıca destek1 ve destek2'nin parça ile temasının işleme sonlarına doğru azaldığı gözlenmektedir. Bu durumda düşey bağlama kuvvetlerinin uygun biçimde seçimi ile bu temasın işleme boyunca devam ettirilmesi sağlanır. Ancak düşey2 elemanının bağlama kuvveti, destek1 elemanı ile parça arasındaki teması bozma eğilimindedir. Bu yüzden bu ayrılmayı önlemek için destek2 ve destek1 arasına ek düşey eleman(düşey3) konulması yerinde olur. Düşey1 bağlama kuvveti destek2 elemanı üzerine uygulanırken, düşey3 elemanı ise hem destek2 hem de destek1 üzerinde etkili olacaktır. Böylece düşey bağlama kuvvetleri şu şekilde seçilebilir.

$$F_{\text{düşey1}}=100 \text{ N}, F_{\text{düşey2}}=75 \text{ N}, F_{\text{düşey3}}=250 \text{ N} .$$

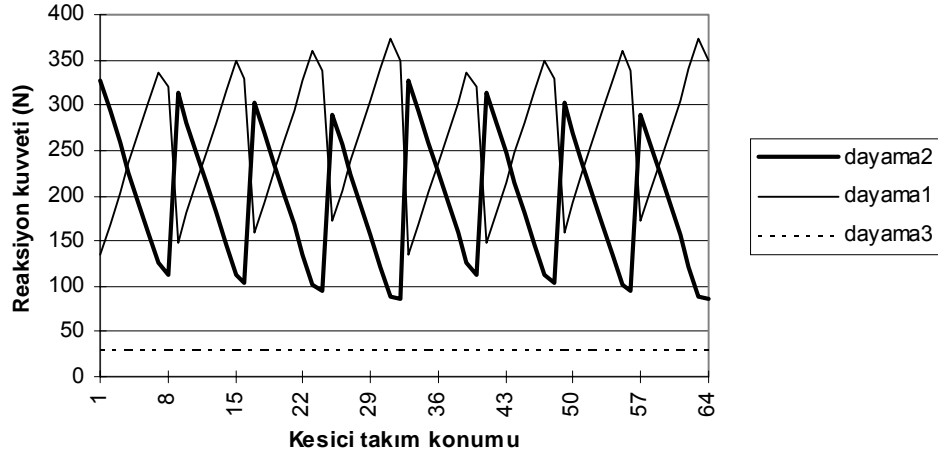
Şekil 8.24'deki dayama reaksiyon kuvvetleri incelenirse, tüm dayamalarda ayrılmalar görülebilir. Özellikle dayama3'te tüm işleme boyunca ayrılma mevcuttur. Bu ayrılma yatay2 bağlama elemanı ile giderilebilir. Ayrıca yatay1 elemanı ise parçanın dayama1 ve dayama2 elemanları ile olan temasını sağlamaktadır. Dayamalardaki reaksiyon kuvvetleri değerlerine göre, ayrılma olmaması için yatay bağlama elemanı kuvvetleri şu şekilde seçilebilir.

$$F_{\text{yatay1}}=350 \text{ N}, F_{\text{yatay2}}=350 \text{ N}.$$

Bulunan bağlama kuvvetleri model üzerine uygulanıp analiz işlemleri yapıldığında elde edilen reaksiyon kuvvetleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir (şekil 8.33. ve şekil 8.34.). Bu grafiklerden, destek ve dayama elemanlarında ayrılma olmadığı görülmektedirler. Ayrıca deformasyon miktarları düşük olduğundan ek destek elemanlarına ihtiyaç yoktur.



Şekil 8.33 Bağlama kuvvetlerinin etkisi altında oluş an destek reaksiyon kuvvetleri



Şekil 8.34 Bağlama kuvvetlerinin etkisi altında oluş an dayama reaksiyon kuvvetleri



## 9. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında tasarım ile imalat arasındaki bütünleşmeyi artırma yönünde bir sistem oluşturulmuş tur. İş parçalarının sadece geometrik model bilgileri imalat için yeterli olmamakta, geometrik olmayan bilgilere de (işleme toleransları, malzeme özellikleri, parçanın kullanım alanı ile ilgili fonksiyonel bilgiler vb.) ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarım ile imalat arasında süregelen bu bilgi kopukluğu unsur teknolojisi ile ortadan kalkmaya başlamış tur. Unsurların kullanım alanları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Ancak geometrik modellerden karmaşık ve kesişen unsurların tanınması zorluğu yüzünden bu bütünleşme henüz daha istenilen düzeyde değildir. Karmaşık unsurların tanınması için bu alandaki çalışmalar devam etmektedir.

Mevcut ticari tasarım programlarının çoğunda unsur tabanlı tasarım özelliği bulunmaktadır. Ancak bu özellik sadece tasarım aşamasında kalmakta, imalatla ilgili unsur yaklaşımı bulunmamaktadır. Bu yüzden tasarım unsurlarının tanınması, geometrik modellerden çıkarılması veya imalat unsurlarına çevrilmesi gerekmektedir.

Unsur teknolojisindeki gelişmeye paralel olarak, kurgu planlama konusu da önem kazanmış tur. Özellikle otomatik kurgu planlaması ile ilgili çalışmalarda artış gözlenmektedir. Ancak kurgu planlama tek başına yeterli değildir. Aparat tasarımı ile beraber düşünmelidir.

BDT/BDİP arasındaki bütünleşmenin sağlanması için geliştirilen sistemde, prizmatik parçalardan unsur çıkarma ve tanıma, otomatik kurgu ve aparat planlama konuları üzerinde durulmuş tur. Literatürde, özellikle aparat planlama konusundaki çalışmaların eksikliği gözlenmiş ve geliştirilmesi gereken noktalar olduğu görülmüş tür.

Aparat planlama konusunda yapılan çalışmalarda genellikle yerleşirme kuralları ve kinematik analizler üzerinde durulmuş, ancak takımın hareketi dolayısıyla kesme kuvvetlerinin yerinin değişimi ve talaş kaldırma işleminin dinamik simülasyonu incelenmemiş tur. Bu alanda çıkan problemler genellikle yanlış yerleşirmeden dolayı

parçanın kayması veya dönmesi ş ekinde olmuş tur. Yerleş tirme kuralları ve kinematik analizler ile önerilen aparat konfigürasyonlarının, hareketli kesme kuvvetleri altında, iş parçasından talaş kaldırılması da dikkate alınarak dinamik analiz ile test edilmesi kaçınılmazdır. Böylece yanlış yerleş tirmeden doğacak problemler tasarım aş amasında ortaya çıkarılacak ve buna göre önlem alınabilecektir. Bu çalış mada yukarıda değ inilen problemlere çözüm bulmak için;

- Prizmatik parçalar için, BDT geometrik parça modeli üzerinden imalat unsurlarının çıkarılması ve tanınması,
- İmalat bilgilerinin model üzerine eklenmesi (tolerans bilgileri),
- Kurgu planının otomatik çıkarılması,
- Kural tabanlı yaklaş ımla, modüler aparat elemanları kullanılarak otomatik aparat konfigürasyonlarının oluş turulması,
- Bu konfigürasyonların, kesme kuvvetlerinin işleme boyunca hareket ettiği ve parçadan talaş kaldırdığıda göz önüne alınarak sonlu elemanlar analizi ile test edilmesi,
- Uygun bağlama kuvvetlerinin bulunması,

fonksiyonlarını yerine getiren bir sistem geliş tirilmiş tir.

Bu çalış mada düş ünülmeyen, ancak ileride üzerinde çalış ılması gereken konular ş unlar olabilir.

1. Unsur kütüphanesinin geniş letilmesi,
2. Karmaş ık parçalar ve kesiş en unsurların tanınması için güçlü bir algoritma geliş tirilmesi,
3. İş parçalarının geometrisindeki farklılıklara ve aparat yerleş tirme kurallarının karmaş ık geometriye sahip parçalara uygulanması zorluğuna rağmen, bu alandaki çalış maların karmaş ık parçalara doğru kaydırılması,
4. Tasarım aş amasında imal edilebilirlik ve aparatlarla bağlanabilirlik durumunu analiz eden yöntem geliş tirilmesi,
5. Aparat bağlama elemanları uygulama sırası etkisinin incelenmesi,
6. Nokta teması yerine, yüzey teması ve sürtünmelerinde dikkate alınması.

## KAYNAKLAR

- AKKURT, M. 1985. Takım Tezgahları, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi. Birsen Yayınevi.
- ALDAKHILALLAH, K.A., R. RAMESH. 1998. An Integrated Framework for Automated Process Planning: Design and Analysis. *International Journal of Production Research*, 36(4): 939-956.
- ALTING, L., H. ZHANG. 1989. Computer Aided Process Planning: The State-of-the-art Survey. *International Journal of Production Research*, 27(4): 553-585.
- AMF Modular Fixturing System Kataloğu
- ANSYS 5.4 Programı, 1997. ANSYS Inc.
- ASADA, H., A.B. BY. 1985. Kinematic Analysis of Workpart Fixturing for Flexible Assembly with Automatically Reconfigurable Fixtures. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1(2): 87-93.
- BAŞ, C., E. KILIÇ. 1998. Implementing CAPP: Feature Recognition Through Characteristic Surfaces in Solid Models. 8<sup>th</sup> International Machine Design and Production Conference, September 9-11, Ankara, sayfa 225-230.
- BICCHI, A. 1995. On the Closure Properties of Robotic Grasping. *The International Journal of Robotics Research*, 14(4): 319-334.
- BOERMA, J.R., H.J.J. KALS. 1988. FIXES, a System for Automatic Selection of set-Ups and Design of Fixtures. *Annals of the CIRP*, 37(1): 443-446.
- BOERMA, J.R., H.J.J. KALS. 1988. Fixture Design with FIXES: The Automatic Selection of Positioning, Clamping and Support Features for Prismatic Parts. *Annals of the CIRP*, 38(1): 399-402.
- BÖRKLÜ, H.R. 1998. Unsur Tabanlı Modellemede Kullanılan Çeşitli Unsur Tanıma Teknikleri. *Mühendis ve Makine*, 39(462): 35-47.
- BRISSAUD, D., H. PARIS. 1997. A Model for Evaluating the Quality of the Fixturing of the Part From a Machining Process Planning Perspective. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 14: 172-179.
- CABADAJ, J. 1990. Theory of Computer Aided Fixture Design. *Computers in Industry*, 15: 141-147.
- CAI, W., S.C. HU, J.X. YUAN. 1997. A Variational Method of Robust Fixture Configuration Design for 3-D Workpieces. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 119: 593-602.
- CARR LANE Component Parts of Jigs and Fixtures Kataloğu

- CARR LANE Mfg. Co. 1991. Modular Fixturing Handbook.
- CASE, K., J.X. GAO, N.N.Z. GINDY. 1994. The Implementation of feature based component representation for CAD/CAM integration. Proc. Instn. Of Mechanical Engineers, 208: 71-80.
- CHAMBERLAIN, M.A., A. JONEJA, T-C. CHANG. 1993. Protrusion-Features Handling in Design and Manufacturing Planning. Computer Aided Design, 25(1): 19-28.
- CHAMPATI, S., W.F. LU, A.C. LIN. 1996. Automated Operation Sequencing in Intelligent Process Planning: A Case-Based Reasoning Approach. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 12:21-36.
- CHANG, T.-C. 1990. Expert Process Planning for Manufacturing. Addison-Wesley Publishing Company.
- CHEN, C.L.P, S.R. LeCLAIR. 1994. Integration of Design and Manufacturing: Solving Setup Generation and Feature Sequencing Using an Unsupervised-Learning Approach. Computer Aided Design, 26(1): 59-75
- CHEN, J., Y.F. ZHANG, A.Y.C. NEE. 1998. Setup Planning Using Hopfield Net and Simulated Annealing. International Journal of Production Research, 36(4): 981-1000.
- CHOU, Y.-C., V. CHANDRU, M.M. BARASH. 1989. A Mathematical Approach to Automatic Configuration of Machining Fixtures: Analysis and Synthesis. Journal of Engineering for Industry, 111: 299-306.
- CHU, C.-C.P., R. GADH. 1996. Feature Based Approach for Set-up Minimization of Process Design from Product Design. Computer Aided Design, 28(5): 321-332.
- CHUANG, S.-H.F., M.R. HENDERSON. 1994. Using Subgraph Isomorphisms to Recognize and Decompose Boundary Representation Features. Journal of Mechanical Design, 16: 793-800.
- DAI, J.R., A.Y.C. NEE, J.Y.H. FUH, A.S. KUMAR. 1997. An Approach to Automating Modular Fixture Design and Assembly. Proc. Instn. Mechanical Engineers, 211(B): 509-521.
- DARVISHI, A.R., K.F. GILL. 1990. Expert System Rules for Fixture Design. International Journal of Production Research, 28(10):1901-1920
- DAS, D., S.K. GUPTA, D.S. NAU. 1996. Generating Redesign Suggestions to Reduce Setup Cost: A Step Towards Automated Design. Computer Aided Design, 28(10): 763-782.
- DELBRESSINE, F.L.M., R. GROOT, A.C.H. van der WOLF. 1993. On the Automatic Generation of Set-ups Given a Feature-Based Design Representation. Annals of the CIRP, 42(1): 527-530.
- DeMETER, E.C. 1994. Restraint Analysis of Fixtures Which Rely on Surface Contact. ASME Journal of Engineering for Industry, 116: 207-215.

- DERELİ, T., A.T. BOZDANA, İ.H. FİLİZ. 1998. A Hybrid Set-up Planning For Prismatic Components. 8<sup>th</sup> International Machine Design and Production Conference, September 9-11, Ankara, sayfa 597-605.
- DERELİ, T., M. DERE, İ.H. FİLİZ. 1998. A Brep Solid Modeler (Solmod) Integrated With a Feature Recognition System. 8<sup>th</sup> International Machine Design and Production Conference, September 9-11, Ankara, sayfa 215-224.
- DONALDSON, I.A, J.R. CORNEY. 1993. Rule-Based Feature Recognition for 2.5D Machined Components. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 6: 51-64
- DONG, X., W.R. DeVRIES, M.J. WOZNY. 1991. Feature-Based Reasoning in Fixture Design. Annals of the CIRP, 40(1): 111-114.
- DONG, J., H.R. PARSAEI, T. GORNET. 1993. Manufacturing Features Extraction and Recognition in Automated Process Planning. Computers and Industrial Engineering, 25(1-4): 324-328.
- FIELDS, M.C., D.C. ANDERSON. 1994. Fast Feature Extraction for Machining Applications. Computer Aided Design, 26(11): 803-813
- FİLİZ, İ.H., T. DERELİ, Ş. ÇETİNKAYA. 1996. FRS-PP: A Feature Recognition System For Prismatic Parts. 7<sup>th</sup> International Machine Design and Production Conference, 11-13 September, METU, sayfa:113-122.
- FUH, J.Y.-H., C.-H. CHANG, M.A. MELKANOFF. 1992. A Logic Based Integrated Manufacturing Planning System. Computers in Engineering, 1: 391-400.
- FUH, J.Y.H., C.-H. CHANG, M.A. MELKANOFF. 1996. The Development an Integrated and Intelligent CAD/CAPP/CAFP environment Using Logic-Based Reasoning. Computer Aided Design, 28(3): 217-232.
- GU, PEIHUA. 1994. A Feature Representation Scheme for Supporting Integrated Manufacturing. Computers Ind. Engineering, 26(1):55-71
- GUPTA, S.K. 1997. Using Manufacturing Planning to Generate Manufacturability Feedback. ASME Journal of Mechanical Design, 119:73-80.
- HALEVI, G., R.D. WEILL. 1995. Principles of Process Planning. Chapman & Hall UK.
- HAM, I., Computer Aided Process Planning: The Present and the Future. Annals of the CIRP, 37(2): 591-601.
- HAN, J.H., A.A.G. REQUICHA. 1995. Integration of Feature Based Design and Feature Recognition. ASME International Computers in Engineering Conference.
- HAN, J.H. 1996. Survey of Feature Research. Institute for Robotics and Intelligent Systems, Technical Report, USC.
- HAN, J.H., A.A.G. REQUICHA. 1997. Integration of Feature Based Design and Feature Recognition. Computer Aided Design, 29(5): 393-403.

- HANADA, T., B.P. BANDYOPADHYAY, T. HOSHI. 1995. Implementation of Low-Volume FMS for Prismatic Components. *Journal of Manufacturing Systems*, 14(2): 91-108.
- HANADA, T., T. HOSHI. 1992. Block-Like Component CAD/CAM System for Fully Automated CAM Processing. *Annals of the CIRP*, 41(1): 551-556.
- HARGROVE, S.K., A. KUSIAK. 1994. Computer-Aided Fixture Design: A Review. *International Journal of Production Research*, 32(4): 733-753.
- HOLZMANN, W., J.M. McCARTHY. 1985. Computing the Friction Forces Associated with a Three-Fingered Grasp. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1(4): 206-209.
- HUANG, S.H., A.J.C. TRAPPEY. 1992. The Integration of Modular Fixture Database, Fixturing Knowledge Base and 3-D Fixture Planning Interface. *Computers and Industrial Engineering*, 23(1-4): 381-384.
- JENG, Y.C., K.F. GILL. 1997. A CAD Based Approach to the Design of Fixtures for Prismatic Parts. *Proc. Instn. Mechanical Engineers*, 211(B): 523-538.
- JOSHI, S., N.N. VISSA, T.C. CHANG. 1988. Expert Process Planning System with Solid Model Interface, *International Journal of Production Research*, 26(5): 863-885
- KANG, T.S., B.O. NNAJI. 1993. Feature Representation and Classification for Automatic Process Planning Systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 12(2):133-145.
- KANUMURY, M., T.C. CHANG. 1991. Process Planning in an Automated Manufacturing Environment. *Journal of Manufacturing Systems*, 10(1): 67-78.
- KASHYAP, S. 1996. An Integrated Methodology For Fixture Design, Analysis and Optimization. Ph.D. Thesis. Rensselaer Polytechnic Institute.
- KAYACAN, M.C., Ş.A. ÇELİK. 1997. STEP Standardı Formatı Kullanarak İş lem Planlaması İçin Unsur Tanıma. *Mühendis ve Makine*, 38(444): 28-33.
- KING, D.A., A.S.LAZARO. 1994. Process and Tolerance Consideration in the Automated Design of Fixtures. *ASME Journal of Mechanical Design*, 116:480-486.
- KIPP Modular Fixturing System Kataloğu
- LAAKKO, T., M. MANTYLA. 1993. Feature Modelling by Incremental Feature Recognition. *Computer Aided Design*, 25(8): 479-492
- LEE, J.D., L.S. HAYNES. 1987. Finite Element Analysis of Flexible Fixturing System. *ASME Journal of Engineering for Industry*, 109: 134-139.
- LEE, S.H., M.R. CUTKOSKY. 1991. Fixture Planning with Friction. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 113: 320-327.
- LEUNG, H.C. 1996. Annotated Bibliography on Computer Aided Process Planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 12: 309-329.
- B., S.N. MELKOTE. 1999. Improved Workpiece Location Accuracy Through Fixture Layout Optimization. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39: 871-883.

- R.-K., B.-W. TAUR, H.-J. SHYUR. 1991. A Two Stage Feature-Based Design System. *International Journal of Production Research*, 29(1): 133-154.
- R.-K., C.-Y. LIN, H.-H. WU. 1995. Feature Modification Framework for Feature Based Design System. *International Journal of Production Research*, 33(2): 549-563.
- LIN, A.C., S.-Y. LIN, S.-B. CHENG. 1997. Extraction of Manufacturing Features From a Feature-Based Model. *International Journal of Production Research*, 35(12): 3249-3288.
- LIN, Z.-C., C.-B. YANG. 1995. An Expert System for Fixturing Design for Face Milling Using Modular Fixture. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 10: 379-388.
- LIN, Z.-C., J.-C. HUANG. 1997. The Application of the Simulated Annealing Method and Heuristic Algorithms in the Selection of Fixture Elements. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13: 191-205.
- MA, W., Z. LEI, Y. RONG. 1997. FIX-DES: A Computer Aided Modular Fixture Configuration Design System. *Proc. Of CIE: Computer in Engineering*, Sacramento CA, September 14-17.
- MARRI, H.B., A. GUNASEKARAN, R.J. GRIEVE. 1998. Computer Aided Process Planning: A State of Art. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 14: 261-268.
- McNALLY, E. 1998. Evaluation of Feature Based Design, Memt Fourth Year Honours Project, School of Mechanical Engineering, Edinburgh University.
- MENASSA, R. J., W.R. DeVRIES. 1989. Locating Point Synthesis in Fixture Design. *Annals of the CIRP*, 38(1): 165-169.
- MENASSA, R.J., W.R. DeVRIES. 1991. Optimization Methods Applied to Selecting Support Positions in Fixture Design. *ASME Journal of Mechanical Design*, 113:412-418.
- MEYER R.T., F.W. LIOU. 1997. Fixture Analysis Under Dynamic Machining. *International Journal of Production Research*, 35(5): 1471-1489.
- MILLER, P.C. 1988. Trends in Modular Fixturing. *Tooling and Production*, October, 54-58.
- NEE, A.Y.C., S. KUMAR, S. PROMBANPONG, K.Y. PUAH. 1992. A Feature Based Classification Scheme for Fixtures. *Annals of the CIRP*, 41(1): 189-192.
- NEE, A.Y.C., S. KUMAR. 1991. A Framework for an Object/Rule Based Automated Fixture Design System. *Annals of the CIRP*, 40(1): 147-151.
- NGOI, B.K.A., G.L.LEOW. 1994. Modular Fixture Design: A Designer's Assistance, *International Journal of Production Research*, 32(9): 2083-2104.
- ONG, S.K., A.Y.C. NEE. 1994. Application of Fuzzy Set Theory to Set-up Planning. *Annals of the CIRP*, 43(1): 137-144.

- ONG, S.K., A.Y.C. NEE. 1996. An Intelligent Fuzzy Set-up Planner for Manufacturability and Fixturability Evaluations. *International Journal of Production Research*, 34(3): 665-686.
- ONG, S.K., A.Y.C. NEE. 1998. A Systematic Approach for Analyzing the Fixturability of Parts for Machining. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 120: 401-408.
- ÖZTÜRK, F., N. KAYA. 1995. Bilgisayar Destekli Tasarımda Unsur Kullanımı, 3. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, Balıkesir.
- ÖZTÜRK, F., N. KAYA, S. SEVİNÇ. 1995. Proses Planlama Sürecinde Unsur Kullanımı, YAEM'95, ODTÜ
- ÖZTÜRK, F., N. KAYA, O.B. ALANKUŞ, S. SEVİNÇ, 1996. Bağlama Aparatı Tasarımında Unsur Kullanımı, 7. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Sempozyumu, UMTIK'96, ODTÜ, 11-13 Eylül, sayfa 423-434
- ÖZTÜRK, F., N.KAYA, S. SÖNMEZ, E. DURAN. 1996. Selecting and Positioning of Locating Points in Fixture Design, 7<sup>th</sup> International ANSYS Conference and Exhibition, USA, sayfa 211-218.
- ÖZTÜRK, F. N. KAYA, S. SEVİNÇ, O.B. ALANKUŞ. 1996. Machining Feature Based Design and Approach for Set-up Planning and Fixture Design , ESDA'96 Conference, ASME, Montpellier, 8: 109-118.
- ÖZTÜRK, F., N. KAYA, O.B. ALANKUŞ, S. SEVİNÇ. 1996. Machining Features and Algorithms for Set-up Planning and Fixture Design , Computer Integrated Manufacturing Systems, 9(4): 207-216.
- PACHECO, J.M. 1993. Modular Fixturing. Manufacturing Technology Information Analysis Center Report.
- PARK, J.Y., B. KHOSHNEVIS. 1993. A Real-Time Computer Aided Process Planning System as a Support Tool for Economic Product Design. *Journal of Manufacturing Systems*, 12(2): 181-193.
- PENEV, K., A.A.G. REQUICHA. 1995. Fixture Foolproofing for Polygonal Parts. Proc. IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, Pittsburg.
- PENEV, K., A.A.G. REQUICHA. 1996. A Potential Field Algorithm for Fixture Synthesis in 2D. ASME Computers in Engineering Conference, Irvine CA, August 18-22.
- PENEV, K., A.A.G. REQUICHA. 1997. Automatic Fixture Synthesis in 3D. IEEE International Conference in Robotics and Automation, April 20-25, Albuquerque, NM
- PERNG, D.B., Z. CHEN, R.K. LI. 1990. Automatic 3D Machining Feature Extraxtion from 3D CSG Solid Input. *Computer Aided Design*, 22(5): 285-295.
- PONCE, J., S. SULLIVAN, A. SUDSANG, J.-D. BOISSONNAT, J.-P. MERLET. 1997. On Computing Four-Finger Equilibrium and Force-Closure Grasps of Polyhedral Objects. *The International Journal of Robotics Research*, 16(1): 11-35.



- PROMBANPONG, S., R.L.LEWIS, A.B. BISHOP. 1992. A Computer Aided Fixture Design System with Process Planning Integration for Prismatic Parts Manufactured on CNC Machining Centers. ASME Computers in Engineering, p.369-380.
- RAJAN, V.N., S. PRABHAKAR, D. KRISHNA. 1997. Correct and Complete Algorithms for Geometric Analysis and Design of Modular Fixturing Setups. Transactions of NAMRI/SME, 15: 341-346.
- RAJAN, V.N., S. PRABHAKAR. 1996. Redundancy and Closure Analysis of Modular Fixturing Setups. IJIE December '96. p. 924-929.
- REGLI, W.C., S.K. GUPTA, D.S. NAU. 1997. Towards Multiprocessor Feature Recognition. Computer Aided Design, 29(1): 37-51.
- ROGERS, D. F. 1985. Procedural Elements for Computer Graphics. McGraw-Hill Book Company, p.111-187.
- RONG, Y., Y. BAI. 1997. Automated Generation of Fixture Configuration Design. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 119: 208-219.
- ROSEN, D.W., J.R. DIXON, S. FINGER. 1994. Conversion of Feature-Based Design Representations Using Graph Grammar Parsing. Journal of Mechanical Design, 116: 785-792.
- ROY, U., J. LIAO, P.L.SUN, M.C. FIELDS. 1997. Fixture Design Synthesis for a Flexible Manufacturing System. Integrated Computer Aided Engineering, 4(2): 101-113.
- ROY, U., J. LIAO. 1998. Application of a Blackboard Framework to a Cooperative Fixture Design System. Computers in Industry, 37: 67-81.
- SAKURAI, H. 1992. Automatic Setup Planning and Fixture Design for Machining. Journal of Manufacturing Systems, 11(1): 30-37.
- SALOMONS, O.W., F.J.A.M. van HOUTON, H.J.J. KALS. 1993. Review of Research in Feature-Based Design. Journal of Manufacturing Systems, 12(2):113-132
- SARMA, S.E., P.K. WRIGHT. 1997. Reference Free Part Encapsulation: A New Universal Fixturing Concept. Journal of Manufacturing Systems, 16(1): 35-47.
- SAYEED, Q.A., E.C. DE METER. 1994. Machining Fixture Design and Analysis Software. International Journal of Production Research, 32(7):1655-1674.
- SHAH, J.J. 1991. Assesment of Features Technology. Computer Aided Design, 23(5):331-343
- SHAH, J.J., M.T. ROGERS. 1988. Expert Form Feature Modelling Shell. Computer Aided Design, 20(9): 515-524
- SHIMMELS, J.M., M.A. PESHKIN. 1992. Admittance Matrix Design For Force Guided Assembly. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 8(2): 213-227.
- SINGH, N., 1996. Systems Approach to Computer Integrated Design and Manufacturing John Wiley & Sons Inc. p. 153-192.

- SOLIDEDGE 4.0 Programı, 1997. Intergraph Corp.
- SORMAZ, D.N., B. KHOSHNEVIS. 1997. Process Planning Knowledge Representation Using an Object-Oriented Data Model. *International Journal of Integrated Manufacturing*, 10(1-4): 92-104.
- SSEMAKULA, M.E., A. SATSANGI. 1989. Application of PDES to CAD/CAPP Integration. *Computers in Industrial Engineering*, 17(1-4): 234-239.
- SUN, S.H., J.L. CHEN. 1996. An Index System for Modular Fixture Design: Applied to Case-Based Reasoning. *International Journal of Production Research*, 34(12): 3487-3497.
- SUN, S.H., J.L. CHEN. 1995. A Modular Fixture Design System Based on Case-Based Reasoning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 10: 389-395.
- TRAPPEY, A.J.C., S. MATRUBHUTAM. 1993. Fixture Configuration Using Projective Geometry. *Journal of Manufacturing Systems*, 12(6): 486-495.
- TSENG, Y.-J. 1998. Feature Based Fixturing Analysis for Machining Parts Represented with Multiple Sets of Features. *International Journal of Production Research*, 36(10): 2743-2770.
- UNGER, M.B., S.R. RAY. 1988. Feature-Based Process Planning in the AMRF. ASME Computers in Engineering Conference.
- VISUAL BASIC 5.0 programı, 1997. Microsoft Corp.
- WANG, E., 1992. Using Automatic Feature Recognition to Interface CAD to CAPP. *ASME Computers in Engineering*, 1:215-231.
- WANG, N., T.M. ÖZSOY. 1991. A Scheme to Represent Features, Dimensions and Tolerances in Geometric Modeling. *Journal of Manufacturing Systems*, 10(3): 233-240.
- WANG, Y.F., Y.S. WONG, J.Y.H. FUH. 1999. Off-line Modelling and Planning of Optimal Clamping Forces for an Intelligent Fixturing System. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39: 253-271.
- WARRINGTON, S., W. 1997. Fixture Planning in a Feature Based Environment, Ph.D. Thesis. The University of Edinburgh, School of Mechanical Engineering.
- WU, M.C., C.R. LIU. 1996. Analysis on Machined Feature Recognition Techniques Based on B-Rep. *Computer Aided Design*, 28(8): 600-616.
- WU, R.R., H.M. ZHANG. 1998. Object-Oriented and Fuzzy-set Based Approach for Set-up Planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 14: 406-411.
- YOUNG, R.I.M., R. BELL. 1991. Fixturing Strategies and Geometric Queries in Set-up Planning. *International Journal of Production Research*, 29(3): 537-550.
- ZHANG, Y.F., A.Y.C. NEE, S.K. ONG. 1995. A Hybrid Approach for Set-up Planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 10: 183-190.

ZHUANG, Y., K. GOLDBERG, Y-C WONG. 1994. On the Existence of Modular Fixtures. IEEE International Conference on Robotic and Automation, San Diego CA, p.543-549

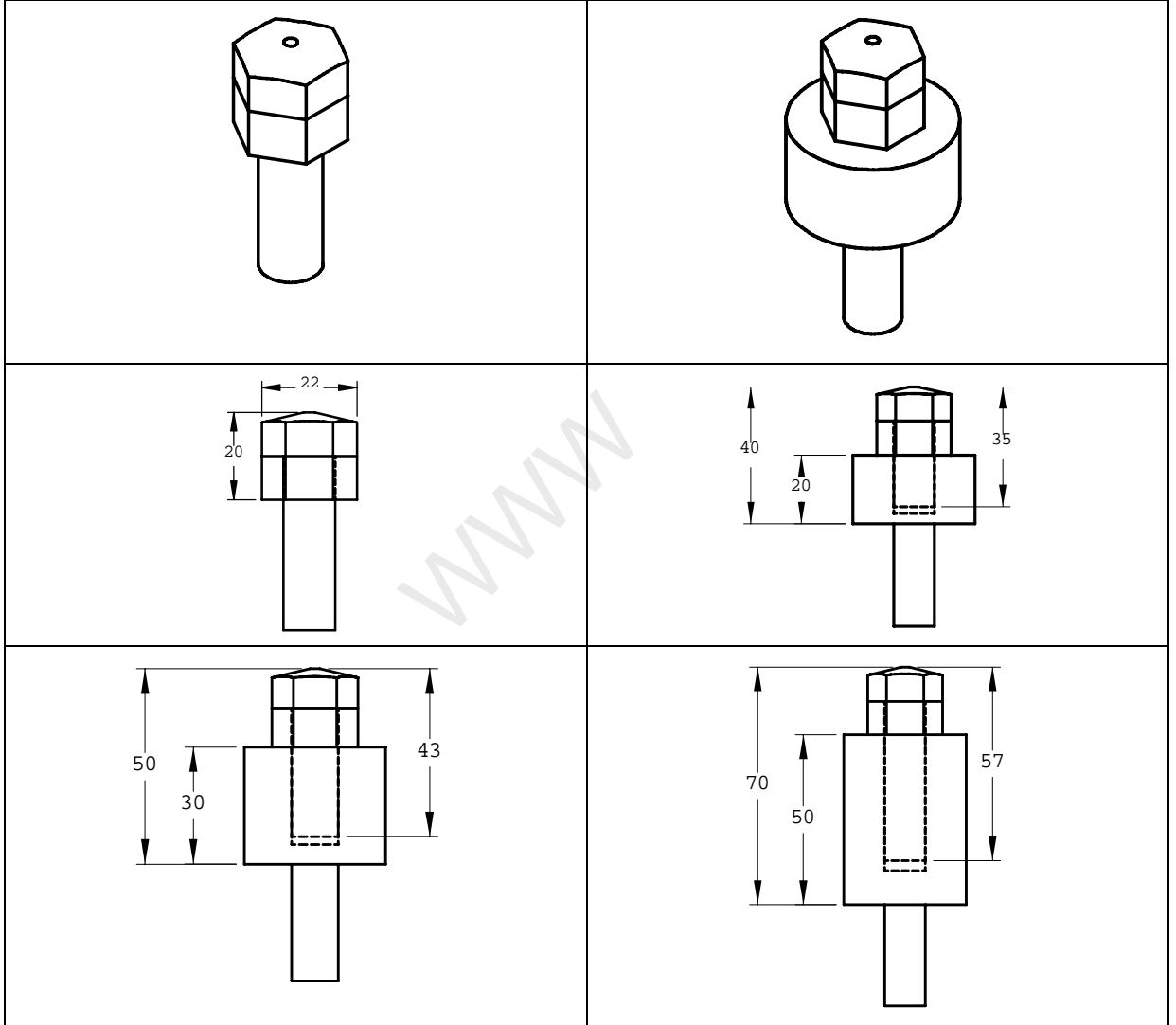
ZÜST, R., J. TAIBER. 1990. Knowledge-Based Process Planning System for Prismatic Workpieces in a CAD/CAM Environment. Annals of the CIRP, 39(1):493-496.

WWW

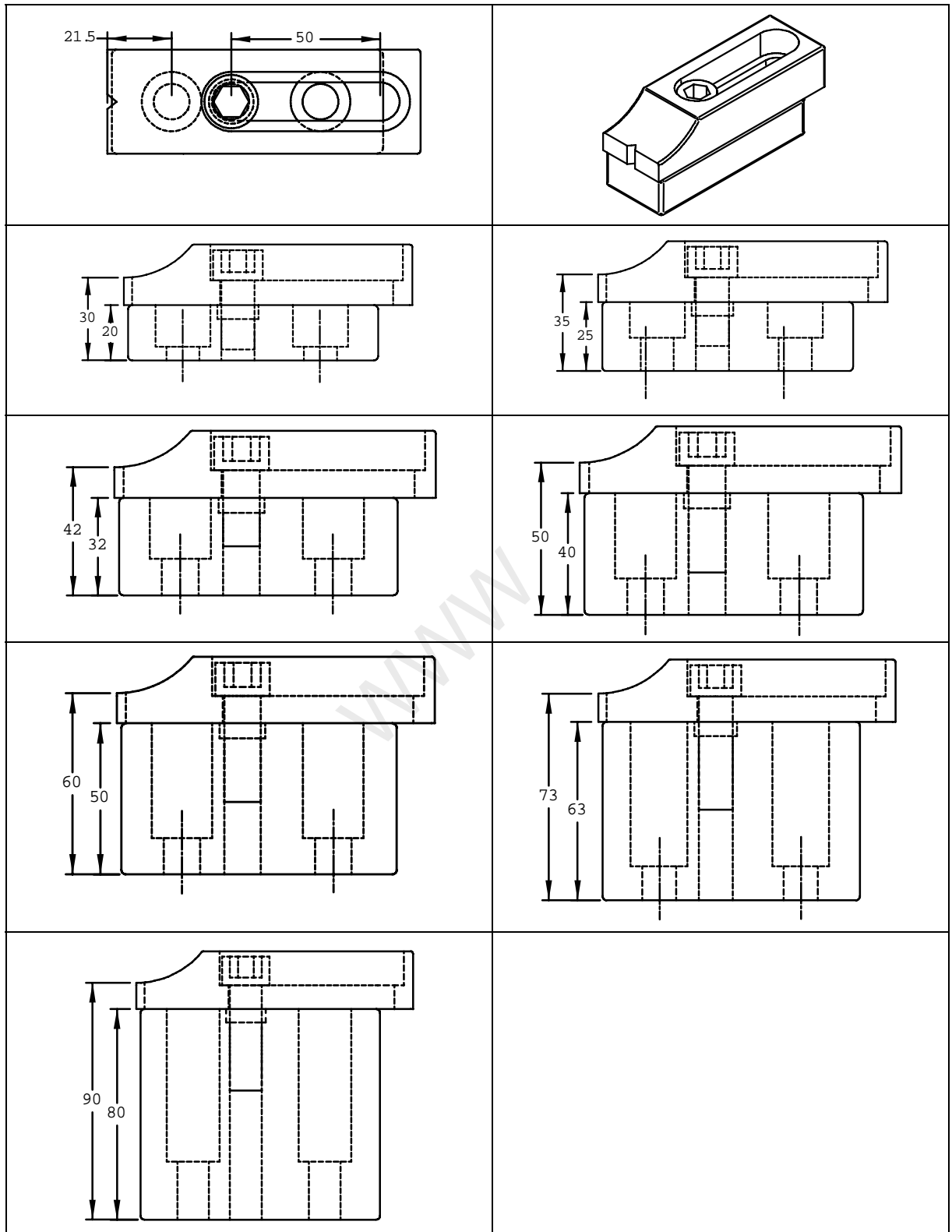
EK-1

MODÜLER APARAT KÜTÜPHANESİ

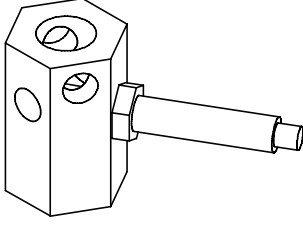
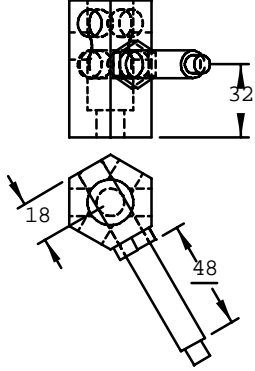
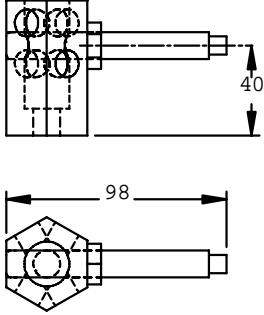
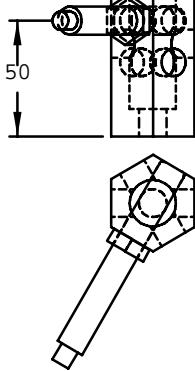
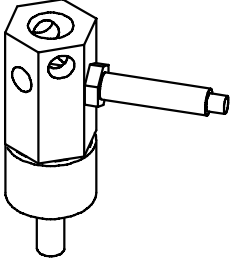
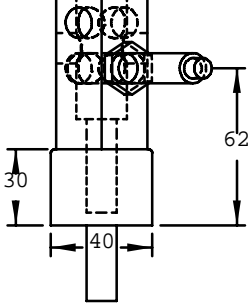
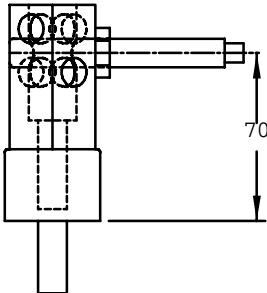
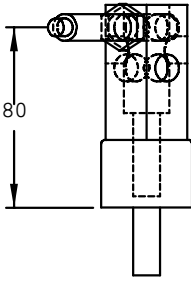
DESTEK ELEMANLARI



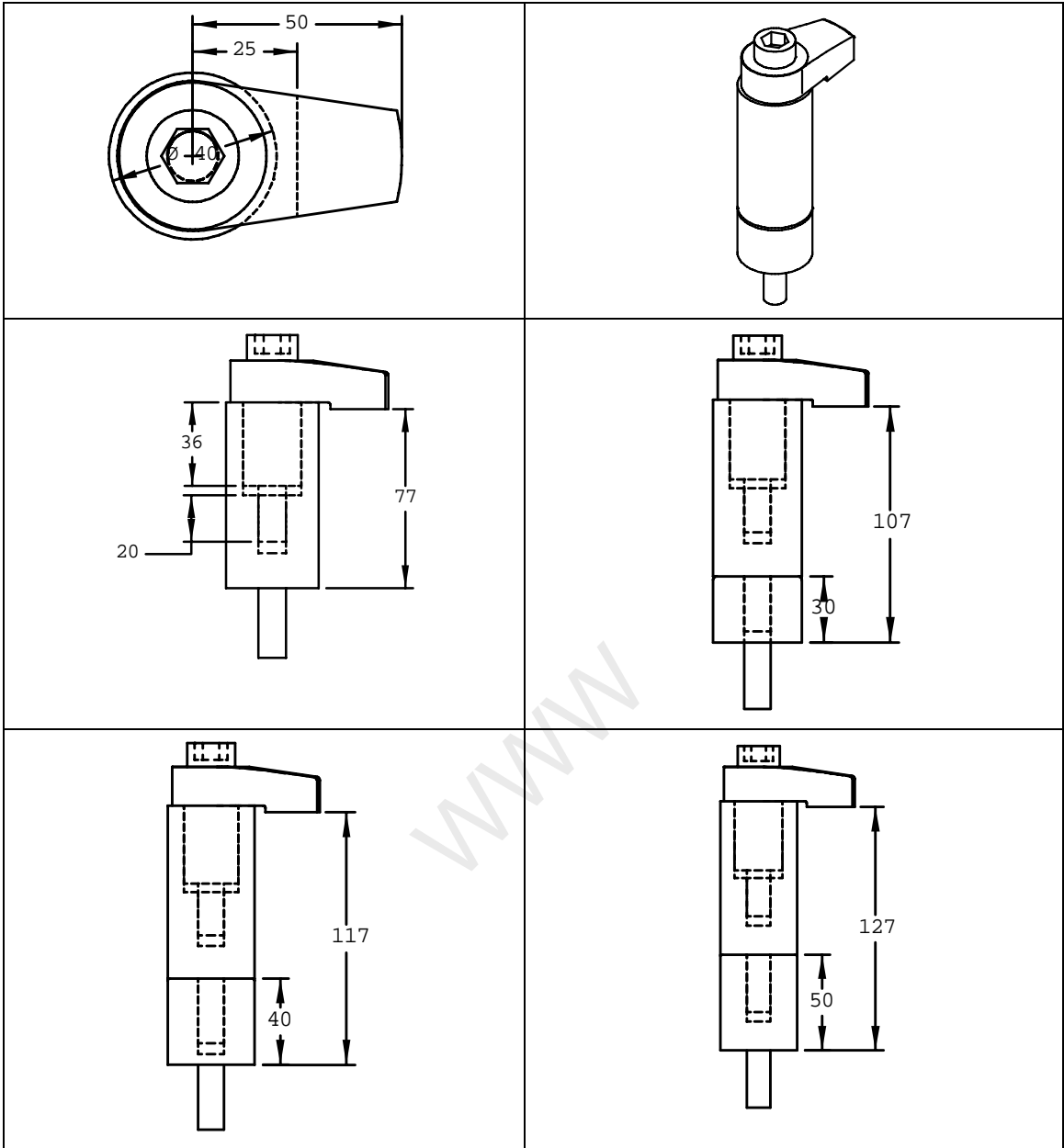
## DAYAMA ELEMANLARI



## YATAY BAĞLAMA ELEMANLARI

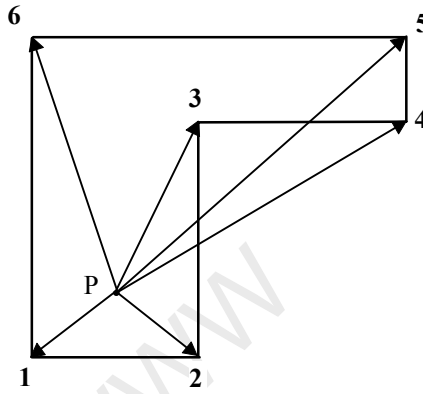
## DÜŞEY BAĞLAMA ELEMANLARI



## EK-2

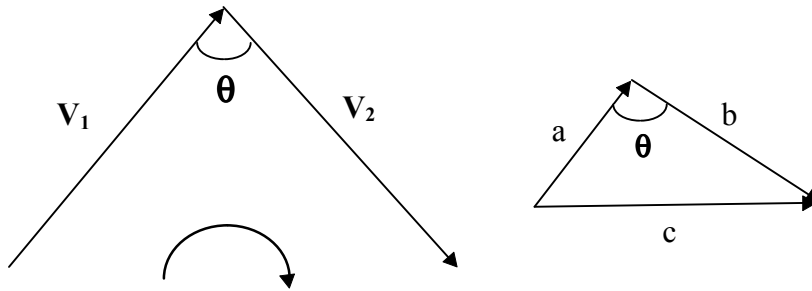
### POLİGON İÇİNDE NOKTA ALGORİTMASI

Geliştirilen bu algoritma ile, koordinatları verilen bir noktanın, bir poligonun (içbükey ve dışbükey) içinde olup olmadığı test edilir. Bu algoritma, tabla üzerine konumlandırılan parçanın alt destek yüzeyinin altında kalan deliklerin bulunması için kullanılmıştır. Şekilde örneği ele alalım.



Şekil II.1. Poligon içinde nokta

1. Verilen P noktasından tüm köşelere doğrular çizilir.
2.  $1P2$ ,  $2P3$ ,  $3P4$ ,  $4P5$ ,  $5P6$ ,  $6P1$  vektörlerinin oluşturduğu açılar hesaplanır



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

3.  $V_1$ 'den  $V_2$ 'ye olan dönüş yönü hesaplanır. (saat ibreleri veya saat ibreleri tersi)



$V_1$  ile  $V_2$  vektörlerinin vektörel çarpımı dönüş yönünü verir.

4. Saat ibreleri yönü pozitif, saat ibreleri tersi yönü negatif alınarak tüm açılar toplanır.

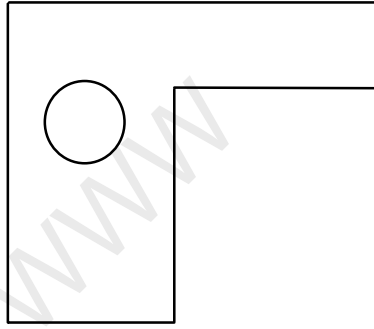
$$\text{Toplam} = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6$$

Eğer toplam =  $360^\circ$  veya toplam =  $-360^\circ$  ise nokta poligonun içindedir

Eğer toplam  $\neq 360^\circ$  ise nokta poligonun dışındadır.

Poligonun çizim yönüne göre toplam 360 veya -360 olabilir.

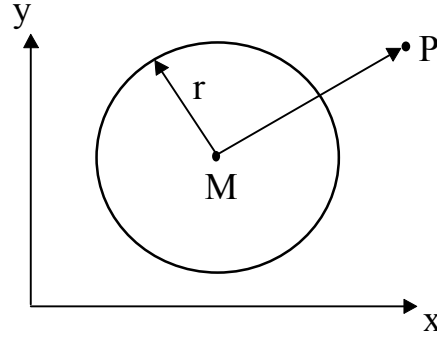
Eğer poligonun içinde diğer bir poligon varsa test işlemi şu şekilde gerçekleştirilir.



Şekil II.2. Poligon içinde poligon olma durumu

Şekil yüzey olarak düşünülürse, 2 döngü var demektir. İçteki döngü boşluk olarak değerlendirilir. Verilen noktanın parçanın dolu kısmında mı, yoksa boş kısmında mı olduğunu anlamak için, önce dıştaki döngünün içinde olup olmadığı kontrol edilir. İçinde ise, içteki döngünün içinde olup olmadığı kontrol edilir.

İçteki döngü daire ise, verilen noktanın daire içinde olup olmama şu şekilde test edilir.



Şekil II.3. Noktanın daire içinde olup olmama durumu

Dairenin merkez koordinatları  $M(x_1, y_1)$  ve verilen P noktasının koordinatları  $P(x_2, y_2)$  ise

$$r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Eğer,  $r > r$  ise P noktası dairenin dış ında,  
 $r < r$  ise P noktası dairenin içinde,  
 $r = r$  ise P noktası dairenin üzerinde

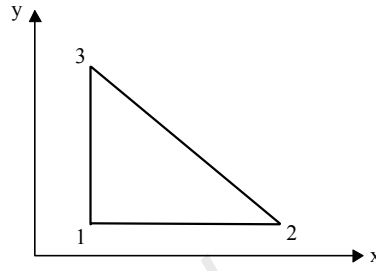
olduğu belirlenir.

### EK-3

## BİR POLİGONUN AĞIRLIK MERKEZİNİN BULUNMASI

Poligon şeklindeki bir yüzeyin ağırlık merkezini bulunması için, yüzey üçgenlere ayrılır ve bu üçgenlerin ağırlık merkezleri bulunur.

Bir üçgenin ağırlık merkezi ve alanı;

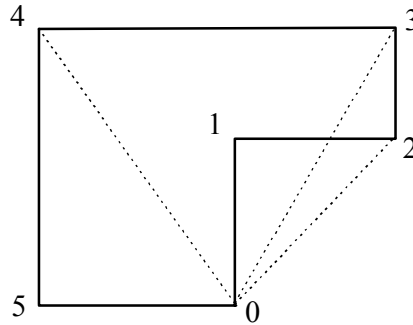


Şekil III.1. Bir üçgenin ağırlık merkezi ve alanı

Ağırlık merkezi koordinatları;

$x_g = (x_1 + x_2 + x_3)/3$  ve  $y_g = (y_1 + y_2 + y_3)/3$  ' tür. Alanı ise;

$A = [(x_2 - x_1)(y_3 - y_1)] - [(x_3 - x_1)(y_2 - y_1)]/2$  ifadesi ile hesaplanır.



Şekil III.2. Poligon ağırlık merkezi

Bir üçgen,  $P(0)$  her üçgenin köşe noktası olmak üzere,  $P(0)$ ,  $P(i)$  ve  $P(i+1)$  köşe noktalarından oluşur. Her bir üçgenin alanı;

$A = \frac{1}{2} \vec{P(0)P(i)} \times \vec{P(0)P(i+1)}$  ile bulunur.  $\times$  işareti vektörel çarpımı ifade etmektedir.

Poligonun ağırlık merkezi;

$$X_g = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \text{ ve } y_g = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \text{ ifadeleri ile bulunur.}$$

Eğer poligon içinde başka bir poligon varsa  $X_g$  ve  $Y_g$  ifadelerindeki Alan değeri negatif alınır.

WWW

## EK-4

### APARAT YERLEŞTİRME KURALLARI

#### a) Destek elemanları

1. Üç destek elemanı parça alt yüzeyine, parçanın statik dengesi açısından oluş turdukları alan maksimum olacak şekilde yerleş tirilmelidir.
2. Üç destek elemanı denge açısından, parçanın ağırlık merkezi ve kesme kuvvetleri bu üçgen içinde kalacak şekilde yerleş tirilmelidir.

#### b) Dayama elemanları

1. İki dayama elemanının konacağı yüzey, parça yan yüzeylerinden, alt destek yüzeyine dik ve uzun kenara sahip olan yüzeylerden seçilmelidir.
2. Üçüncü dayama yüzeyi, ikinci dayama yüzeyine dik yüzeylerden seçilmelidir.
3. Dayama yüzeyleri rijit, düz ve büyük alana sahip olmalıdır.
4. Dayama elemanları mümkün olduğunca birbirinden uzak konumlandırılmalıdır.
5. Dayama elemanları takım kuvvetlerine karşı gelecek şekilde konumlandırılmalıdır.
6. Altıdandan fazla dayama elemanı kullanılması durumunda yerleş imde belirsizlik oluş acağı için parça düzgün olarak yerleş tirilemeyeceğinden kaymalar oluş abilir.
7. Altı dayama elemanı mümkün olduğunca geniş bir alanı kapsayacak şekilde yerleş tirilmelidir.
8. Dayama elemanları iş lenmiş düzgün yüzeyler üzerine konumlandırılmalıdır.
9. Dayama elemanları mümkün olduğunca aynı yükseklikte bulunmalıdır.
10. Denge açısından üçüncü dayama yüzeyine konacak dayama elemanı, 2. dayama yüzeyinin uzak köş esine konulmalıdır.
11. Kesici takım ile dayama elemanları kesiş meyecek şekilde yerleş tirme iş lemi yapılmalıdır.

**c) Bağlama elemanları**

1. M¼mk¼nse takım kuvvetlerine karş ı gelecek ř ekilde konulmamalıdır.
2. Bağlama elemanları parça üzerine konumlandırılırken en uygun b¼lge olarak iş parçasının rijit b¼lgeleri seçilmelidir.
3. Bağlama elemanları kesici takım yolu üzerinde olmamalıdır.
4. Doğrudan destek elemanlarının üzerine uygulanmalıdır.
5. Alt tabla elemanına paralel veya dik yüzeyler üzerine uygulanmalıdır.
6. Bağlama kuvvetleri parçayı destek ve dayama elemanlarından ayırmayacak ve parça üzerinde aş ır ı deformasyona sebebiyet vermeyecek ř ekilde minimum değerde olmalıdır.
7. Parçanın sök¼lmesi ve tekrar takılması iş lemlerinin kolaylaş tıracak ř ekilde yerleş tirilmelidir.
8. Bağlama kuvvetleri, parçanın tüm dayama ve destek elemanları ile temasını sağlayacak ř ekilde uygulanmalıdır.
9. İş lenecek yüzeyler üzerine bağlama elemanı gelmemelidir.
10. Önceden iş lenmiş yüzeyler üzerine mümkün ise bağlama elemanı konulmamalıdır.

## TEŐEKKÖR

Bu tez alıő masında yardımlarını esirgemeyen baş ta değerli hocam Ferruh Öztürk'e, sonlu elemanlar konusunda bana yol gösteren Reő at Özcan'a, tez konumla ilgili olarak bulunduğum Edinburgh Üniversitesi, Makine Müh. Bölümü, İmalat Planlama Grubu başkanı Frank Mill'e, Edinburgh Üniversitesi' ndeki çalıőmalarım için yol masraflarımı karşılayan Vehbi Koç Vakfı' na teşekkür borç bilirim.

WWW

## ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Artvin' de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini burada tamamladı. 1990 yılında Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans derecesi aldı. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansa ve aynı zamanda Makine Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1992 yılında yüksek lisansını tamamladı. 1993 yılında Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde doktora çalışmalarına başladı. Nisan - Ekim 1998 tarihleri arasında Edinburgh Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İmalat Planlama Grubunda doktora tez konusu ile ilgili çalışmalar yaptı.

Evli ve bir kız çocuğu babası olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.

WWW