

# Parça Tanıma Yaklaşımı için Geliştirilen bir Parça Temsil Formatı

Adem ÇİÇEK, Mahmut GÜLESİN  
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

## ÖZET

Bu makalede, parça tanıma yaklaşımı için yüz tabanlı ilişki matrisi olarak adlandırılan yeni bir parça tanımlama formatı geliştirilmiştir. Geliştirilen matris, parçaları hem geometrik hem de topolojik (yüzey bağlanma ilişkileri) veri açısından tanımlamaktadır. Matriste parçaya ait yüzey bağlanma ilişkilerinin yanı sıra parça üzerindeki tüm yüzeylere ait nitelikler de açıkça temsil edilmiştir. Matrisi oluşturmak için BDT ortamında tasarlanan parçanın STEP dosyası girdi olarak kullanılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan parça tanımlama şemalarının aksine, bu çalışmada geliştirilen yüz tabanlı ilişki matrisi ile parça temsil formatı hem basitleştirilmiş hem de bilgisayar formatına uygun hale getirilmiştir. Parça temsil şemasının etkinliğini göstermek için yöntem standart makine parçalarına ve bir dizel otomobil motoru parçalarına uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Parça Temsil Formatı, Parça Tanıma, 3 Boyutlu Model, STEP

## A Part Representation Format Developed for Part Recognition Approach

### ABSTRACT

In this paper, a new part description format named face oriented relation matrix for part recognition approach has been developed. The matrix developed defines the parts in terms of both geometric and topological (face connectivity relations) data. In the matrix, face connectivity relations belonging to the part along with attributes belonging to all the faces on the part are explicitly represented. STEP file of the part designed in a CAD environment is used to construct the matrix as input. On the contrary the part description schemes commonly used in the literature, the part representation format was both simplified and structured suitable to computer format by the face oriented relation matrix developed. To demonstrate the efficiency of part description scheme, the method was implemented to standard machine parts and parts of a diesel automobile engine.

**Key Words:** Part Representation Scheme, Part Recognition, 3D Model, STEP

### 1. GİRİŞ

Herhangi bir BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) platformunda tasarlanan 3 boyutlu modellerden imalat bilgilerinin elde edilmesi BDT ve BDİ (Bilgisayar Destekli İmalat) sistemlerinin bütünleşmesi için büyük önem arz etmektedir (1-2). BDT ortamında katı parçalar, ST (Sınır Temsili) veya YKG (Yapısal Katı Geometri) kullanılarak temsil edilirler. ST’de bir parça kapalı veya açık kabuk, yüzler, kenar halkaları, kenarlar ve köşe noktaları ile tanımlanırlar. YKG’ de ise bir parça küp, silindir, küre, koni gibi ilkel katılara uygulanan bir takım Boolean operasyonları ile tanımlanır. Tüm BDT sistemleri veritabanlarında kendi matematiksel temsil tekniklerini kullandıklarından, doğrudan birbirleri ile iletişim sağlayamazlar. BDT sistemleri arasında iletişimi sağlamak için STEP, IGES, SAT, DXF, CAD\*I, VDA FS gibi çeşitli yansız grafik standartları kullanılmaktadırlar. Bu standartlardan birisi olan STEP grafik standardı bir parçayı geometri, topoloji, unsurlar, toleranslar, yüzey pürüzlülüğü ve bir parçayı tamamen tanımlamak için gerekli olan parametreleri içine alan hem geometrik hem de teknolojik bilgileri kapsamaktadır. ST ve YKG temsilleri fonksiyonel unsurlar ve geometrik olmayan parça nitelikleri bakımından yetersizdir. Bundan dolayı, grafik standartlarının BDT ve BDİ’nin bütünleşmesinde önemli bir yeri vardır. Son yıllarda, geometrik, topolojik, unsur ve geometrik olmayan veriyi içeren zengin parça temsil şemaları geliştirmek

için birçok çalışma yapılmıştır (3-4). Bu çalışmaların amacı, BDT ve BDİ sistemlerinin bütünleşmesine yardımcı olmak ve BDT ortamında tasarlanan parçaları tüm veri tipleri açısından özlü bir şekilde tanımlamaktır.

Joshi ve Chang grafik tabanlı bir unsur tanıma algoritması geliştirmişlerdir. Bir parçadaki unsurları, parçayı temsil eden AAG'nin (Attributed Adjacency Graph-Nitelikli Bitişiklik Grafiği) alt grafikleri olarak düşünmüşlerdir. Bu grafikte, her bir yüz bir düğüm (Node) ve iki yüzün paylaştığı her bir kenar ise bir yay (Arc) ile temsil edilmiştir. Eğer bir kenarı paylaşan yüzler içbükey açıyı temsil ediyorsa kenar niteliği "0" (Sıfır) değerini, dışbükey açıyı temsil ediyorsa kenar niteliği "1" (Bir) değerini almıştır. Bu şekilde türetilen grafiğin alt grafikleri unsur tanıyıcı tarafından analiz edilmiş ve alt grafiklere uyan unsurlar çıkarılmıştır (5).

Trappey ve Lai sac metal parçalar için hiyerarşik unsur tabanlı bir temsil şeması geliştirmişlerdir. Bu temsil şemasını kullanarak sac metal parçalar, üretim sınırlamaları göz önünde bulundurularak tanımlanmıştır. Bu çalışmada unsurlar iki tip olarak sınıflandırılmıştır. Birincisi sac metal parçaların birincil görünüşlerini temsil etmek için kullanılan temel unsurlardır. İkincisi ise tek bir sac metal üretim işlemini temsil eden üretim unsurlarıdır. Bu unsurlar, geometrik ve topolojik bilginin yanı sıra tolerans bilgisini de içermektedir. İlkel unsurlar üretim unsurlarını temsil etmek için tanımlanmaktadır. Bileşik

unsurlar özel tasarım amacını gerçekleştirmek için ilkel unsurları bir araya getirerek tanımlanmaktadır. Daha sonra bu unsurlar ve tolerans bilgisi hiyerarşik bir yapıda temsil edilmiştir (6).

Gao ve Shah ST modellerinden işleme unsurlarının otomatik tanınması için yeni bir metot geliştirmişlerdir. Bu çalışmada sunulan metot etkileşen unsurların alternatif çözümlerini tanımak ve çıkarmak için geleneksel grafik tabanlı tanıma ile işaret tabanlı unsur tanımayı birleştirmesinden dolayı karma bir yaklaşımdır. Önce ferdi (etkileşmeyen) unsurlar üretim yüz bitişiklik grafiği tabanlı olarak tanınmaktadır. Etkileşen unsurlar ise bir unsur işareti olarak kullanılan unsurun minimal şart alt grafiği (MCSG-Minimal Condition Sub Graph) tabanlı olarak tanınmaktadır. Önceki işaret tabanlı unsur tanıma metotlarının aksine, bütün unsurların MCSG'leri unsur tipine bağlı olarak tek bir yolla tanımlanır, türetilir ve tamamlanır. İşaretler genişletilmiş nitelikli bir bitişiklik grafiği (EAAG-Extended Attributed Adjacency Graph) ile tanımlanır, grafik ayrıştırma ile türetilir ve etkileşimlerden dolayı kaybolan öğeleri karşılayan gerçek zincirleri ekleyerek tamamlanır. Alternatif çözümler türetilerek etkileşen unsurların her bir seti için bir çözümlenme tayin edilir ve son olarak parça unsur modeli (veri yapısı) oluşturulur (7).

Locket ve Guenov parça geometrisinden orta yüzey çıkarım tabanlı ince duvar enjeksiyon kalıp ve döküm parçalarının kalıp unsurlarını çıkarmak için bir unsur tanıma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çalışmanın katkısı orta düzey topoloji ve geometrisini ve kalıp unsurlarını tanıma metodolojisini temsil etmek için nitelikli bir orta yüzey bitişiklik grafiğini (AMAG-Attributed Mid-Surface Adjacency Graph) geliştirmesidir. Bir parçanın orta yüzeyi parça duvarlarını sıfır kalınlıkla yüzeyler olarak modellediğinden özgül olarak temsil şeklini basitleştirmiştir. Unsur tanıma işlemi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, orta yüzey modeli AMAG'ı temsil eden bir yüz kenar bitişiklik matrisini yapılandırmak için değerlendirilmiştir. İkinci aşamada, unsur tanıma algoritmaları topoloji tabanlı baştaki unsur tanımlamalarını gerçekleştirmiştir. Son aşamada ise, unsur tanıma orta yüzey modelini kullanarak geometri kontrollerini yaparak tamamlanmıştır (8).

Gülesin ve Jones veritabanındaki bitmiş, orta düzey ve ham parçaları temsil etmek için yüz tabanlı komşu grafiği (FONG-Face Oriented Neighbouring Graph) olarak adlandırılan bir parça modeli temsil şeması geliştirmişlerdir. STEP dosyası kullanarak yüz ve unsurlar tayin edilmiş ve yüzler arasındaki açılar hesaplanmıştır. Aynı zamanda, yüzler arasındaki komşuluk, içbükeylik ve dışbükeylik ilişkileri saptanarak parça modeli kısa ve özlü bir şekilde temsil edilmiştir. Parça ilk önce birtakım yüzler olarak tanımlanmıştır. Her bir yüz, aç ve içbükeylik-dışbükeylik ilişkisi olmak üzere iki niteliğe sahip olan bir ortak kenarı paylaşan komşu yüzlerle bağlanmaktadır. Eğer yüzler dışbükey bir açıyı biçimlendiriyorsa, yayın niteliği pozitif ve eğer içbükey bir açıyı biçimlendiriyorsa, yayın niteliği negatif olarak atanmaktadır (9).

El-Mehalawi ve Miller veritabanındaki BDT modeli için bir temsili şema geliştirmişlerdir. Parçalar, parçanın yüzlerini karşılayan düğümler ve parçanın kenarlarını karşılayan zincirleri içeren nitelikli grafikler kullanılarak temsil edilmiştir. Yüzey tipi, normal yönü gibi yüzey nitelikleri düğümlere ve kenar tipi, iki bağlanmış düğüm, kenar uzunluğu ve iki düğüm arasındaki nispi yön gibi kenar nitelikleri zincirlere iliştilmiştir. Grafik, bir veri dönüşüm formatı olan parçanın STEP fiziksel dosyası yardımıyla hazırlanmaktadır. Bir parçanın grafiğini oluşturmak için işlemler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, bir BDT sisteminde BDT modeli oluşturulmuş ve

BDT modeli STEP parça 21 formatına dönüştürülmüştür. İkinci aşamada ise STEP bilgisi temsil tabanlı nitelikli grafiklerine dönüştürülmüştür (10-11).

Dereli ve Filiz 3 boyutlu parçalar üzerindeki unsurları tanımak için bir unsur tanıma sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin önemli karakteristiklerinden iki tanesi, parçanın bitişiklik ilişkisi tabanlı olması ve girdi olarak modelin STEP bilgisini kullanmasıdır. Sistem prizmatik parçalar için optimize edilmiş işlem planlama sistemi olarak adlandırılan bir işlem planlama sistemine bütünleştirilmiştir. Başlama düzeyi çoğunlukla tasarım aşamasıdır. Bir BDT platformunda parça modellendikten ve parçanın STEP bilgisi elde edildikten sonra işleme unsurları tanınmaktadır. Sisteme girdi, katı modelleme sisteminde modellenen parça için oluşturulan STEP dosyasını son işleme ile çıkarılan ST veri dosyasıdır. ST dosyası prizmatik parçanın bütün bilgilerini içermektedir. Bu dosyayı kullanarak sistem her bir yüzün yönelimini tayin eder. Parçanın bitişik yüzleri arasındaki ilişkiler bulunmakta ve bu ilişkiler bir ilişki matrisi içinde saklanmaktadır. Bu matrisin elemanları izlenerek unsurlar önce çıkarılmakta ve sonra bu unsurlar veritabanında mevcut olan unsur tipleri ile karşılaştırılarak unsurlar tanınmaktadır. (12).

Yapılan çalışmalarda çoğunlukla unsur tanıma problemine yönelik yöntemler geliştirilmiştir. Literatürde parçanın tamamını tanımaya yönelik çok az çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, parça tanıma yaklaşımında kullanılmak üzere Yüz Tabanlı İlişki Matrisi olarak adlandırılan yeni bir parça temsil formatı geliştirilmiştir. Matrisi oluşturmak için BDT ortamında tasarlanan parçanın STEP dosyası girdi olarak kullanılmıştır. Yüz tabanlı ilişki matrisi üç aşamada oluşturulmuştur. İlk aşamada, BDT ortamında oluşturulan parça için bir STEP dosyası oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan STEP dosyası geliştirilen program tarafından yorumlanarak STEP dosyasında temsil edilen özdeş yüzeyler arasında bir birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise birleştirilmiş yüzeyler dikkate alınarak her bir yüzeyin komşu yüzeyleri tespit edilerek bir kare matris olan yüz tabanlı komşuluk ilişki matrisi yapılandırılmıştır.

## 2. YÜZ TABANLI İLİŞKİ MATRİSİ

Parça temsil formatları herhangi bir BDT sisteminde tasarlanan parçaları hem geometrik hem de topolojik açıdan temsil etmek ve BDT ve BDİ uygulamalarında hazır bilgi olarak kullanmak için yapılandırılırlar. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda kabul görmüş farklı parça temsil formatları mevcuttur. Bu çalışmada geliştirilen ve diğer temsil formatlarından farklı bir yapıya sahip yüz tabanlı ilişki matrisi yukarıda belirtildiği üzere üç aşamada oluşturulmuş olup bu aşamalar aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

### 2.1. STEP Dosyası Türetme

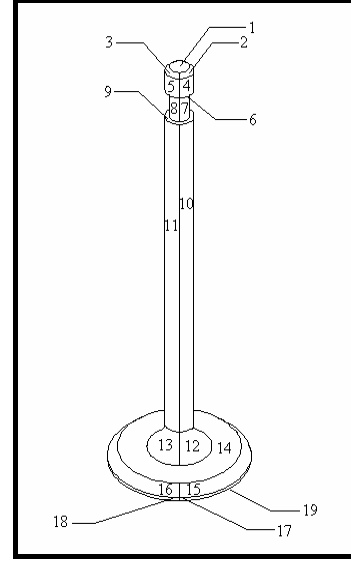
Kullanıcı tarafından BDT ortamında oluşturulan 3 boyutlu modellerin STEP dönüşümü otomatik olarak yapılarak tanınacak her bir parça STEP formatında kaydedilmektedir. Modele ait türetilen STEP dosyası bilgisayarın hard diskine kaydedilmektedir. STEP dosyasını türetmek ve bilgisayara kaydetmek için AutoCAD'in "stepout" komutu kullanılmıştır. AutoCAD komutları Visual BASIC fonksiyonları ile kontrol edilmektedir. Bu komut, Visual BASIC vasıtasıyla AutoCAD'in komut satırına gönderilerek parçaya ait STEP dosyası hard diskin istenen bölümüne kaydedilir. Daha sonra program, bilgisayara kaydedilen dosyayı açarak STEP dosyasında bulunan tüm nesnelere program formunda bir liste kutusuna taşımakta ve programın çalışma hızını artırmak için bundan sonraki işlemlerde bu liste kutusunda temsil edilen bilgiyi

kullanarak yürütmektedir. Program formundaki liste kutusuna taşınan modele ait STEP nesnelere geliştirilen program tarafından tek tek değerlendirilerek yüz tabanlı ilişki matrisini yapılandırmak için özdeş yüzler tespit edilir ve bu özdeş yüzler üzerinde birleştirme işlemi yapılır. Birleştirme işlemi veri yapısını sadeleştirmek için gerçekleştirilir ve parça tanıma algoritmasında kullanılan bir uzman sistemde kural tanımlama için gereklidir.

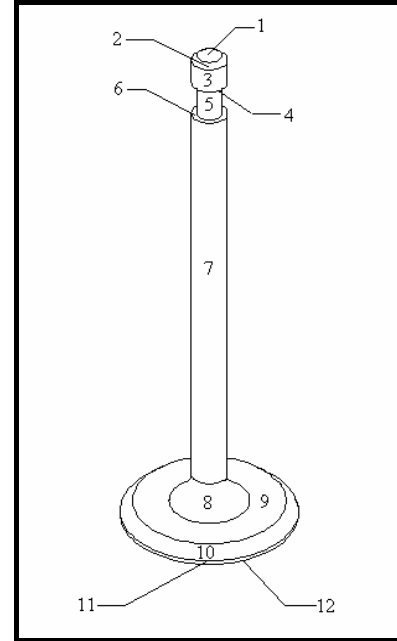
## 2.2. Yüzeyleri Birleştirme

STEP grafik standardında silindirik, konik, küresel ve toroid yüzler parça üzerindeki bulunış şekline göre iki, üç veya dört yüzle temsil edilebilmektedir. Bu STEP formatının iç temsil yapısından kaynaklanan bir durumdur. STEP formatının bu yapısını bilmeyen kullanıcılar bu çalışmada kullanılan parça tanıma algoritması için bilgi tabanına yazacağı kuraldaki yüz komşuluk ilişkileri ile STEP formatından program tarafından elde edilen yüz komşuluk ilişkileri birbirini karşılamayacağından, parça tanıma işlemi imkansız hale gelecektir. Bu gibi aksaklıkları gidermek için program simetrik olan veya aynı nitelikleri paylaşan yüzler arasında bir yüz birleştirme işlemi gerçekleştirilerek bu yüz çiftlerini tek bir yüz haline getirmektedir. Yüz birleştirme işlemi yapabilmek için bazı şartların bir araya gelmesi gerekmektedir. Yani, program tüm simetrik olan yüz çiftleri için yüz birleştirme işlemi yapmamaktadır. Aynı nitelikleri taşıyan iki veya daha fazla yüzün en az ortak bir kenarı paylaşmaları durumunda program yüz birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda silindirik ve küresel yüzler için iki yüzün yüzey tiplerinin, yarıçaplarının, yönlerinin ve lokal orijinlerinin birbiri ile aynı olması gerekmektedir. Konik yüzler için yüzey tiplerinin, koniklik açılarının, yarıçaplarının, yönlerinin ve lokal orijinlerinin birbirine eşit olması gerekmektedir. Toroid yüzler için ise yüzey tiplerinin, toroid yüzün maksimum ve minimum yarıçaplarının, yönlerinin ve lokal orijinlerinin birbirine eşit olması gerekmektedir. Bu eşitlikler sağlandığında ve iki yüz en az bir ortak kenarı paylaştığında iki yüzün bilgileri bir araya getirilerek bu iki yüz tek bir yüzüymüş gibi değerlendirilmiş ve komşu yüzeyleri birleştirilen bu yüzlerle bulunmuştur. Yüzün niteliklerinde ise aynı cins ve nitelikli yüzler arasında birleştirme yapıldığından bir değişme olmamıştır. Yüz birleştirme işlemine bir örnek Şekil 1'deki egzost supabıdır. Egzost supabındaki 2-3, 4-5, 7-8, 10-11, 12-13, 15-16 ve 17-18 numaralı silindirik, konik ve sınırlı yüz çiftleri yine STEP dosyasında nitelikleri aynı iki simetrik yüz olarak temsil edilmiştir. Parça tanıma işleminin doğru olarak yürütülmesi için program, bu simetrik yüz çiftleri arasında da yüz birleştirme işlemi gerçekleştirmektedir. Yüz birleştirme için program önce simetrik yüzlerin özdeş yüzler olup olmadığını STEP formatından sorgulamaktadır. Daha sonra bu sorgulama sonucunda yüz çiftleri özdeş yüzler ise program yüz birleştirme işlemi gerçekleştirmektedir. Yüz çiftleri özdeş yüzler değilse, program bu yüzleri ferdi yüzler olarak kabul edip bir sonraki aşamaya geçmektedir. Burada program yüz çiftlerini sorgular, yüz çiftlerinin özdeş yüzler olduğuna karar verir ve yüz çiftleri arasında yüz birleştirme işlemi gerçekleştirir. Bu yüzler birleştirme işleminden sonra Şekil 2'deki gibi tek bir yüz olmuştur. Bu birleştirme işleminden sonra komşu yüzler tespit edilerek yüz komşuluk matrisi elde edilir. Yüz birleştirme işleminden önce parçanın STEP formatında 19 yüz varken birleştirme işleminden sonra parçanın yüz sayısı 12'ye inmiştir. Yani, 7 çift yüzde birleştirme işlemi program tarafından yapılmıştır. Yüz birleştirme işleminden sonra Şekil 1'deki egzost supabındaki 2-3, 4-5, 7-8, 10-11, 12-13, 15-16 ve 17-18 numaralı silindirik, konik ve sınırlı yüz çiftleri sırasıyla Şekil

2'deki egzost supabındaki 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11 numaralı yüzler olarak temsil edilmiştir.



Şekil 1. Egzost supabı yüzlerinin birleştirme işleminden önceki temsili



Şekil 2. Egzost supabı yüzlerinin birleştirme işleminden sonraki temsili

## 2.3. Matrisi Yapılandırma

Bu aşamada her bir yüze ait komşu yüzler tespit edilmiş ve elde edilen komşu yüzler ve nitelikler matris formunda düzenlenmiştir. Komşu yüzlerin bulunmasında, program birleştirme işleminden sonra parça üzerindeki her bir yüzü sıra ile ele alarak bu yüzü meydana getiren kenar halkasındaki her bir kenar eğrisi sorgulanır. Ele alınan yüzün kenar halkasını meydana getiren her bir kenar eğrisi iki yüz tarafından paylaşıldığından, yüzü sınırlayan kenar halkasındaki her bir kenar eğrisini paylaşan diğer yüzler o yüze komşu yüzler olarak tanımlanır. Bu şekilde, program yüzlerin kenar halkalarını oluşturan kenar eğrilerini tek tek sorgulayarak her bir yüze ait komşu yüzleri bulmaktadır. Yüz tabanlı ilişki matrisi parçaya

ait olan her bir yüzün yüz biçimini (silindirik, konik, toroid, düzlem, küresel, b\_spline, sınırlı, vb.), yüz numarasını ve yüz niteliklerini (yarıçap, yön, koniklik açısı, yerel orijin gibi) matris üzerinde temsil etmektedir. Yüz tabanlı ilişki matrisi, tanınmakta olan parçanın yüz sayısı ile orantılı olarak program tarafından otomatik olarak boyutlandırılmaktadır. Parçanın yüz sayısı olarak komşuluk ilişki formatındaki yüz sayısı esas alınmaktadır. Örneğin, herhangi bir parçanın yüz sayısı 18 ise yüz tabanlı ilişki matrisi 18x18 bir kare matristir. Yüz tabanlı ilişki matrisi program formundan farklı bir Visual BASIC formunda yapılandırılmıştır. Matriste parça üzerinde bulunan tüm yüzlerin yüzey tipleri soldan sağa ve yukarıdan aşağıya olmak üzere komşuluk ilişki formatında temsil edilen sıralamaya göre yerleştirilerek yüz tabanlı ilişki matrisi boyutlandırılmaktadır. Matrise yerleştirilen yüzey tipleri aşağıdaki gibi kısaltılarak matrise yerleştirilir.

silindirik yüz	: sil
konik yüz	: kon
düzlem yüz	: düz
küresel yüz	: kür
toroid yüz	: tor
b_spline yüz	: bsp
sınırlı yüz	: sın

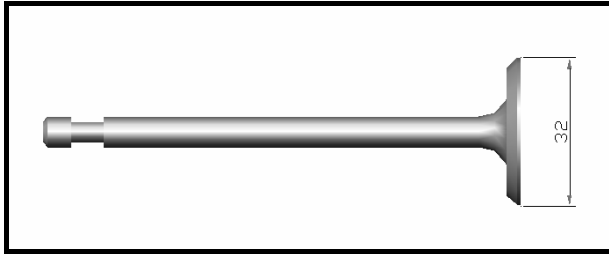
Program ilk yüzü ele alır ve yüze ait nitelikleri matristeki o yüze ait yüz kısaltmasına iliştırir. Sonra komşuluk ilişkileri bölümüne geçerek diğer yüzlerle komşuluk ilişkilerini sorgulamaktadır. Hangi yüzey ile komşuluk ilişkisi varsa matriste o yüzü karşılayan hücreye "1" değerini, komşuluk ilişkisi yoksa "0" değerini yerleştirmektedir. Program tüm yüzler için bu işlemleri yaparak kare matrisi komşuluk ilişkilerine göre doldurmaktadır. Böylelikle tüm yüzler arasındaki komşuluk ilişkileri ve nitelikler matriste açıkça temsil edilmektedir. Şekil 3'te egzost supabı ve egzost supabına ait 12x12 kare yüz tabanlı ilişki matrisi verilmiştir. Bu matristen 1 numaralı düzlem yüzeyin 2 numaralı konik yüzey ile komşu olduğu sonucu çıkmaktadır. Aynı şekilde, 2 numaralı konik yüzeyin 1 numaralı düzlem yüzey ve 3 numaralı silindirik yüzey ile komşu olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca yüz tabanlı ilişki matrisinde parça üzerindeki her bir yüzeye ait yüz nitelikleri de temsil edilmiştir. Niteliklerin temsil edilmesi ile hangi yüzeyin hangi yüzey ile komşu olduğu kolaylıkla tespit edilebilmekte ve birbiri ile benzeşen matrisler birbirinden ayırt edilebilmektedir. Bu nitelikler yüz tabanlı ilişki matrisindeki her bir yüzü temsil eden yüz tipi kısaltmalarına iliştırilmiştir. Matris oluşturulduktan sonra imleç bu yüz tipi kısaltmalarının üzerine geldiğinde o yüze ait nitelikler bir pencere ile ekrana gelmektedir. Bu şekilde bir parça yüz tabanlı ilişki matrisinde tüm yüzler için komşuluk ilişkileri ve nitelikleri temsil edilebilmektedir. Aynı zamanda, yüz tabanlı ilişki matrisinde tanınan parçaya ait parça adı ve bilgi tabanında temsil edilen kural numarası matris formundaki bir Visual BASIC etiket (label) kontrolünde temsil edilebilmektedir. Şekil 5'te, Şekil 4'teki emme supabının program tarafından elde edilen yüz tabanlı ilişki matrisi verilmiştir. Şekil 5'te gösterildiği gibi "Parça adı : emme supabı, Kural no : 2" ibaresi ile parça adı ve kural numarası emme supabına ait yüz tabanlı ilişki matrisinde temsil edilmiştir. Aynı zamanda imleç son yüzey (12. yüzey) olan silindirik yüzeyi temsil eden yüz kısaltmasının üzerine getirildiğinde bu silindirik yüzeye ait olan nitelikler (yüzey no: 12, yüzey tipi: silindirik, yarıçap: 16 ve yön: (0,0,1)) ekrana gelmektedir. Bu şekilde matriste temsil edilen yüzeylerin nitelikleri kolayca öğrenilebilmekte ve matrisin analiz edilmesi oldukça kolaylaşmaktadır. Şekil 7'te ise Şekil 6'daki egzost supabının program tarafından elde edilen yüz tabanlı ilişki matrisi verilmiştir. Burada emme supabı ile egzost supabının yüzleri arasındaki komşuluk ilişkileri tamamen aynıdır. Fakat aralarındaki tek fark emme supabındaki kapama yüzeyine (konik yüzey) komşu olan silindirik yüzeyin çapı 32 mm (Şekil 4), egzost supabında ise 28 mm'dir (Şekil 6). Dolayısıyla parça tanıma

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>düz</b>	<b>1</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>kon</b>	<b>2</b>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>sil</b>	<b>3</b>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>düz</b>	<b>4</b>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>sil</b>	<b>5</b>	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>düz</b>	<b>6</b>	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>sil</b>	<b>7</b>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<b>sın</b>	<b>8</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
<b>düz</b>	<b>9</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
<b>kon</b>	<b>10</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
<b>sil</b>	<b>11</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<b>düz</b>	<b>12</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Şekil 3. Egzost supabı ve egzost supabının yüz tabanlı ilişki matrisi

işleminin bu iki benzer parçayı tanıyabilmesi için bilgi tabanında tanımlanan komşuluk ilişkileri yeterli olmayacaktır. Bu nedenle, bilgi tabanında parçanın komşuluk ilişkilerinin yanı sıra yüz niteliklerinin tanımlanması zorunludur. Aynı zamanda, emme supabının yüz tabanlı ilişki matrisinde emme supabındaki yüzeyin yarıçapı 16 mm (Şekil 5), egzost supabındaki yüzeyin yarıçapı da 14 mm (Şekil 7) olarak temsil edilmiştir. Yüz tabanlı ilişki matrisinde hem yüzey nitelikleri (geometri) hem de komşuluk ilişkileri (topoloji) temsil edilmiştir. Yüz tabanlı ilişki matrisinde temsil edilen bilgi farklı BDT/BDİ uygulamaları için elverişlidir.



Şekil 4. Emme supabının önden görünüşü

Yüz Komşuluk İlişki Matrisi													
Parça adı: emme supabı, Kural no: 2													
	düz	düz	düz	düz	düz	kon	sil	sil	sil	sin	kon	sil	
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kon	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sil	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
sil	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
sil	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
sin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
kon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
sil	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 5. Programla elde edilen emme supabı için yüz tabanlı ilişki matrisi

Şekil 5 ve Şekil 7’de verilen emme ve egzost supaplarının yüz komşuluk ilişkileri aynı olmasına rağmen STEP dosyasında yüzeylerin diziliş sıralarına göre matrisler yapılandırıldığından matriste yüzeyler farklı sıralarda temsil edilmektedir. Bu da matriste yüzeylerin dizilişini değiştirirse de komşuluk ilişkileri ve nitelikler açısından matriste bir farklılık yoktur. Geliştirilen programla elde edilen yüz tabanlı ilişki matrisi 42 yüzeye kadar bir Visual BASIC formunda temsil edilmiştir (Şekil 5 ve Şekil 7). 42 yüzeyden daha fazla yüzeyli parçalar için oluşturulan yüz tabanlı ilişki matrisi ekrana sığmadığı için formun üzerine yerleştirilen bir Visual BASIC ızgara kontrolünde (MSFlexGrid) temsil edilmiştir. Izgara kontrolünün kaydırma çubukları sayesinde yüzey sayısı bu çalışmada 479 yüzeye kadar olan parçaların matrisleri program tarafından oluşturulmuştur.

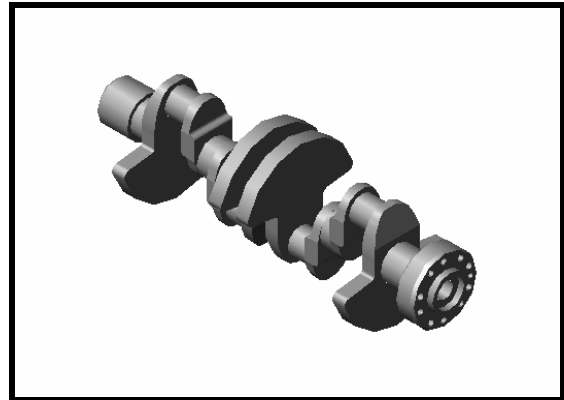


Şekil 6. Egzost supabının önden görünüşü

Yüz Komşuluk İlişki Matrisi												
Parça adı: egzost supabı, Kural no: 1												
	düz	düz	düz	düz	düz	kon	sil	sil	sil	sin	kon	sil
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kon	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
sil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
sil	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sil	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sil	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 7. Programla elde edilen egzost supabı için yüz tabanlı ilişki matrisi

Yine karmaşık motor parçalarından olan krank mili program tarafından tanınmış ve yüz tabanlı ilişki matrisi hazırlanmıştır. Krank milinin STEP dosyası program tarafından yorumlandığında 297 yüzey olduğu ortaya çıkmıştır. Program 93 yüzey üzerinde yüzey birleştirme işlemi yapmış ve kalan 204 yüzeyi komşuluk ilişkileri tespit edilerek 204x204 bir kare yüz tabanlı ilişki matrisi oluşturulmuştur. Bu matris formların boyutunu Şekil 8’de verilen krank milinin yüz tabanlı ilişki matrisi ekrana sığmadığından ilk bölümü Şekil 9’da verilmiştir. Geliştirilen program sayesinde tanınması ve tanımlaması çok zor olan parçalar kolaylıkla tanımlanmakta ve bilgisayar formatına uygun olan bir tanımlama şeması olan yüz tabanlı ilişki matrisinde temsil edilebilmektedir.



Şekil 8. Krank mili

Şekil 9. Krank miline ait yüz tabanlı ilişki matrisi

### 3. PARÇA TANIMA

Parça tanıma aşamasında, parçaya ait STEP formatından ve bilgi tabanındaki kurallardan elde edilen bilgilerin karşılaştırılması sonucu parça tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Parçaların tanıma yaklaşımında tanınacak her bir parça için bilgi tabanına bir kural yazılmalıdır. Bu kurallar gerek kullanıcı gerekse programa eklenen bir otomatik kural yazma modülü ile bilgisayar programı tarafından otomatik olarak yazılabilmektedir. Şekil 4'teki emme supabının bilgi tabanında temsil edilen kuralı aşağıda verilmiştir.

#### RULE 2:

#### IF

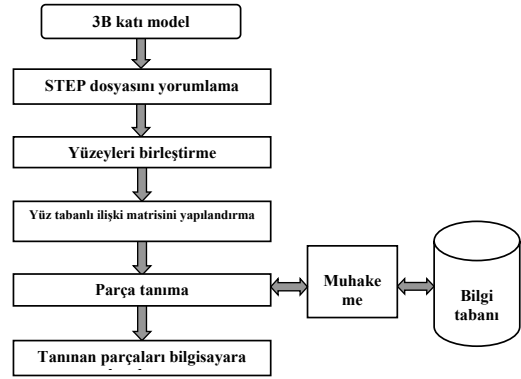
the plane\_face has neighbour conical\_face AND  
 the conical\_face has neighbours plane\_face, cylindrical\_face AND  
 the cylindrical\_face has neighbours conical\_face, plane\_face AND  
 the plane\_face has neighbours cylindrical\_face, cylindrical\_face AND  
 the cylindrical\_face has neighbours plane\_face, plane\_face AND  
 the plane\_face has neighbours cylindrical\_face, cylindrical\_face AND  
 the cylindrical\_face has neighbours plane\_face, bounded\_face AND  
 the bounded\_face has neighbours cylindrical\_face, plane\_face AND  
 the plane\_face has neighbours bounded\_face, conical\_face AND  
 the conical\_face has neighbours plane\_face, cylindrical\_face AND  
 the cylindrical\_face has neighbours conical\_face, plane\_face AND  
 the radius = 16 MM AND  
 the plane\_face has neighbour cylindrical\_face

#### THEN

the part is an emme\_supabı

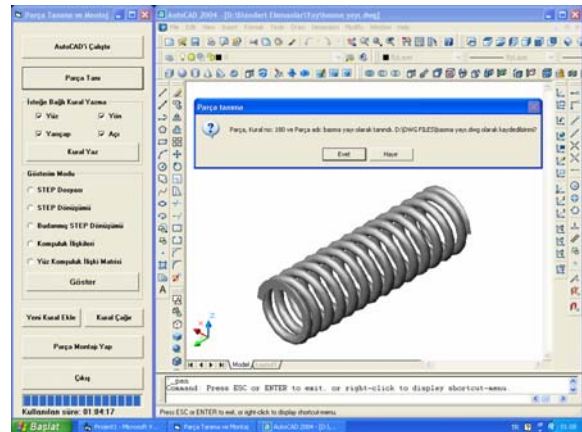
Kuraldan da anlaşılacağı üzere bilgi tabanında her bir parça, yüzlerinin komşuluk ilişkileri ve nitelikleri tabanlı temsil edilmektedir. Komşuluk ilişkileri ve nitelikler sayesinde birbirine benzeyen parçalar kolayca program tarafından tanınabilmektedir. Tanınacak parçanın matrisinde düzenlenen komşuluk ilişkileri ve nitelikleri ile bilgi tabanında temsil edilen tüm kuralları teker teker değerlendirerek buradaki her bir kurala ait komşuluk ilişkilerini ve niteliklerini karşılaştırarak parçalar tanınmaktadır. Eğer bir kurala ait komşuluk ilişkileri ve nitelikler parçaya ait komşuluk ilişkileri ve nitelikler ile eşleşmez ise program o kuralı atlayarak diğer kuralın komşuluk ilişkileri ve nitelikler ile karşılaştırmaktadır. Bu şekilde program bilgi tabanındaki tüm kurallara ait komşuluk ilişkileri ve nitelikleri değerlendirerek parçaya ait komşuluk ilişkileri ve niteliklere uygun kuralı tespit eder ve parça tanınır. Parça tanıma işlemi uzman sistemin bir parçası olan muhakeme ünitesinde

icra edilmiştir. Uzman sistem muhakeme yöntemlerinden ise ileriye zincirleme yöntemi kullanılmıştır. İleriye zincirleme bir kuralın EĞER şart kısmından başlamakta ve kuralın ÖYLEYSE kısmını ispatlamak için bu şartları tatmin etmeye çalışmaktadır. Bu çalışmada da EĞER şart kısmında tanımlanan şartlar parçaya ait bilgileri tam olarak sağladığında ÖYLEYSE kısmı ispatlanmış yani parça tanınmış olacaktır. Bu şekilde program kullanıcı tarafından BDT ortamında tasarlanmış her bir parça için bilgi tabanında her bir kuralı tarayarak ve parçaya ait komşuluk ilişkileri ve niteliklere uyan kuralı bularak parça ismini ve kural numarasını bilgi tabanında temsil edilen kuralın sonuç kısmından almaktadır. Parça tanıdıktan sonra bir mesaj kutusu ekranda belirerek kullanıcının parça ismini ve kural numarasını teyit etmesi beklenmektedir. Kullanıcı onayladığı takdirde program tasarlanan parçayı elde edilen parça ismi ile sabit diskin "D" bölümünde "DWG Files" olarak isimlendirilen bir klasörün içine kaydetmektedir. Geliştirilen programın akış diyagramı Şekil 10'da verilmiştir



Şekil 10. Geliştirilen programın akış şeması

Parça tanıma algoritması ile bir dizel motora ait 107 parça ile standart makine parçaları tanınmıştır. Bu parçaların tanınması için bilgi tabanına toplam 184 kural yazılmıştır. Şekil 11'de basma yayının geliştirilen program tarafından tanınması gösterilmiştir. Basma yayında program toplam 535 yüzey tespit etmiş ve Şekil 11'de görüldüğü gibi basma yayını 1 saat 4 dakika 17 saniyede tanımıştır.



Şekil 11. Basma yayının tanınması

#### 4. SONUÇ

Genellikle yapılan araştırmaların büyük bir çoğunluğu parça üzerindeki unsurları tanımaya yöneliktir. Parça tanıma yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır. Geliştirilen sistemle 3B olarak tasarlanmış parçanın geometrik bilgileri yorumlanarak parça tanımlaması yapılabilmektedir. Bu çalışmada literatürdeki parça tanımlama şemalarından farklı bir parça tanımlama şeması geliştirilmiştir. Yüz tabanlı ilişki matrisi adı verilen bu matris parçayı hem geometrik hem de topolojik (yüzey bağlanma ilişkileri) açıdan tanımlamıştır. Matriste komşuluk ilişkilerinin yanı sıra yüzeylere ait nitelikler de temsil edilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan parça tanımlama şeması olan graf teorisinde parçadaki yüzey sayısı arttıkça grafikteki yüzey bağlanma ilişkilerini izlemek mümkün olmamakta ve grafik oldukça karmaşık hale gelmektedir. Yüz tabanlı ilişki matrisi ile bu temsil formatı hem basitleştirilmiş hem de bilgisayar formatına uygun hale getirilmiştir. Yüz tabanlı ilişki matrisi parçaya ait olan her bir yüzün yüz biçimini, yüz numarasını ve yüz niteliklerini matris üzerinde temsil etmektedir. Yüz tabanlı ilişki matrisi, tanımakta olan parçanın yüz sayısı ile orantılı olarak program tarafından otomatik olarak boyutlandırılmaktadır. Yüz tabanlı ilişki matrisinde temsil edilen bilgi bu çalışmada parça tanıma algoritması için kullanılmıştır. Fakat matriste temsil edilen bilgi farklı BDT/BDİ uygulamaları için elverişlidir.

#### 5. KAYNAKLAR

- Gavankar, P., Henderson, M.R., Graph-based extraction of protrusions and depressions from boundary representations, *Computer Aided Design*, 22, 442-450, 1990.
- Chuang, S.H, Henderson, M.R., Three dimensional shape pattern recognition using vertex classification and vertex-edge graph, *Computer Aided Design*, 22, 377-387, 1990.
- Kao, C.Y., Kumara, S.R.T., Kasturi, R., Extraction of 3D object features from CAD boundary representation using the super relation graph method, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17, 1228-1233, 1995.
- Huang, Z., Yip-Hoi, D., High-level feature recognition using feature relationship graphs, *Computer Aided Design*, 34, 561-582, 2002.
- Joshi, S, Chang, T.C., Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model, *Computer Aided Design*, 20, 58-66, 1998.
- Trappey, A.J.C., Lai, C.S., A data representation scheme for sheet metal parts: expressing manufacturing features and tolerance requirements, *Journal of Manufacturing Systems*, 14, 393-405, 1995.
- Gao, S., Shah J.J., Automatic recognition of interacting machining features based on minimal condition sub graph, *Computer Aided Design*, 30, 727-739, 1998.
- Lockett, H.L., Guenov, M.D., Graph-based feature recognition for injection moulding based on a mid-surface approach, *Computer-Aided Design*, 37, 251-262, 2005.
- Gulesin, M., Jones, R.M., Face oriented neighbouring graph (FONG): a part representing scheme for process planning, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 7, 213-218, 1994.
- Mehalawi, M., Miller, R.A., A database system of mechanical components based on geometric and topological similarity Part I: representation, *Computer Aided Design*, 35, 83-94, 2003.
- Mehalawi, M., Miller, R.A., A database system of mechanical components based on geometric and topological similarity Part II: indexing, retrieval, matching and similarity assessment, *Computer Aided Design*, 35, 95-105, 2003.
- Dereli, T., Filiz, İ.H., A note on the use of STEP for interfacing design to process planning, *Computer Aided Design*, 34, 1075-1085, 2002.