

# 2B GÖRÜNÜŞLERDEN OTOMATİK KATI MODELLER OLUŞTURMADA UZMAN BİR YAKLAŞIM

İsmail ŞAHİN, H. Rıza BÖRKLÜ

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara

Geliş Tarihi : 19.12.2007

Kabul Tarihi : 05.05.2008

## ÖZET

Bu makale, iki ve üç görünüşle ifade edilen prizmatik parçaların otomatik üç boyut (3B) modellerini oluşturma konusunu incelemekte ve bu amaçla geliştirilen bilgisayar temelli bir yaklaşımı tanıtmaktadır. Bu yaklaşım; 2B görünüşlere ait verilerin yorumlanması ile üç boyut (3B) unsurların belirlenmesi ve bunların hacimsel keşitirilmeleri ile üç boyut (3B) modellerinin oluşturulması esasına dayanmaktadır. Bu amaçla bir dizi kural tanımlanmış ve uzman sistem kullanılarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu program ile, köşe cep ve kapalı kanal gibi unsurların oluşturulması etkin olarak yapılabilmektedir. Çalışmadaki diğer bir yenilik ise, tam ve yarım kesit görünüşlerden de otomatik katı modeller elde edilmesidir.

**Anahtar Kelimeler :** *Yeniden yapılandırma, Kesit görünüşler, Uzman sistem.*

## AN EXPERT APPROACH ON AUTOMATIC SOLID MODEL RECONSTRUCTION FROM 2D PROJECTIONS

### ABSTRACT

This paper examines how to automatically reconstruct three dimensions (3D) models from their orthographic two and three views and explains a new approach developed for that purpose. The approach is based on the identification of geometric features with the interpretation of 2B views, their volumetric intersections and reconstruction of solid models. A number of rules have been defined for this goal and they implemented on a prototype software with the approach of expert systems. The developed software allows determination of some features efficiently such as slot, holes, blind holes, closed prismatic holes, etc. Another contribution of this research is to reconstruct solid models from their full section and half section views that is almost nonexistent in the related literature.

**Key Words :** *Reconstruction, Sectional views, Expert system.*

### 1. GİRİŞ

Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) alanında son yarım asırlık zaman diliminde yoğun araştırma ve geliştirme çalışması yapılması ve piyasaya birçok ticari BDT paketi sürülmesine rağmen hala tam çözülmemiş bazı konular mevcuttur. Bunlardan birisi de, 2 Boyut (2B) olarak ifade edilen teknik resim veya makina resimlerinin insan katkısı olmaksızın bilgisayar ortamında katı modellere (3 Boyut - 3B) dönüştürülme problemidir.

Yeni nesil BDT paket programlarında katı temel elemanlara (küp, silindir, takoz vb.) boolean operasyonları uygulanarak (çıkartma, birleştirme vb.), 2B'lu yüzeylerin doğrusal veya aksenal olarak süpürülmesiyle ya da unsur tabanlı tekniklerle 3 Boyutlu (3B) modeller elde edilmektedir. Bu programlarla katı model oluşturma kullanıcı katkısıyla gerçekleştirilmektedir. Yani, bir kullanıcı 2B izdüşümü bilgisayar ekranında oluşturur, elinde bulunan 2B görünüşleri veya 3B modeli yorumlayarak temel elemanlara ve nihayet katı

modelin şekline karar verir. Bu programlar üstünlüklerine rağmen, fazlasıyla kullanıcı katkısına ihtiyaç duydukları için kullanıcı yorumundan kaynaklanan hatalara müsaittir. Bunun yanında bu tür karmaşık programlarda doğru model oluşturma kullanıcının programı kullanabilme yeteneğine de bağlıdır. Bu tür sıkıntular, 2B çizimleri insan benzeri tarzda yorumlayıp otomatik katı model oluşturan modüller oluşturan programlarla giderilebilir.

2B izdüşümleri insan benzeri bir tarzda yorumlayıp kullanıcı katkısız (otomatik) olarak 3B katı model oluşturma çalışmaları, yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü yaklaşık kırk yıldır ciddi bir araştırma konusudur. Kaynaklarda bu çalışmalar tel kafese dayalı (aşağıdan yukarı) ve hacime dayalı (Yapısal Katı Geometri – YKG) yaklaşımlar olarak iki ana başlık altında incelenmektedir (Shin ve Shin, 1998; Kuo, 1998; Liu v.d., 2001a; Gong v.d., 2006). Son yıllarda bu iki yöntemi bir arada kullanan bazı çalışmalara da rastlanmaktadır (karma yaklaşımlar). Bu makalede, sınıflandırma yöntemine bir yenilik getirilerek çalışmalar tel kafese dayalı, hacim tabanlı ve karma yaklaşımlar olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir.

Tel kafese dayalı çalışmalar, Idesawa'nın aşağıdan yukarı yaklaşımına dayanmaktadır (Idesawa, 1973). Burada; görüntüslere ait noktalardan 3B noktalar (köşeler) çıkartılmakta, bunlar kullanılarak 3B kenarlar oluşturulmakta, daha sonra da 3B yüzey ve nesnel elde edilmektedir. Sonraki yıllarda, benzer temel ve sınır temsil yaklaşımını kullanan diğer araştırmacılar; düzlemsel, silindirik, küresel ve konik biçimli nesnelere modelleyebilen çalışmalar yapmıştır (Şahin ve Börklü, 2002). Yakın zamanda yapılan araştırmalarda ise, daha fazla girdiye sahip ve çoklu çözümler sunabilen etkili algoritmalar geliştirilmiştir (Shin ve Shin, 1998; Kuo, 1998; Liu v.d., 2001a; Liu v.d., 2002; Gong v.d., 2006). Tanaka ve arkadaşları bu çalışmalardan farklı olarak 2B'lu montaj resimlerini 2B'lu parça çizimlerine ayırıştırarak katı modellerini oluşturmuştur (Tanaka v.d., 2004).

YKG yaklaşımı kullanan ilk çalışma, Aldefeld tarafından yapılmıştır. Çalışma, YKG temel elemanları belirleme ve birleştirmeye dayanmaktadır (Aldefeld, 1983). Ancak burada aynı profile sahip nesnelere ele alınmıştır ve kullanıcı etkileşimine ihtiyaç vardır. Bu yaklaşımı kullanan diğer araştırmacılar, girdi çeşidini artırma ve kullanıcı etkileşimini azaltmaya çalışmışlardır (Şahin ve Börklü, 2002). YKG yaklaşımı son yıllardaki çalışmalarda daha yaygın kullanılmaktadır (Shum v.d., 1997; Shum v.d., 2001; Çiçek ve Gülesin, 2005; Lee ve Han, 2005). Burada girdi görüntüsleri, normal vektörleri doğrultusunda sündürülmekte ve böylece elde edilen nesnelere kesişme işlemine tabi tutularak katı modeller oluşturulmaktadır. Ayrıca YKG temel elemanlarına

boolean operasyonlarının uygulandığı benzer amaçlı yaklaşımlar da vardır (Tam ve Atkinson, 2003). Kim ve Zhao, çok yüzlü nesnelere oluşturulması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. İki görünüş girdisi kullanılan çalışmada eksik görüntüler tamamlanabilmektedir (Zhao ve Kim, 1999). Hubbard ve Kim, Kim ve Zhao'nun çalışmasının dairesel ve eliptik yayları içine alacak şekilde genişletmiştir (Hubbard ve Kim, 2001). Diğer taraftan Dimri ve Gurumoorthy, kesit içeren parçalara ait 3B model oluşturma konusunu incelemiştir (Dimri ve Gurumoorthy, 2005). Liu ve arkadaşları, makina resimlerinin geometrik ve topolojik ilişkilerden faydalanarak düzlemsel, silindirik ve eğri yüzeyle (konik, eliptik ve parabolik gibi) nesnelere kapsayan çalışmalar yapmışlardır (Liu v.d., 2000; 2001b). Yakın zamanda ise, lazer tarayıcı ve x-ray cihazları gibi farklı yöntemlerle taranmış nesnelere hitap edecek araştırmalar ivme kazanmıştır (Benko v.d., 2001; Shum v.d., 2002). Şahin ve Börklü geliştirdikleri hacimsel yaklaşımla silindirik ve prizmatik parçaların katı modellerini oluşturmuşlardır (Şahin ve Börklü, 2003; 2007). Bu çalışmalarda iki veya daha fazla görünüş girdisi kullanılmıştır. Bu çalışmaların aksine tek görünüş girdisi kullanan çalışmalar da vardır (Wang ve Grinstein, 1989; Wang, 1991; Wu ve Lin, 1996). Bu çalışmalarda girdi görüntüsleri 3B'lu veya izometriklerdir.

Karma yaklaşımlarda katı model oluşturma işleminin ilk aşamaları (3B nokta, kenar ve yüzey oluşturma) tel kafes yaklaşımına göre gerçekleştirilir. Daha sonra ise bu yüzeylerden tel kafes bir model elde edilir. Temel katılar, tel kafes modeli oluşturan yüzeylerden yapılandırılmakta ve boolean operasyonları ile katı model oluşturulur.

Masuda ve Numao'nun karma bir yöntemi benimseyen çalışmalarında katının biçimi tel kafes yaklaşımıyla oluşturulan bir hücre model aracılığı ile tanımlanır (Masuda ve Masayuki, 1997). Hücresel modeldeki hücre kombinasyonları bir katının biçimini tanımlamaktadır. Katı model, Boolean operasyonları kullanılarak oluşturulmaktadır. Wang ve Latif'in çalışmasında ise yarı-tel kafes olarak tanımlanan bir yöntemle katı model işlem zamanı azaltılırken model oluşturma işlemi kolaylaştırılmıştır (Wang ve Latif, 2003). Geng ve arkadaşları, tel kafes yaklaşımıyla oluşturulan süpürme profillerinden elde etikleri YKG elemanlara Boolean operasyonları uygulayarak katı model oluşturmaktadır (Geng v.d., 2002). Yaklaşım kullanıcı katkısı gerektirmektedir.

Bu makalede hacimsel kesitirme yaklaşımı kullanarak prizmatik parçaların katı modellerini oluşturan bir çalışma tanıtılmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programının kullanılan ticari programlardan en önemli farkı, 2B izdüşüm yorumlama ve katı model oluşturma aşamalarının program tarafından yapılmasıdır. Geliştirilen programda kullanıcı AutoCAD ortamında 2B izdüşümü oluşturur, 3B yorumlama ve katı model oluşturma aşamaları otomatik bir şekilde program tarafından gerçekleştirilir. Ticari katı modelleme programlarının hiçbiri böyle bir modülü içermemektedir.

Çalışmada üç görünüş girdisi kullanılmaktadır. Algoritma tam ve yarım kesitleri bir arada ele alması yönü ile önemli bir yenilik içermektedir. 3B yorum elde etme aşamasında yapay zeka teknikleri kullanımı çalışmanın literatüre kattığı diğer bir yeniliktir. Oluşturulacak katı temel elemanların biçimine ve buna bağlı olarak birbirleri arasında uygulanacak boolean operasyonlarına hazırlanan uzman sistem aracılığı ile karar verilmektedir.

## 2. TEMEL KAVRAMLAR

Bu araştırma kapsamında kullanılan bazı kavram ve notasyonlar aşağıda açıklanmıştır.

**Köşe Noktası ( $n_i$ ):** Bir köşe noktası üç temel koordinatla tanımlanır (Şekil 1a).

$$n_i = \{ (x_i, y_i, z_i) : 1 \leq i \leq n ; n, i \in \mathbf{Z} \}$$

**Kenar ( $k_i$ ):** Bir kenar, iki köşe noktası arasında uzanan doğru parçasıdır (Şekil 1b).

$$k_i = \{ (n_i, n_j) : i \neq j : 1 \leq i \leq n ; 1 \leq j \leq n ; n, i, j \in \mathbf{Z} ; n_i \not\subset n_j \Leftrightarrow n_j \not\subset n_i \}$$

**İlişkili Kenar ( $ik_s^k$ ):** Görünüşte yer alan 2B doğru ve yay gibi kenarlar bir veya daha fazla ortak köşe noktaları ile birbirine bağlanmışsa, bu kenarlara ilişkili kenar, bu kenarların oluşturduğu kümeye ilişkili kenar kümesi denir (Şekil 1c). Burada S, kenar küme indisini göstermektedir. Şekil 1c'de birbirini takip eden  $k_i$  ve  $k_j$  kenarları aşağıdaki şekilde tanımlansın:

$$k_i = \{ (n_i, n_{i+1}) : n_i < n_{i+1} \} ; k_j = \{ (n_j, n_{j+1}) : n_j < n_{j+1} \} : i < j$$

$$n_{i..m} = (x_{i..m}, y_{i..m}, z_{i..m}) : n_{j..m} = (x_{j..m}, y_{j..m}, z_{i..m}) : 1 \leq i \leq m : 1 \leq j \leq m : m, j \in \mathbf{Z}$$

olmak üzere;

$$n_{i+1} = n_j \text{ ise } k_i \in ik_s^k, k_j \in ik_s^k \text{ olur.}$$

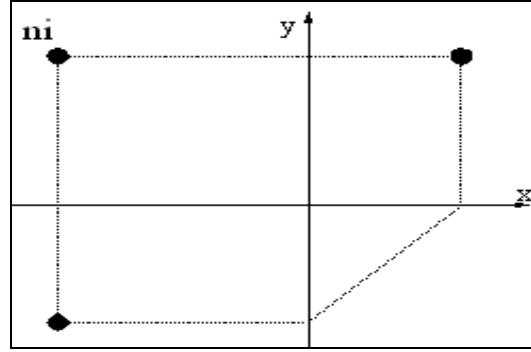
İlişkili kenar kümesi oluşturma işlemine her bir

çizim grubuna ait en küçük x koordinatlı kenardan başlanır.

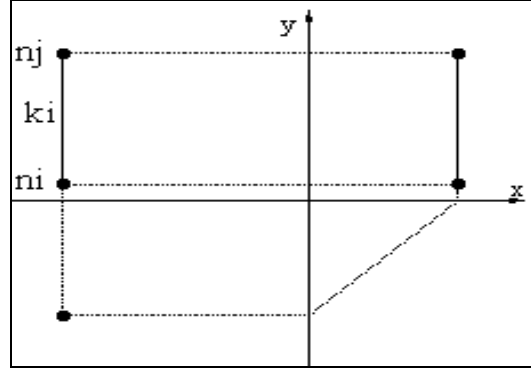
**Kapalı kenar Kümesi ( $k_s^k$ ):** İlişkili kenar kümesine ait ilk köşe ve son köşe noktalarının x ve y koordinatları aynı değere sahipse bu kümeye kapalı kenar kümesi denir Şekil 2a'da:

$$i_s^k = \{ k_i, k_{i+1}, \dots, k_n \}; k_i = (n_i, n_{i+1}); k_n = (n_n, n_{n+1});$$

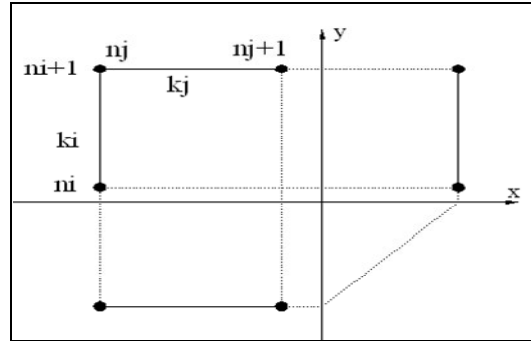
$n_i < n_{i+1}$  ve  $n_n < n_{n+1}$  olmak üzere  $n_i = n_{n+1}$  ise  $i_s^k \in k_s^k$  dir.



(a)

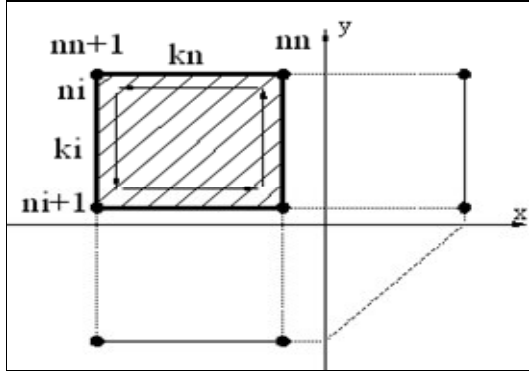


(b)

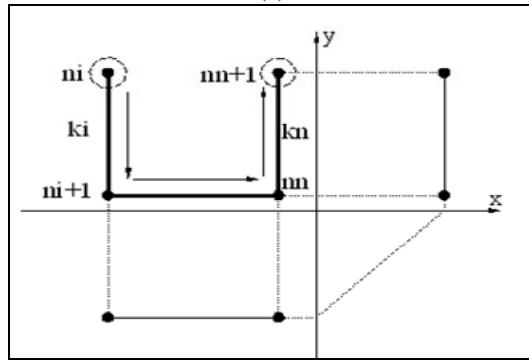


(c)

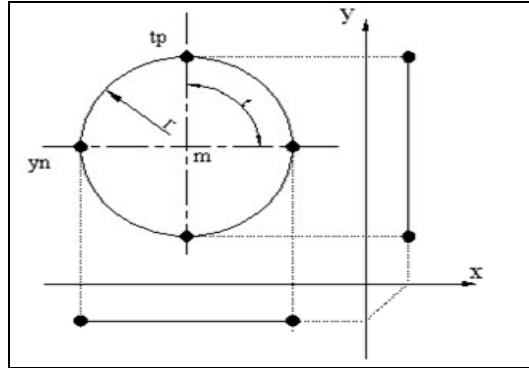
Şekil 1. 2B görünüşte, (a) Köşe noktası, (b) Kenar ve (c) İlişkili kenar oluşum ve izdüşümleri.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2. 2B'lu görünüşte, (a) Kapalı, (b) Açık kenar kümeleri ve (c) Dairesel bölge ve izdüşümleri.

Açık kenar Kümesi ( $a_s^k$ ): Bir açık kenar kümesinde ilk ve son kenar koordinatları farklı olmalıdır. Yani (Şekil 2b):

$i_s^k = \{ k_i, k_{i+1}, \dots, k_n \}$ ;  $k_i = (n_i, n_{i+1})$ ;  $k_n = (n_n, n_{n+1})$ ;  
 $n_i < n_{i+1}$  ve  $n_n < n_{n+1}$  olmak üzere,  $n_i \neq n_{n+1}$  ise  $i_s^k \in a_s^k$  'dir.

Dairesel Bölge: Dairesel bölgeler tam silindirik unsurların 2B izdüşümleridir ve doğrusal ayrıntı içermezler. Bir daire merkez  $(x, y, z)$ , yarıçap  $(r)$  ve

tepe  $(tp)$  noktasından oluşur (Şekil 2c).

Ortak Koordinat Eksenleri: Birbiri ile komşu görünüş bölgeleri arasındaki ortak koordinat eksenidir. Ortak koordinat eksenleri ön-yan görünüşler arasında "y" eksenidir, ön – üst görünüşler arasında ise "x" eksenidir (Şekil 2).

### 3. UZMAN SİSTEM YARDIMIYLA KATI MODELLER OLUŞTURMA

Bu çalışmada, iki ve üç görünüş girdisi ile ifade edilen silindirik ve prizmatik parçaların katı modellerinin oluşturma amacıyla yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın ana işlem adımları model alanları oluşturma (düzlemsel ve silindirik), bunlardan ana ve temel katılar oluşturma, Boolean (ekleme ve çıkartma) işlemleri ile görünüş bölgelerinde ön katılar oluşturma ve hacimsel kesiştirme ile katı modeller oluşturmaktır (Şekil 3).

#### 3. 1. Ön İşlemler ve Veri Tabanı Oluşturma

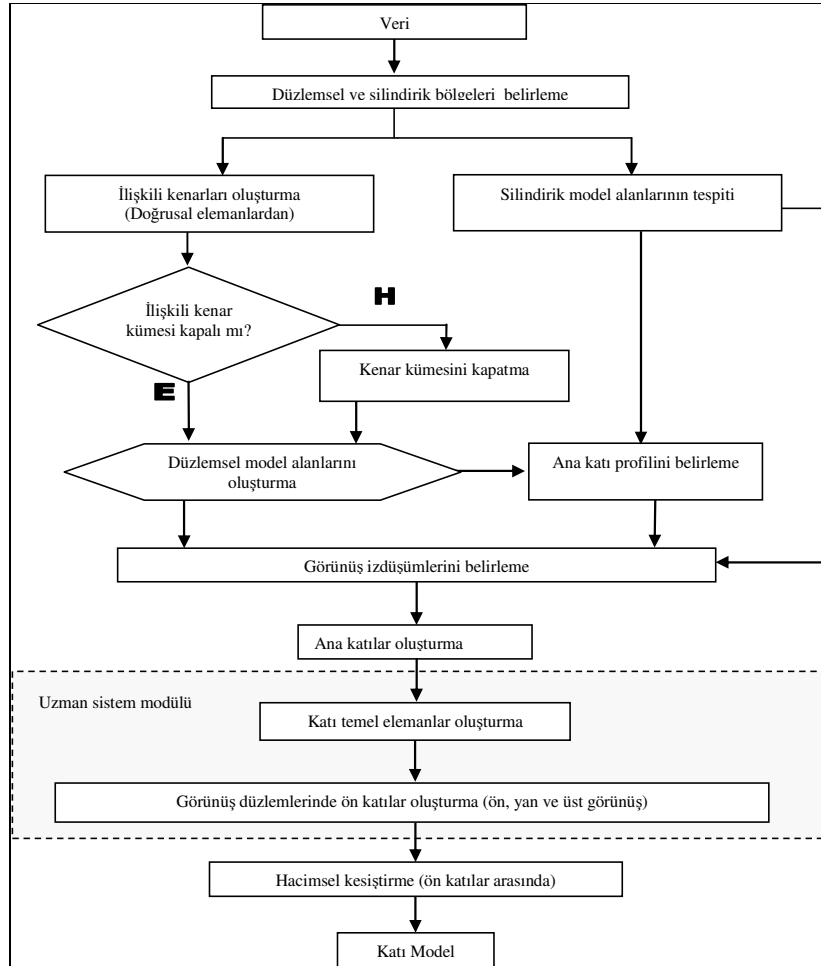
2B izdüşümlerle ilgili verilerin elde edilmesinde DXF veri formatından yararlanılmaktadır. 2B veriler DXF ortamından Microsoft Access ortamında hazırlanan veri tabanına aktarılmaktadır. Bu bilgiler, görünüş düzlemine (ön, yan ve üst), 2B eleman türüne (doğru, yay ve daire) ve çizgi türüne (eksen, görünmez) göre sınıflandırılmaktadır.

#### 3. 2. Düzlemsel ve Silindirik Bölgelerin Tespiti

Silindirik bölgeler, dairelerden oluşur. Dairesel bölgelerle ilgili bilgiler, 2B'lu daire verilerinin aktarıldığı veri tabanından elde edilir. Düzlemsel bölgeler ise, doğru (line) ve yayların (arc) kapalı bölgelerinden oluşur. Düzlemsel bölgeleri oluşturan 2B temel elemanlar birbirleri ile ilişkilendirilerek düzenli 2B eleman kümelerine dönüştürülmektedir. Çalışmada bu işleme "ilişkili kenar kümesi oluşturma" adı verilmiştir.

#### 3. 3. İlişkili Kenar Kümesi Oluşturma

Birbirini takip eden iki kenarın ilişkili olup olmadığını tespit etmede temel amaç, kenar zincirlerini ortaya çıkarmaktır. İlişkili kenar kümesi oluşturma işlemi temel kavram ve tanımlamalar bölümünde belirtilen esaslar çerçevesinde yapılır. İlişkili kenar kümesi oluşturma işlemi aşamasında belirlenen açık kenar kümelerinin kapalı kenar kümelerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için Açık Kenar Kümesi Kapatma Algoritması (AKKA) adı verilen bir algoritma geliştirilmiştir.



Şekil 3. Katı model oluşturma işlem akış şeması.

### 3. 3. 1. Açık Kenar Kümesi Kapatma Algoritması (AKKA)

Açık kenar kümeleri muhtemel köşe cepler, kör veya boydan boya kanal gibi unsurlardır (Şekil 4). Bu unsurları oluşturulabilme açık kenar kümelerinin kapalı kenar kümelerine dönüştürülmesiyle mümkündür. Açık kenar kümelerini kapatma algoritması dört aşamalı bir işlemi içerir. Bunlar, açık kenar kümelerindeki açık köşeleri belirleme, temas kenarlarını bulma ve sanal köşeler oluşturma şeklindedir.

Açık kenar kümelerindeki açık köşe noktalarını belirleme: Açık kenar kümesinin açık köşeleri, açık kenar kümesinde herhangi bir köşe noktası ile kesişmeyen köşe noktalarıdır. Şekil 4'te 1 ve 2 ile gösterilen kenarlar kümeleri açık kenar kümeleridir. Temas kenarlarını ( $t_k$ ) bulma: Temas kenarları, açık köşe koordinat değerlerinin herhangi birine

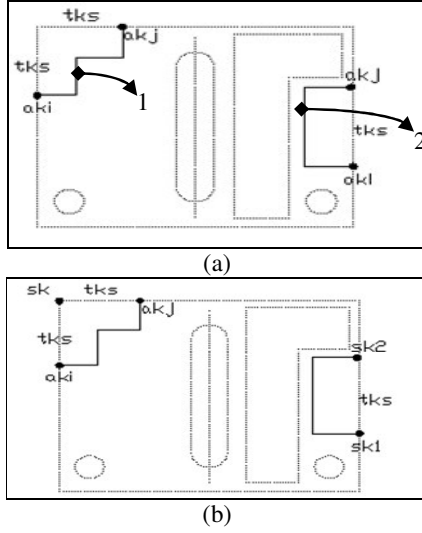
("x" veya "y") eşit olan kenarlardır. Şekil 4a'da  $a_k$  ve  $a_j$  olarak verilen açık köşelerin temas ettiği kenarlar ( $t_{k_s}$ ) aşağıdaki şekilde bulunur:

$$a_{k_i} = \{ (x_i, y_i, z_i) : 1 \leq i \leq m : m, i \in \mathbf{Z} \text{ ve } a_{k_i} \in \mathbf{a}_s^k \}$$

$$a_{k_j} = \{ (x_j, y_j, z_j) : 1 \leq j \leq m : m, j \in \mathbf{Z} \text{ ve } a_{k_j} \in \mathbf{a}_s^k \}$$

ve  $t_{k_s} = \{k_s, k_{s+1}\}$ ;  $k_s = (x_s, y_s, z_s)$ ;  $k_{s+1} = (x_{s+1}, y_{s+1}, z_{s+1})$ ;  $k_s < k_{s+1} : 1 \leq s \leq n$ ;  $n, i \in \mathbf{Z}$  ve  $i \neq j$  olmak üzere  $x_j = x_s$  veya  $y_j = y_s$  veya  $x_j = x_{s+1}$  veya  $y_j = y_{s+1}$  ise  $t_{k_s}$  açık köşenin temas kenarındır.

Şekil 4a'da 1 ile gösterilen açık kenar kümesinde olduğu gibi açık köşe koordinatları ( $a_{k_i} \neq a_{k_j}$ ) birbirinden farklı ise, iki temas kenarı vardır. Şekil 4a'da 2 ile gösterilen açık köşe koordinatlarından herhangi biri (x veya y) eşitse tek temas kenarı vardır.



Şekil 4. Açık kenar kümelerinde (a) temas kenarları ve (b) Sanal köşeler.

Sanal Köşeler Oluşturma : Sanal köşeler ( $s_k$ ), iki temas kenarlarının kesiştiği noktadır. Sanal köşeler, açık kenarın türüne göre iki farklı yapıdadır. Eğer açık kenar kümesi iki temas kenarına sahip ise, tek sanal köşeye sahiptir (4b). Burada oluşan sanal köşe, temas kenarlarının ortak kesişim noktasıdır. Eğer tek temas kenarına sahipse, yani açık köşe noktalarının herhangi bir koordinatları eşit ise ( $x$  veya  $y$ ) iki sanal köşe oluşur. Bu durumda sanal köşe koordinatları açık köşelerin koordinatlarından oluşturulur. AKKA'da son işlem yeni verilerin veri tabanına aktarılmasıyla, açık kenar kümelerinin kapalı kenar kümelerine dönüştürülmesidir.

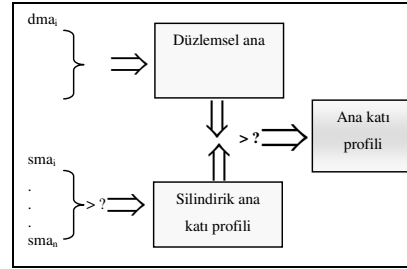
### 3. 4. Düzlemsel (dma) ve Silindirik (sma) Model Alanı Oluşturma

Düzlemsel model alanları (dma), kapalı kenar kümeleri ve kapalı kenar kümelerine dönüştürülmüş açık kenar kümelerinden oluşturulmaktadır. Kapalı kenar kümelerinin tespiti ve AKKA sonucunda açık kenar kümelerinin kapalı kenar kümelerinin dönüştürülmesi ile aynı zamanda dma'lar da oluşturulmuş olmaktadır. Girdi görünüşlerindeki dairesel bölgeler silindirik model alanları (sma) olarak belirlenmekte ve dma veri tabanından ayrılmaktadırlar. sma'ları oluşturan dairesel bölgelerin tepe ve yan uç nokta koordinatları ve alanları belirlenerek veri tabanına aktarılmaktadır.

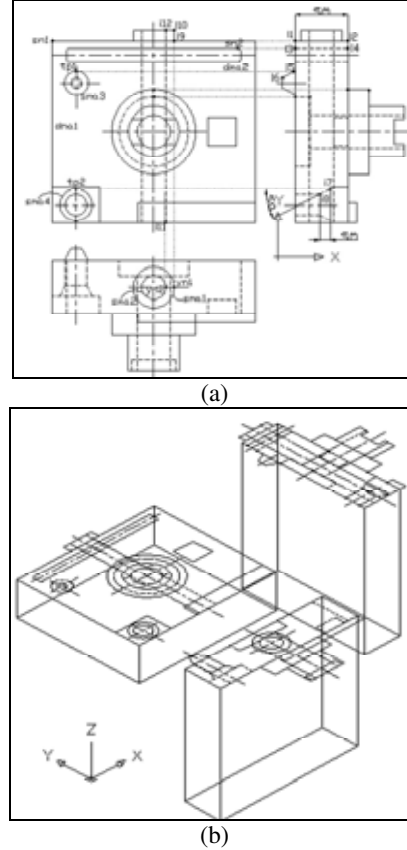
### 3. 5. Ana Katı Profilini Belirleme

Bu aşamada düzlemsel ve silindirik model alanlarından görünüş bölgesinde oluşturulacak ana katı profiline karar verilir. Ana katı, görünüş bölgelerinde oluşturulacak ön katıların oluşturulmasında referans katılardır. Ön katılar, ana

katı üzerine temel katıların eklenmesi veya çıkarılmasıyla oluşturulur. Ana katı profiline üç aşamalı bir işlemle karar verilir. Burada önce dma'lar arasında düzlemsel ana katı profili seçilir. Düzlemsel ana katı profili, kapalı kenar kümelerinden oluşturulan dma'lar arasında en büyük alana sahip model alanıdır. Daha sonra sma'lar arasında en büyük alana sahip sma silindirik ana katı profili olarak seçilir. Son olarak, düzlemsel ve silindirik ana katı profilleri arasında en büyük alana sahip katı profili ana katı profili olarak belirlenir (Şekil 5).



Şekil 5. Düzlemsel, silindirik ve ana katı profilleri belirleme işlemi.



Şekil 6. (a) Görünüş izdüşümlerini belirleme ve (b) Görünüş bölgelerinde oluşturulan ana katılar.

### 3. 6. Görünüş İzdüşümlerini Belirleme

Kapalı kenar kümeleri ve dairelerin diğer görünüşlerdeki izdüşümleri (eşleştiği köşeler) aşağıdaki şekilde bulunur:

- Model alanı ön görünüşte ise, yan görünüşte düzlemsel model alanını (dma) oluşturan doğru ya da yay parçalarının son nokta y koordinatına eşit köşe noktaları aranır.
- Model alanı yan görünüşte ise, ön görünüşte dma'nı oluşturan doğru ya da yay parçalarının son nokta y koordinatına eşit köşe noktaları aranır.
- Model alanı üst görünüşte ise, ön görünüşte dma'nı oluşturan doğru ya da yay parçalarının son nokta x koordinatına eşit doğru parçası aranır.

Şekil 6a'da görülen bir numaralı düzlemsel model alanının (dma<sub>1</sub>) sn1 olarak gösterilen köşe noktasının yan görünüşteki izdüşümü, kendisi ile aynı y koordinatına sahip doğru parçasıdır. Burada izdüşüm i1 ve i2 köşe noktalarından oluşan doğru parçasıdır. Benzer şekilde dma<sub>2</sub> ile gösterilen alanın yan görünüşteki izdüşümü, sn2 köşe noktası ile aynı y koordinatına sahip i3 ve i4 köşe noktalarıdır.

“sma”ların izdüşümleri araştırılırken, silindirik elemanın uç noktası ile aynı koordinat değerine sahip köşe noktaları aranmaktadır (Şekil 6). sma'nın tepe noktası tek köşe noktası ile de eşleşebilir. Bu tür parçalar konik çıkıntılar veya havşalı deliklerdir. Şekil 9'da tp3 üst uç noktasına sahip sma3'ün yan görünüşteki izdüşümünün sadece bir köşesi tp3 ile aynı y koordinatına sahiptir. Bu durumda sadece tek köşe noktasının eşit olma hali kabul edilmektedir.

Süpürme miktar (S<sub>m</sub>) ve açıları (S<sub>a</sub>): Düzlemsel ve silindirik model alanların süpürme miktarları izdüşüm uzunlukları hesaplanarak bulunur. Süpürme açısı ise model alanının izdüşümünün yatayla yaptığı açıdır. Şekil 9'da Sn1 noktasının üzerinde bulunduğu dma'nın yan görünüşteki izdüşümleri i1 - i2 ve i1<sub>=</sub> { (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>, z<sub>1</sub>) }; i2={ (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>, z<sub>2</sub>) }; z<sub>1</sub>=z<sub>2</sub>=0 olmak üzere, Süpürme miktarı (S<sub>m</sub>):

$$S_m = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (1)$$

Süpürme açısı (S<sub>a</sub>) ise,

$$s_a = \tan^{-1} \left( \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanır.

### 3. 7. Ana Katı Oluşturma

Süpürme miktarı, yönü ve açısı belirlenen ana katı profili, Şekil 6b'de verilen koordinat ikonunda, oklar normal vektör yönünü göstermek üzere, normal vektörü doğrultusunda (+) veya tersi yönünde (-) doğrusal süpürme işlemi uygulanarak ana katılar oluşturulur (Şekil 6b). Süpürme yönleri izdüşüm köşe noktalarının koordinatlarına göre belirlenir. Bir ana katı profilinin izdüşüm köşe noktaları: i1<sub>=</sub> { (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>, z<sub>1</sub>) }; i2={ (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>, z<sub>2</sub>) }; z<sub>1</sub> = z<sub>2</sub> = 0 olmak üzere, ön ve yan görünüşte oluşturulacak ana katıların süpürme yönleri aşağıdaki kurallara göre belirlenir:

y<sub>1</sub> ≤ y<sub>2</sub> ise süpürme yönü negatif (-), tersi durumda y<sub>1</sub> > y<sub>2</sub> ise, süpürme yönü pozitif (+);

ön ve üst görünüşte oluşturulacak ana katıların süpürme yönleri ise:

- y<sub>1</sub> < y<sub>2</sub> ve x<sub>1</sub> ≠ x<sub>2</sub> ise, süpürme yönü pozitif (+)
- y<sub>1</sub> < y<sub>2</sub> ve x<sub>1</sub> = x<sub>2</sub> veya y<sub>1</sub> > y<sub>2</sub> ve x<sub>1</sub> ≠ x<sub>2</sub> ise, süpürme yönü negatif (-) olur.

Ana katılar oluşturulduktan sonra kapalı kenar kümeleri ve AKKA ile oluşturulan kapalı kenar kümelerinin tekrar çizimi gerçekleştirilir. Tekrar çizim işlemi ekrandaki orijinal çizimin silinerek 2B görünüşlerin yeniden oluşturulmasını içerir.

### 3. 8. 3B Nesne Türüne Karar Verme

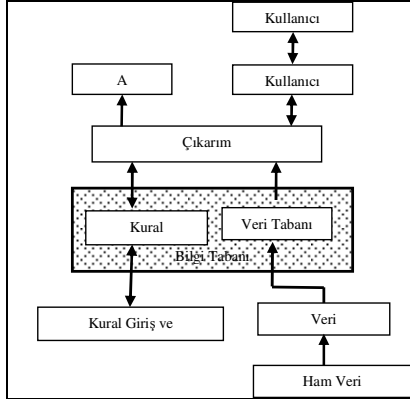
3B nesne yorumlama adımında en çok kullanılan yapay zeka tekniklerinden olan Uzman Sistem kullanılmıştır. Uzman sistem 2B izdüşüm ve diğer girdi verilerini kullanarak temel katı elemanın türü ve buna bağlı olarak yapılacak operasyonlara karar vermektedir.

#### 3. 8. 1. Uzman sistem (US)

Bilgi tabanlı bir karar destek mekanizması olan uzman sistem, insan bir uzmanın problemler karşısındaki davranışını taklit eden bir bilgisayar programıdır. Bu program bir uzmanın çok özel bir görevde kullandığı bilgi ve bulgularını içine alır (Medsker ve Liebowitz, 1994). Genel olarak tüm US'lerde; “Bilgi Tabanı”, “Sonuç Çıkarım Mekanizması” ve “Kullanıcı Arabirimi” bulunur (Şekil 7).

Veri Tabanı : Veri tabanı, problemin o andaki durumunu anlatan gerçekler ve belirli bir ana kadar elde edilmiş nitelik-değer çiftlerinden oluşur. Çalışma için hazırlanan veri tabanında 2B izdüşüm hakkındaki fiziksel ve hesaplanmış bilgiler yer almaktadır. Bunlar, 2B görüntü ve komşu görünüşteki izdüşüm türü ve çizgi çeşitleri, izdüşüm boyutları, izdüşüm ifade şekli (kesit veya değıl), 2B

görüntü ve izdüşüme ait koordinat verileri gibi bilgilerdir. Veri tabanı oluşturma aşamasında, temel katların oluşturulduğu model alanlarının “z” koordinat değerleri hesaplanarak veri tabanına aktarılır.



Şekil 7. Uzman sistem genel yapısı.

AutoCAD ortamında yapılan çizimlerde 2B girdi “x, y” koordinat çiftleri ile yapıldığı için, bütün model alanları aynı düzlemde görünür (Şekil 6b). Bu durumda oluşturulacak katı temel elemana boolean operasyonları uygulama yanlış model oluşumuna yol açar. Bunu önlemek için, her model alanına “z” koordinatları atanarak model alanı 3B’lu konumuna getirilir. Model alanlarına z koordinatı atama işlemi, ana katı profilinin biçimi ve model alanı izdüşümlerinin ana katı profilinin izdüşümü ile olan ilişkileri dikkate alınarak yapılır. Şekil 8’de görülen ana katı profilinin izdüşüm noktaları:

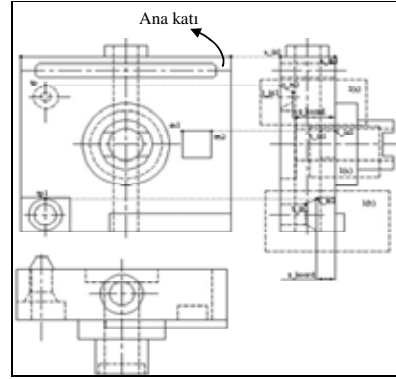
$a_{iz_1} = \{(ax_1, ay_1, az_1), a_{iz_2} = (ax_2, ay_2, az_2): az_1 = az_2 = 0\}$  ve ve z koordinatı hesaplanacak model alanının izdüşümleri  $t_{iz_1} = \{(tx_1, ty_1, tz_1), t_{iz_2} = (tx_2, ty_2, tz_2): tz_1 = tz_2 = 0\}$  olmak üzere;

a) Şekil 8’de (1a) olarak gösterilen durumda;

$ty_1 \leq ty_2$  ise  $z\_koord = tx_2 - ax_2$  olur ve süpürme yönü negatif (-) alınır.

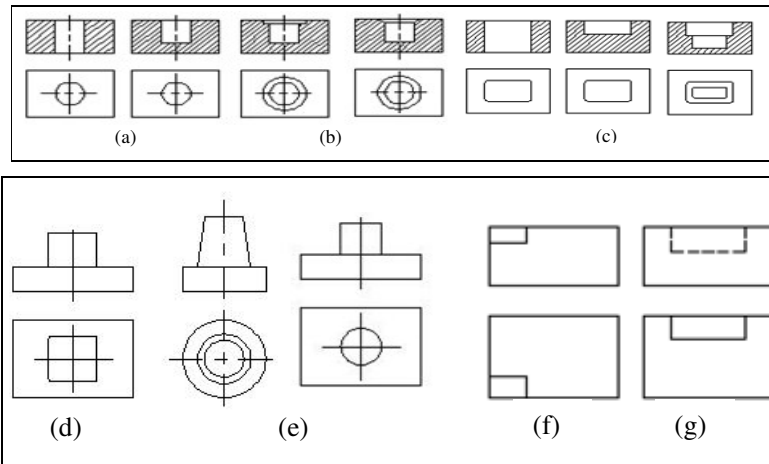
b) Şekil 8’de (1b) olarak gösterilen durumda;

$ty_1 > ty_2$  ise  $z\_koord = tx_1 - ax_1$  olur ve süpürme yönü pozitif (+) alınır.



Şekil 8. Z koordinat değerlerinin hesaplanması.

Kural Tabanı : Uzman sistem, belirli durumlarda çalışan ve eğer – o halde veya diğer bir yapıda tanımlanan kurallar topluluğunu depolamak için bir belleğe sahip olmalıdır. Kurallar, problemin ve sonuca ulaştırılacak şartların düzgün şekilde ifade edildiği cümlelerdir. Çalışma kapsamında hazırlanan uzman sistem, 2B izdüşümlerin verilerinin yorumlanması sonucu elde edilen ön yorumları kullanarak 3B unsurların biçimine karar vermektedir. Bu karar sonucunda, unsurun oluşturulmasında izlenecek yola ve unsurlar arasında yapılacak boolean operasyonuna karar verilmektedir. Kurallar if – then yapısı ile verilmiştir. Tablo 1’de Şekil 9’da verilen bazı örnek parçalarla ilgili kurallar görülmektedir.



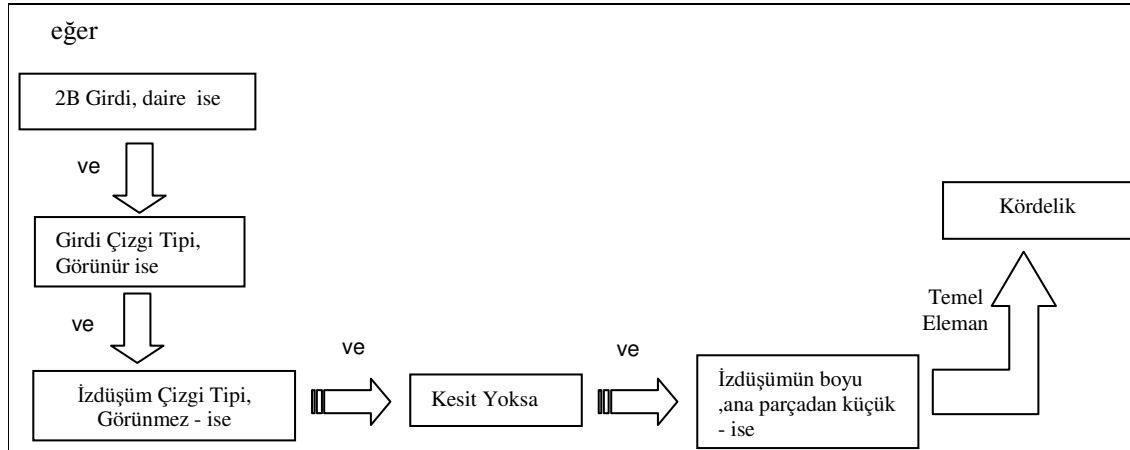
Şekil 9. Örnek geometrik unsurlar.



Tablo 1. Uzman sistem bilgi tabanı ve örnek çıkarımlar.

Bilgi Tabanı (Veri tabanı – Kural tabanı ilişkileri)														Çıkarım	
Görünüş		Girdi Türü		Girdi Çizgi Türü		İzdüşüm Çizgi Türü		İzdüşüm köşe Sayısı		Kesit Durumu		Uzunluk (Ana Parçadan)			Temel Eleman
Ön	Yan	○	□	—	--	—	--	●●	●	▨	□	>	<	=	
✓		✓		✓			✓	✓		▨	□			✓	Havşa Başlı Delik
✓		✓		✓			✓		✓		□			✓	Boydan boyda delik
✓		✓		✓		✓			✓	▨			✓		Kör delik
	✓		✓	✓		✓			✓		□		✓		Prizmatik çıkıntı
✓			✓	✓			✓		✓		□		✓		Kör Cep
✓			✓		✓	✓			✓		□			✓	Ters silindirik çıkıntı

○: Silindirik, □: Prizmatik, —: Görünür, --:Görünmez, ●●:Çift köşe, ●: Tek köşe, ▨: Kesit var, □: Kesit yok.



Şekil 10. İleri zincirleme yöntemi ile örnek bir unsurun tanınması.

**Çıkarım Mekanizması:** Çıkarım mekanizması, eldeki bilgilerden yeni bir bilgi elde etmek için kullanılan yöntemdir. Çıkarım mekanizmasının görevi bilgi tabanını yorumlama ve kontroldür (Allahverdi, 2002). Çıkarım mekanizması genelde iki teknik oluşturulur. Bunlar; ileri ve geriye zincirleme metodlarıdır. Tanıtılan çalışmada çıkarım mekanizması “ileriye zincirleme” yöntemi ile tasarlanmıştır. İleriye zincirleme metodu bilinen verilerden başlar ve uygun kural bulununca bu kuralın mevcut şartlarını karşılamayı esas alır (Şekil 10).

**Kullanıcı Arabirimi:** Kullanıcı ile uzman sistem arasında iletişimi sağlayan birimdir. Kullanıcı arabirimi uzman sistemin bilgi tabanını kontrol etme, kural ekleme ve çıkarma gibi işlemleri yaparken kullanıcı ile sistem arasındaki iletişimi neden /nasıl sorularıyla sağlar.

### 3. 9. Katı Temel Elemanlar Oluşturma

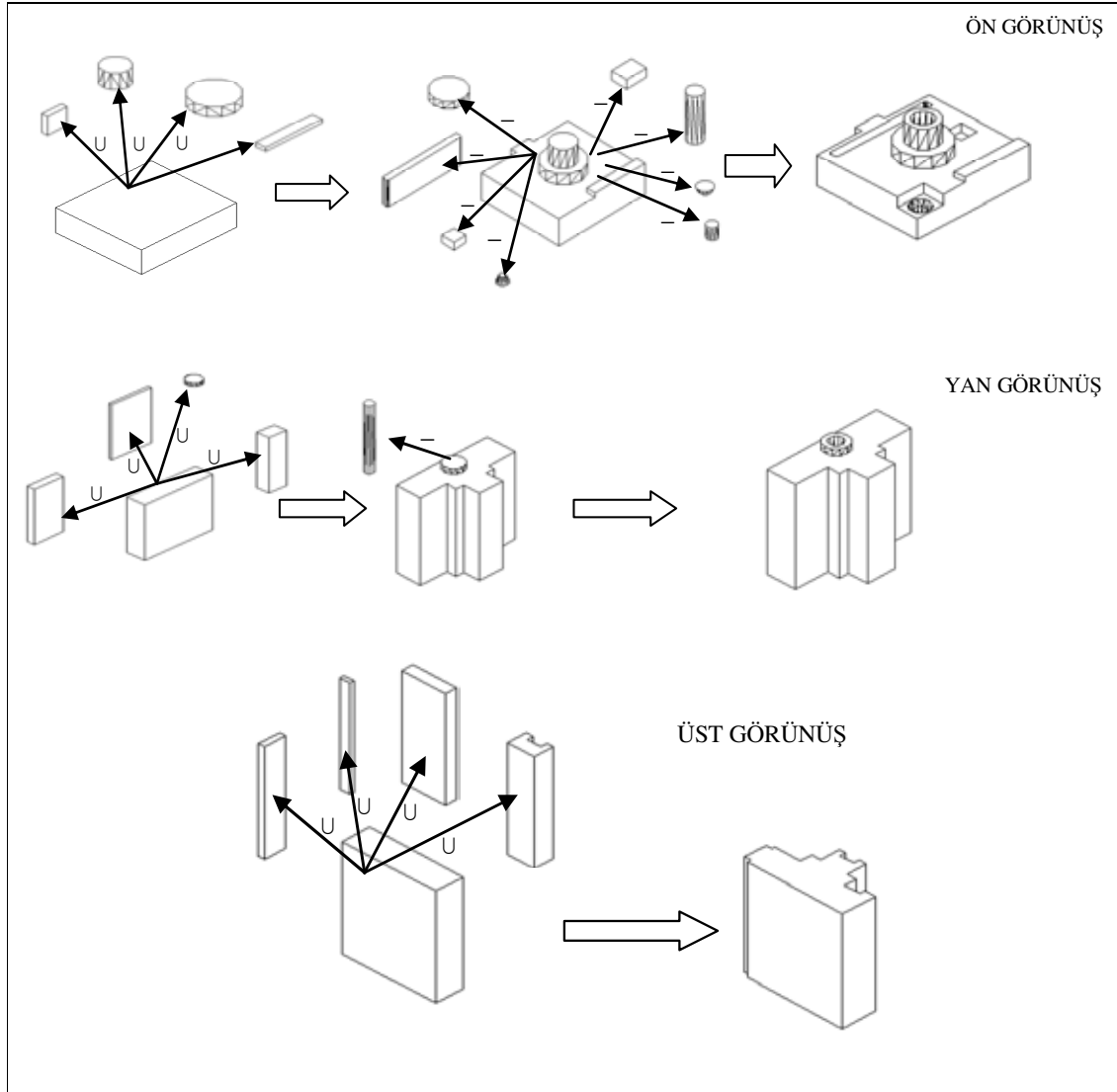
Uzman sistem yardımıyla temel elemanların tipine ve buna bağlı olarak temel eleman türü ve ana parçayla arasında yapılacak boolean operasyonuna karar verilmektedir. Bu aşamada, bütün görünüş bölgelerinde önce prizmatik, daha sonra silindirik temel elemanlar oluşturulmaktadır. Yan ve üst görünüşlerde görünmez kenarlarla ifade edilen açık kenar kümelerinden oluşturulan model alanlarından katı temel eleman oluşturulmaz. Fazla işlemden kaçınmak için, delik unsurları kapalı kenar kümesi olarak tanımlandıkları görünüşlerde oluşturulur. Silindirik katı temel eleman prizmatik katı temel elemanlara benzer şekilde silindirik model alanının normal vektörü doğrultusunda veya tersi yönde süpürülmesi sonucu oluşturulur. Burada öncelikle silindirik model alanının tekrar çizimi yapılmaktadır. Silindirik elemanlar, 3B’lu koordinat düzlemlerine taşıma işlemini ortadan kaldırmak için doğrudan

3B'lu düzlemlerinde çizilirler. Bunun için sma'nı oluşturan daire merkez koordinatına z koordinatı eklenmektedir.

### 3. 10. Ön Katılar Oluşturma

Ön katılar ana ve temel katılar arasında yapılan boolean operasyonları sonucu oluşturulur. Boolean operasyonları katı temel elemanın türüne göre değişir. Katı temel eleman bir çıkıntı unsuru ise, bu

eleman ana katı ile birleştirilir. Katı temel eleman delik unsuru ise, bu eleman ana katıdan çıkartılır. Katı temel elemanların biçim bilgileri, US çıkarım mekanizması ile elde edilip veri tabanına aktarılmıştır. Program, bu bilgilerden yararlanıp boolean operasyonlarını gerçekleştirmektedir. Boolean operasyonları sonrası her görünüş bölgesinde bir adet ön katı oluşturulmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Görünüş bölgelerinde ön katılar oluşturma.

### 3. 11. Hacimsel Kesiştirme ve Katı Model

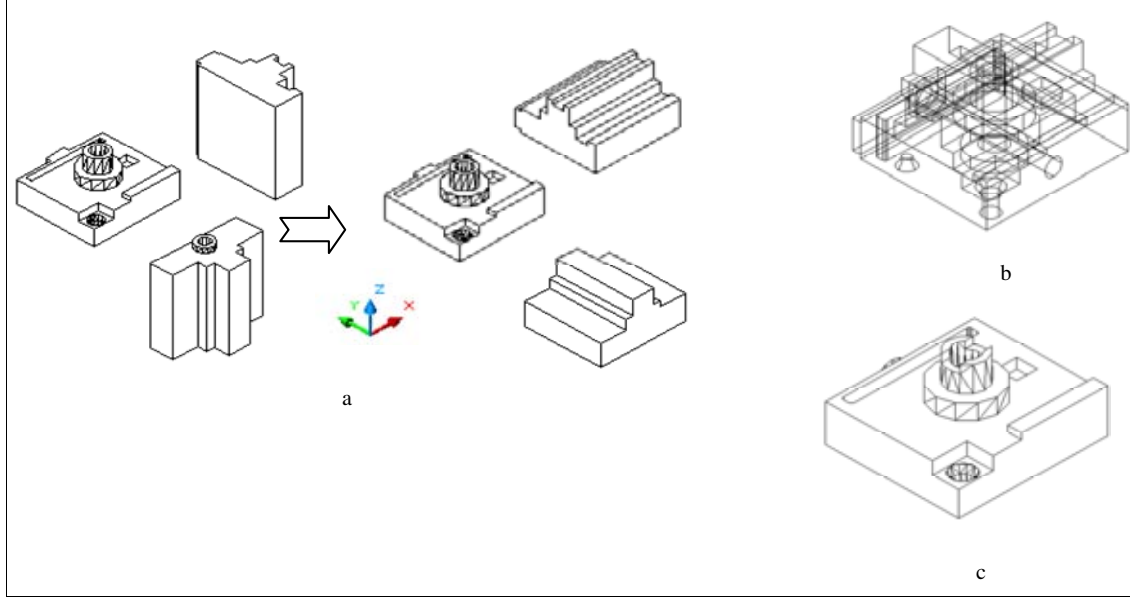
Görünüş düzlemlerinde ön katılar oluşturulduktan sonra hacimsel kesiştirme işlemi yapılır. Hacimsel

kesiştirme sonucu ön katıların ortak hacmi belirlenir. Burada belirlenen ortak hacim, katı modeli verir. Hacimsel kesiştirme işlemi öncesinde ön katılara döndürme ve taşıma operasyonları uygulanır. Yan

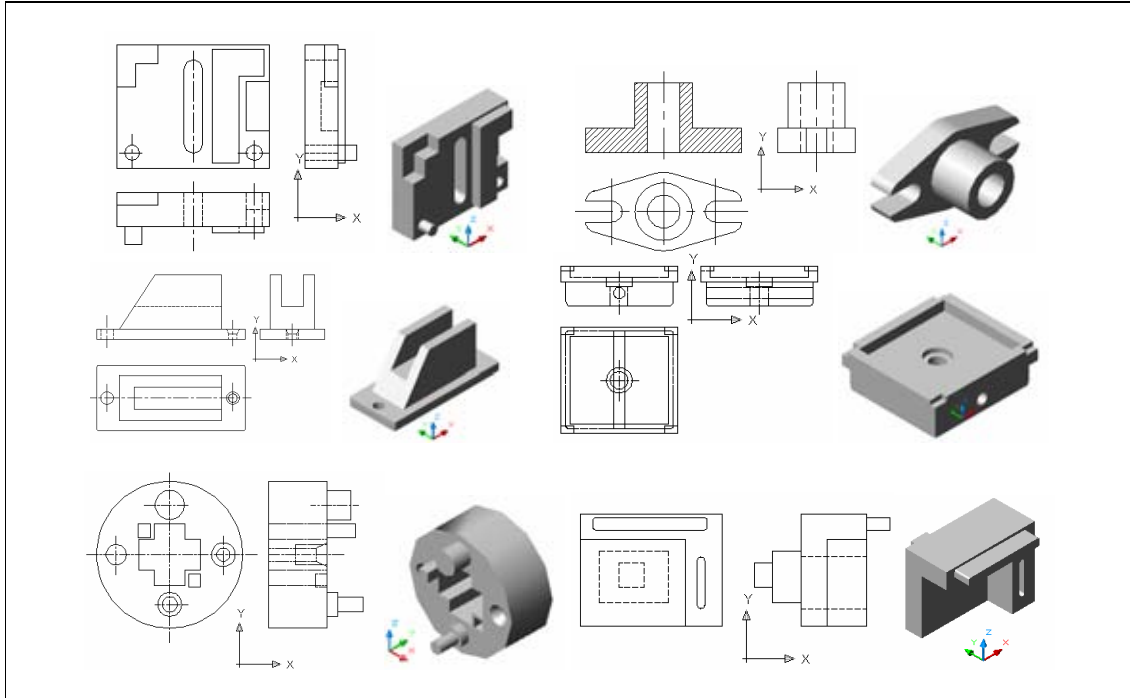
görünüşte oluşturulan ön katı, “y” eksenini etrafında ve saat akrebi tersi yönünde 90 derece; üst görünüşteki katı ise, “x” eksenini etrafında ve saat akrebi yönünde 90 derece döndürülerek 3B düzlemde gerçek konumuna getirilir (Şekil 12a). Döndürme sonrası ön katılar birbirlerinin üzerine gelecek şekilde taşınmaktadır. Yan ve üst görünüşte oluşturulan ön katılar, ön görünüşte oluşturulan ön katının üzerine

en küçük sınır noktaları referans olacak şekilde taşınırlar (Şekil 12b). Son işlem, ön katıların hacimsel keşiştirme işlemine tabi tutularak son modelin oluşturulmasıdır (Şekil 12c).

Şekil 13’te hazırlanan programla katı modelleri oluşturulan parçalardan bazı örnekler görülmektedir.



Şekil 12. Ön katıları (a) döndürme (b) taşıma ve (c) katı model.



Şekil 13. Örnek parçalar.

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada, iki ve üç görünüşle ifade edilen silindirik ve prizmatik nesnelerin bilgisayar ortamında otomatik katı modellerini oluşturma amacı ile yürütülen bir çalışma tanıtılmıştır. Bu çalışmada hacimsel bir yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın ana işlem adımları; düzlemsel ve silindirik bölgelerden model alanları oluşturma, model alanlarından ana ve temel katılar oluşturma, görünüş bölgelerinde boolean operasyonları ile ön katılar ve ön katıların hacimsel kesiştirilmesiyle son katı modeli oluşturmaktır. Bu yaklaşım, Visual Basic 6.0 ve VisualLISP programlama dilleri ile yazılan ve AutoCAD grafik ortamını kullanan bir bilgisayar programı ile test edilmiştir.

Geliştirilen bilgisayar programıyla, AutoCAD ortamında girilen 2B'lu görünüşler yorumlanmakta ve katı modelleri oluşturulmaktadır. Bu programla 3B nesne yorumlama ve katı model oluşturma aşamaları kullanıcı katkısı olmaksızın, otomatik bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ticari amaçla geliştirilen günümüz katı modelleme programlarında ise 3B nesne yorumlama ve katı model oluşturma aşamaları kullanıcı tarafından gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programı bu yönüyle ticari programlardan ayrılmaktadır.

Prizmatik parçalarda köşe cepler ve kapalı kanal gibi bölgelerin katı modellerinin oluşturulmasında problemler ortaya çıkmaktadır. Çünkü; bu bölgelerin 2B izdüşümleri kapalı bir döngü oluşturmamaktadır. Burada geliştirilen açık kenar kapatma algoritması (AKKA) ile probleme etkili ve yeni bir çözüm getirilmektedir. Geliştirilen AKKA (Açık Kenar Kapatma Algoritması) algoritması, kenar sayı sınırlaması getirmemesi ve yayları işleme alması yönüyle daha önce geliştirilen çalışmalardan ayrılmaktadır.

Çalışmanın literatüre kattığı diğer bir yenilik, 3B yorum elde etme aşamasında yapay zeka tekniği kullanılmasıdır. 3B'lu temel elemanın biçimine karar verme aşamasında uzman sistem destekli bir karar mekanizması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile tek kalınlıklı parçaların tam ve yarım kesitleri yorumlanabilmektedir. Bu çalışmada daha önce iki görünüş olarak incelenen kesit görünüş uygulamaları (Dimri ve Gurumoorthy, 2005) üç görünüş girdisini kapsayacak şekilde genişletilmiştir.

Prizmatik parçalarda üst üste gelen kenarlar yorumlanamamaktadır. Benzer şekilde, prizmatik ve silindirik parçalarda görünmez kenarlarla ifade edilen iç çıkıntılar oluşturulamamaktadır. Çalışmada farklı kalınlıklara sahip (kademeli gibi) parçaların

kesitleri yorumlanamamaktadır. Burada, kademe farklılıkları temel elemanların yanlış belirlenmesine sebep olabilmektedir. Ayrıca kısmi ve kademeli kesit uygulamalarına yer verilmemiştir

## 5. KAYNAKLAR

Aldefeld, B. 1983. On Automatic recognition of 3D structures from 2D representation, CAD 15 (2), 59-64.

Allahverdi, N. 2002. Uzman Sistemler Bir Yapay Zeka Uygulaması, Atlas, İstanbul.

Benko, P., Martin, R. R. ve Varady, T. 2001. Algorithms for reverse engineering boundary representation models, Computer Aided Design 33, 839-851.

Çiçek, A. ve Gülesin M. 2005. 2 boyutlu çizimlerden 3 boyutlu katı modellerin otomatik elde edilmesi, Gazi Üniv. Müh.-Mim. Fak. Der., 20, 387-394.

Dimri, J. and Gurumoorthy, B. 2005. Handling sectional views in Volume - Based approach to automatically construct 3D solid from 2D views, Computer Aided Design 37, 485-495.

Geng, W., Wang, J. and Yiang, Z. 2002. Embedding visual cognition in 3D reconstruction from multi-view engineering drawings, CAD, 34, 321-336.

Gong, J.H., Zhang, G.F., Zhang, H. and Sun, J.G. 2006. Reconstruction of 3D curvilinear wire-frame from three orthographic views, Computers & Graphics 30, 213-224.

Hubbard, C. and Kim, Y. S. 2001. Geometric Assistance for visual reasoning and construction of solids with curved surfaces from 2D orthographic views, Advanced in Engineering Software 32, 21-35.

Kuo, M. H. 1998. Reconstruction of quadric surface solids from three-view engineering drawings, Computer Aided Design 30, 517-527.

Lee, H. and Han, S. 2005. Recostruction of 3D interacting solids of revolution from 2D orthographic views, Computer Aided Design 37, 1388-1398.

Liu, S., Hu, S., Wang, G. and Sun, J. 2000. Reconstructing of 3D object from orthographic views, Chinese Journal of Computers 23, 141-146.

Liu, S.X, Hu, S.M, Chen, Y.J. and Sun, J.G. 2001a. Reconstruction of curved solids from engineering drawings, Computer Aided Design 33, 1059-1072.

- Liu, S. X, Hu, S.M., Chen, Y.J. and Sun, J.G. 2001b. Reconstruction of curved solids from engineering drawings, *Computer Aided Design* 33, 1059-1072.
- Liu, SX, Hu, S.M. and Sun, J.G. 2002. Two accelerating techniques for 3D reconstruction, *Journal of Computer Science and Technology* 17, 362-368.
- Masuda, H. and Masayuki, N. 1997. A Cell-Based approach for generating solid objects from orthographic projections, *Computer Aided Design* 29, 177-187.
- Medsker, L. and Liebowitz, J. 1994. Design and development of expert systems and neural networks, macmillan, New York.
- Shin, B.S. and Shin, Y. G. 1998. Fast 3D solid model reconstruction from orthographic views, *Computer Aided Design* 30, 63-76.
- Shum, S. P. S., Lau, W.S., Yuen, M.M. F. and Yu, K..M. 2002. Cost-Effective solid reconstruction from an x-ray image, *Journal of Materials Processing Technology* 1, 207-216.
- Shum, S. S. P., Lau, W. S., Yuen, M.M.F. and Yu, K.M. 2001. Solid reconstruction from orthographic views using 2-stage extrusion, *Computer Aided Design* 33, 91-102.
- Shum, S. S. P., Lau, W. S., Yuen, M. M. F. And Yu, K.M.. 1997. Solid reconstruction from orthographic opaque views using incremental extrusion, *Computer & Graphics* 21, 787-800.
- Şahin, İ. ve Börklü, H. R. 2007. Hacimsel kesiştirme yaklaşımı kullanarak silindirik parçaların katı modellerini oluşturma, *Politeknik Dergisi* 10, 71-77.
- Şahin, İ. ve Börklü, H. R. 2003. Üç temel görünüşü verilen nesnelerin AutoCAD ortamında otomatik 3B modellerini oluşturma, *Makine Tasarımı ve İmalat Dergisi* 5, 9-22.
- Şahin, İ. ve Börklü, H.R. 2002. 2B görünüş verilerinden bilgisayar destekli 3B modeller oluşturulması: kaynak araştırması, *Mühendis ve Makine* 507, 20-31.
- Tam, K.S. and Atkinson, J. 2003. An approach for creating solid models from orthogonal views by identification of boolean operations, *Journal of Materials Processing Technology* 138, 1653-1659.
- Tanaka, M., Anthony, L., Kaneeda, T. and Hitooka, J. 2004. A single solution method for converting 2D assembly drawings to 3D part drawing, *CAD* 36, 723-734.
- Wang, W. and Grinstein, G. 1989. A polyhedral object's CSG-Rep construction from a 2D single drawing, *Proc. of 1989 SPIE Intelligent Robots and Computer Vision III: Algorithms and Techniques* 1192, 230-238.
- Wang, W. D. 1991. Regular curved object's CSG-rep reconstruction from a single 2D line drawing, *Proc. of 1991 SPIE Intelligent Robots and Computer Vision x: Neural, Biological and 3D Methods* 1608, Boston/USA.
- Wang, Z. and Latif, M. 2003. Reconstruction of a 3D solid model from orthographic projections, 75. *International Conference on Geometric Modeling and Graphics (GMAG'03)*.
- Wu, M.C. and Lin, M.S. 1996. Automatic construction of CSG solids from a single isometric drawing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 9, 1.
- Zhao, H. and Kim, Y.S. 1999. Geometric operations for visual reasoning of a solid from orthographic projections, *Advanced in Engineering Software* 30, 445-450.