

DİŞLİLERİN UZMAN SİSTEM TABANLI TANIMLANMASI VE DETAYLI BOYUTLARININ ÇIKARILMASI

Adem ÇİÇEK

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Konuralp Yerleşkesi 81620, Düzce
adecicek@yahoo.com

(Geliş/Received: 21.11.2007; Kabul/Accepted:26.05.2008)

ÖZET

Bu makalede, bir BDT sisteminde tasarlanan katı modellerden düz ve helis dişlileri tanımlamak ve detaylı boyutlarını çıkarmak için bir uzman sistem yazılımı geliştirilmiş ve dişli tanımlama sistemine entegre edilmiştir. Dişlilere ait BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) modellerinin STEP (Standard for the exchange of product data model) dosyaları tüm sisteme girdi olarak kullanılmıştır. Algoritma iki aşamada yürütülmektedir. İlk aşamada, uzman sistem için tasarlanan bir bilgi tabanında temsil edilen kurallar ve herhangi bir dişliye ait BDT modelinin STEP fiziksel dosyası muhakeme edilerek düz ve helis dişliler uzman sistem tarafından tanımlanmaktadır. İkinci aşamada, tanımlanan dişlilerin detaylı boyutları, STEP dosyasından elde edilen veri sayesinde çıkarılmaktadır. Geliştirilen yaklaşım, bu çalışmada sadece düz ve helis dişlilere uygulanmasına rağmen, farklı BDT/BDİ (Bilgisayar Destekli İmalat) uygulamaları için civata, somun, rondelâ, boru, vs. gibi farklı parça ailelerine başarı ile uygulanabilir.

Anahtar Kelimeler: Düz ve helis dişliler, uzman sistem, STEP, 3D katı model.

EXPERT SYSTEM BASED IDENTIFICATION AND EXTRACTION OF DETAILED DIMENSIONS FOR GEARS

ABSTRACT

In this paper, an expert system software has been developed and integrated to identify the spur and helical gears, and to extract their detailed dimensions from solid models designed in a CAD system. The STEP files of CAD models of gears have been used as input to the whole system. The algorithm is executed in two main stages. In the first stage, the spur and helical gears are identified by expert system by reasoning STEP physical file of CAD model belonging to any gear and rules represented in a knowledge base constructed for the expert system. In the second stage, detailed dimensions of the identified gears are extracted via data obtained from STEP file. Although the developed approach is only applied to spur and helical gears in this study, it can be successfully implemented to different part families such as bolts, nuts, washers, pipes etc. for other CAD/CAM applications.

Keywords: Spur and helical gears, expert system, STEP, 3D solid model.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

3 boyutlu BDT modellerinden geometrik, topolojik ve teknolojik bilgilerin otomatik çıkarımı BDT ve BDİ'nin entegrasyonu için çok önemli bir çalışma alanıdır. Çağdaş BDT sistemlerinin çoğu nokta, eğri, yüzey ve ilkel katılar gibi düşük düzey bilgi ile makine parçalarını temsil etmektedirler [1-4]. Fakat bazı BDT/BDİ uygulamaları, unsurlar ve teknolojik bilgi gibi yüksek düzey bilgiye ihtiyaç duymaktadır. Bunun için, çağdaş BDT sistemlerinin veri

tabanlarında temsil edilen düşük düzey bilgi çoğu BDT/BDİ uygulamaları için yeterli değildir. BDT ve BDİ arasında bir iletişim sağlamak için ara yüz programlarının geliştirilerek yüksek düzey bilginin elde edilmesi ve bu bilgilerin işlenmesi gereklidir. BDT modellerinden üretim bilgilerinin çıkarılmasında son yıllarda birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar halen devam etmektedir. Üretim faaliyetlerini desteklemek için geometrik ve topolojik bilgi yönünden BDT modellerini analiz eden ve bu modellerin işleme parametrelerini çıkaran parça

tanımlama sistemleri yeni bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tanımlama sisteminde analiz edilen parçalar montaj hattında parça yönlendirme, işlem planlama, grup teknolojisi ve takım tezgâhlarında işleme gibi çoğu BDT/BDİ uygulamaları için kullanılabilir. Bundan dolayı, parça aileleri için parça tanımlama ve detaylı parça boyutlarını çıkarma sistemi BDT/BDİ uygulamaları için yararlı olacaktır.

Gülesin [5,6] işlem planlama ve kalıplarla bağlama işlemlerini otomatikleştirmek için EPPSU isimli uzman işlem planlama sistemi geliştirmiştir. Sistem, ham parça ile başlamakta ve son parça modeline ulaşana kadar her bir yüzey ve/veya unsura operasyonlar uygulamaktadır. Her bir operasyondan sonra işlenen bölge modelden kaldırılarak yeni bir orta düzey model elde edilmektedir. Aynı zamanda, sistemde ham, son ve orta düzey modelleri temsil etmek için FONG adı verilen bir parça tanımlama şeması kullanılmıştır. Yaklaşımın sınırlaması EPPSU'nun sadece çok yüzlü prizmatik parçalar için çalışmasıdır. Mehalawi ve Miller [7,8] herhangi bir BDT sisteminde tasarlanan 3 boyutlu makine parçalarının veritabanında benzer tasarımları araştırma ve eşleştirme için bir yaklaşım sunmuşlardır. Araştırma ve eşleştirme işlemleri makine parçaları arasındaki geometrik ve topolojik benzerlik tabanlıdır ve bu parçalar arasında bir formül geliştirilerek benzerlik oranı hesaplanmıştır. Çiçek [9] BDT modellerinin yüz komşuluk ilişkileri ve niteliklerini kullanarak tanınması ve tanınan parçaların BDT ortamında otomatik montajı için yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Parça tanıma prosedürüne bir uzman sistem entegre edilmiştir ve sisteme girdi olarak STEP veri dönüşüm formatı kullanılmıştır. Sistemde, karmaşık yüzeyli parçalar kolayca tanınabilmektedir.

Prabhu ve Pande [10,11] mühendislik çizimlerinden parça bilgisinin otomatik çıkarımı için bir sistem geliştirmişlerdir. Lineer, çap, radyal ve açılı ölçülendirmeyi ifade eden ölçü setlerinin karakteristik niteliklerini çözümlmek için buluşsal bir araştırma tekniği kullanılmıştır. Metinler ise parça/unsur fonksiyonu ve işlemlerle ilişkili bilgiyi çözümlmek için doğal dil işleme teknikleri kullanarak işlenmiştir. AUTOFEAT olarak adlandırılan zeki çizim çözümleyici sadece 2 boyutlu BDT çizimleri için parça bilgisi çıkarmaktadır. Pal ve Kumar [12,13] üretimi desteklemek için BDT veritabanından 3 boyutlu unsur tanımlama için karma bir yaklaşım sunmuşlardır. Unsur tanıma yaklaşımlarında parçanın artan karmaşıklığı ile program çalışma zamanının aşırı bir şekilde artmasını önlemek için kademeli eliminasyon teknikleri kullanılmışlardır. Unsur tanıma sistemi 3 boyutlu basit ve etkileşmeyen unsurlarla sınırlandırılmıştır.

Trappey ve Lai [14] sac metal parçalar için bir parça tanımlama şeması geliştirmişlerdir. Bu temsil şemasının kullanılmasıyla, sac metal parçalar üretim sınırlamaları göz önünde bulundurularak tanımlanmaktadır. İşleme, montaj ve muayene için hazır olan bir sac metal parçayı temsil etmek için geometrik ve tolerans bilgisi unsur tanımlamasına ilave edilmiştir. Şema için veri yapısı topoloji, geometri ve tolerans bilgisi dikkate alınarak geliştirilmiştir.

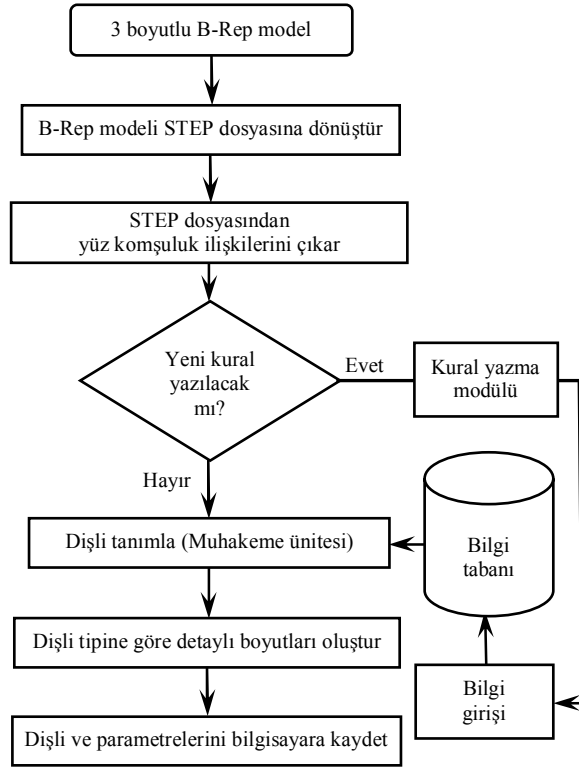
Lee ve Kim [15,16] bir unsur tabanlı tasarım modelinden işleme unsurlarını çıkarmak için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yaklaşım hem unsur tabanlı modelleme hem de unsur tanımayı destekleyen entegre bir geometrik modelleme sistemi tabanlıdır. Unsur tanıma artışlı bir unsur dönüştürücü sayesinde gerçekleştirilir. Artışlı unsur dönüştürücü sadece tasarım modeli uyumunu korumakla kalmamakta, aynı zamanda tasarım unsurlarından işleme unsurlarını da artışlı olarak çıkarmaktadır.

Bu makalede, BDT modellerinden düz ve helis dişlileri tanımlamak ve detaylı boyutlarını çıkarmak için bir algoritma sunulmuştur. Tanımlama sistemi bir uzman sistem aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Hem parça tanımlama hem de işleme parametreleri çıkarma prosedürlerine girdi olarak kullanılan geometrik ve topolojik bilgi, STEP grafik standardındaki bilgiler okunarak program tarafından otomatik elde edilmiştir. Sistemin amacı, standart parça ailelerinin detaylı boyutlarını çıkararak BDT/BDİ uygulamaları için kullanılabilir hale getirmek ve bilgi tabanında bir tek kural ile birden fazla parçanın tanımlanmasını sağlamaktır. Geliştirilen sistem düz ve helis dişli için uygulanmış olup boru, civata, somun, vb. farklı parça ailelerine kolayca adapte edilebilir niteliktedir.

2. UZMAN SİSTEM TABANLI OTOMATİK DİŞLİ TANIMLAMA (EXPERT SYSTEM BASED AUTOMATIC GEAR IDENTIFICATION)

Yapay zekânın bir kolu olan uzman sistemler, alana özgü bilgiyi kullanma ve zeki kararlar verme yeteneğine sahiptirler. Uzman sistemler, özel bir alandaki uzman bilgi gerektiren problemleri çözebilir ve bu bilgiyi belli bir biçimde temsil edip, saklayabilirler. Bunun için, bu sistemler bilgiye dayalı sistemler diye de adlandırılır. Bu çalışmada, bir uzman sistem modülü geliştirilerek dişli tanımlama sistemine entegre edilmiştir. Geliştirilen uzman sistem, bilgi tabanında temsil edilen kurallardan ibaret olan buluşsal bilgi ve BDT modelinin STEP dosyasını muhakeme ederek dişli tanımlama işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu çalışma için geliştirilen uzman sistem bir bilgi tabanı, muhakeme ünitesi ve bilgi girişi ünitesinden ibarettir. Dişli tanımlama sisteminde kullanıcı etkileşimine gidilmediğinden, sistemde kullanıcı ara yüzüne ihtiyaç duyulmamıştır. Dişli tanımlama ve işleme parametrelerini çıkarma

yaklaşımının genel akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



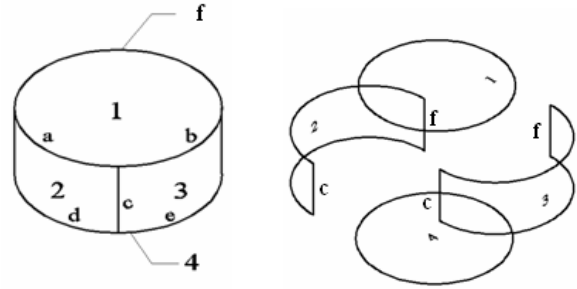
Şekil 1. Dişli tanımlama yaklaşımının akış diyagramı (Flowchart of the gear identification approach)

Sistemde ele alınan yüzey tipleri, düzlemsel, silindirik, konik, küresel, toroid, sınırlı, b_spline ve quasi_uniform yüzeylerdir. Kenar eğri tipleri ise doğru, yay, elips, sınırlı b_spline ve quasi_uniform eğrilerdir. Bu yüzey ve kenar eğrilerinden oluşan parça grupları sistemde kolayca tanımlanabilmektedir.

2.1. Yüz Komşuluk İlişkilerinin Elde Edilmesi (Obtaining of Face Adjacency Relations)

Dişli tanımlama yaklaşımı için parça üzerindeki her bir yüze ait komşu yüzeylerin, BDT modelinin STEP dosyasından çıkarılması gerekmektedir. Sistemde ilk olarak BDT modeli program tarafından bir STEP dosyasına dönüştürülmektedir. Daha sonra STEP dosyası açılarak ve STEP dosyasında temsil edilen her bir öge değerlendirilerek parçaya ait geometrik ve topolojik bilgi sorgulanmaktadır. Program, STEP dosyasındaki her bir yüzeyi ele almakta ve bu yüzeylere ait komşu yüzeyleri bulmaktadır. Komşu yüzeyleri bulmak için her bir yüzeyin kenar halkası ve kenar halkasını oluşturan kenar eğrileri STEP dosyasından çıkarılmaktadır. Bir yüzeye ait komşu yüzeyler o yüzeyin kenar halkasındaki bir kenar eğrisini kendi kenar halkasında barındırmaktadır. Bir yüzeyin kenar halkasındaki kenar eğrisini paylaşan diğer yüzeyler, o yüzeyin komşu yüzeyleridir. Buna

göre, parça üzerindeki tüm yüzeylerin kenar halkaları sorgulanmakta ve kenar eğrilerini paylaşan komşu yüzeyler çıkarılarak düzenli bir formatta saklanmaktadır. Dişli tanımlama sistemi STEP dosyasından elde edilen komşu yüzeyler ve bilgi tabanında temsil edilen kurallar sayesinde yürütülmektedir. Komşu yüzeyleri bulma işlemi için verilen basit bir örnek parça ve parçanın STEP dosyasında temsil edilen yüzeyleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



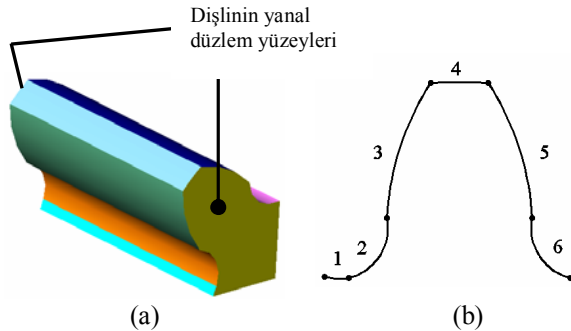
Şekil 2. Ortak kenarları paylaşan yüzeyler ve kenar halkaları (Surfaces with shared edges and their edge loops)

Örnek parçanın dört tane yüzeyi (2, 3 numaralı silindirik ve 1, 4 numaralı düzlemsel yüzeyleri), altı tane ise kenarı (a, b, d, e yayları ve c, f doğruları) vardır. Şekilden de görüleceği gibi STEP formatında silindirik yüzeyler bir kenar halkası oluşturmak için iki simetrik silindirik yüzeyle (2 ve 3. yüzeyler), aynı zamanda bir çember ise iki simetrik yay (a,b ve d,e yayları) ile temsil edilmektedir. İki yüzey tarafından kullanılan ortak kenar, bir adet olup iki yüzeyin kenar halkasında aynı kenar temsil edilmektedir. 1. yüzeyin komşu yüzeylerini elde etmek için, program 1. yüzeyin kenar halkasını sorgulamış ve bu yüzeyin kenar halkası için a ve b yaylarını bulmuştur. Daha sonra kenar halkası içerisinde a ve b yaylarını kapsayan diğer yüzeyleri sırasıyla 2 ve 3. yüzeyler olarak tespit etmiştir. Bundan dolayı, 2 ve 3. yüzeyler 1. yüzeyin komşu yüzeyleri olarak saklanmıştır. Aynı şekilde program bu prosedürü 2, 3 ve 4. yüzeylere uygulamıştır. Bunun sonucunda, 2. yüzeyin komşu yüzeylerini 1, 3, ve 4. yüzeyler, 3. yüzeyin komşu yüzeylerini 1, 2, ve 4. yüzeyler ve 4. yüzeyin komşu yüzeylerini ise 2 ve 3. yüzeyler olarak tespit etmiş ve elde ettiği komşuluk ilişkilerini parça tanımlama sisteminde kullanılmak üzere düzenli bir formatta saklamıştır.

2.2. Bilgi Tabanı (Knowledge Base)

İlgili alanla özel tecrübeye dayalı bilgilerin saklandığı veri tabanına bilgi tabanı denir. Bilgi tabanı kural ve olguların meydana gelir. Olgular, nesnelere arasındaki ilişki, sınıflandırma ve açıklamalardan ibarettir. Kurallar ise problem alanı ile ilgili kavramlar arasındaki mantıksal ilişkileri tanımlar.

Geliştirilen yazılımda bir uzman sistem yaklaşımı kullanıldığından, Windows tabanlı bir yazım editörü kullanılarak bir bilgi tabanı oluşturulmuştur. Uzman sistemde değerlendirilecek her bir parça ailesi için bilgi tabanına bir kural yazılması yeterli olmuştur. Farklı sayıdaki dişleri olan bütün düz veya helisel dişli ailelerini tanımlamak için bilgi tabanına bir kural yazılmaktadır. Kuralı tanımlanacak parça ailesinin ortak geometri ve topolojisini kapsayan özellikleri (yüz komşuluk ilişkileri) bilgi tabanına yazılmalıdır. Her bir dişli ailesinin kurallarında temsil edilecek ortak özelliği olarak bir diş modelinin geometri ve topolojisi olduğu kabul edilmiştir. Çünkü bir diş modelinin geometri ve topolojisi her bir dişli tipi için standardize edilmiştir. Bu standart geometri ve topolojiyi kullanarak farklı diş sayılarına sahip olan düz ve helisel dişli aileleri sistemde bir kural ile tanımlanabilmektedir. Düz dişli ailesi için bir diş modelinin silindirik yüzeylerin bilgi tabanında tanımlanması gerekmektedir. Herhangi bir dişlideki diş sayısı arttıkça, iki yanal düzlemsel yüzeyin topolojik yapısı diş sayısına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3a ve b'de gösterildiği gibi bir diş modeli üzerinde altı silindirik yüzey vardır.



Şekil 3. a) Düz dişlinin iki yanal düzlemsel yüzeyi b) Standart diş modelindeki 6 silindirik yüzey (a) Two lateral planar surfaces of the spur gear b) Six cylindrical surfaces on a standard tooth model)

Altı silindirik yüzeydeki topoloji tüm düz dişliler için geçerlidir. Örneğin, bir dişlinin diş sayısı 12 ise, iki yanal yüzeye bağlanan komşu silindirik yüzeylerin sayısı 72 olacaktır (12x6). Bundan dolayı, bilgi tabanında bir kural tanımlanırken, herhangi bir dişlinin iki yanal yüzeyin yüz komşuluk ilişkileri dikkate alınmamaktadır. Sadece, bir diş modelini oluşturan silindirik yüzeylerin yüz komşuluk ilişkilerinin kuralda tanımlanması tüm düz dişli ailesinin tanımlanması için yeterlidir. Her bir dişlinin diş modeli için bilgi tabanına yazılan kural formatı aşağıda verilmiştir.

“RULE” kural numarası:

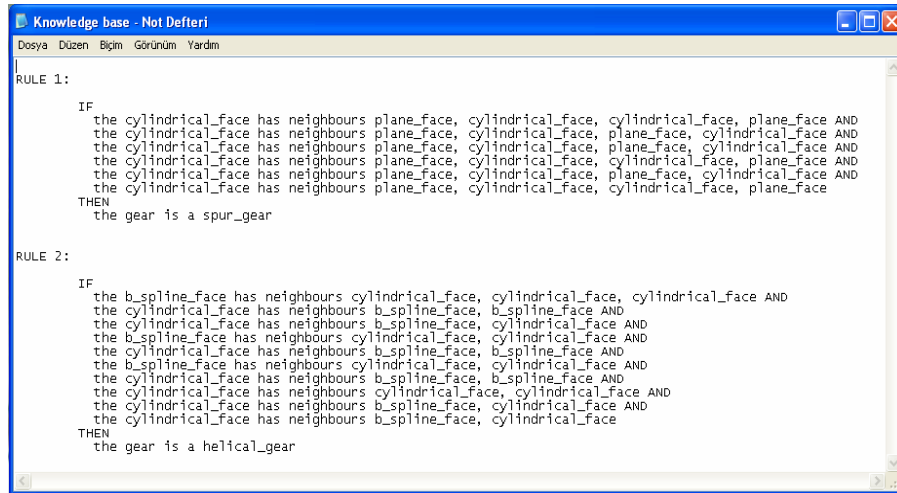
“IF”

“the” + yüzey tipi + “has neighbour” or “neighbours” + komşu yüzey 1, komşu yüzey 2, komşu yüzey 3 komşu yüzey N “AND”

“THEN”

“the”+“part” or “gear”+“ is” + “a” or “an” + parça ismi

Bu formata göre, bir diş modeli, kuralın IF bölümünde yüz komşuluk ilişkileri ile tanımlanmaktadır. Bir yüzeyin komşuluk ilişkileri tanımlanırken, yüzey ve yüzeyin komşu yüzeyleri yukarıda tanımlanan formata göre yazılmaktadır. Bir düz dişlinin bir diş modelini oluşturan silindirik yüzeyler Şekil 3a'da farklı renklerde gösterilmiştir. Şekil 3b'de ise 6 silindirik yüzey iki boyutlu görünümde gösterilmiştir. Sistemde tanımlanabilen helisel dişli için aynı prosedürler uygulanmaktadır. Helisel dişlinin bir diş modeli, silindirik ve b-spline yüzeylerin kompozisyonundan oluşmaktadır. Bu yüzeylerden oluşan diş modeli bilgi tabanında tanımlandığında farklı diş sayılarında modellenmiş helisel dişli ailesi sistemde kolayca tanımlanabilmektedir. Düz ve helisel dişliler için tasarlanan bilgi tabanının bir görünümü ve bilgi tabanında tanımlanan kurallar Şekil 4'te gösterilmiştir. İki dişli ailesi için bilgi tabanında sadece iki kural tanımlanmıştır. Fakat farklı diş sayılarına (10, 12, ..., N) sahip olan tüm düz ve helisel dişliler herhangi bir



Şekil 4. Bilgi tabanının ekran görünümü (A screen view of the knowledge base)

sınırlama olmaksızın geliştirilen uzman sistem tarafından tanımlanabilmektedir.

2.3. Muhakeme Ünitesi (Inference Engine)

Muhakeme ünitesi, kuralları ve olguları okuyarak ne demek istediklerini anlar ve muhakeme fonksiyonunu icra eder. Geliştirilen sistemde, BDT ortamında tasarlanan dişlilerin dişli tipine muhakeme ünitesinde karar verilmektedir. Program herhangi bir dişlinin STEP dosyasını AutoCAD programı yardımıyla otomatik oluşturduktan sonra STEP dosyasını okur ve STEP dosyasındaki geometrik ve topolojik öğeleri değerlendirerek her bir yüzeyin yüz komşuluk ilişkilerini çıkarır ve bilgi tabanındaki kuralların temsil edildiği formatta çıkarılan bilgileri saklar. Daha sonra, program STEP dosyasından elde edilen bilgilere göre bilgi tabanını tarayarak bu bilgilere uyan kuralı araştırır. Kuralda temsil edilen komşuluk ilişkilerininin STEP dosyasından elde edilen parçaya ait yüz komşuluk ilişkilerine tamamen uyması gerekmektedir. Bu uyum sağlandığında parça tanımlanır [9, 17]. Eğer bir kuralda temsil edilen komşuluk ilişkileri dişliye ait STEP dosyasından elde edilen komşuluk ilişkileri ile eşleşmez ise program o kuralı atlayarak diğer kuralın komşuluk ilişkileri ile karşılaştırmaktadır. Bu şekilde program bilgi tabanındaki tüm kurallardaki komşuluk ilişkilerini değerlendirerek parçaya ait parça tanıma formatına uygun kuralı tespit eder ve dişli tanımlanır. Bu şekilde program kullanıcı tarafından BDT ortamında tasarlanmış her bir parça ailesi için bilgi tabanında her bir kuralı taramaktadır.

Bu çalışmada tanımlama işlemi sadece düz ve helisel dişliler için uygulanmıştır. Fakat yaklaşım standart parça aileleri için uygulanabilir niteliktedir. Düz ve helisel dişliler için STEP dosyasından çıkarılan ve hesaplanan bilgiler farklı olduğundan Visual BASIC 6.0 programlama dilinde hazırlanmış olan program formu tanımlanan dişli tipine göre iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Örneğin, dişli tipi düz dişli ise Şekil 8'deki form, dişli tipi helisel dişli ise Şekil 11'deki form ekrana gelerek dişli tipini ve detaylı dişli boyutlarını ekrana getirmektedir. Dişli tiplerinin tanımlanmasında muhakeme metotlarından olan ileriye zincirleme metodu kullanılmıştır. Yani, İleriye zincirleme, eldeki bilgilerle başlar ve bir çözüm amacına ulaştıran çözüm yolunu bulmaya çalışır. İleriye zincirleme bir kuralın EĞER (IF) şart kısmından başlar ve kuralın ÖYLEYSE (THEN) kısmını ispatlamak için bu şartları tatmin etmeye çalışır.

3. DIŞLİLER İÇİN DETAYLI BOYUTLARIN ÇIKARILMASI (EXTRACTING OF DETAILED DIMENSIONS FOR GEARS)

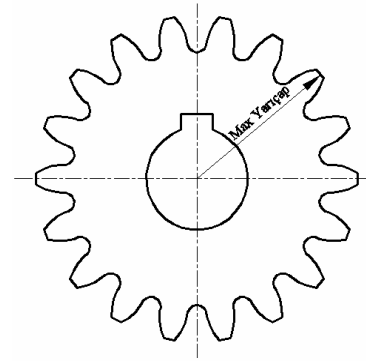
Sistemde ele alınan dişli tipleri için detaylı boyutlar, temel ve hesaplanan boyutlar olmak üzere iki alt bölüme ayrılmıştır. Temel boyutlar dişli tipine göre dişli modelinin STEP dosyasından elde edilen boyutlardır. Hesaplanan boyutlar ise STEP dosyasından elde edilen temel boyutlar kullanılarak dişli formülleri ile hesaplanabilen boyutlardır. Hem düz hem de helisel dişli için hesaplanan boyutları elde etmek için kullanılan denklemler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hesaplama boyutları için denklemler (Equations for calculating the dimensions)

<i>Düz dişli</i>	<i>Helisel dişli</i>
Modül (m) = $D_a / (z+2)$	Modül (m_n) = $D_a / ((Z/\cos\beta)+2)$
Adım (t) = $m \times \pi$	Adım (t_n) = $m_n \times \pi$
Bölüm dairesi çapı (Do) = $m \times z$	Bölüm dairesi çapı (Do) = $m_n \times Z$
Diş yüksekliği (h) = $2.167 \times m$	Diş yüksekliği (hz) = $2.167 \times m_n$
Diş dibi çapı (Df) = $D_o - 2.32 \times m$	Diş dibi çapı (Df) = $D_o - 2.32 \times m_n$

3.1. Düz Dişli için Detaylı Boyutların Çıkarılması (Extraction of Detailed Dimensions for a Spur Gear)

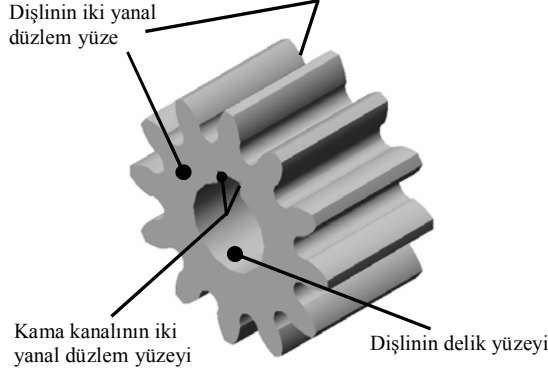
Düz ve helisel dişlilerin diş sayısı, maksimum yarıçaplı silindirik yüzeylerin STEP dosyasındaki sayısı ile edilmektedir. Diş üstü çapları ise bulunan maksimum yarıçaplı silindirik yüzeylerin çap değeridir. Şekil 5'te gösterilen düz dişli için diş üstü çapı (maksimum yarıçaplı silindirik yüzey) ve diş sayısı sırasıyla 40mm ve 18 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Düz dişlinin diş üstü çapı (Outer diameter of a spur gear)

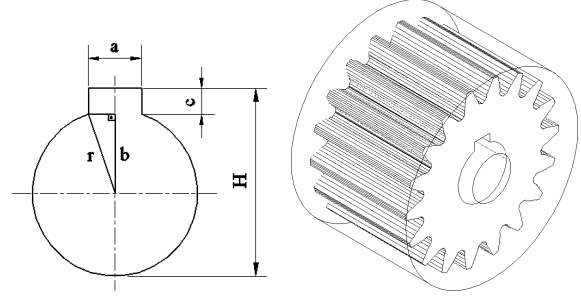
Elde edilen diş üstü çapı ve diş sayısı, hesaplanan boyutları elde etmek için girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Diğer temel boyutlar ise kama kanalı genişliği, dişli genişliği, delik çapı ve kama kanallı delik yüksekliğidir. Bu boyutları STEP dosyasından elde etmek için yüzey komşuluk ilişkileri kullanılmıştır. Örneğin, iki yanal düzlem yüzeye ve toplam dört düzlem yüzeye komşu olan silindirik yüzey, herhangi bir dişlinin delik yüzeyi olarak tanımlanır ve bu silindirik yüzeyin yarıçapı STEP

dosyasından elde edilerek dişlinin delik çapı bulunur. Dişlinin delik yüzeyi olan silindirik yüzeye komşu olan kama kanalının yanal iki düzlem yüzeyi ve dişlinin yanal iki düzlem yüzeyi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Delik çapını tanımlayan yüzeyler (The surfaces for identifying a hole radius)

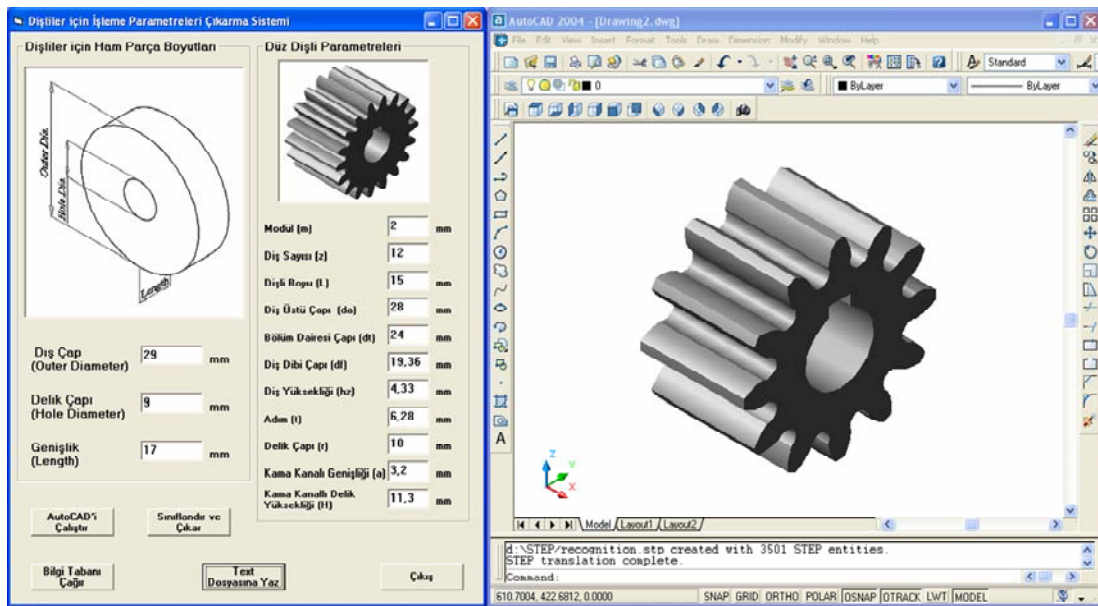
Kama kanalı genişliği ve kama kanallı delik yüksekliği parametreleri de benzer prosedürler uygulanarak elde edilmektedir. İki yanıl yüzeye ve toplam dört düzlemsel yüzeye komşu olan düzlemsel yüzeyin iki yanıl yüzeyin normaline dik olan kenarının boyu kama kanalı genişliğidir (a) ve Şekil 7 ile verilmiştir. Kama kanallı delik yüksekliği (H) ise delik yarıçapı (r), b mesafesi ve kama kanalı yüksekliğinin (c) toplanmasıyla elde edilmektedir. b mesafesi ise $b^2 = r^2 - (a/2)^2$ denklemi ile elde edilir. Dişli genişliği ise kama kanalı boyunu tayin eden doğru parçalarının uzunluğu ile tespit edilmiştir. Şekil 7'de verilen düz dişli için ham parça ve delik boyutlarının çıkarımında uygulanan işlemler helis dişliler içinde geçerlidir.



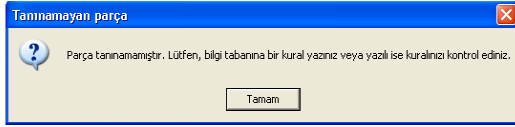
Şekil 7. Dişlinin kama kanallı delik ve ham parça boyutları (Dimensions for the gear hole, key way and blank)

Aynı zamanda üreticileri desteklemek için hem düz hem de helisel dişliler için program formunda ham parça boyutları da temsil edilmiştir. Ham parça boyutları her bir yüzeyden 1 mm işleme payı bırakılarak belirlenmiştir. Düz dişlinin ham parça boyutları, düz dişlinin tanımlanması ve detaylı boyutlarının belirlendiği program formunun ekran görünümü Şekil 8'de gösterilmiştir.

Geliştirilen program, dişliyi uzman sistem aracılığıyla değerlendirmiş ve dişlinin bir düz dişli olduğunu tespit etmiş ve bu dişlinin detaylı boyutlarını dişlinin STEP dosyasından ve hesaplama yolu ile çıkarmıştır. Düz dişli tespit edildikten sonra düz dişlinin tüm detaylı boyutları program formu ile ekrana getirilmiştir. Parçaya ait bilgi tabanında temsil edilen kuralda bir eksiklik var veya bilgi tabanına bir kural yazılmamış ise parça program tarafından tanınmayarak "Parça tanınmamıştır. Lütfen, bilgi tabanına bir kural yazınız veya yazılı ise kuralınızı kontrol ediniz." ibaresini içeren bir mesaj kutusu ekrana gelerek kullanıcı uyarılmaktadır (Şekil 9). Kullanıcı bu mesaj kutusunu onaylayarak parçayı bilgisayara tanıtmak için gerekli düzenlemeleri yapmalıdır.



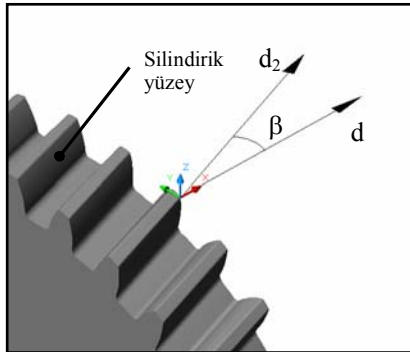
Şekil 8. Düz dişli tanımlama ve yazılımla elde edilen detaylı boyutları (Identification of spur gear and its detailed dimensions generated by the software)



Şekil 9. Tanımlanamayan parça mesaj kutusu (The message box of unidentified part)

3.2. Helis Dişli için Detaylı Boyutların Çıkarılması (Extraction of Detailed Dimensions for a Helical Gear)

Sistemde ele alınan helisel bir dişlinin STEP dosyasından elde edilen temel dişli boyutları diş üstü çapı, diş sayısı, delik çapı, dişli genişliği, kama kanalı genişliği, kama kanallı delik yüksekliği ve helis açısıdır. Helisel dişli için helis açısı dışında bütün temel parametreler düz dişlinin temel boyutların elde edilmesindeki prosedürler kullanılarak elde edilmektedir. Helisel dişli için anahtar parametreler diş üstü çapı, diş sayısı ve helis açısıdır. Diş üstü çapı STEP dosyasında temsil edilen maksimum yarıçaplı silindirik yüzeyin çapı elde edilerek bulunmakta ve diş sayısını ise bu silindirik yüzeyin sayısı vermektedir. Helis açısı bir diş modelindeki silindirik yüzey parçasının eksen yönünün temsil edildiği STEP dosyasındaki yön vektörü ve yanal düzlemsel yüzeyin yüzey normalinin yön vektörü arasındaki açı hesaplanarak bulunmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Helis açısının hesaplanması (Calculation of the helix angle)

STEP dosyasında bir yüzeyin yönelimi yüzeye ait lokal koordinat sistemi ile tanımlanmaktadır. Lokal koordinat sisteminin x ve z yönleri olmak üzere iki yönü vardır. Lokal koordinat sisteminin x ve y eksen yönleri parçanın global koordinat sistemine göre verilmiştir. Lokal z eksenine ise düzlemsel ve küresel yüzeylerin normalini, silindirik, toroid ve konik yüzeylerin eksen yönlerini göstermektedir. Burada d1 yön vektörü dişlinin yanal yüzeyinin normal yönünü ifade etmekte olup STEP formatında aşağıdaki gibi temsil edilmiştir. 6058 ise yön vektörü ögesinin, öge numarasıdır.

#6058=DIRECTION(",(1.0,0.0,0.0));

d2 yön vektörü ise diş modeli üzerindeki silindirik yüzey parçasının eksen yönünü temsil etmekte olup bu yön vektörü STEP dosyasında aşağıdaki gibi temsil edilmiştir.

#1742=DIRECTION(",(0.96126,0.06362,0.26819));

STEP dosyasından elde edilen bu iki yön vektörü kullanılarak helis dişlinin helis açısı hesaplanabilmektedir. İki yön arasındaki açı aşağıdaki denklem ile hesaplanır. Yani iki yön arasındaki açı iki yönün skaler çarpımının ark kosinüsüne eşittir.

$$\beta = \cos^{-1} [(yön1).(yön2)]$$

d1 ve d2 yön vektörleri aşağıda verilmiştir.

$$d_1 = (1.0, 0.0, 0.0)$$

$$d_2 = (0.96126, 0.06362, 0.26819)$$

Bu iki yönün skaler çarpımı yapıldıktan sonra elde edilen değer ark kosinüsü alınarak helis açısı bulunur.

$$d_1 . d_2 = (1.0, 0.0, 0.0) . (0.96126, 0.06362, 0.26819)$$

$$\beta = \cos^{-1} 0.96126$$

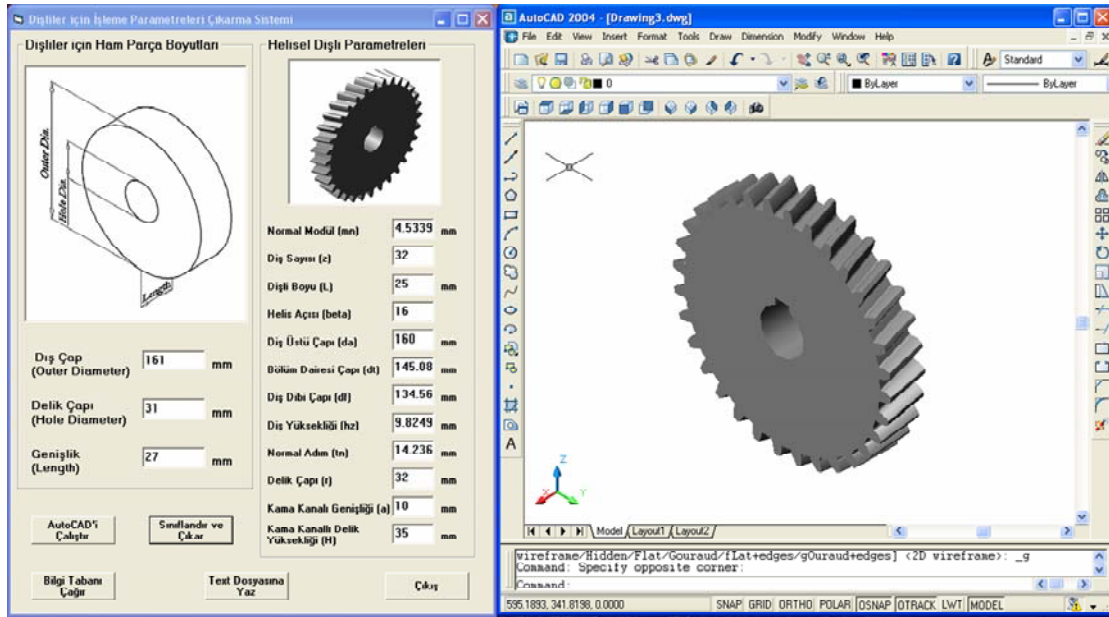
$$\beta = 16^\circ$$

Yukarıdaki hesaplamalara göre, d1 ve d2 yönleri arasındaki açı 16° olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan Tablo 1'deki denklemler ve elde edilen temel boyutlar kullanılarak diğer boyutlar çıkarılmış ve tüm detaylı boyutlar helisel dişli için geliştirilen program formunda temsil edilmiştir. Helisel bir dişlinin tanımlanması ve detaylı boyutlarının çıkarılması sonucu elde edilen program formu Şekil 11'de gösterilmiştir.

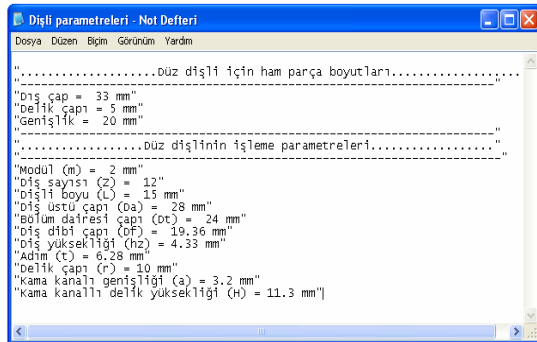
Elde edilen düz ve helisel dişliler için dişli tipi, detaylı boyutlar ve ham parça boyutları program formunda verilmiştir. Programa eklenen bir komut düğmesi ile elde edilen bu parametreler bir metin dosyasına (Not Defteri) otomatik olarak program tarafından yazılabilmektedir (Şekil 12). Yazılan bu dosya aracılığıyla, dişliler, parametrelerinin çıktısı alınarak üretim sürecine dahil edilebilirler.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu makalede, bir BDT ortamında tasarlanan düz ve helisel dişlilerin STEP dosyalarını kullanarak tanımlanması ve detaylı boyutlarının çıkarılması için yeni bir metot geliştirilmiştir. Dişli tanımlama sisteminin geliştirilmesinde, AutoCAD 2004'ün katı modelleyicisi geometrik modelleyici olarak kullanılmıştır. Sistemi oluşturmak için yazılım platformu olarak Visual BASIC 6.0 programlama dili



Şekil 11. Helis dişli tanımlama ve yazılımla elde edilen detaylı dişli boyutları (Identification of a helical gear and its detailed dimensions generated by the software)



Şekil 12. Detaylı dişli boyutlarının metin dosyasına yazdırılması (Writing of the detailed dimensions of a gear into a text file)

kullanılmıştır. Dişli tanımlama yaklaşımı için bir uzman sistem geliştirilmiştir. Uzman sistem çalışmada geliştirilmiş olup herhangi bir ticari uzman sistem yazılımı kullanılmamıştır. Aynı zamanda Windows tabanlı bir yazım editörü olan Not Defteri programı kullanılarak bir bilgi tabanı oluşturulmuş ve bilgi tabanına yazılacak kurallar için bir kural yazım formatı geliştirilmiştir. Bu kural yazım formatına göre düz ve helisel dişlileri tanımlamak için bilgi tabanına sadece iki kural yazılması yeterli olmuştur. Bu iki kural sayesinde 10, 12, 14, 16, 17, 18, 19 ...N sayıda dişli olana dişliler sistemde herhangi bir sınırlama olmaksızın tanımlanabilmektedir. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran en büyük özellik, bir parça için bir kural değil bir parça ailesi için bilgi tabanına bir kural yazılmasıdır. Bu da muhakeme süresinin azalmasına dolayısıyla parça tanımlama süresinin minimize edilmesine neden olacaktır. Aynı zamanda, çalışma ile parça ailesinin detaylı boyutları kolayca çıkarılarak üretime katkı sağlanmaktadır. 3.0 GHz bir PC üzerinde diş sayısı 18 (yüzey sayısı 114) olan bir düz dişlinin tanımlanması ve işleme parametrelerin

çıkarması için harcanan süre yaklaşık 3 dakika iken, yüzeylerin sayısı arttıkça bu süre hesapsal karmaşıklıktan dolayı oldukça artmaktadır. Örneğin, diş sayısı 32 (yüzey sayısı 518) olan bir helisel dişli tanımlanması için harcanan süre 40 dakikaya kadar çıkmaktadır. Hesaplama süresinin artmasının sebebi STEP veri dönüşüm formatının karmaşık veri yapısından ve artan yüzey sayısından kaynaklanmaktadır. Sistemde ele alınan helisel dişlinin STEP dönüşümü yapıldığında 26412 satırlı bir STEP dosyası oluşturulduğu görülmüştür.

Geliştirilen yazılım, tanımlama sistemi geliştirildiğinde ve farklı parça aileleri ilave edildiğinde, farklı üretim faaliyetlerini destekleyebilecek niteliktedir. Dolayısıyla gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalarda parça tanımlama zamanı minimize edilerek ve farklı parça ailelerinin tanımlanmasına ve detaylı boyutlarının çıkarılmasına katkıda bulunularak daha verimli bir BDT/BDİ programı ortaya çıkarılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çiçek, A., Gülesin, M., "Reconstruction of 3D models from 2D orthographic views using solid extrusion and revolution", **Journal of Materials Processing Technology**, 152, 291-298, 2004.
2. Bhandarkar, M.P., & Nagi, R., "STEP-based feature extraction from STEP geometry for agile manufacturing", **Computers in Industry**, 41, 3-24, 2000.
3. 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.

4. Rezayat, M., "Mid-surface abstraction from 3D solid models: general theory and applications", **Computer Aided Design**, 26(11), 905-915, 1996.
5. Gulesin, M., "An intelligent knowledge based process planning and fixturing system using the STEP Standard", PhD Thesis, **Coventry University**, 1993.
6. Gulesin, M., & Jones, R.M., "Face oriented neighbouring graph (FONG): a part representing scheme for process planning", **Computer Integrated Manufacturing Systems**, 7(3), 213-218, 1994.
7. 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.
8. 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.
9. Çiçek, A., "Developing of computer aided part recognition system and implementation to engine assembly", PhD Thesis, **Gazi University**, Turkey, 2005.
10. Prabhu, B.S., & Pande, S.S., "Intelligent interpretation of CADD drawings", **Computers & Graphics**, 23, 25-44, 1999.
11. Prabhu, B.S., Biswas, S., & Pande, S.S., "Intelligent system for extraction of product data from CADD models", **Computers in Industry**, 44, 79-95, 2001.
12. Pal, P., & Kumar, A., "A hybrid approach for identification of 3D features from CAD database for manufacturing support", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 42, 221-228, 2002.
13. Pal, P., Tigga, A.M., & Kumar, A., "A strategy for machining interacting features using spatial reasoning", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 45, 269-278, 2005.
14. 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(6), 393-405, 1995.
15. Lee, J.Y., & Kim, K., "Generating alternative interpretations of machining features", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 15, 38-48, 1999.
16. Lee, J.Y., & Kim, K., "A feature-based approach to extracting machining features", **Computer Aided Design**, 30(13), 1019-1035, 1998.
17. Çiçek A, & Gulesin M., "A part recognition based computer aided assembly system", **Computers in Industry**, 58(8-9), 733-746, 2007.