

UNSUR MATRİSLERİ KULLANARAK 3 BOYUTLU İŞLEME UNSURLARININ TANINMASI

Adem ÇİÇEK* ve Kubilay ASLANTAŞ**

*Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Düzce Üniversitesi

**Makine Eğitimi Bölümü Afyon, Teknik Eğitim Fakültesi, Kocatepe Üniversitesi

ademcicek@duzce.edu.tr, aslantas@aku.edu.tr

(Geliş/Received: 17.02.2009 ; Kabul/Accepted: 23.02.2009)

ÖZET

Unsur tanıma, tasarım ve imalat işlemlerini entegre etmek için ideal bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım (BDT) ve bilgisayar destekli imalat (BDİ) sistemlerinin entegrasyonu, bilgisayar bütünlüklü imalat (BBİ) sistemlerinin kurulmasında hayati önem taşımaktadır. Bu makalede BDT ve BDİ entegrasyonu için matris tabanlı bir unsur tanıma yaklaşımı geliştirilmiştir. Unsur tanıma sisteminde 3 boyutlu BDT modellerinden geometrik ve topolojik bilgi elde etmek için STEP AP-203 grafik standardı kullanılmaktadır. STEP dosyasında temsil edilen öğeler kullanılarak parça üzerindeki tüm yüzeylere ait bitişiklik ilişkileri çıkarılmakta ve parça matrisi (PAM) adı verilen bir kare matriste temsil edilmektedir. İşleme unsurları ise, bitişiklik ilişkilerine göre unsur matrisi (UM) adı verilen bir matrise kodlanmış ve veritabanına yerleştirilmiştir. Sistemde unsur matrislerine uyan unsur desenleri parça matrisi içerisinde araştırılarak işleme unsurları tanınmaktadır. Algoritma aynı zamanda etkileşen unsurlara uygulanmakta ve parça üzerindeki etkileşen unsurları tanımak için matris eşleştirme işlemini kullanmaktadır. Algoritma, düzlem yüzeyli ferdi ve etkileşen unsurlar için uygulanmış ve uygulanan unsur tipleri için başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Unsur Tanıma, STEP, Unsur Matrisleri, Matris eşleştirme işlemi.

RECOGNITION OF 3D MACHINING FEATURES USING FEATURE MATRICES

ABSTRACT

Feature recognition is regarded as an ideal solution to integrate the component design and manufacturing processes. Integration of computer aided design (CAD) and computer aided manufacturing (CAM) systems is a vital importance in the building of computer integrated manufacturing (CIM) systems. In this paper, a matrix based feature recognition approach is developed for CAD and CAM integration. In feature recognition system, STEP AP-203 graphic standard is used to obtain geometric and topological data from 3D CAD models. Adjacency relations belonging to all faces on a component are extracted by use of entities represented in the STEP file and represented in a square matrix called as component matrix. Also, machining features are coded into a matrix called feature matrix, which will be located into database. In the developed system, the machining features are recognized by retrieving feature patterns corresponding to feature matrices within the component matrix. The developed algorithm is applied to interacting features, and is used a matrix matching process to recognize the interacting features on the component. The algorithm has been implemented to individual and interacting polyhedral features. The obtained results are very efficient for the implemented feature types.

Keywords: Feature recognition, STEP, Feature matrices, Matrix matching process.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

BDT ve BDİ sistemleri, parçaların tasarım ve imalat sürelerini ve maliyetlerini iyileştirmek için endüstriyel kuruluşlar tarafından günümüzde yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır. İmalat işlemlerinde optimum düzeyde iyileştirme sağlamak için BDT ve BDİ sistemlerinin entegre edilmesi gereklidir. Çağdaş BDT sistemlerinin çoğu bir parçaya ait geometrik bilgilerin tamamını içermesine rağmen parçaları

nokta, eğri, yüzey ve katı ilkeller gibi düşük düzey bilgilerle tanımlanmaktadır. Fakat kanal, delik ve cep gibi unsurlar ve tolerans, yüzey pürüzlülüğü, sertlik malzeme gibi yüksek düzey bilgileri BDT/BDİ sistemleri sağlamamakta olup bu bilgiler BDT/BDİ uygulamaları için oldukça önem arz etmektedir. Bunun anlamı BDT sistemlerinin veritabanları BDİ sistemlerinde doğrudan kullanım için yeterli değildir. Bundan dolayı, tam anlamıyla BDT ve BDİ arasında entegrasyon sağlanamamaktadır. Entegrasyonun sağlanabilmesi için BDT ve BDİ sistemleri arasında ara yüz olarak kullanmak için ortak bir veritabanına ihtiyaç vardır. BDT ve BDİ sistemleri arasında ara yüz programları olarak, son yıllarda araştırmacılar tarafından geliştirilen farklı unsur tanıma yaklaşımları kabul edilebilir [1]. Unsurlar parçaların işlenen bölümleri olarak kabul edilerek parçalar kolayca imalata hazırlanabilmektedir. Ayrıca unsur tanıma yaklaşımlarını desteklemek ve 3 boyutlu modellerden elde edilen geometrik ve topolojik bilgileri özlü bir formatta temsil etmek için araştırmacılar parça temsil şemaları geliştirmişlerdir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan farklı temsil şemaları mevcuttur. Bunlardan en çok kabul görenlerden bazıları çizge (grafik) ve matris tabanlı temsil şemalarıdır. Matris tabanlı temsil şemalar, bilgisayar formatına uygun oldukları, ayrıştırılmaları ve analiz edilmeleri kolay oldukları için araştırmacılar bu parça temsil şemaları üzerinde yoğunlaşmışlardır [2,3].

Dereli ve Filiz [4] 3 boyutlu parçalar üzerindeki unsurları tanımak için bir unsur tanıma sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin önemli karakteristiklerinden iki tanesi, parçanın bitişiklik ilişkileri tabanlı olması ve girdi olarak modelin STEP bilgisini kullanmasıdır. Sistem, prizmatik parçalar için bir işlem planlama sistemine entegre edilmiştir. Unsur çıkarma için bu çalışmada kullanılan metot, içbükeylik tabanlıdır. Metot, kenarların içbükey ayrıştırılması prensibini benimsemiştir. Joshi ve Chang [5] grafik tabanlı bir unsur tanıma algoritması geliştirmişlerdir. Bir parçadaki unsurları, parçayı temsil eden bitişiklik grafiğinin alt grafikleri olarak kabul etmişlerdir. Türetilen grafiğin alt grafikleri, unsur tanıyıcı tarafından analiz edilmiş ve alt grafiklere uyan unsurlar çıkarılmıştır. Unsur tanıma yaklaşımı cep, kanal, kör kanal ve polihedral delikler gibi unsurlar ile sınırlandırılmıştır. Gao ve Shah [6] B-rep 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 entegre etmesinden dolayı karma bir

yaklaşımdır. Önce ferdi unsurlar üretim yüz bitişiklik grafiği tabanlı olarak tanınmaktadır. Etkileşen unsurlar ise bir unsur işareti olarak kullanılan unsurun minimal şart alt grafiği tabanlı olarak tanınmaktadır. Locket ve Guenov [7] 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 düzeyde karmaşık olan topoloji ve geometriyi ve kalıp unsurlarını tanıma metodolojisini temsil etmek için nitelendirilmiş bir orta yüzey bitişiklik grafiğini geliştirmesidir. Lee ve Kim [8,9] 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 gerçekleştirilmektedir. Artışlı unsur dönüştürücü, sadece tasarım modeli uyumunu korumakla kalmamakta, aynı zamanda tasarım unsurlarından işleme unsurlarını da artışlı olarak çıkarmaktadır. Woo [10–11] unsur tanıma metodu olarak, hacim ayrıştırma metodunu benimsemiştir. Metot, parçayı işlemek için ham parçadan kaldırılan hacimleri ayrıştırarak büyük hacimler olarak adlandırılan büyük ve basit hacimlere ayrıştırmış ve bu hacimleri büyük unsurlara dönüştürmüştür. Xu ve Hinduja [12–13] algoritmalarında orta düzeyde karmaşık bir iş parçasındaki unsurları tanımak için iki metot kullanmışlardır. İlk metot, denkliğin üç fiziksel durumu (sabit, tarafsız ve değişken) tabanlı olduğundan denklik metodu olarak isimlendirilmiştir. Bu metot iç halkalardan meydana gelen unsurları tanımaktadır. Sistemde dışbükey bir iç halkanın varlığı bir unsurun varlığının göstergesi olarak kabul edilmiştir. İkinci metot olan içbükeylik metodu ise, topolojik öğelerin içbükeylik özellikleri tabanlıdır ve iş parçası üzerindeki yüzey unsurlarını algılamaktadır. İş parçası üzerindeki yüzey kenarlarından biri içbükey ise bu durum bir yüzey unsurunun varlığını göstermektedir. Rameshbabu ve Shunmugam [14] sistem için girdi dosya olarak STEP AP-203 formatını kullanarak kurgu planlama için karma bir unsur tanıma sistemi geliştirmişlerdir. Mevcut unsur tanıma algoritmasında hacim çıkarma ve çizge teorisi kullanılmıştır. Unsur tanıma ve kurgu planlama modülleri için öne sürülen metodolojiler, çeşitli unsurları içinde barındıran farklı parçalar ile test edilmiştir. Bir unsurun çizge temsili unsur temsil karmaşıklığını önemli ölçüde azalttığı için bir unsur hacmindeki yüzeylerin sayısı azaltılarak basitleştirilmiştir. Bu da aynı topolojiye sahip olan unsurların gruplandırılmasını sağlamakta ve böylece çok çeşitli unsurlar teşhis edilebilmektedir. Bu işlem sayesinde aynı zamanda basit çizge temsillerle etkileşen unsurlar

tanınabilmektedir. Sunil ve Pande [15] STL formatında temsil edilen sac metal parçaların serbest yüzeyli BDT modellerinden unsurların otomatik tanınması için bir sistem tasarımı ve uygulaması sunmuşlardır. Geliştirilen metodolojinin STL model ön işleme, alanlara bölme ve otomatik unsur tanıma olmak üzere başlıca üç aşaması vardır. Girdi BDT modeli, STL model ile zenginleştirilmiş bir topoloji elde etmek için bir ön işleme tabi tutulmuştur. Hem kenar hem de alan bazlı yaklaşımlar dikkate alınarak yeni bir karma alan bölme algoritması, ön işleme tabi tutulan STL modelini anlamlı alanlara bölmek için geliştirilmiştir. Serbest şekilli yüzeyler üzerindeki unsur, belirli bir geometri ve topolojiye sahip olan birbirine bağlanmış anlamlı bölgelerin bir seti olarak tanımlanmaktadır.

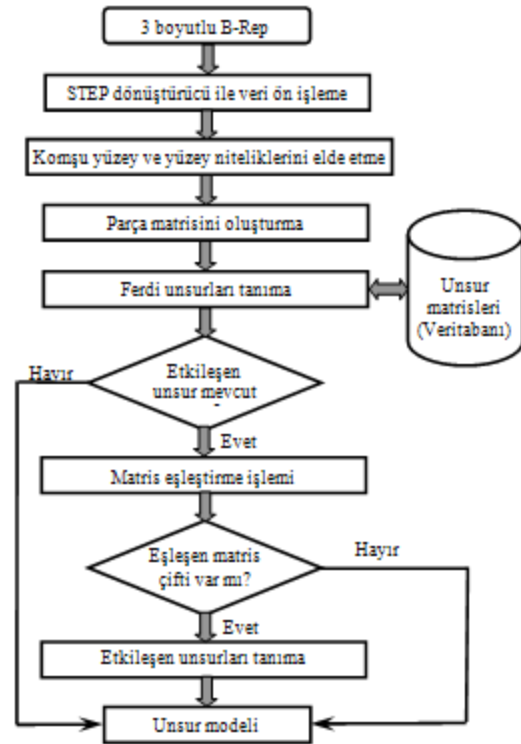
Unsur tanıma BDT ve BDI'nin entegrasyonu için oldukça önem arz eden popüler bir çalışma alanıdır. Yapılan çalışmalar neticesinde basit ve orta düzeyde karmaşık unsurların tanınmasında esnek çözümler geliştirilmiş fakat karmaşık ve etkileşen unsurlar için esnek çözümlere ulaşılamamıştır. Bundan dolayı unsur tanıma sistemlerinin hala geliştirilmeye ihtiyacı vardır.

Bu çalışmada BDT ve BDI'nin entegrasyonuna katkı sağlamak ve unsur tanıma işlemlerini basitleştirmek için veritabanında önceden tanımlanmış parça ve unsur matrislerini kullanarak ferdi ve etkileşen unsurların tanınması için bir algoritma geliştirilmiştir. İşleme unsurlarının matrisleri bitişiklik ilişkilerine göre çıkarılarak veritabanına yerleştirilmektedir. BDT ortamında oluşturulmuş katı modelin STEP AP 203 fiziksel dosyası dönüşümü yapılmakta ve modelin yüz komşuluk ilişkilerini kullanarak yüzey sayısı orantılı olarak daralabilen ve genişleyebilen kare matris olan bir matris oluşturulmaktadır. Daha sonra veritabanındaki unsur matrisleri BDT modelinden oluşturulan parça matrisi üzerinde aranmaktadır. Eğer unsur matris desenleri parça matrisi üzerinde algılanırsa, ferdi unsurlar tanınmaktadır. Etkileşen unsurları tanımak için matris eşleştirme yöntemi kullanılmıştır. Matris eşleştirme ile birden fazla ferdi unsurun bir etkileşen unsuru oluşturup oluşturmadığı araştırılmaktadır. Unsur tanıma yaklaşımının akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.

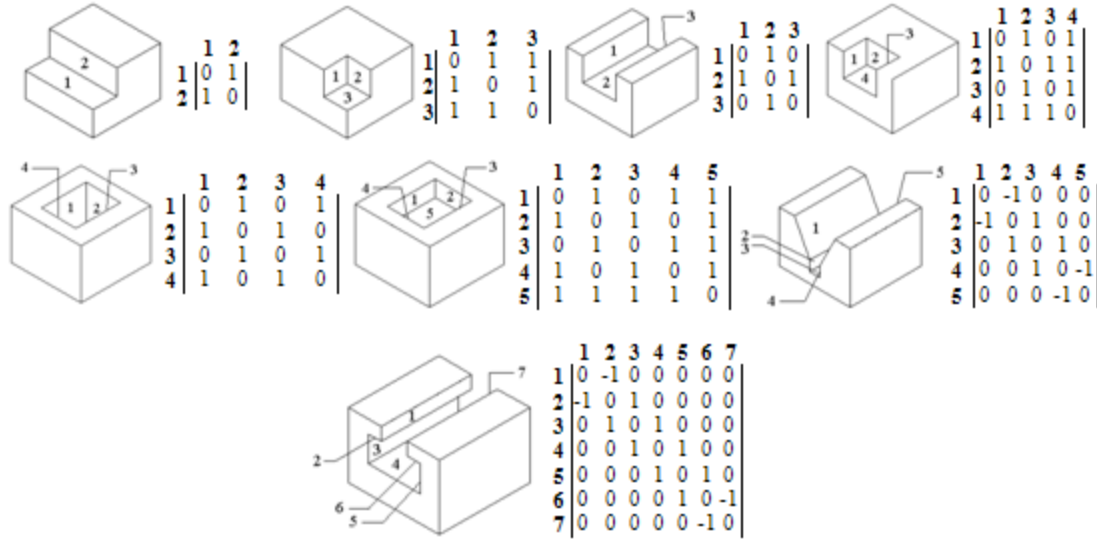
2. UNSUR MATRİSLERİNİ YAPILANDIRMA (CONSTRUCTION OF FEATURE MATRICES)

Bu çalışmada unsurları temsil etmek için, unsur matrisi olarak adlandırılan bir kare matris kullanılmıştır. Unsur matrislerindeki sütun ve satırların sayısını, unsur geometrisini biçimlendiren yüzeylerin sayısı belirlemektedir. Örneğin, bir unsuru

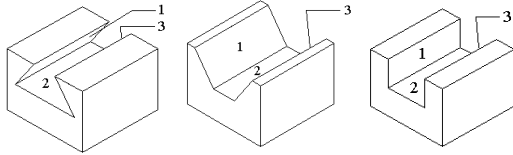
biçimlendiren yüzeylerin sayısı beş ise o unsurun unsur matrisi 5x5 kare matristir. Unsur matrisi parça üzerinde modellenen işleme unsurunu hem topolojik hem de geometrik yönden temsil etmektedir. Topoloji parça üzerindeki unsurları biçimlendiren yüzeylerin bitişiklik ilişkilerini tanımlamaktadır. Sistemde bitişiklik ilişkileri içbükey, dışbükey, bitişik değil olmak üzere üç grupta ele alınmıştır. Eğer iki yüzey arasındaki açı 180°den büyük ise, bu iki yüzey dışbükey bir açı meydana getirmiştir. Eğer iki yüzey arasındaki açı 180°den küçük, ise bu iki yüzey içbükey bir açı meydana getirmiştir. Eğer iki yüzey arasında bir bitişiklik ilişkisi yok ise, bu iki yüzey "bitişik değil"dir. Bu bitişiklik ilişkileri unsur matrisinde rakamlarla temsil edilmiştir. Unsur üzerinde bitişik olan iki yüzeyin bitişiklik ilişkisi dışbükey ise, unsur matrisinde iki yüzeyin temsil edildiği hücreye "-1" değeri yerleştirilmektedir. Unsur üzerinde bitişik olan iki yüzeyin bitişiklik ilişkisi içbükey ise, unsur matrisinde iki yüzeyin temsil edildiği hücreye "1" değeri yerleştirilmektedir. İki yüzey arasında bitişiklik ilişkisi yok ise, unsur matrisinde iki yüzeyin temsil edildiği hücreye "0" değeri yerleştirilmektedir. Bu şekilde unsuru biçimlendiren yüzeyler ve bu yüzeyler arasındaki bitişiklik ilişkileri unsur matrisinde temsil edilerek matris yapısı oluşturulmaktadır. Şekil 2'de sistemde ele alınan farklı unsurların yüzeyleri numaralandırılmış ve unsur matrisleri yüzey numaralarına göre yapılandırılmıştır.



Şekil 1. Unsur tanıma yaklaşımının akış diyagramı
(The flowchart of feature recognition approach)



Şekil 2. Unsur matrisi örnekleri (Samples of feature matrices)



Şekil 3. Matrisleri aynı olan unsur örnekleri (Feature samples with same matrices)

Bazı durumlarda farklı tipteki unsurların unsur matrisleri aynı olabilir. Örneğin Şekil 3'teki farklı tipteki kanalların unsur matrisleri (dik duvarlı kanal, kırlangıçkuyruğu kanal ve geniş açılı kanal gibi) birbiri ile aynıdır. Fakat unsur tipleri birbirinden farklıdır. Bu durumda bu kanalları oluşturan taban ve duvar yüzeyleri arasındaki açı bu kanal tiplerinin özdeş matrislerini birbirinden farklılaştırmaktadır. Bundan dolayı bu açı değerleri, matrisin ilgili yüzeylerini temsil eden hücredeki rakama nitelik değeri olarak iliştilmektedir.

3. PARÇA MATRİSİNİ YAPILANDIRMA (CONSTRUCTION OF A COMPONENT MATRIX)

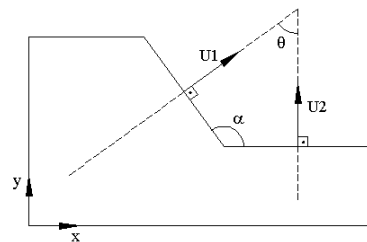
Sistemde parça matrisini yapılandırmak için öncelikle BDT ortamında tasarlanan katı model, STEP veri dönüşüm formatına dönüştürülmektedir. Oluşturulan STEP dosyasındaki öğeler kullanılarak katı model, kare matris formatında temsil edilen parça matrisi oluşturulur. Parça matrisi katı model üzerinde bulunan yüzeylerin sayısına göre boyutlandırılır ve her yüzeye bir yüzey numarası verilir. Verilen bu yüzey numaraları matriste yukarıdan aşağıya doğru ve soldan sağa doğru olmak üzere sırası ile yerleştirilmektedir. Parça matrisini yapılandırmak için parçayı biçimlendiren her bir yüzey ve bu yüzeye ait kenar halkası STEP dosyasından elde edilir. İki bitişik yüzey ortak bir kenarı paylaştığından dolayı her bir yüzeye ait komşu yüzeyler, yüzeyin kenar halkasındaki kenar eğrileri sayesinde elde edilmektedir. Bu şekilde parça üzerinde bütün yüzeylere ait komşuluk ilişkileri çıkarılır. Daha sonra bu komşu yüzeylerin

içbükeylik, dışbükeylik ve komşuluk ilişkisi sorgulanır. Parça matrisi bu bilgiler vasıtasıyla Bölüm 2'de anlatıldığı gibi yapılandırılmaktadır. İki yüzey arasında içbükey bir açı varsa, "1" değeri matriste ilgili hücreye yerleştirilir. İki yüzey arasında dışbükey bir açı varsa, "-1" değeri matriste ilgili hücreye yerleştirilir. İki yüzey arasında komşuluk ilişkisi yok ise "0" değeri matriste ilgili hücreye yerleştirilir. Matriste her bir içbükey açığı temsil eden rakamlar bir unsurun yüzeyleri arasındaki açığı temsil ettiğinden bu rakamlara içbükey açının açı değeri iliştilir. Sistemde iki yüzey arasındaki açı değerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

İki yüzey arasındaki açının hesaplanması STEP dosyasında temsil edilen yüzeylerin yön vektörleri arasındaki açı tabanlıdır (Şekil 4). STEP dosyasında her bir yüzey birim vektör olan bir yön vektörü ile temsil edilmektedir. Yüzeyler üzerindeki her bir birim (U) vektörünün üç elemanı vardır, $U = [U_x, U_y, U_z]$. İki birim vektör (U1 ve U2) arasındaki θ açısı, aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{U1 \cdot U2}{|U1||U2|} \quad (1)$$

Burada, $|U1|$ ve $|U2|$ sırasıyla U1 ve U2 vektörlerinin büyüklükleridir. İki yüzey arasındaki açı (α) aşağıda verilen formül ile hesaplanabilir:



Şekil 4. Yüzeyler arasındaki açının hesaplanması (Calculation of the angle between surfaces)

$$\alpha + \theta = 180^\circ \tag{2}$$

$$\alpha = 180^\circ - \theta \tag{3}$$

Örneğin, birim vektörlerin (U1, U2) aşağıdaki gibi verildiğini varsayalım:

$$U1 = [0.866, 0.5, 0]$$

$$U2 = [0, 1, 0]$$

İki vektörün skaler çarpımı aşağıdaki gibidir:

$$U1.U2 = [0.866, 0.5, 0][0, 1, 0]$$

$$U1.U2 = 0.5$$

(1) numaralı formülü kullanarak θ elde edilebilir:

$$\theta = \cos^{-1} 0.5$$

$$\theta = 60^\circ$$

(3) numaralı formülde θ yerine konularak iki yüzey arasındaki açı bulunabilir:

$$\alpha = 180 - 60$$

$$\alpha = 120^\circ [16]$$

Elde edilen komşu içbükey yüzeylerin açı değerleri matriste ilgili rakamlara iliştilerle temsil edilmektedir. Bu şekilde farklı unsurların aynı olan matrisleri birbirinden ayrıştırılır (Örneğin, kanal, kırilangıç-kuyruğu kanal ve geniş açılı kanal gibi). Aynı zamanda bazı yüzey nitelikleri de ilgili rakamlara iliştiler. Bu nitelikler etkileşen unsurların tanınmasında kullanılan matris eşleştirme işlemi için gereklidir. Bu nitelikler iki yüzey arasındaki açı ve unsurun içbükey kenarını temsil eden doğru parçasının yönelimidir (Şekil 5).

4. FERDİ UNSURLARI TANIMA (RECOGNITION OF INDIVIDUAL FEATURES)

Ferdi unsurlar parça matrisi üzerinde veritabanında önceden tanımlanan unsur matris desenlerinin taranması ile tanınmaktadır. Parça matrisi Bölüm 3'te açıklandığı gibi yapılandırıldıktan sonra maksimum satır ve sütuna sahip olan unsur matrisi veritabanından çağrılarak unsur matrisinin deseni parça matrisi

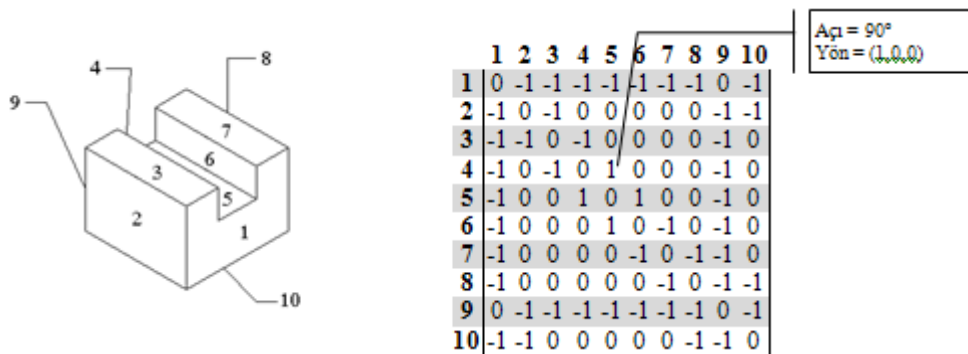
üzerinde aranmaktadır. Unsur matrisinin deseni parça matrisi üzerinde bulunursa, unsur tanımlanır. Eğer unsur matrisi parça matrisi üzerinde bulunamazsa, veritabanındaki diğer maksimum satır ve sütuna sahip olan unsur matrisi çağrılarak bu matris parça matrisi üzerinde aranır. Bu şekilde, veri tabanındaki maksimum satır ve sütuna sahip olan unsur matrisinden minimum satır ve sütuna sahip olan unsur matrisine kadar bütün unsur matrisleri parça matrisinde taranarak parça matrisinde temsil edilen ferdi unsurlar tanınır. Sistemde unsur matrisi, parça matrisi üzerinde aranırken her iki matristeki iç bükey kenarlar eşleştirilir. Çünkü parça üzerindeki her bir içbükey kenar bir işleme unsurunu göstermektedir. İçbükey kenarlar mevcut ise, hem parça hem de unsur matrisindeki ilk içbükey kenarlar eşleştirilir. Daha sonra parça ve unsur matrisi ilk içbükey kenardan başlayarak sola, sağa, yukarıya ve aşağıya eş zamanlı olarak taranır ve unsur matrisindeki tüm hücrelerde temsil edilen desen parça matrisinin bir bölümünün deseni ile eşleştirildiğinde unsur tanınmaktadır. Örnek parça 2, parça matrisi ve örnek parça 2'nin unsurlarına uyan veritabanındaki unsur matrisleri Şekil 6'da verilmiştir.

Parça matrisi, ilk satırından başlanarak unsur matrisine göre taranmaktadır. İçbükey açığı (içbükey kenar) temsil eden "1" rakamını parça matrisinin her bir hücresinde aranmaktadır. UMI_1 'e göre,

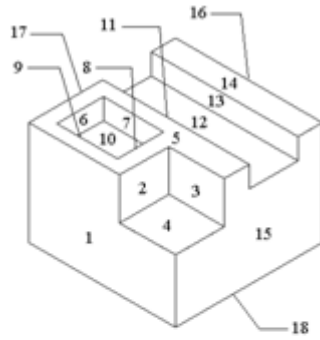
UMI_1 'in üç adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($UMI_{1,2}, UMI_{1,4}, UMI_{1,5}$), UMI_2 'nin üç adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($UMI_{2,1}, UMI_{2,3}, UMI_{2,5}$), UMI_3 'ün üç adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($UMI_{3,2}, UMI_{3,4}, UMI_{3,5}$), UMI_4 'ün üç adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($UMI_{4,1}, UMI_{4,3}, UMI_{4,5}$), UMI_5 'in dört adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($UMI_{5,1}, UMI_{5,2}, UMI_{5,3}, UMI_{5,4}$).

Fakat

PAM_2 'nin iki adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($PAM_{2,3}, PAM_{2,4}$), PAM_3 'ün iki adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($PAM_{3,2}, PAM_{3,4}$).



Şekil 5. Örnek parça ve parça matrisi (Sample component and its component matrix)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1
2	-1	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
4	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
5	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0	-1	0	-1	0
6	0	0	0	0	-1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	-1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	-1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	-1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	-1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	-1	0	-1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1	0	-1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1
15	-1	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1
17	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1
18	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1

	1	2	3	4	5
1	0	1	0	1	1
2	1	0	1	0	1
3	0	1	0	1	1
4	1	0	1	0	1
5	1	1	1	1	0

UM1 (Çep)

	1	2	3
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

UM2 (Kör fatura) UM3 (Boydan boya kanal)

	1	2	3
1	0	1	0
2	1	0	1
3	0	1	0

Şekil 6. Örnek parça 2 üzerindeki unsurlara uygun unsur matrisleri (Feature matrices corresponding to features on sample component 2)

PAM_4 'ün iki adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($PAM_{4,2}$, $PAM_{4,3}$).

Bu iki tanımlamalar birbirine uymamaktadır. Bu nedenle, parça matrisindeki diğer içbükey kenarlar tespit edilerek eşleştirilmiş ve sonuç olarak $UM1$ 'in $PAM_{6...10,6...10}$ ile eşleştiği tespit edilmiştir. Diğer unsurların tanınması için veritabanındaki diğer matrisler değerlendirilmiştir. $UM2$ 'ye göre;

$UM2_1$ 'in iki adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($UM2_{1,2}$, $UM2_{1,3}$), $UM2_2$ 'nin iki adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($UM2_{2,1}$, $UM2_{2,3}$), $UM2_3$ 'ün iki adet içbükey komşu yüzeyi vardır ($UM2_{3,1}$, $UM2_{3,2}$).

$UM2$ 'nin deseni parça matrisinin bir bölümü ile eşleştirildikten sonra matrislerdeki yüzey nitelikleri karşılaştırılır. Unsur matrisinin, parça matrisinde unsuru temsil eden alt matrise tamamen uyması gerekmektedir. $UM2$, $PAM_{2...4,2...4}$ 'nin alt matrisine uymaktadır. Dolayısıyla, parça matrisindeki ilk unsur matrisi deseni kör fatura olarak tanınmıştır ($UM2$). $UM1$, $PAM_{6...10,6...10}$ 'ün alt matrisine uymaktadır. Dolayısı ile bu parça matrisindeki bu bölüm, prizmatik cep olarak tanınmıştır. $UM3$ ise $PAM_{11...13,11...13}$ 'ün alt matrisine uymaktadır (Şekil 6). $UM3$ 'e uyan parça matrisindeki bu alan kanal olarak tanınmıştır. Fakat kanal tipi $UM3$ ve $PAM_{11...13,11...13}$ 'ün içbükey kenarı temsil eden rakama iliştilen açı niteliği tarafından belirlenecektir. Burada

yüzeyler arasındaki açı değeri 90° olduğundan tanınan unsur dik duvarlı kanaldır.

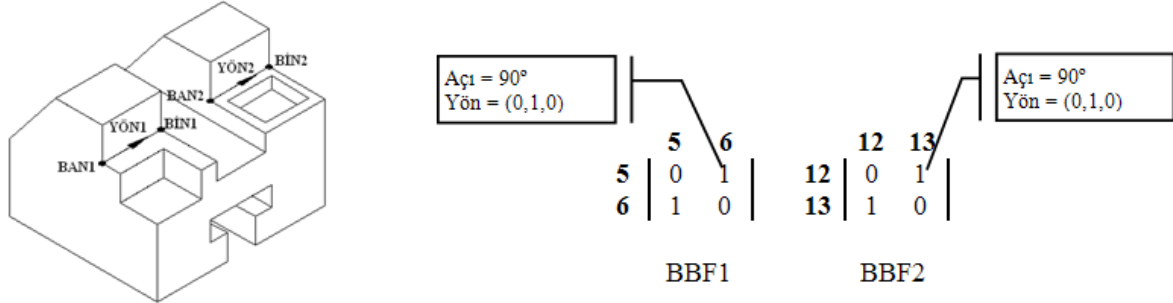
5. ETKİLEŞEN UNSURLARI TANIMA (RECOGNITION OF INTERACTING FEATURES)

Etkileşen unsurlar, parça üzerinde farklı unsurların kesişmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bir etkileşen unsur parça matrisinde iki ve daha fazla ferdi unsur tipi ile temsil edilebilmektedir.

Örneğin, Şekil 10a'daki bir boydan boya fatura bir kör kanal aracılığıyla iki boydan boya faturaya bölünmüştür. Şekil 10a'daki bir kör kanal ise bir V-kanal aracılığıyla bir kör kanala bir de boydan boya kanala bölünmüştür. Sistemde her bir ferdi unsur belirli kriterlere göre (Tablo 1) hangi etkileşen unsuru oluşturduğunu bulmak için diğer ferdi unsurlarla eşleştirilmektedir. Matris oluşturulurken parça üzerindeki yüzeyler ve bu yüzeylerin bitişiklik ilişkileri ve nitelikleri dikkate alınmıştır. Şekil 7'de örnek parça 3 ve 44 tane numaralandırılmış yüzeyi gösterilmiştir. Bu numaralandırma STEP dosyasında yüzeylerin temsil edilme sırasına göre yapılmaktadır. Daha sonra örnek parça için 44×44 kare bir matris oluşturulmuştur. Parça matrisindeki bütün etkileşen unsurlar ferdi unsurlar olarak temsil edilmektedir. Şekil 8'deki örnek parça 3 için oluşturulan matrisde gösterildiği gibi 9 ferdi unsur matris üzerinde tespit edilmiştir (Şekil 10a). Parça üzerindeki etkileşen unsurları tespit edebilmek için elde edilen bu alt matrisleri eşleştirme işlemi yapılacaktır.

Tablo 1. Matris eşleştirme için kullanılan bazı unsur çiftleri (Some feature pairs used for matrix matching)

İlk unsur	İkinci unsur	Etkileşen unsur
Boydan boya kanal	Boydan boya kanal	Boydan boya kanal
Boydan boya kanal	Kör kanal	Kör kanal
Kör kanal	Kör kanal	Cep
Boydan boya kademe	Boydan boya kademe	Boydan boya kademe
Boydan boya kademe	Kör kademe	Kör kademe

**Şekil 9.** Örnek parça 3'teki BBF için matris eşleştirme (Matrix matching for BBF on sample component 3)

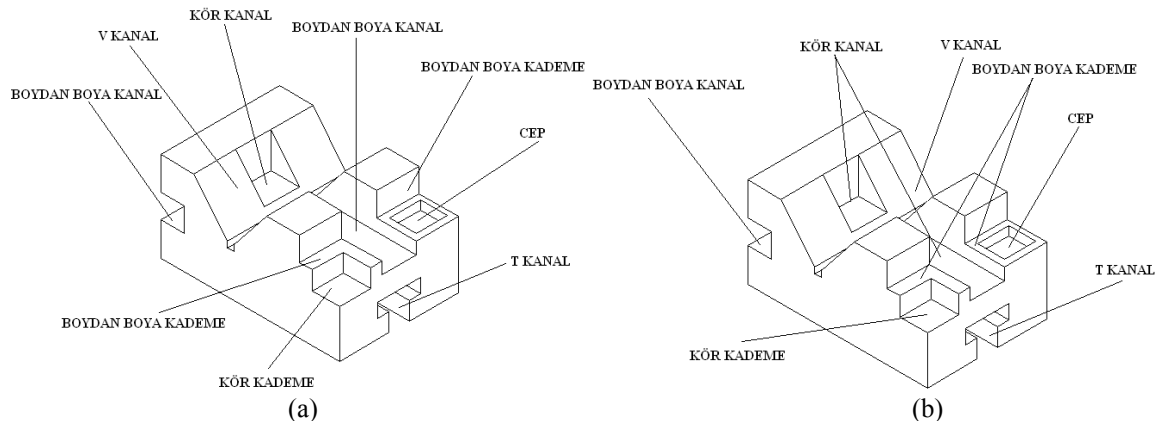
Şekil 10'da matris eşleştirme işleminden önce, örnek parça 3 üzerindeki tanınan ferdi unsurlar, Şekil 10b'de ise matris eşleştirme işleminden sonra tanınan tüm ferdi ve etkileşen unsurlar gösterilmiştir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Unsur tanıma sistemleri grup teknolojisi ve bilgisayar destekli işlem planlama (BDİP) gibi birçok BDİ uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Grup teknolojisi benzer parçaların tanımlanıp aynı grup altında toplanmalarına dayanan bir imalat yönetim sistemidir. Bu gruplandırma, parçaların imalat ve tasarım açısından benzerliklerinden yararlanmak amacıyla yapılır. Birbirinden tamamen farklı üretim yöntemleri gerektiren parçaları gelişiğüzel bir sırayla üretmek mümkün olsa da bu üretim yöntemi ekonomik değildir. Bu yüzden üretilecek parçalar üretim yöntemlerinin benzerliği göz önünde bulundurularak parça aileleri oluşturacak şekilde gruplara ayrılmalıdırlar. Grup teknolojisinde parça aileleri oluşturulduktan sonra bu ailelerin üretiminde kullanılacak makineler belirlenerek hücreler oluşturulmaktadır. Bu uygulama, atölye tipi

yerleşimin daha verimli duruma getirilmesi amacı taşımaktadır. Bu çalışmada geliştirilen unsur tanıma yaklaşımı grup teknolojisindeki parça ailelerinin oluşturulmasında etkin bir rol oynayabilecek kapasitededir. Unsurlar tanıdıktan sonra benzerlik gösteren unsurlar sınıflandırılarak benzer unsurları içeren parçalar gruplar halinde veri tabanında saklanabilir. Gruplandırılan parçalar için imalat yöntemleri, makineler ve hücreler oluşturularak verimli bir imalat sistemi kurulabilir. Böylece grup teknolojisinde ihtiyaç duyulan parçaların gruplandırılması ve kodlanması probleminde geliştirilen unsur tanıma sistemi ile farklı bir çözüm üretilmiş olacaktır.

Bir parçanın işlenebilmesi için gerekli işlemlerin ve bu işlemlerin sırasının tespiti olarak tanımlanan BDİP'te unsur tanıma önemli rol oynamaktadır. Unsurlar parçanın işlem gören bölümleri olarak kabul edildiğinden işlem gören bölümlerin işlenmesinde hangi operasyonların gerçekleştirileceği ve bu operasyonların sırasının ne olacağı sorularının cevaplanması, BDİP için önemli derecede fayda sağlayacaktır. Bu bilgiler ise unsur tanıma sistemleri tarafından karşılanması söz konusudur. Dolayısı ile bu çalışmada geliştirilen unsur tanıma sistemi, BDT ve BDİ

**Şekil 10.** Örnek parçanın tanınan a) ferdi ve b) etkileşen unsurları (The recognized a) individual and b) interacting features of sample component)

uygulamalarının entegrasyonunda için önemli bir ara yüz görevi görecektir.

Geliştirilen unsur tanıma yaklaşımı, düzlem yüzeyli temel ve etkileşen unsurların tanınmasında parça ve unsurların geometrik ve topolojik bilgilerinin basit ve kolay bir şekilde temsil edilebildiği matris tabanlı bir tanımlama şeması kullanmıştır. Bu matris tabanlı temsil şeması ile 3 boyutlu modellerden çıkarılan bilgiler, düzenli bir formatta temsil edilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan parça ve unsurların tanımlandığı şema olan çizge tabanlı temsil şemalarında parçadaki yüzey sayısı arttıkça grafikteki yüzey bağlanma ilişkilerini izlemek mümkün olmamakta ve grafik oldukça karmaşık hale gelmektedir. Parça ve unsur matrisi ile bu temsil formatı hem basitleştirilmiş hem de bilgisayar formatına uygun hale getirilerek ferdi ve etkileşen unsurlar tanımlarken sistemin harcadığı zaman ve işlem karmaşıklığı en aza indirgenerek çalışması sağlanmıştır. Parça ve unsur matrislerinde temsil edilen her bir parçaya ait geometrik ve topolojik bilgi herhangi bir üretim alanında kullanılmaya uygundur. Unsur tanıma sistemlerinin yetersiz kaldığı konulardan birisi de unsur etkileşimleridir. BDT ve BDİ arasında tam bir entegrasyonun sağlanması için etkileşen unsurlar konusunda esnek çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile etkileşen unsurların tanınması için basit ve literatürden farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Matris eşleştirme işlemi olarak adlandırılan yöntem, sistemde iki ferdi unsurun oluşturduğu etkileşen unsurlar için kullanılmıştır. Fakat bu işlem daha fazla ferdi unsurların oluşturduğu etkileşen unsurların tanınmasında kullanılabilir kapasitededir.

Algoritma bazı 3 boyutlu modellere uygulanmış ve uygulama sonucunda istenen sonuçlar elde edilerek bazı ferdi ve etkileşen unsurlar tanınmıştır. Fakat sistemde ele alınan unsur tipleri bazı temel unsurlar ile sınırlandırılmış olup bu unsur tiplerini genellikle düzlem yüzeyli unsurlar olarak sınıflandırılabilir. Bu alanda çalışma yapacak araştırmacılar sistemde alınan unsur tiplerinden farklı olarak silindirik, konik, küresel, toroid ve serbest yüzeyli unsurları geliştirilen unsur tanıma algoritmasına ekleyerek daha kapsamlı bir unsur tanıma geliştirilmesine katkıda bulunabilirler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Jabal, M.F.A., Rahim M.S.M., Othman, N.Z.S., Jupri, Z., A Comparative Study on Extraction and Recognition Method of CAD Data from CAD Drawings, **International Conference On Information Management And Engineering, Proceedings**, 709-713, 2009, Kuala Lumpur, MALAYSIA.
2. Çiçek, A., Gülesin, M., A part recognition based computer aided assembly system, **Computers in Industry**, Vol. 58, 733 – 746, 2007.
3. Çiçek, A., Similarity and scaling assessments of mechanical parts using adjacency relation matrices, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 206, 106 – 119, 2008.
4. Dereli, T. and Filiz, İ.H., “A note on the use of STEP for interfacing design to process planning”, **Computer Aided Design**, Vol. 34, 1075-1085, 2002.
5. Joshi, S. and Chang, T.C., “Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model”, **Computer Aided Design**, Vol. 20, No. 2, 58-66, 1988.
6. Gao, S. and Shah, J.J., “Automatic recognition of interacting machining features based on minimal condition sub graph”, **Computer Aided Design**, Vol. 30, No. 9, 727-739, 1998.
7. Lockett, H.L. and Guenov M.D., “Graph-based feature recognition for injection moulding based on a mid-surface approach”, **Computer Aided Design**, Vol. 37, 251-262, 2005.
8. Lee, J.Y. and Kim, K., “Generating alternative interpretations of machining features”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Vol. 15, 38-48, 1999.
9. Lee, J.Y. and Kim, K., “A feature-based approach to extracting machining features”, **Computer Aided Design**, Vol. 30, No. 13, 1019-1035, 1998.
10. Woo, Y., “Fast cell-based decomposition and applications to solid modelling”, **Computer Aided Design**, Vol. 35, 969-977, 2003.
11. Woo, Y. and Sakurai, H., “Recognition of maximal features by volume decomposition”, **Computer Aided Design**, Vol. 34, 195-207, 2002.
12. Xu, X. and Hinduja, S., “Recognition of rough machining features in 2½D components”, **Computer Aided Design**, Vol. 30, No. 7, 503-516, 1998.
13. Sandiford, D. and Hinduja, S., “Construction of feature volumes using intersection of adjacent faces”, **Computer Aided Design**, 33, 455-473, 2001.
14. Rameshbabu, V., Shunmugam, M.S. Hybrid feature recognition method for setup planning from STEP AP-203, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing** Vol. 25, 393-408, 2009
15. Sunil, V.B., Pande, S.S., Automatic recognition of features from freeform surface CAD models, **Computer-Aided Design**, Vol. 40, 502-517, 2008.
16. Gulesin, M., An Intelligent Knowledge Based Process Planning and Fixturing System Using the STEP Standard, **PhD. Thesis**, Coventry University, 1993.

