

# BDT/BDİ UYGULAMALARI İÇİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ PARÇA TANIMA YAKLAŞIMININ GELİŞTİRİLMESİ

**Adem ÇİÇEK ve Mahmut GÜLESİN**

Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe, 06570, Ankara  
[adecicek@yahoo.com](mailto:adecicek@yahoo.com), [gulesin@gazi.edu.tr](mailto:gulesin@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 12.12.2005; Kabul/Accepted: 13.12.2006)

## ÖZET

3 boyutlu BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) modellerinden imalat bilgilerinin otomatik çıkarımı BDT/BDİ (Bilgisayar Destekli İmalat)'ın entegrasyonu için önemli bir çalışma alanıdır. Bu makalede, BDT/BDİ entegrasyonunu desteklemek için uzman sistem tabanlı bir parça tanıma yaklaşımı geliştirilmiştir. Sisteme girdi olarak 3 boyutlu BDT modellerinin STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) dosyası kullanılmıştır. Her bir yüzeye ait komşu yüzeyler ve nitelikler STEP dosyasından çıkarılarak matematiksel bir modelde (YKİM- Yüzey Komşuluk İlişki Matrisi) temsil edilmiştir. Aynı zamanda, Windows tabanlı bir yazım editörü kullanılarak bilgi tabanı oluşturulmuş ve bilgi tabanı için bir kural yazma formatı geliştirilmiştir. YKİM ve bilgi tabanında temsil edilen geometrik ve topolojik bilgi karşılaştırılarak parçalar tanınmıştır. Parça tanıma algoritması işlem planlama, grup teknolojisi gibi birçok BDT/BDİ uygulaması için uygulanabilir. Algoritmanın verimliliği ve kapasitesini göstermek için yaklaşım karmaşık parçalara sahip olan otomobil motor parçalarına uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** STEP, parça tanıma, 3 boyutlu model.

## DEVELOPING OF A COMPUTER AIDED PART RECOGNITION APPROACH FOR CAD/CAM APPLICATIONS

### ABSTRACT

For CAD (Computer Aided Design)/CAM (Computer Aided Manufacturing) integration, automatic extraction of manufacturing information from 3D CAD models is an important work field. In this paper, an expert system based part recognition approach has been developed to support the integration between CAD and CAM. STEP files of 3D CAD models are used as input to the system. They are represented in a mathematical model (SARM-Surface Adjacency Relation Matrix) by extracting neighbouring surfaces and attributes belonging to each surface from the STEP file. A knowledge base has been also constructed by using a Windows based text editor and a rule writing format has been developed for the knowledge base. The parts are recognized by comparing geometric and topological information represented in both SARM and the knowledge base. Part recognition algorithm is applicable for many CAD/CAM applications such as process planning and group technology. The algorithm has been applied to an automobile engine which has complex parts to demonstrate its efficiency and capability.

**Keywords:** STEP, part recognition, 3D model.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilgisayar Destekli Tasarımın kullanılmaya başlanması, endüstride önemli bir etki meydana getirmiş ve geleneksel tekniklere önemli üstünlükler sağladığı için ticari alana girmiş ve kısa zamanda kullanımı yaygınlaşmıştır. Veri tabanı ve veri ihracı gibi sağladığı faydalar ile, BDT ortamında geometrik

bilgiler, çeşitli grafik standartları yardımı ile aktarılabilir veya veri tabanı halinde saklanabilir. En yaygın olarak kullanılan grafik standartları STEP, IGES (Initial Graphics Exchange Specification), PDES (Product Data Exchange Specification) and DXF (Drawing Interchange Format)'dir. Ayrıca, BDT sistemleri 3 boyutlu modelleme imkanı sağlayarak üretim, tasarım ve montaj için önemli avantajlar

sağlamaktadır. BDT ve BDİ'nin entegrasyonu için imalat bilgilerinin BDT'deki katı modellemeden elde edilmesi gerekmektedir. BDT veri tabanından imalat bilgilerinin elde edilmesi BDİ için genelde yetersiz kalmaktadır. Çünkü güncel BDT sistemleri tam anlamıyla bilgisayar destekli imalat ve bilgisayar destekli işlem planlama (BDİP) verilerini tam olarak sağlamamaktadır [1, 2, 3, 4]. Her ne kadar bu konuda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da tasarım işlemini desteklemek ve entegrasyonu sağlamak için daha çok araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar, unsur tabanlı tasarım, unsur tanıma, parça tanıma, işlem planlama montaj planlama gibi ana başlıklar altında toplanabilmektedir. BDT ortamında tasarlanan bir parçayı teşhis ve analiz eden parça tanıma yaklaşımı, BDT/BDİ entegrasyonunda önemli rol oynayabilir. Analiz edilen parçalar, işlem planlama ve grup teknolojisi gibi uygulamalar için girdi olarak kullanılabilir. Tanınan parçalar imalat için gruplandırılarak işlem planlarının çıkarılması üretimin verimliliği açısından önem arz etmektedir.

Qamhiyah, vd. [5] düzlem yüzeyli nesnelerin BDT modellerinden biçim unsurlarının ardışık çıkarımı için sınır tabanlı bir prosedür geliştirmişlerdir. Bu çalışmada unsurlar, bir nesnenin temel biçimini değiştirmedeki etkileri tabanlı olarak sınıflandırılmıştır. Sonra geometrik muhakeme, biçim unsur sınıflarının genel özelliklerini elde etmek için kullanılmış ve biçim unsur sınıfları elde edilen özellikleri tabanlı ardışık olarak çıkarılmıştır. Geliştirilen prosedür halka bilgisine bağımlılığının sonucu olarak düzlemsel olmayan yüzeylere uygulanamamaktadır. Gao ve Shah [6] B-rep modellerinden işleme unsurlarının otomatik tanınması yönünde bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada sunulan metot, etkileşen unsurların alternatif çözümlenmelerini tanımak ve çıkarmak için geleneksel grafik tabanlı tanıma ile işaret tabanlı unsur tanımayı entegre etmesinden dolayı hibrit bir yaklaşımdır. Falcidieno ve Giannini [7] bir nesnenin katı modelinden unsur bilgisinin otomatik teşhis edilmesi ve çıkarılması için bir metot geliştirmişlerdir. Unsur tanıma, bir yüz bitişiklik hiper grafiği olarak adlandırılan bir katının yüz tabanlı temsili odaklı çalışmaktadır. Unsur tanıma sisteminin amacı, oyuk ve çıkıntı unsurlarını teşhis etmektir. Gavankar ve Henderson [8] bir katı modeldeki çıkıntı ve oyuk unsurlarını çıkarmak için kenar-yüzey grafiği tabanlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma bu gibi unsurları çıkarmak için çoklu kenar halkasına sahip olan yüzeyleri teşhis etmekte ve bunları potansiyel ayrı düğümlerin azaltılmış seti olarak kullanmaktadır. Bu çalışmada tanınabilen unsurlar tek bir yüzey üzerine modellenen cep, kör delik ve çıkıntı gibi unsurlar ile sınırlandırılmıştır. Chuang ve Henderson [9] bir katı modelin 3 boyutlu sınır temsilinden unsurların bilgisayar destekli tanınması için bir metot geliştirmişlerdir. Katı modelleme, veritabanındaki

nesnenin köşe noktaları, köşe noktalarını kuşatan topoloji ve geometrik özellikler analiz edilerek ve sınıflandırılarak bir köşe-kenar grafiğinde temsil edilmiştir. Her bir tek bölgesel modelin tanınması, model grafiğini nesne için etiketli grafikte bulunan alt grafikler ile eşleştirme ile gerçekleştirilmektedir. Bu araştırmada gösterilen yaklaşım basit bağlanan yüzeyli biçim modellerini tanıma ile sınırlandırılmıştır. Huang ve Hoi'nin [10] geliştirdiği unsur tanıma yaklaşımı, jenerik unsurlardan kullanıcı tabanlı unsurları çıkarmaktadır. Bu çalışma, üç tip unsur ile sınırlandırılmıştır; faturalı unsurlar, bileşik unsurlar ve dizi unsurlar. Metot, noktaları parçanın düşük düzey unsurları olan ve kenarları unsur ilişkilerini temsil eden bir unsur ilişki grafiği tabanlı yüksek düzey unsurları çıkarır. Yüksek düzey unsurlar ise, kesici biçimleri, unsur dizileri, fonksiyonellik ve işleme kurallarına göre sınırlı ve parametrelili grafik modelleri kullanarak tanımlanır. Pal ve Kumar [11, 12] BDT veritabanından etkileşmeyen 3 boyutlu unsurların teşhisi için kısmi olarak matematiksel tekrarlayıcı ve kısmi olarak ta heuristik kurallar tabanlı hibrit bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmanın amacı, otomatik işlem planlama için mekanik BDT/BDÜ fonksiyonlarında geometrik muhakemeyi kolaylaştıran bir bilgi çatısı oluşturmaktır. Unsur çıkarma işleminin başında, çok yüzeyli olmayan bir cep unsuru için temel bulma, ara yüzeyler ve ardışık bağlanabilirlik algılama gibi prosedürler kurulmuş ve bu prosedürler diğer unsurlar için genişletilmiştir. Rezayat [13] orta yüzey tabanlı yeni bir yaklaşım için algoritmalar geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmalarda orta yüzeyin parçaların çoğunluğu için B-rep'ten daha iyi bir tanımlayıcı olduğu düşünülmüştür. Orta yüzey iyi bir formatta biçim unsurlarını çıkarmak için ihtiyaç duyulan bilgiyi doğal olarak düzenler ve geometrik muhakemeye müsaade eder. Lockett ve Guenov [14] parça geometrisinden orta yüzey çıkarım tabanlı ince duvar enjeksiyon kalıp ve döküm parçaların 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 geliştirmesidir. Mehalawi ve Miller [15, 16] mekanik parçaların veritabanındaki benzer tasarımlarını gözden geçirme ve eşleştirme için bir yaklaşım sunmuşlardır. Gözden geçirme ve eşleştirme işlemleri mekanik parçalar arasındaki geometrik ve topolojik benzerlik üzerine dayandırılmıştır. Burada belirtilen benzerlik faktörü iki grafikte eşleşen düğüm ve kenar çiftlerinin sayısına dayandırılmıştır. Candadai vd. [17] tasarım indeksleme ve gözden geçirme, değişken tasarım, değişken işlem planlama ve tasarım tenkitini içeren dağıtımli üretimin önemli aktivitelerini desteklemek için grup teknolojisinin sistematik kullanımını tartışmışlardır. Çalışmada dağıtımli üretim için tasarım gözden geçirmeyi desteklemek için mekanik ve elektro-mekanik mamul tasarımlarının tam ve

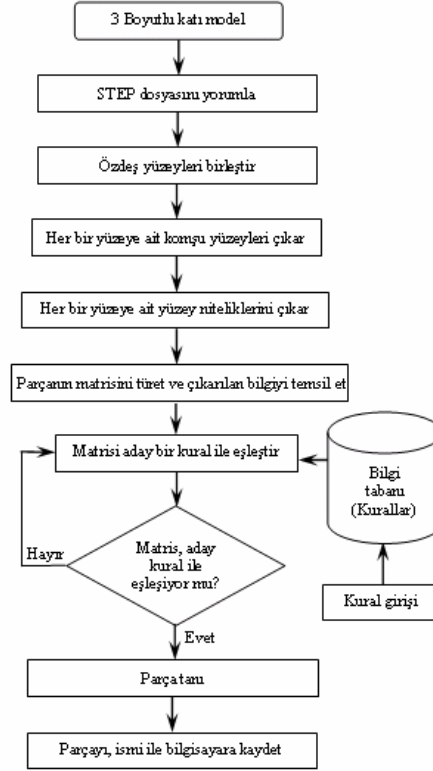
anamlı temsilinde STEP kaynaklarını kullanarak entegre bir nesne tabanlı grup teknolojisi modeli geliştirmişlerdir. Lee ve Kim [18, 19] bir unsur tabanlı tasarım modelinden işleme unsurlarının alternatif çözümlerini üretmek için unsur tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. İşleme unsurları, parçanın unsur tabanlı tasarımı esnasında artışı olarak çıkarılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan işleme unsurları 3 eksen frezeleme operasyonları ile sınırlandırılmıştır. Prabhu ve Pande [20, 21], söz dizim kurallarına ait model tanıma ve doğal dil işleme tabanlı dizi işleme teknikleri kullanarak, BDT formatında oluşturulan mühendislik çizimlerinden üretilebilir unsurların zeki çıkarımı için bir sistem geliştirmişlerdir. AUTOFEAT ismini verdikleri çalışmanın birincil amacı genellikle işleme merkezleri ile işlenen düzlemsel veya düzlemsel olmayan yüzeyleri ihtiva eden prizmatik parçaların BDT modellerinin zeki çözümlenmesi ve temsildir.

Literatür değerlendirmesinden de anlaşılacağı gibi yapılan çalışmaların çoğunu unsur tanıma çalışmaları oluşturmaktadır. Parça tanıma yaklaşımı, bu açıdan diğer çalışmalardan farklılık arz etmektedir. Bu makalede sunulan çalışmanın amacı, STEP formatında temsil edilen geometrik ve topolojik bilgi vasıtasıyla BDT ortamında tasarlanan 3 boyutlu modellerin tanınmasını sağlamak, modeller için elde edilen tüm bilgiyi matematiksel bir modelde temsil etmek ve grup teknolojisi, bilgisayar destekli montaj ve işlem planlama gibi BDT/BDİ uygulamalarını desteklemektir. Parça tanıma algoritmasının etkinliğini göstermek için bu çalışmada basit, orta düzey ve karmaşık 184 parça geliştirilen program tarafından tanınmıştır.

## 2. GELİŞTİRİLEN PARÇA TANIMA SİSTEMİ (THE DEVELOPED PART RECOGNITION SYSTEM)

Bu çalışmada, BDT ortamında tasarlanan 3 boyutlu parçalarının yüzey komşuluk ilişkileri ve nitelikleri tabanlı tanınması için bir yöntem ve yazılım geliştirilmiştir. Kullanıcı tarafından BDT ortamında oluşturulan katı modellerinin STEP dönüşümü yapılarak tanınacak her bir parçaya ait bir STEP dosyası oluşturulmaktadır. Oluşturulan STEP dosyasındaki 3 boyutlu modele ait öğeler geliştirilen program tarafından yorumlanarak parça üzerindeki özdeş yüzeyler tespit edilip bu yüzeyler arasında bir birleştirme operasyonu gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemi yapıldıktan sonra, parça üzerindeki her bir yüzey geliştirilen program tarafından tek tek ele alınarak o yüzeye ait komşu yüzeyler ve nitelikler çıkarılmıştır. Çıkarılan nitelikler ve komşu yüzeyler sayesinde parça tanıma prosedürü gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, bir yazım editörü kullanılarak bir bilgi tabanı oluşturulmuştur. Bilgi tabanındaki kurallar yine parçaya ait nitelikler ve komşuluk ilişkileri göz önünde bulundurularak kullanıcı tarafından hazırlanmaktadır. Bilgi tabanı ve parça tanıma prosedüründeki yüzey ilişkileri ve nitelikleri

geliştirilen program tarafından birbirleriyle karşılaştırılarak parçaya ait kural bilgi tabanından tespit edilip parça tanınmaktadır. Çizim, elde edilen parça ismi ile bilgisayara kaydedilmekte ve parçaya ait yüzey komşuluk ilişki matrisi ile temsil edilmektedir. Yüzey komşuluk ilişki matrisinde parçadaki yüzeylere ait bağlanma ilişkileri ve nitelikler temsil edilmiştir. Geliştirilen parça tanıma yaklaşımının akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen parça tanıma yaklaşımının akış şeması (Flowchart of the developed part recognition approach)

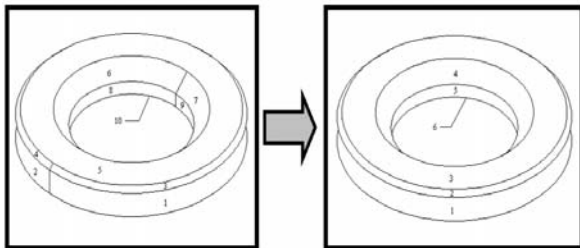
### 2.1. STEP Dosyasını Yorumlama (Evaluation of the STEP File)

Bu aşamada, kullanıcı tarafından AutoCAD ortamında oluşturulan 3 boyutlu katı modellerinin STEP dönüşümü program tarafından otomatik olarak yapılarak tanınacak her bir parça, STEP formatında kaydedilmektedir. Otomatik STEP dönüşümü ve oluşturulan STEP dosyasının bilgisayara kaydedilmesi işlemleri Visual BASIC ile AutoCAD arasında bağlantı kurulduktan sonra Visual BASIC fonksiyonları ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra program, bilgisayara kaydedilen STEP dosyasını açarak STEP dosyasında bulunan tüm öğeleri program formunda gizlenmiş bir liste kutusuna taşımakta ve programın çalışma hızını artırmak için bundan sonraki işlemlerde bu liste kutusunda temsil edilen bilgiyi kullanarak yürütmektedir. Parçaya ait STEP öğeleri Visual BASIC ortamına taşındıktan sonra program sonraki aşama olan yüzey birleştirme aşamasına geçmektedir.

## 2.2. Yüzeyleri Birleştirme (Stitching of Surfaces)

STEP grafik standardında silindirik, konik, küresel ve toroid yüzeyler iki simetrik yüzeyle temsil edilmektedir. Bu STEP formatının iç temsil yapısından kaynaklanan bir durumdur. Örneğin, Şekil 2'deki rondelanın 1-2 ve 8-9 numaralı silindirik yüzey çiftleri ve 3-4 ve 6-7 numaralı konik yüzey çiftleri tek bir yüzey olarak görünmesine rağmen rondelanın STEP dosyasında iki simetrik yüzey olarak temsil edilmiştir. STEP formatının bu yapısını bilmeyen kullanıcılar bu çalışmada kullanılan parça tanıma algoritması için bilgi tabanına yazacağı kuraldaki yüzey komşuluk ilişkileri ile STEP formatından program tarafından elde edilen yüzey komşuluk ilişkileri birbirini karşılamayacağından, parça tanıma işlemi imkansız hale gelecektir. Bu gibi aksaklıkları gidermek için program bu simetrik olan ve aynı nitelikleri paylaşan özdeş yüzeyler arasında bir yüzey birleştirme işlemi gerçekleştirerek bu yüzey çiftlerini tek bir yüzey haline getirmektedir. Birleştirilen yüzeyler yüzey komşuluk ilişki matrisinin yapılandırılması işlemine girdi olarak kullanılmaktadır. Şekil 2'de rondelanın yüzey birleştirme işleminden sonraki yüzey biçimleri ve sayıları görülmektedir. Rondelanın STEP temsilinde 10 olan yüzey sayısı yüzey birleştirme işleminden sonra 6 tanedir. 4 çift yüzey arasında yüzey birleştirme işlemi yapılmıştır. Yüzey birleştirme işleminden sonra Şekil 2'deki 1-2, 3-4, 6-7 ve 8-9 numaralı silindirik ve konik yüzeyler sırasıyla 1, 2, 4, 5 numaralı yüzeylere geliştirilen program tarafından otomatik olarak dönüştürülmüştür. Böylece, rondelanın bilgi tabanında temsil edilecek kuralında tanımlanması gereken yüzey komşuluk ilişkileri doğru olarak kullanıcı tarafından tanımlanarak bilgi tabanında temsil edilebilecektir. Bu da parça tanıma prosedürlerinin verimli bir şekilde yürütülmesini sağlayacaktır.

Yüzey birleştirme işlemi yapabilmek için bazı şartların bir araya gelmesi gerekmektedir. Yani, program tüm simetrik olan yüzey çiftleri için yüzey birleştirme işlemi yapmamaktadır. Aynı nitelikleri taşıyan iki veya daha fazla yüzeyin en az ortak bir kenarı paylaşmaları durumunda program yüzey birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir.



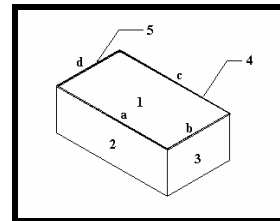
**Şekil 2.** Rondela yüzeylerinin STEP formatındaki temsili ve yüzeylerinin birleştirme işleminden sonraki temsili (Representations of surfaces of the washer in the STEP format and their representations after stitching of surfaces)

## 2.3. Komşu Yüzeyleri Elde Etme (Obtaining of Adjacent Surfaces)

Bu aşamada, program, yüzey birleştirme işleminden sonra elde edilen birleştirilen yüzeyleri girdi olarak kabul etmekte ve bu birleştirilen yüzeyleri değerlendirerek tanınacak parça üzerindeki her bir yüzeye ait nitelikleri ve komşuluk ilişkilerini çıkarmaktadır. Bu aşamada her bir yüzeye ait komşu yüzeyler tespit edilmiştir. Komşu yüzeylerin bulunmasında, program sıra ile parça üzerindeki her bir yüzeyi ele alarak bu yüzeyi meydana getiren kenar halkasındaki her bir kenar eğrisini sorgulamıştır. Ele alınan yüzeyin kenar halkasını meydana getiren her bir kenar eğrisi iki yüzey tarafından paylaşıldığından, yüzeyi sınırlayan kenar halkasındaki her bir kenar eğrisini paylaşan diğer yüzeyler o yüzeye komşu yüzeyler olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde, program, parça üzerindeki yüzeylerin kenar halkalarını oluşturan kenar eğrilerini tek tek sorgulayarak her bir yüzeye ait komşu yüzeyleri bulmaktadır. Şekil 3'teki örnek parçada 1 numaralı yüzeyin kenar halkası a, b, c, d kenar eğrilerinden (doğru) meydana gelmektedir. Örnek parçadaki 1 numaralı yüzeyin komşu yüzeylerini bulmak için bu yüzeyin kenar halkasındaki kenar eğrilerini paylaşan diğer yüzeyler program tarafından otomatik olarak tespit edilerek bu yüzeyler 1 numaralı düzlem yüzeyin komşu yüzeyleri olarak tespit edilmiştir. Şekil 3'te gösterildiği gibi bu kenar eğrilerinden a kenar eğrisi 1-2, b kenar eğrisi 1-3, c kenar eğrisi 1-4 ve d kenar eğrisi 1-5 yüzeyleri tarafından paylaşılmaktadır. Buna göre, 1 numaralı düzlem yüzeyin komşu yüzeyleri 2, 3, 4 ve 5 numaralı düzlem yüzeyler olarak tespit edilmiştir. Komşuluk ilişkileri ve nitelikler parçaların tanınmasında önemli rol oynayan yüzey komşuluk ilişki matrisinin oluşturulmasında girdi olarak kullanılmaktadır.

## 2.4. Yüzey Komşuluk İlişki Matrisi (Surface Adjacency Relation Matrix)

Parça temsil şemaları parçaların hem geometrik hem de topolojik açıdan tanımlanması amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu şemalar parçaların hem yüzey ilişkilerini hem de niteliklerini temsil etmektedirler. Bu çalışma ile literatürdeki diğer parça tanımlama şemalarından farklı yeni bir parça tanımlama şeması geliştirilmiştir. Yüzey komşuluk ilişki matrisi adı verilen bu tanımlama şeması parçayı hem geometrik hem de topolojik açıdan temsil etmektedir. Bu matrisi oluşturmak için parça üzerindeki her bir yüzeye ait komşuluk ilişkilerinin ve niteliklerin tanımlanması

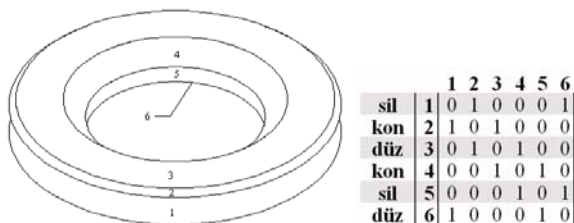


**Şekil 3.** Örnek parça (Sample part)

gerekmektedir. Bir önceki aşamada komşuluk ilişkileri tanımlandıktan sonra bu ilişkiler bir matris formunda program tarafından otomatik olarak düzenlenmektedir. Yüzey komşuluk ilişki matrisi parçaya ait olan her bir yüzeyin yüzey biçimini, yüzey numarasını ve yüzey niteliklerini matris üzerinde temsil etmektedir. Yüzey komşuluk ilişki matrisi, tanınmakta olan parçanın yüzey sayısı ile orantılı olarak program tarafından otomatik olarak boyutlandırılmaktadır. Parçanın yüzey sayısı olarak yüzey birleştirme işleminden sonraki yüzey sayısı esas alınmıştır. Örneğin, herhangi bir parçanın yüzey birleştirme işleminden sonraki yüzey sayısı 12 ise yüzey tabanlı ilişki matrisi 12x12 bir kare matristir. Matriste parça üzerinde bulunan tüm yüzeylerin yüzey tipleri soldan sağa ve yukarıdan aşağıya olmak üzere yerleştirilerek yüzey komşuluk ilişki matrisi boyutlandırılmıştır. Matrise yerleştirilen yüzey tipleri aşağıdaki gibi kısaltılarak matrise yerleştirilmiştir.

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

Program, parça üzerindeki ilk yüzeyi ele almakta ve yüzeye ait nitelikleri matristeki o yüzeye ait yüzey kısaltmasına iliştiirmektedir. Sonra, komşuluk ilişkileri bölümüne geçerek diğer yüzeylerle komşuluk ilişkilerini sorgulamaktadır. Hangi yüzey ile komşuluk ilişkisi varsa matriste o yüzeyi karşılayan hücreye "1" değerini, komşuluk ilişkisi yoksa "0" değerini yerleştirmektedir. Program tüm yüzeyler için bu işlemleri tekrarlayarak kare matrisi komşuluk ilişkilerine göre doldurmaktadır. Böylelikle tüm yüzeyler arasındaki komşuluk ilişkileri ve nitelikler matriste açıkça temsil edilmektedir. Şekil 4'te rondela ve rondelaya ait 6 x 6 kare yüzey komşuluk ilişki matrisi verilmiştir. Bu matristen 1 numaralı silindirik yüzeyin 2 numaralı konik ve 6 numaralı düzlem yüzey ile komşu olduğu sonucu çıkmaktadır. Aynı şekilde, 2 numaralı konik yüzeyin 1 numaralı silindirik yüzey ve 3 numaralı düzlem yüzey ile, 3 numaralı düzlem yüzeyin 2 numaralı konik yüzey ve 4 numaralı konik yüzey ile, 4 numaralı konik yüzeyin 3 numaralı düzlem yüzey ve 5 numaralı silindirik yüzey ile, 5 numaralı silindirik yüzeyin 4 numaralı konik yüzey ve 6 numaralı düzlem yüzey ile, 6 numaralı düzlem yüzeyin 1 numaralı silindirik yüzey



Şekil 4. Rondela ve rondelanın yüzey komşuluk ilişki matrisi (Washer and its surface adjacency relation matrix)

ve 5 numaralı silindirik yüzey ile, komşu olduğu sonucu çıkmaktadır.

Ayrıca yüzey komşuluk ilişki matrisinde parça üzerindeki her bir yüzeye ait yüzey nitelikleri de temsil edilmiştir. Nitelikler yüzey komşuluk ilişki matrisindeki her bir yüzeyi temsil eden yüzey tipi kısaltmalarına iliştilmiştir. Matris oluşturulduktan sonra imleç bu yüzey tipi kısaltmalarının üzerine geldiğinde o yüzeye ait nitelikler bir pencere ile ekrana gelmektedir. Bu şekilde bir parça yüzey komşuluk ilişki matrisinde tüm yüzeyler için komşuluk ilişkileri ve nitelikleri temsil edilebilmektedir. Aynı zamanda, yüzey komşuluk ilişki matrisinde tanınan parçaya ait parça adı ve bilgi tabanında temsil edilen kural numarası matris formundaki bir Visual BASIC etiket (label) kontrolünde temsil edilmektedir. Şekil 6'da, Şekil 5'teki M10 flanşlı somunun program tarafından elde edilen yüzey komşuluk ilişki matrisi verilmiştir. Şekil 6'dan da anlaşılacağı gibi parça adı ve kural numarası M10 flanşlı somuna ait yüzey komşuluk ilişki matrisinde temsil edilmiştir. Aynı zamanda imleç 18. yüzey olan silindirik yüzeyi temsil eden yüzey kısaltmasının üzerine getirildiğinde bu silindirik yüzeye ait olan nitelikler ekrana gelmektedir. Bu şekilde matriste temsil edilen yüzeylerin nitelikleri kolayca öğrenilebilmekte ve matrisin analiz edilmesi oldukça kolaylaşmaktadır.

## 2.5. Bilgi Tabanı (Knowledge Base)

Geliştirilen programda uzman sistem tekniği kullanıldığından uzman sistemin gereği olan bir bilgi tabanı oluşturulmuştur. Bilgi tabanı, Not Defteri (NotePAD) programında hazırlanmış bir yazı (text) dosyasıdır. Bilgi tabanında her bir parça için bir kural yazılmış ve oluşturulan yazı dosyası bilgi tabanı.txt olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Program, 3 boyutlu



Şekil 5. M10 Flanşlı somun (M10 Flanged nut)

	tor	düz	düz	düz	düz	düz	düz	düz	düz	düz	kon	sil	kon
tor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
düz	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
düz	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
düz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kon	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
kon	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
sil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
kon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Şekil 6. Sistemde elde edilen M10 flanşlı somuna ait yüzey komşuluk ilişki matrisi (Surface adjacency relation matrix constructed in the system of M10 flanged nut)

BDT modellerinin hem STEP dosyasını hem de bilgi tabanını değerlendirerek ve karşılaştırarak parçaları tanımlanmaktadır. Bilgi tabanında her bir kuralı temsil eden her parça, kendisini oluşturan yüzeylerin komşuluk ilişkileri ve her bir yüzeyin nitelikleri tabanlı olarak temsil edilmektedir. Kurallarda IF-THEN yapısı kullanılmıştır. Herhangi bir parça için bilgi tabanına kural yazma formatı aşağıdaki gibidir:

“RULE NO:” Kural numarası

“IF”

“the” + yüzey tipi + “has neighbour” veya “neighbours” + komşu yüzey1, komşu yüzey2, komşu yüzey3 .....komşu yüzey N

“AND”

“the” + nitelik = nitelik değeri “AND”

“THEN”

“the part is a” veya “an” + parça ismi

Kural yazarken ilk önce kural numarası hemen altına IF yapısı tanımlanmalıdır. Bundan sonraki satırlarda parçaya ait her bir yüzey için komşuluk ilişkileri ve nitelikleri tabanlı tanımlanabilmektedir. Her bir yüzey için kural tanımlanırken ilk satırda yüzey komşuluk ilişkileri tanımlanmalıdır. Yukarıdaki formatta verildiği gibi komşuluk ilişkileri tanımlanırken önce ele alınan yüzey hemen yanına o yüzeye ait komşu yüzeyler yazılmaktadır. Eğer yüzeye ait nitelikler kuralda temsil edilmek isteniyorsa yüzey niteliği yüzey komşuluk ilişkilerinin hemen altına, nitelik değeri ise yüzey niteliğinin hemen yanına yazılmalıdır. Daha sonra THEN yapısı ve son olarak parça isminin belirlendiği sonuç kısmı tanımlanmalıdır. Bu şekilde bilgi tabanında bir kural tanımlandığında program herhangi bir sınırlama olmaksızın tüm parçaları tanıyabilmektedir.

Şekil 7’deki pernonun bilgi tabanında temsil edilen kuralı aşağıda verilmiştir.

RULE 184:

IF

the plane\_face has neighbour conical\_face AND  
the plane\_face has neighbours cylindrical\_face,  
cylindrical\_face AND

the plane\_face has neighbour conical\_face AND  
the conical\_face has neighbours plane\_face,  
cylindrical\_face AND

the cylindrical\_face has neighbours plane\_face,  
conical\_face AND

the conical\_face has neighbours plane\_face,  
cylindrical\_face AND

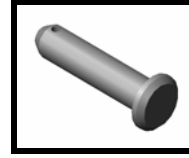
the cylindrical\_face has neighbours plane\_face,  
conical\_face, cylindrical\_face AND

the cylindrical\_face has neighbour cylindrical\_face

THEN

the part is a perno

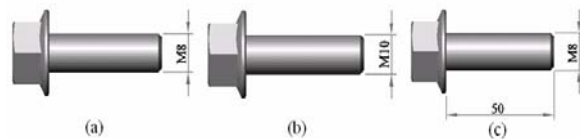
Kural tanımlanırken komşuluk ilişkilerinin tanımlanması zorunludur. Fakat yüzey niteliklerinin kurala ilave edilmesi zorunlu değildir. Yüzey nitelikleri sadece komşuluk ilişkileri birbirinin aynısı olan parçalarda programın parçaları birbirinden ayırt etmesi amacıyla kurala ilave edilmektedir. Bilgi tabanında parçaya ait tüm yüzeyler veya parçayı diğer yüzeylerden ayırt edecek yüzeyler tanımlandığında program benzer parçaları birbirinden ayırt edebilmektedir. Bazı parçaların komşuluk ilişkileri



Şekil 7. Perno (Clevis pin)

birbiri ile tamamen aynıdır. Bu durum daha çok standart makine parçalarında görülmektedir. Aynı komşuluk ilişkilerinin olduğu benzer parçalarda niteliklerin kuralda tanımlanması bir zorunluluktur. Örneğin, Şekil 8a’daki M8 flanşlı civata ile Şekil 8b’deki M10 flanşlı civatanın komşuluk ilişkileri tamamen birbiri ile aynıdır. Bu durumda, programın bu gibi parçaları tanıması için bilgi tabanına bu iki parçayı birbirinden ayırt eden niteliklerinin yazılması zorunludur. Bu iki parçayı birbirinden ayıran tek belirgin özellik civataların anma çaplarını temsil eden silindirik yüzeylerin yarıçap değerleridir. Bundan dolayı, bu parçaların tanınması için anma çapı değerlerinin ilgili silindirik yüzeyin komşuluk ilişkilerinin alt satırına yazılmalıdır. M8 flanşlı civatanın bilgi tabanında temsil edilen kuralında anma çapını gösteren silindirik yüzeyin komşuluk ilişkilerinin hemen alt satırına “the radius = 4 MM AND” ve parça ismini veren sonuç kısmına da “the part is a M8 flanşlı civata” ibareleri yazılarak parça bu kural yardımıyla program tarafından M8 flanşlı civata olarak tanınmıştır.

Aynı şekilde, Şekil 8b’deki gösterilen M10 flanşlı civatanın bilgi tabanında temsil edilen kuralında anma çapını gösteren silindirik yüzeyin komşuluk ilişkilerinin hemen alt satırına “the radius = 5 MM AND” ve parça ismini veren sonuç kısmına da “the part is a M10 flanşlı civata” ibareleri yazılarak parça program tarafından M10 flanşlı civata olarak tanınması sağlanmıştır. Aynı zamanda, Şekil 8c’de gösterilen flanşlı civatanın anma çapı 8, civata boyu ise 50 mm’dir. Flanşlı civataya ait bilgi tabanında temsil edilen kuralda anma çapını gösteren silindirik yüzeyin komşuluk ilişkilerinin alt satırına “the radius = 4 MM AND” ve “the screw\_length = 50 MM AND” ibareleri alt alta yazıldığında flanşlı civata program tarafından M8x50 flanşlı civata olarak tanınmaktadır. Flanşlı civatada nitelik olarak silindirik yüzeylerin yarıçap değerleri kullanılmıştır. Yarıçap tanımlamalarının da yeterli olmadığı durumlarda yüzey tipine bağlı olarak silindirik, konik ve küresel yüzeylerde yarıçap, konik yüzeyler için koniklik açısı, toroid yüzeyler için maksimum yarıçap ve minimum yarıçap ve düzlem, silindirik, konik, küresel ve toroid yüzeyler için yön gibi nitelikler bilgi tabanına



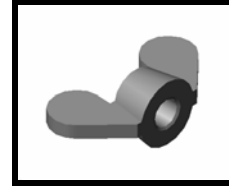
Şekil 8. a. M8 flanşlı civata (M8 flanged bolt), b. M10 flanşlı civata (M10 flanged bolt), c. M8x50 flanşlı civata (M8x50 flanged bolt)

kullanıcı tarafından yazılarak benzer parçaların kolayca tanınması sağlanmaktadır.

## 2.6. Parça Tanıma (Part Recognition)

Parça tanıma algoritması için, bir uzman sistem geliştirilmiş ve sisteme entegre edilmiştir. Uzman sistemler, uzman bir insanın davranışlarını taklit etmeye çalışan programlardır. Alan ile ilgili özel bilgiyi kullanmaya ve zeki kararlar almaya yeteneklidir. Uzman sistemler, özel bir alandaki uzman bilgi gerektiren problemleri çözebilir ve bu bilgiyi belli bir biçimde temsil edip, saklayabilirler. Bu aşamada, tanınacak parçanın yüzey komşuluk matrisindeki komşuluk ilişki bilgileri ve nitelikleri ile bilgi tabanındaki her bir kurala ait komşuluk ilişki bilgileri ve nitelikleri geliştirilen program tarafından karşılaştırılarak parçalar tanınmaktadır. Geliştirilen program tüm kuralları teker teker değerlendirerek buradaki her bir kuralı BDT ortamında tasarlanan parçanın yüzey komşuluk ilişki matrisinde temsil edilen bilgilerle karşılaştırmaktadır. Eğer bir kurala ait bilgiler ile parçaya ait yüzey komşuluk ilişki matrisindeki bilgiler ile eşleşmez ise program o kuralı atlayarak diğer kuralın bilgileri ile karşılaştırmaktadır. Bu şekilde program bilgi tabanındaki tüm kurallara ait bilgileri değerlendirerek parçaya ait yüzey komşuluk ilişki matrisindeki bilgilere 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 IF şart kısmından başlamakta ve kuralın THEN kısmını ispatlamak için bu şartları tatmin etmeye çalışmaktadır. 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 belirterek kullanıcının parça ismini ve kural numarasını teyit etmesi beklenmektedir. Kullanıcı onayladığı takdirde program tasarlanan parçayı elde edilen parça ismi ile bilgisayarın hard diskine kaydetmektedir. Bilgi tabanında parçaya ait nitelikler kullanıcı tarafından eksik tanımlanabildiği için yüzey komşuluk ilişki matrisinden elde edilen komşuluk ilişkileri ve niteliklerin bilgi tabanından elde edilen komşuluk ilişkileri ve nitelikler ile bire bir (%100) karşılaması gerekmektedir. Şekil 10'da Şekil 9'daki M10 kelebek somunun tanıma işlemi verilmiştir.



Şekil 9. M10 kelebek somun (M10 wing nut)

**RULE 28:**

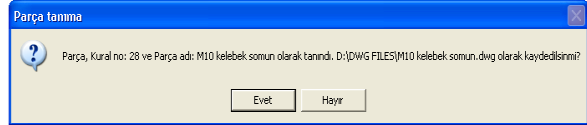
```

IF
the plane_face has neighbors plane_face, conical_face, plane_face AND
the plane_face has neighbors plane_face, plane_face, conical_face AND
the plane_face has neighbors plane_face, plane_face, plane_face, plane_face,
conical_face, cylindrical_face AND
the plane_face has neighbors plane_face, plane_face, plane_face, cylindrical_face AND
the plane_face has neighbors plane_face, conical_face, plane_face AND
the plane_face has neighbors plane_face, plane_face, conical_face AND
the plane_face has neighbors plane_face, plane_face, plane_face, cylindrical_face AND
the plane_face has neighbors plane_face, plane_face, plane_face, plane_face, plane_face,
plane_face, plane_face, plane_face, plane_face, plane_face, conical_face, conical_face,
cylindrical_face AND
the plane_face has neighbors plane_face, plane_face, plane_face, plane_face, plane_face,
plane_face, conical_face, conical_face, conical_face AND
the conical_face has neighbors plane_face, plane_face, plane_face, plane_face, plane_face,
plane_face AND
the cylindrical_face has neighbors plane_face, conical_face AND
the radius = 4.19 MM AND
the conical_face has neighbors plane_face, cylindrical_face AND
the cylindrical_face has neighbors plane_face, plane_face, plane_face, plane_face AND
the cylindrical_face has neighbors plane_face, plane_face, plane_face, plane_face
THEN
the part is a M10 kelebek_somun

```

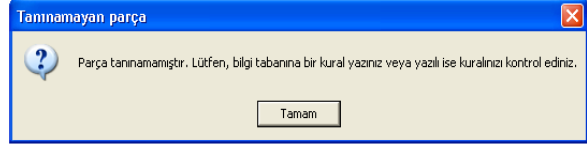
Şekil 10. M10 kelebek somunu tanıma işlemi (Recognition process of M10 wing nut)

M10 kelebek somun tanınması durumunda Şekil 11'deki mesaj kutusu ekrana gelerek kullanıcıya parça ismini ve kural numarasını kullanıcıya bildirmekte ve kullanıcı tarafından tasarlanan parçayı kaydetmek isteyip istemediğini sormaktadır. Kullanıcı bu kayıt işlemine onay verdiğinde program parçayı belirtilen yolla kayıt etmektedir.



Şekil 11. M10 kelebek somunun parça tanıma mesaj kutusu (Part recognition message box for M10 wing nut)

Parçaya ait bilgi tabanında temsil edilen kuralda bir eksiklik var veya bilgi tabanına bir kural yazılmamış ise parça program tarafından tanınamayarak "Parça tanınmamıştır. Lütfen, bilgi tabanına bir kural yazınız veya yazılı ise kuralınızı kontrol ediniz." ibaresini içeren bir mesaj kutusu ekrana gelerek kullanıcı uyarılmaktadır (Şekil 12). Kullanıcı bu mesaj kutusunu onaylayarak parçayı bilgisayara tanıtmak için gerekli düzenlemeleri yapmalıdır. Bu düzenlemeler yeterli olmuyor ise parçaya ait kural otomatik kural yazma modülü ile yazıldığında ve bilgi tabanında temsil edildiğinde parça bilgisayara tanıtılabilecektir.



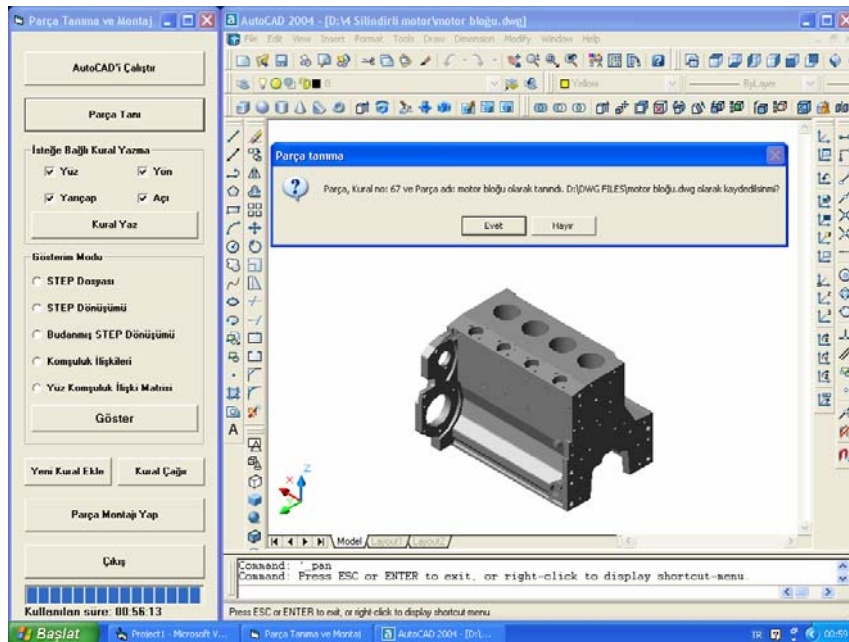
Şekil 12. Parça tanınamama durumunda gelen mesaj kutusu (Message box for unidentified parts)

Bu çalışmada ele alınan en karmaşık ve en çok yüzeyi olan parça motor bloğudur. Motor bloğunun STEP dönüşüm formatında 662 yüzeyi vardır. Program bunlardan 183 yüzey üzerinde birleştirme işlemi yapmış ve birleştirme işlemi sonucunda yüzey komşuluk ilişki matrisinde 479 yüzey temsil etmiştir. Parça tanıma programı yukarıda anlatılan işlemleri tekrar ederek motor bloğunu Şekil 13'te gösterildiği gibi 56 dakika 13 saniyede tanımıştır.

Geliştirilen parça tanıma algoritması literatürdeki çalışmalardan farklı bir yaklaşım sergilemektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar unsur tanıma ve unsurlar üzerine yoğunlaşmış olup parça tanıma üzerine yapılan çalışmalar literatürde çok kısıtlıdır. Parça tanıma ile parçanın sadece unsur bilgileri değil, aynı zamanda parçaya ait tüm geometrik, topolojik ve teknolojik bilgiler çıkarılmış ve YKİM'de temsil edilmiştir. Parçalar, sistemde global olarak tanınabildiği gibi bazı sınırlamalar uygulanarak özel olarak da tanınabilmektedir. Global tanıma daha çok topolojisi birbirinden farklı parçalara uygulanabilmektedir. Özel tanıma ise topolojisi aynı, fakat nitelikleri farklı olan parçalarda parçaları birbirinden ayırt etmek için kullanılmaktadır. Bu tanıma işleminde topoloji parçayı tanımlamak için yeterli olmadığından, topoloji ile birlikte nitelikler de kullanılmıştır. Örneğin, sistemde bir civata global tanıma ile civata olarak tanıdığı gibi çap sınırlaması uygulanarak civatanın anma çapı (M8, M10,.....MN gibi) ve aynı zamanda boy sınırlaması uygulanarak civata boyu (M8x50 mm gibi) tanınabilmektedir. Hem

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmada, BDT ortamında tasarlanan 3 boyutlu parçaların yüzey komşuluk ilişkileri ve nitelikleri tabanlı tanınması için bir yöntem geliştirilmiştir.



Şekil 13. Motor bloğunun tanınması (Recognition of cylinder block)



global hem de özel tanıma ile geliştirilen parça tanıma yaklaşımı esnek bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada ele alınan yüzey çeşitleri, silindirik, konik, düzlem, küresel, toroid, sınırlı ve b\_spline yüzeylerdir. Bu yüzeylerden oluşan basit, orta düzey ve karmaşık parçalar herhangi bir sınırlama olmaksızın geliştirilen program tarafından kolayca tanınabilmektedir. Bu nedenle parça tanıma algoritması farklı BDT/BDİ uygulamalarında kolaylıkla kullanılabilir ve farklı çalışmalara öncülük edebilecek kapasitededir. Ayrıca, parça tanıma algoritmasında kullanılan uzman sistem, günümüzde kullanılan ticari amaçla geliştirilmiş uzman sistem yazılımlarından bağımsız olup bu çalışma için yazarlar tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen uzman sistem, tanınacak yeni parçaların kurallarının bilgi tabanına ilave edilmesiyle parça tipi ve sayısı sınırlamasını ortadan kaldırmaktadır. Fakat tanınacak her bir parça için bilgi tabanında bir kural tanımlaması yapılması gerektiğinden kullanıcının parça geometrisini iyi yorumlaması gerekmektedir. Aynı zamanda uzman sistemle tanınan parça sayısı arttığında, bilgi tabanı boyut olarak büyüdüğünden parça tanıma süresi artmaktadır.

Bu çalışma ile aynı zamanda literatürdeki parça tanımlama şemalarından farklı bir parça tanımlama şeması geliştirilmiştir. Yüzey komşuluk ilişki matrisi adı verilen bu kare matris parçayı hem geometrik hem de topolojik açıdan tanımlamıştır. Matriste komşuluk ilişkilerinin yanı sıra yüzeylere ait nitelikler de temsil edilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan grafik tabanlı temsiller parçadaki yüzey sayısı arttıkça grafikteki yüzey bağlanma ilişkilerini izlemek mümkün olmamakta ve grafik oldukça karmaşık hale gelmektedir. Yüzey komşuluk ilişki matrisi ile bu temsil formatı hem basitleştirilmiş hem de bilgisayar formatına uygun hale getirilmiştir.

Yaklaşımın sınırlaması, tanınacak parçadaki yüzey sayısı arttıkça hesaplama karmaşıklığından dolayı parça tanıma süresi epeyce artmaktadır. Bu da STEP dosyasının karmaşık yapısından kaynaklanmaktadır. Gelecekte bu alanda çalışma yapacak araştırmacılar tanıma için harcanan zamanın minimize ederek parça tanıma yaklaşımına ve BDT/BDİ uygulamalarına katkıda bulunabilirler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Gülesin, M., Jones, R.M., "Face oriented neighbouring graph (FONG): a part representing scheme for process planning", **Computer Integrated Manufacturing Systems**, Cilt 7, No 3, 213-218, 1994.
- Dereli, T., Filiz, İ.H., "A note on the use of STEP for interfacing design to process planning", **Computer Aided Design**, Cilt 34, 1075-1085, 2002.
- Bhandarkar, M.P., Nagi, R., "STEP-based feature extraction from STEP geometry for agile manufacturing", **Computers in Industry**, Cilt 41, 3-24, 2000.
- Han, J.H., Kang, M., Choi, H., "STEP-based feature recognition for manufacturing cost optimization", **Computer Aided Design**, Cilt 33, pp. 671-686, 2001.
- Qamhiyah, A.Z., Venter, R.D., Benhabib, B., "Geometric reasoning for the extraction of form features", **Computer Aided Design**, Cilt 28, No 1, 887-903, 1996.
- Gao, S., Shah, J.J., "Automatic recognition of interacting machining features based on minimal condition subgraph", **Computer Aided Design**, Cilt 30, No 9, 727-739, 1998.
- Falcidieno, B., Giannini, F., "Automatic recognition and representation of shape based features in a geometric modeling system", **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, Cilt 48, 93-123, 1989.
- Gavankar, P., Henderson, M.R., "Graph-based extraction of protrusions and depressions from boundary representations", **Computer Aided Design**, Cilt 22, No 7, 442-450, 1990.
- Chuang, S.H., Henderson, M.R., "Three-dimensional shape pattern recognition using vertex classification and vertex-edge graphs", **Computer Aided Design**, Cilt 22, No 6, 377-387, 1990.
- Huang, Z., Yip-Hoi, D., "High-level feature recognition using feature relationship graphs", **Computer Aided Design**, Cilt 34, 561-582, 2002.
- Pal, P., Kumar, A., "A hybrid approach for identification of 3D features from CAD database for manufacturing support", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Cilt 42, 221-228, 2002.
- Pal, P., Tigga, A.M., Kumar, A., "A strategy for machining interacting features using spatial reasoning", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Cilt 45, 269-278, 2005.
- Rezayat, M., "Midsurface abstraction from 3D solid models: general theory and applications", **Computer Aided Design**, Cilt 26, No 11, 905-915, 1996.
- Lockett, H.L., Guenov, M.D., "Graph-based feature recognition for injection moulding based on a mid-surface approach", **Computer-Aided Design**, Cilt 37, 251-262, 2005.
- Mehalawi, M., Miller, R.A., "A database system of mechanical components based on geometric and topological similarity. Part I: re+presentation", **Computer Aided Design**, Cilt 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**, Cilt 35, 95-105, 2003.

17. Candadai, A., Herrman, J.W., Minis, I., “Applications of group technology in distributed manufacturing”, **Journal of Intelligent Manufacturing**, Cilt 7, 271-291, 1996.
18. Lee, J.Y., Kim, K., “Generating alternative interpretations of machining features”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 15, 38-48, 1999.
19. Lee, J.Y., Kim, K., “A feature-based approach to extracting machining features”, **Computer Aided Design**, Cilt 30, No 13, 1019-1035, 1998.
20. Prabhu, B.S., Pande, S.S., “Intelligent interpretation of CADD drawings”, **Computers & Graphics**, Cilt 23, 25-44, 1999.
21. Prabhu, B.S., Biswas, S., Pande, S.S., “Intelligent system for extraction of product data from CADD models”, **Computers in Industry**, Cilt 44, 79-95, 2001.