



# BİLGİSAYAR DESTEKLİ MONTAJ MODELLEMEDE PARÇA TEMAS İLİŞKİLERİNİ OTOMATİK BELİRLEYEN BİR YAKLAŞIM

**Cem SİNANOĞLU**

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri

Geliş Tarihi : 31.10.2001

## ÖZET

Bu çalışmada, montaj sırası planlama sistemlerinde karşılaşılan temel problemlerden birisi olan montaj sisteminin modellenmesine yönelik bir yaklaşım anlatılmaktadır. Bu yaklaşımda, montaj sisteminin tel-çerçeve modelinden faydalanılmaktadır. Ayrıca, her bir parça farklı bir renkte çizilmektedir. Montaj resmi ve çeşitli görünüşleri üç farklı eksen boyunca (-x, -y, -z) taranmaktadır. Tarama işlemi geliştirilen yazılım tarafından otomatik yapılmaktadır. Tarama ile elde edilen ve farklı montaj parçalarını temsil eden renk kodları geliştirilen program tarafından değerlendirilmekte ve kartezyen koordinat sisteminin altı eksenini boyunca montaj parçaları arası temas ilişkilerini temsil eden temas matrisleri oluşturulmaktadır. Bu matrisler, sıra planlama sistemlerinde bir montaj modelinin tam temsili için yeterlidir. Geliştirilen bu yaklaşım çeşitli montaj sistemlerine uygulanmıştır. Bu montaj sistemleri; pense, menteşe ve flanşlı kavrama montaj sistemleridir. Yaklaşımın temel avantajlarından birisi; tel-çerçeve modellerin çeşitli katı modelleme paket programları tarafından kolaylıkla oluşturulabilmesi ve çok sayıda parça içeren montaj sistemlerine de uygulanabilmesidir.

**Anahtar Kelimeler :** Temas matrisleri, Montaj sıra planlama

## AN APPROACH THAT AUTOMATICALLY DETERMINES PART CONTACT RELATIONS IN COMPUTER AIDED ASSEMBLY MODELING

### ABSTRACT

This study describes an approach for modeling of an assembly system which is, one of the main problems encountered during assembly. In this approach the wire-frame modeling of the assembly system is used. In addition, each part is drawn in a different color. Assembly drawing and its various approaches are scanned along three different (-x, -y, -z) axis. Scanning is done automatically the software developed. The color codes obtained by scanning and representing different assembly parts are assessed by the software along the six axes of Cartesian coordinate. Then contact matrices are formed to represent the relations among the assembly parts. These matrices are complete enough to represent an assembly modeling. This approach was applied for various assembly systems. These assembly systems are as follows; pincer, hinge and clutch systems. One of the basic advantages of this approach is that the wire-frame modeling of the assembly system can be formed through various CAD programs; and it can be applied to assembly systems contain many parts.

**Key Words :** Contact matrices, Assembly sequence planning

## 1. GİRİŞ

Uluslararası arenada artan rekabet koşulları, imalatçı firmaların daha kaliteli mamulleri daha kısa süre ve az maliyetle geliştirmelerini zorunlu kılmıştır. Bu konuda yürütülen yoğun araştırma çalışmaları ile ürün geliştirme ve imalata yönelik yöntem ve araçların iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Yeni ve etkin yöntemlerin kullanılması ile de, tasarımdan imalata ürün geliştirme süreci ve bu süreçte yer alan insan hataları ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Böylece otomasyon alanında her geçen gün yeni bir aşama kaydedilmektedir. Çeşitli parçaların belirli bir ahenk ve düzen içinde bir araya getirilmesi ve birleştirilmesi ile bir sistem veya montaj oluşturulabilir. Bir montajın görevi, bir fonksiyon veya faydalı bir iş icra etmektir. Karmaşıklık düzeyine bağlı olarak montajlar, çeşitli seviyede alt montajlara ayrılabilir (Pahl and Beitz, 1988).

Son çeyrek asırlık zaman diliminde Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) alanında büyük değişimler yaşanmıştır. 2 Boyutlu (2B) çizim paketlerini, tel çerçeve, yüzey ve katı modelleme sistemlerinin izlemesi; parça geometrilerinin bilgisayar ortamında yeterli ve uygun temsilini mümkün kılmıştır. Parametrik ve sınırlandırma temelli sistemlerin devreye girmesi ile, değişken geometri veya denklemleri içeren tasarım problemlerinin çözümünde büyük kolaylıklar sağlanmıştır (Singh, 1997). BDT kapsamlı tatminkar montaj sırası oluşturan sistemlerin geliştirilmesi ile; gerek BDT alanındaki otomasyonda ve gerekse de robotlar yardımı ile imalat alanındaki otomasyonda önemli bir aşama daha kaydedilecektir. Bilgisayar destekli otomatik montaj sırası belirleme konusuna hitap edecek bir sistem geliştirilmesinde:

- Sistemi oluşturan parça veya alt montajlar arası birleşimin mümkünliğünün araştırılması,
- Anılan birleşim mümkünse bunun teorik ve uygulanabilir kaç farklı şekilde yapılabileceğinin belirlenmesi ve,
- Son olarak bu farklı montaj işlemleri arasında en uygununun seçilmesi

problemlerine çözümler aranmalıdır. Yukarıda değinilen hususlara ilaveten sistemde yer alan parçaların kolay monte edilebilir geometrilere sahip olması da, konuyla ilişkili diğer bir araştırma konusudur (O'Grady, 1991; Boothroyd, 1994). Bu bağlamda ürün tasarımı, kendisini oluşturmada gerekli montaj sırasını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca özel bir montaj sırası seçimi, montaj işlemi üzerinde şu önemli etkilere sahiptir: montaj ekipman

seçimi, takım ve kalıp tasarımı, alt montajların oluşumu, montaj süre ve maliyeti (Laperrie and El Marghy, 1994). Montaj planlama, "bir mamül montajının ayrıntılı bir tanıtım hazırlık sanatı" olarak tanımlanabilir (Lin and Chang, 1989).

Montaj planlama, standart olmayan parçalardan oluşan birçok mekanik monte edilen ürün imalinde önemli bir rol oynar. Bu alandaki araştırmalarla; montaj sırası planlama, tasarım ve birçok monte edilmiş mamül arasında gerekli bir ilişki sağlanmıştır (Seow and Devanathion, 1993). Burada ana amaç, bir dizi mümkün montaj sırası bulmaktır. Tam bir montaj planı, parça montaj sırası, operasyonlar, mevcut montaj teknikleri ve bazı eşleştirme ayrıntılarından (parça hizalama referansı, parça yaklaşma yönü ve parça giriş güzergahı gibi) oluşmaktadır (Lin and Chang, 1989; Garrod and Everett, 1990). Bazı araştırmacılar, geriye doğru planlama yaklaşımını kullanmıştır (nihai bir montajdan demontaj sırası bulma). Son zamanlarda montaj planlama konusunda yürütülen araştırmalar, eş zamanlı analiz konusunda bazı önemli hususlar belirlemiştir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Laperriere and El Marghy, 1994);

1. Montaj edilecek ürünlerin temsili,
2. Montaj planlarının oluşturulması ve öncelik sınırlayıcılarının belirlenmesi,
3. Sonuçlanan montaj planlarının temsili,
4. En uygun montaj plan (lar)ının seçimi.

İlk montaj planlama sistemleri, gerekli geometrik muhakeme bilgilerini kullanıcılara sormakta ve böylece montaj sırasını oluşturmaktaydı. Bu sistemler, kullanıcı etkileşimli çalışmaktaydı (De Fazio and Whitney, 1987; Thomas, 1991). Daha sonraki çalışmalarda ise, geometrik muhakeme bilgilerinin bilgisayar destekli ve otomatik olarak elde edilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır (Homem de Mello and Sanderson, 1991). Zamanla temel sistem, uygun montaj sıralarının otomatik kontrol ve montaj test sıralarını verecek modüller ile tamamlanmıştır. Montaj sırası planlarının temsili için kullanılan yaklaşımlar genel olarak üç gruba ayrılabilir;

### 1. 1. Graf Temelli Temsil

Bu tür temsil metotları için gerekli veri, kullanıcı tarafından girilmekte veya ürüne ait CAD veri tabanlarında mevcut bilgilerden faydalanılarak temin edilmektedir. Bu tür sistemler ile montaj işlemlerinin ayrıntılı bir analizini yapmak mümkündür. Yaygın olarak kullanılan graf temelli bazı temsil şekilleri; AND/OR ve yön grafları (Homem de Mello and

Arthur, 1990; Homem de Molle and Lee, 1991), PETRI netleri (Zhang, 1989), hiyerarşik kısmi sıralama grafları (Lee and Shin, 1990), işlem ağları (Bullinger and Jiedel, 1991), montaj sıralama grafi (Wolter, 1988) ve ilişki model grafları (Homem de Mello and Lee, 1991) olarak belirtilebilir.

## 1. 2. Dil Temsili

Burada montaj olarak modellenen sisteme ait; alt montaj, parça ve bunlar arası ilişkilerin temsili özel bir dil kullanılmaktadır. PADL, AUTOPASS ve GDP bu gruba giren dillerden bazılarıdır (Homem de Mello and Lee, 1991).

## 1. 3. Sıralı Liste Temsili

Sıralı listeler ile temsil; montaj görevlerinin bir listesi, montaj işlem basamaklarının bir listesi ve bağlantı alt kümelerinin bir listesi olarak sınıflandırılabilir. Bu temsil metodunda her bir montaj sırası listelerden oluşan bir küme ile temsil edilmektedir (Mc Hugh, 1990).

Montaj edilecek ürünlerin temsili, montaj planlama sistemleri için oldukça önemlidir. Montaj modelleme amacıyla kullanılan yaklaşımlardan birisi, matematiksel modellemedir (Requicha, 1977; Requicha, 1980). Bu modelleme yaklaşımında, öncelikle montajı oluşturan katıların matematik modelleri oluşturulur. Ayrıca montajı oluşturan katı nesnelere ait konum ve yönleri tanımlayıcı bilgiler de, bu matematik modellere eklenmelidir. Bu montaj temsil yaklaşımında, montajı oluşturan nesnelere katı modelleri ve nümerik elemanlardan oluşan 4x4 matrisleri (nesne konumlarını tanımlayan) belirtilmelidir. Montajı oluşturan katı modeller ve matrislerin ifade ettiği öteleme ve dönmelerin uygun olması durumunda (montaj geometrik olarak uygunsa), geçerli bir montaj model temsili oluşturulabilir. Böylece montajı oluşturan nesnelere arasındaki geometrik uygunluk, tüm parçalar arasındaki arakesit kontrolü ile elde edilir. Bu sebepten dolayı matematiksel montaj modelleri kullanan ticari bilgisayar destekli tasarım sistemlerinin çoğu, iki önemli dezavantaja sahiptir. Bunlar;

- Montaj temsillerinin tasarımcılar vasıtası ile yapılması nedeniyle montajda yer alan bazı parçalara ait ötelemelerin oldukça zor tanımlanması
- Bir öteleme ile pozisyon uzayında tekil bir nokta tanımlanabilmesine karşın parçaları hareket edebilen mafsallı montajların tanımlanamaması

Parça pozisyonlarını dolaylı tanımlayan diğer bir yaklaşım ise, parça sınır alt-küme ve yüzey unsurları arasındaki eşleşme ilişkileri kullanımınıdır. Burada parçalar arası eşleşme ilişkileri, tasarımcılar tarafından belirtilmektedir. Bu yaklaşımda montajı oluşturan parçalar arasındaki geometrik uygunluk kontrolü, parçaların süpürme hacimleri ile belirlenmektedir. Hareketli bir parçanın süpürme hacmi ise, diğer parça hareketleri ile çakışıp çakışmama durumuna bağlı olarak belirlenir. Ancak montajda yer alan nesnelere eş zamanlı hareket ediyorlarsa, süpürme hacim işlem analizi yetersiz kalmaktadır (Cameron, 1984).

Bu makale kapsamında, montaj sisteminin modellenmesine yönelik yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, diğer montaj sistemlerinin kullandığı süpürme hacim analizinden yararlanılmamıştır. Tarama programı vasıtasıyla, parçaları farklı renklerde tasarlanmış olan montaj sistemleri farklı yönlerde taranarak temas ilişkileri belirlenmektedir. Dolayısıyla, parçaların her birisinin farklı bir renkte olması gerekmektedir. Tarama işlemi yatay ve dikey olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Taramanın başlayacağı piksel konumu kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Bunun için kullanıcı, metin kutusuna taramanın başlayacağı nokta koordinatını girmekte veya bu noktayı ekran üzerinde işaretlemektedir. Bu nokta referans alınarak yatay veya dikey tarama seçimine göre montaj resmi taranmaktadır. Ayrıca, tarama sayısı parça sayısı ve parçalar arası ilişki durumları dikkate alınarak kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

Tarama programı, montaj resmini veya montaj resminin farklı görünüşlerini taramaktadır. Böylece kartezyen koordinat sisteminin 6 yönü boyunca farklı renk kodları (dolayısıyla farklı parçalar) arası temas ilişkileri elde edilmektedir. Burada farklı taramalarda benzer temas ilişkileri belirlenebilmektedir. Bu durumda benzer temas ilişkileri sadece bir kez dikkate alınmakta ve temas ilişkilerini geliştiren program tarafından ihmal edilmektedir. Bu temas ilişkileri otomatik olarak temas matrisleri formuna dönüştürülmekte ve geliştirilen bir montaj sırası planlama sistemi tarafından montaj sisteminin temsil edilmesi için kullanılabilir (Sinanoğlu, 2001). Temas matrisinin satır ve sütunlarına parçaları temsil eden karakterler yerleştirildiği için matris boyutu montaj sistemini oluşturan parça sayısı ile belirlenmektedir.

Geliştirilen yaklaşım, parçaları farklı renklerde tasarlanmış tel çerçeve veya katı model formundaki

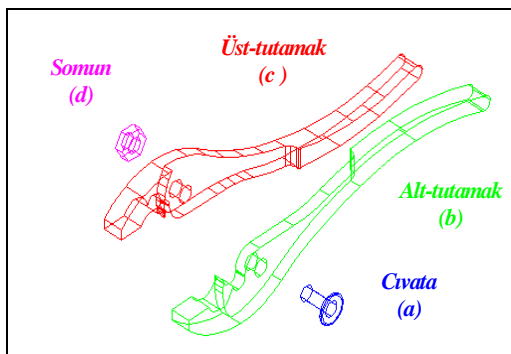
montaj sistemlerine kolaylıkla uygulanabilmekte ve bu sistemler doğru biçimde temsil edilmektedir. Çalışmada, 3 farklı montaj sistemi ele alınmış ve bunlara ilişkin temas matrisleri belirlenmiştir. Bu örnek sistemler; dört parçalı pense ve menteşe ve yedi parçalı flanşlı kavramadır.

## 2. TEMAS İLİŞKİLERİ VE ÖRNEK MONTAJ SİSTEMLERİ

Mekanik bir montaj, sabit bir birim oluşturan ve birbirleri ile ilişkili parçalardan oluşan bir yapıdır. Montajda yer alan her bir parçanın rijit nesne olduğu ve bunlara ait geometrik biçimlerin değişmeden kaldığı kabul edilmektedir. Montajda parçalar arası tanımlanan yüzeysel temaslar, bağlı hareket için serbestlik derecesini sıfıra indirgemektir.

Montajda yer alan parçalar arası temas durumlarından faydalanmak sureti ile montaj sistemi modellenebilir. Bu modeller; sistemde yer alan hangi parçanın diğer hangi parça ile temas halinde olduğu, dolayısıyla ilişki halinde bulunduğu ve bir türlü müşterek montaj işlemine tabii tutulacağını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında, montaj sistemini modellemek amacıyla geliştirilen temas matrisleri ve bunların bazı örnek sistemler için oluşturulması açıklanmaktadır.

Örnek montaj sistemlerinden ilki dört parçadan oluşan pense montaj sistemidir. Montaj sistemi; somun (d), üst-tutamak (c), alt-tutamak (b) ve civata (a) parçalarından oluşmaktadır (Şekil 1).

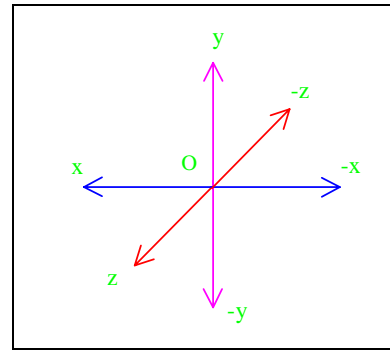


Şekil 1. Pense montajı patlatılmış görünüşü

### 2. 1. Temas Matrislerinin Tanımlanması

Montajı oluşturan parçalar arasında, birleştirme sonrası temas olup olmadığını belirlemek amacıyla temas matrisinden yararlanılabilir. Bu matris {A, B}

gibi bir parça çifti arasında temas durumunu temsil eden ve 'True (1)' ile 'False (0)' Boolean değerlerinden oluşan bir matristir. Temas matrisi, parçalardan (çiftteki) ilkinin referans alınması ve bu parçanın herhangi bir  $i$  eksen yönünde diğer parça ile temasta olması halinde 'True', temasta olmaması halinde ise, 'False' değeri verilerek oluşturulur. Temas matrisi oluşturulması için montajı oluşturan parçalar arasında altı temel yön boyunca temas durumları referans alınır. Matris ifadesinde sadelik sağlamak için 'True' yerine '1' ve 'False' yerine '0' değerleri kullanılmıştır. Temas matrisi eleman tanımında kullanılacak kartezyen koordinat eksen takımı, Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Temas yönlerini tanımlayan koordinat eksen takımı

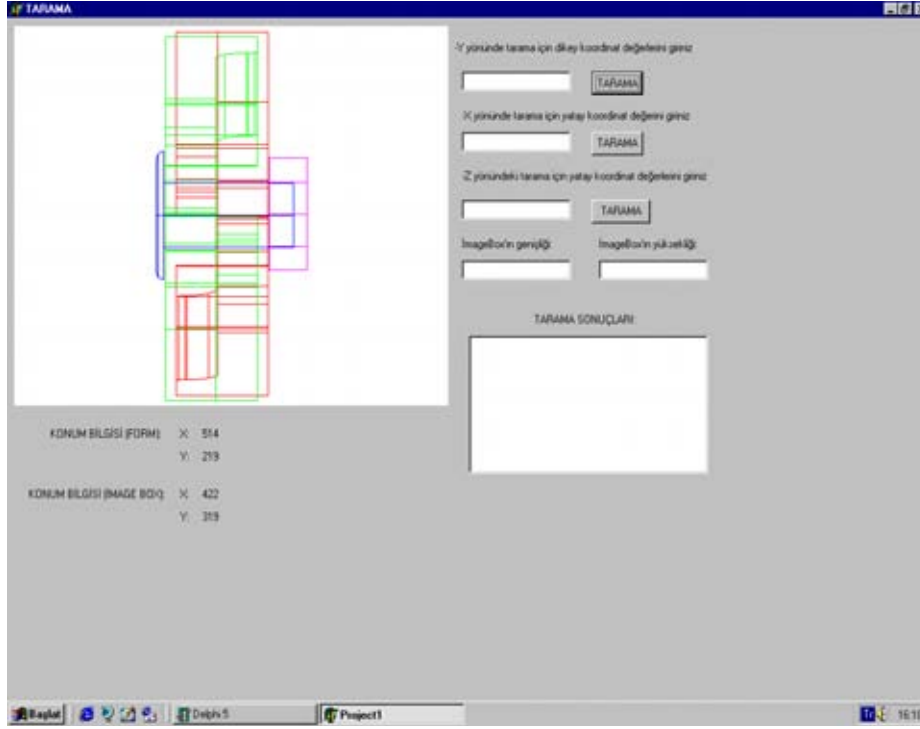
### 2. 1. 1. Kartezyen Koordinatlarda Temas Matrislerinin Elde Edilmesi

Altı temel eksen yönünde tanımlanan temas matrislerinin satır ve sütun eleman değerleri, pense montajını oluşturan parçalar arasında tanımlanan temas ilişkileridir. Bu ilişkileri elde etmek için, önce temas matrisine ait satır ve sütunlara mekanik sistemde yer alacak parçalar yerleştirilir. Daha sonra bu parçalar arası temas ilişkilerine bağlı olarak kare özelliği taşıyan bu matris eleman değerleri belirlenir. Örneğin  $i$  yönündeki B temas matrisinin, [a, b] elemanı, {a} parçasının bu yönde {b} parçası ile temas durumuna göre '1' veya '0' değerlerinden birisini alır. Örnek montaj sistemine ait parçalar, B temas matrisinin satır ve sütunlarına şöyle yerleştirilebilir:

$$B = \begin{matrix} & a & b & c & d \\ a & & & & \\ b & & & & \\ c & & & & \\ d & & & & \end{matrix}$$

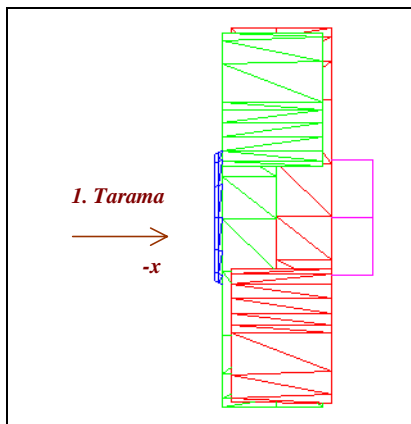
Kartezyen koordinat sisteminin altı temel yönü boyunca temas ilişkilerini tanımlayan temas matrislerinin elde edilmesi geliştirilen bir program ile otomatik olarak yapılmaktadır. Bu yaklaşımda, çeşitli montaj görünüşleri farklı eksenler boyunca taramaktadır. Her bir parça farklı bir renk ile

çizilmekte ve tarama ile, program bu renk kodlarını değerlendirerek altı eksen yönündeki temas matrislerini oluşturmaktadır. Bu program "Delphi 5.0" da geliştirilmiştir. Tarama programı kullanıcı ara yüzü Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Tarama programı kullanıcı ara yüzü

Örnek olarak alınan pense montaj sisteminde, -x ve x yönündeki temas matrisleri Şekil 4'de verilen yan görünüşten elde edilmektedir.



Şekil 4. Pense yan görünüşü (görünmez çizgiler yok)

Bu montaj sisteminde; civata; mavi (renk kodu : 16711680), alt-tutamak; yeşil (renk kodu: 65280), üst-tutamak; kırmızı (renk kodu: 255) ve somun; magenta (renk kodu: 16711935) ile çizilmiştir. -x yönündeki tarama verilerini elde etmek için Şekil 4'de görülen montaj resmi düşey yönde 250. piksel'den itibaren yatay olarak taramaktadır. Burada, düşey yöndeki pikselin konumu değiştirilebilir. Bu konum değeri görüntünün yerleştirildiği **ImageBox**'ın boyutlarına göre belirlenmiştir. Bu yöndeki tarama ile;

16711680, 16711680, 16711680, 65280, 65280, 255, 255, 255, 16711935

elde edilmektedir.

Yukarıda tanımlanan temas matrisinde, 1. eleman civata, 2. eleman alt-tutamak, 3. eleman üst-tutamak ve dördüncü eleman somun'dur. -x yönündeki

tarama ile elde edilen renk kodu sırası, ardışık olarak gelen aynı renk kodlarının sadece birini dikkate alarak temas matris elemanları türünden ifade edilebilir.

16711680 → 65280 → 255 → 16711935  
1 → 2 → 3 → 4

Bu sıralama; -x yönünde, (1, 2), (2, 3) ve (3, 4) elemanları arasında bir temas olduğunu belirtmektedir. Dolayısıyla, -x yönündeki temas matrisinin, 1. satır 2. sütun, 2. satır 3. sütun ve 3. satır 4. sütun eleman değerleri '1' olmaktadır. Ayrıca, bir parçanın kendisi ile temas ilişkisi, '0' olmaktadır. +x eksen yönündeki renk kodu sıralaması, -x yönündekinin tersi olmaktadır. Buna göre;

4 → 3 → 2 → 1

sırası elde edilmektedir. Buradan, (4, 3), (3, 2) ve (2, 1) eleman çiftleri arasında temas olduğu belirlenmektedir. Dolayısıyla, +x eksen yönünde; somun (4) üst-tutamak (3) ile, üst-tutamak alt-tutamak (2) ile ve alt-tutamak civata (1) ile temas ilişkisine sahiptir. Bu eleman çiftleri için temas matris eleman değerleri, '1', diğer çiftler içinde '0' alınarak, +x eksen yönündeki temas matrisi elde edilmektedir. Her bir parça ayrı ayrı dikkate alınarak temas matrisi tanımlanabilir.

- Burada {a} parçası referans alınır, bu parçanın kendisi ile olan temas ilişkisi '0' alınır. Ayrıca aynı parçanın belirtilen eksen yönünde, {b}, {c} ve {d} parçaları ile herhangi bir temas ilişkisi yoktur. Böylece {+x} eksen yönündeki temas matrisine ait ilk satır sıfır değere sahip elemanlardan oluşur.

$$\begin{array}{l} a \Rightarrow a(0) \\ a \Rightarrow b(0) \\ a \Rightarrow c(0) \\ a \Rightarrow d(0) \end{array} \quad B_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix}$$

- {b} ile gösterilen alt-tutamak referans alındığında, bu parçanın {+x} eksen yönünde sadece {a} parçası ile temas ilişkisine sahip olduğu; {c} ve {d} parçaları ile bir temas ilişkisine sahip bulunmadığı görülür.

$$\begin{array}{l} b \Rightarrow a(1) \\ b \Rightarrow b(0) \\ b \Rightarrow c(0) \\ b \Rightarrow d(0) \end{array} \quad B_x = \begin{bmatrix} & & & \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix}$$

- {c} ile gösterilen üst-tutamak, bu yönde sadece {b} parçası ile temas halinde; başka bir parça ile temas ilişkisinde değildir.

$$\begin{array}{l} c \Rightarrow a(0) \\ c \Rightarrow b(1) \\ c \Rightarrow c(0) \\ c \Rightarrow d(0) \end{array} \quad B_x = \begin{bmatrix} & & & \\ & & & \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ & & & \end{bmatrix}$$

- {d} ile belirtilen somun ise, {+x} yönünde sadece üst-tutamak parçası ile temas halindedir.

$$\begin{array}{l} d \Rightarrow a(0) \\ d \Rightarrow b(0) \\ d \Rightarrow c(1) \\ d \Rightarrow d(0) \end{array} \quad B_x = \begin{bmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

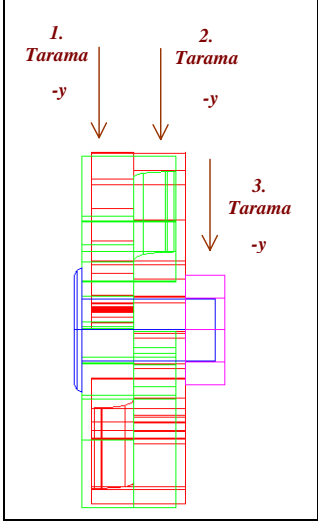
Yukarıda elde edilen matris satırlarının birleştirilmesi ile, örnek montaja ait {+x} eksen yönündeki temas matrisi elde edilir.

$$B_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

-y ve +y yönlerindeki temas matrisleri, montaj sisteminin yan görünüşünün bu yönlerde taranması ile elde edilmektedir.

Tarama sonuçları Tablo 1'de görülmektedir. Alt-tutamak, üst-tutamak ve civata arasındaki temas ilişkilerini belirlemek için 250. yatay piksel konumundan dikey olarak 1. Tarama, 300. yatay piksel konumundan 2. Tarama ve civata ve somun arası temas ilişkilerini belirlemek için de 3. Tarama yapılmaktadır.

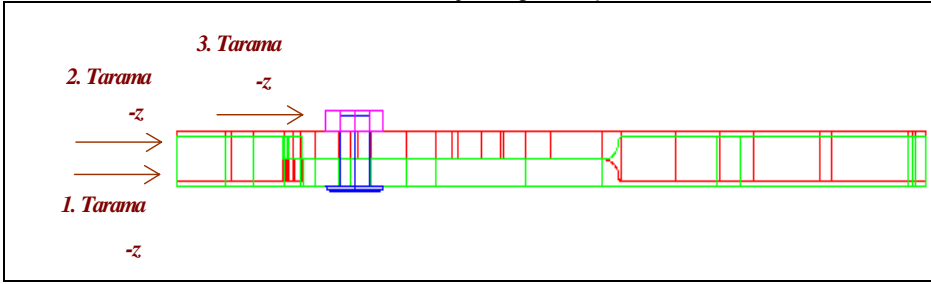
Tablo 1. Pense Montaj Sistemi İçin (-y) Yönündeki Taramalar

Pense montajı yan görünüşü	(-y) Yönündeki Taramalar	
		1. Tarama
2. Tarama		255 65280 65280 255 65280 65280 65280 65280 255 255 65280 65280 255 255 16711680 255 16711680 255 65280 255 255 65280 65280 65280 16711680 255 65280 255 65280 255 255 65280 65280 255 65280 255 255 255 255 255 255 65280
3. Tarama		16711935 16711935 16711680 16711935 16711680 16711935 16711680 16711935

Tabloda görülen taramalarda, soldan başlayarak sıra ile sağa doğru gidilmektedir. İlk satırdaki verilerin ardından daha sonra satırlarda görülen veriler gelmektedir.

Pense montaj sisteminde (-z) yönündeki temas ilişkilerinin belirlenmesi Tablo 2’de gösterilmektedir. Burada, 1. Tarama, alt-tutamak, üst-tutamak ve cıvata arası ilişkileri üretmek için 130. düzey piksel konumundan yatay olarak yapılmaktadır. 3. Tarama ise, somun ve cıvata arası ilişkileri üretmek için yapılmaktadır.

Tablo 2. Pense Montaj Sistemi İçin (-z) Yönündeki Taramalar

Pense montajı üst görünüşü		
		
(-z) yönündeki taramalar	1. Tarama	65280 65280 255 65280 65280 255 255 65280 65280 65280 65280 16711680 65280 16711680 16711680 65280 65280 65280 65280 255 255 255 65280 255 65280 255 255 255 65280 65280 65280 65280
	2. Tarama	65280 65280 255 65280 65280 65280 255 255 65280 255 255 16711680 255 16711680 255 16711680 255 255 255 255 255 255 255 255 255 255 65280 255 255 65280 255 65280 255 255 255 65280 65280 65280 65280
	3. Tarama	16711935 16711935 16711680 16711935 16711935 16711935

Pense montaj sistemine ilişkin, {+} ve {-} eksen yönlerindeki temas matrisleri aşağıda verildiği gibi elde edilebilir.

{+} yönlerdeki temas matrisleri:

$$B_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_z = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

{-} yönlerdeki temas matrisleri:

$$B_{-x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

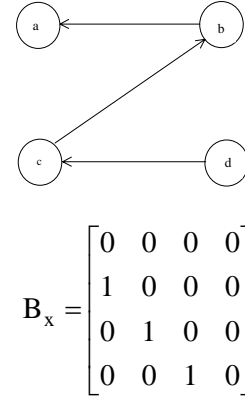
$$B_{-y} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{-z} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

olur. Yukarıdaki matrislerin incelenmesi ile, {+x} ve {-x} yönlü matrislerin birbirlerinin devriği olduğu anlaşılacaktır. Ayrıca bu örnek probleme ait temas

matrislerinden, {+y}, {-y}, {+z} ve {-z} yönlerindeki matrislerin eşit olduğu görülmektedir.

Temas matrisleri ile belirtilen montaj parçaları arası ilişkiler graflar vasıtası ile de gösterilebilir. Burada graf düğümleri (veya köşeleri), parçaları ve graf kenarları ise, parçalar arası ilişkileri belirtmektedir.  $B_x$  temas matrisi ve bu matrisin eş değer graf gösterimi, Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. {+x} eksen yönündeki temas matrisi ve eş değer graf temsili

Bu graf temsil de, montaj parçaları arası {+x} eksen doğrultusundaki temas ilişkilerini göstermektedir. Buna göre; {b} ile {a}, {c} ile {b} ve {d} ile {c} parçalarının temas ettiği anlaşılmaktadır.

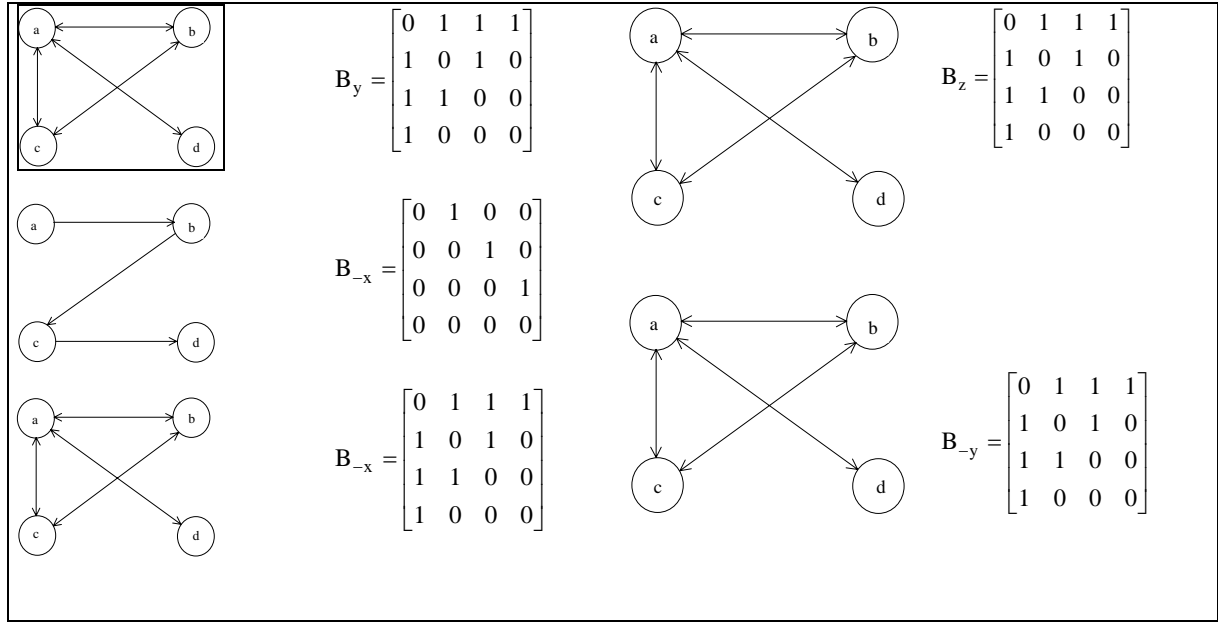
Diğer eksen doğrultularındaki temas ilişkilerini belirten graf temsil ve eş değer temas matrisleri ise, Şekil 6'da gösterilmiştir.

Diğer bir örnek montaj sistemi olan menteşe montaj sistemi dört parçadan oluşmaktadır. Bu sistemin parçaları; tutamak (a), plaka (b), cıvata (c) ve somun (d)'dur. Bu montaj sistemi Şekil 7'de görülmektedir. Burada;

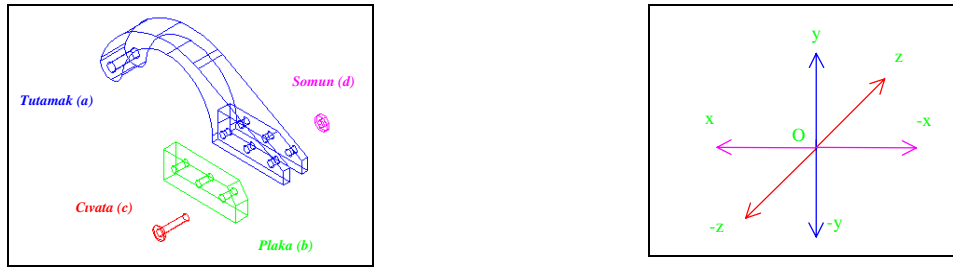
- 16711680 renk kodu; mavi (a),
- 255 renk kodu; kırmızı (c),
- 65280 renk kodu; yeşil (b)
- 16711935 renk kodu; pembe (d)

parçalarını belirtmektedir.





Şekil 6. Kartezyen koordinat sisteminde tanımlanan temas matrisleri ve graf temsilleri



Şekil 7. Menteşe montaj sistemi

Menteşe montaj sisteminde, -x ve +x eksenleri yönündeki temas matrisleri, menteşe montaj resminin yan görünüşünden çıkarılmaktadır. Menteşe montaj sistemine ilişkin bu yönlere temas ilişkilerini belirlemek için 250. Piksel konumundan itibaren yatay olarak tarama

yapılmaktadır. Bu tarama ile; cıvata, tutamak, plaka ve somun parçaları arası temas durumları belirlenmektedir. Tablo 3, tarama sonuçlarını vermektedir.

Tablo 3. Menteşe Montaj Sistemi İçin (-x) Ekseni Yönündeki Taramalar

Menteşe montajı yan görünüşü	(-x) yönündeki taramalar
	255 255 255 16711680 65280 65280 16711680 16711935

Menteşe montaj sisteminde, (-y) yönündeki temas ilişkileri ise Tablo 4’de verilen taramalar ile belirlenmiştir. Burada 1. Tarama, tutamak (a) ve cıvata (c) arasındaki temas ilişkilerini belirlemek için 290. yatay piksel konumundan düşey olarak yapılmaktadır. 1. Tarama ile tespit edilen temas ilişkileri;

- 16711680 → 255
- 255 → 16711680

şeklinde elde edilmektedir. 16711680 renk kodu tutamağı, 255 renk kodu ise cıvatayı temsil ettiğinden, (-y) yönündeki temas matrisinin (a, c) ve (c, a) elemanları “1” olmaktadır.

(-y) yönünde yapılan 2. Tarama; tutamak, plaka ve cıvata arası bu yöndeki temas ilişkilerini belirlemek için 300. yatay piksel konumundan düşey olarak yapılmaktadır. Bu tarama ile belirlenen temas ilişkileri;

- 16711680 → 65280
- 65280 → 255

- 255 → 65280

biçimindedir. Burada 65280 renk kodu plakayı temsil eder. Dolayısıyla temas matrisinin; (a, b), (b, c) ve (c, b) elemanları “1” olmaktadır.

3. Tarama; Cıvata ve somun arası (-y) yönündeki temas ilişkilerini belirlenmek için 320. yatay piksel konumundan itibaren düşey olarak yapılmaktadır. Belirlenen temas ilişkileri;

- 16711935 → 255
- 255 → 16711935

biçimindedir. Temas matrisinin (d, c) ve (c, d) elemanları “1” dir.

Sonuç olarak (-y) yönündeki temas matrisinin;

(a, c), (c, a), (a, b), (b, c), (c, b), (d, c), (c, d) : “1”

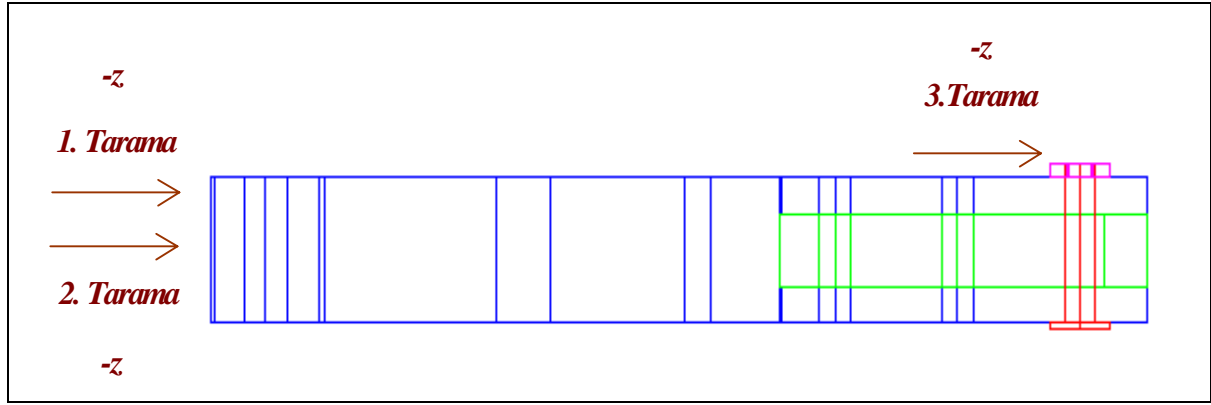
(a, c), (c, a), (a, b), (b, c), (c, b), (d, c), (c, d) : “0” olmalıdır.

Tablo 4. Mentşe Montaj Sistemi için (-z) Ekseni Yönündeki Taramalar

Menteşe montaj resminin yan görünüşü	(-y) yönündeki taramalar					
<p>1. Tarama</p> <p>2. Tarama</p> <p>3. Tarama</p>	1. Tarama	16711680	16711680	16711680	16711680	16711680
	2. Tarama	16711680	16711680	16711680	16711680	16711680
	3. Tarama	16711935	255	16711935	255	16711935

Menteşe montaj sistemine ilişkin (-z) yönündeki temas ilişkileri Şekil 8’de gösterilen montaj resminin taranması ile belirlenmektedir. Burada 1. Tarama; 170. düşey piksel konumundan yatay, 2. Tarama; plaka ve cıvata arası ilişkileri üretmek için 190.

düşey piksel konumundan yatay, 3. Tarama ise, somun ve cıvata arası ilişkileri üretmek için 155. düşey piksel konumundan yatay olarak yapılmaktadır.



Şekil 8. Mentеше montaj sistemi üst görünüşü

Mentеше montaj sistemine ilişkin oluşturulan temas matrisleri aşağıda verilmektedir.

$$B_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

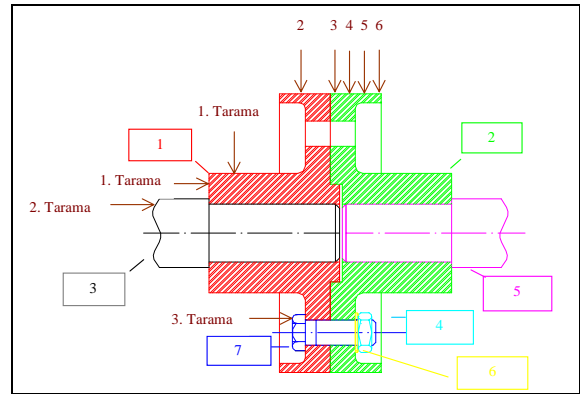
$$B_{-x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{-y} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{-z} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Diğer bir örnek montaj sistemi yedi parçadan oluşan kavrama montaj sistemidir. Bu sistemin parçaları; mil-I, mil-II, flanş-I, flanş-II, cıvata, rondela ve somun'dur. Bunlardan, flanş-I; (1), flanş-II; (2), mil-I; (3), mil-II; (5), cıvata; (7), rondela; (6) ve somun ise (4) ile gösterilmektedir. Parçaların her birisi farklı renklerde çizilmiştir. Bu renkler ve kodları ise; Siyah; 0, Kırmızı; 255, Cyan; 16776960, Magenta; 16711935, Yeşil; 65280, Mavi; 167711680, Sarı; 65535 biçimindedir. Flanşlı kavrama montaj sisteminin montaj resmi Şekil 9'da görülmektedir.

Bu montaj sistemine ilişkin yapılan taramalar, montaj parçaları arası temas ilişkileri Tablo 5'te görülmektedir.



Şekil 9. Flanşlı kavrama montaj resmi

Tablo 5. Flanşlı Kavrama Temas İlişkileri

(-y) yönündeki taramalar					
1. Tarama	2. Tarama	3. Tarama	4. Tarama	5. Tarama	6. Tarama
255 : 1 0 : 3 255 : 1	255 : 1 0 : 3 255 : 1 16711680 : 7 255 : 1	65280 : 2 255 : 1 0 : 3 255 : 1 65280 : 2 16711680 : 7 65280 : 2	65280 : 2 16711935 : 5 65280 : 2 16711680 : 7 65280 : 2	65280 : 2 16711935 : 5 65280 : 2 beyaz 65535 : 6 16711680 : 7 65535 : 6 beyaz 65280 : 2	65280 : 2 16711935 : 5 65280 : 2 beyaz 16776960 : 4 16711680 : 7 16776960 : 4 beyaz 65280 : 2
(1.3) (3.1)	(1.3) (3.1) (1.7) (7.1)	(2.1) (1.3) (3.1) (1.2) (2.7) (7.2)	(2.5) (5.2) (2.7) (7.2)	(2.5) (5.2) (6.7) (7.6)	(2.5) (5.2) (4.7) (7.4)

(-x) yönündeki taramalar ve temas ilişkileri de benzer şekilde elde edilmektedir. Flanşlı kavrama montaj sisteminin temas matrisleri aşağıda verilmektedir.

$$B_z = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{-z} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{-y} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{-x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Temas ilişkileri çıkarılırken yapılan tarama yaklaşımında; ardışık olarak gelen farklı ve beyaz dışındaki renk kodları dikkate alınmaktadır. Beyaz renk kodu ile karşılaşıldığında, o ana kadar ki farklı renk kod sıraları belirli bir temas ilişkisini belirtirken, beyaz renk kodu sonrası farklı renk kod sıraları da, yeni temas ilişkilerini tanımlamaktadır. Beyaz renk kodu olmadan, ardışık farklı renk kod sıraları, parçalar arası temas ilişkilerini belirtmektedir.

### 3. SONUÇ

Bu çalışmada, montaj sistemlerinin modellenmesine ilişkin bir yaklaşım tanıtılmıştır. Bu yaklaşım,

montaj sistemini matrisler ile temsil etmektedir. Bu matrisler kartezyen koordinat sisteminin altı eksenini boyunca tanımlanmaktadır. Matrislerin satır ve sütunlarına montajı oluşturan parçalar yerleştirilmektedir. Temas matrislerinin her bir elemanı parçalar arası temas ilişkisini tanımlamaktadır. Temas durumu; "1" ile, temasın olmaması durumu ise; "0" ile temsil edilmiştir. Temas matrisleri geliştirilen program ile otomatik belirlenmiştir. Bu program; her bir parçası farklı renk ile çizilmiş tel-çerçeve montaj modelini veya bu modelin çeşitli görünüşlerini girdi olarak almakta ve temas matrislerini oluşturmaktadır.

Temas matrislerinden oluşan bu matematiksel modeller ile montaj sistemi tam ve kesin temsil edilebilmektedir. Bu matematiksel modeller,

bilgisayar destekli montaj sırası planlama sistemleri tarafından kullanılabilir. Ayrıca, tel-çerçeve modellerin elde edilmesi kolaydır. Herhangi bir katı modelleme programı ile rahatlıkla oluşturulabilir.

#### 4. KAYNAKLAR

- Boothroyd, G. 1994. Product Design For Manufacture and Assembly, CAD, 26 (7), 505-509.
- Bullinger, H. J. and Jiedel, A. 1991. Assembly Sequence Planning Using Operations Networks, in Production Research Approaching 21 st Century (Editors: Pridhan, M. and O. E. Brien, C), Taylor and Francis, 495.
- Cameron, S. A. 1984. Modeling solids in motion, Ph.D., University of Edinburg.
- De Fazio, T. L. and Whitney, D. E. 1987. Simplified Generation of All Mechanical Assembly Sequences, IEEE Trans. on Robotics and Automation, 3 (6), 640-658.
- Garrod, W. and Everett, L. J. 1990. A. S. A. P. : Automated Sequential Assembly Planner, Comp. in Eng., ASME, Ed. G. L. Kinzel Smrophe, 1, 139-150.
- Homem de Mello, L. S. and Arthur, C. D. 1990. AND/OR Graph Representation of Assembly Plans, IEEE Trans. On Robotics and Automation, 6 (2), 188-199.
- Homem de Mello, L. S. and Lee, S. 1991. Computer-Aided Mechanical Assembly Planning, Kulwer Academic Publishers, Massachusetts.
- Homem de Mello, L. S. and Sanderson, A. C. 1991. A Correct and Complete Algorithm For the Generation of Mechanical Assembly Sequences, IEEE Trans. On Robotics and Automation, 7 (2), 228-240.
- Laperriere, L. and El Marghy, A. 1994. Assembly Sequence Planning For Simultaneous Engineering, Int. J. Adv. Manuf. Technology, Springer - Verlag London Limited, (9), 231-244.
- Lee, S. and Shin, Y. G. 1990. Assembly Planning Based on Geometric Reasoning, Computation and Graphics, 14 (2), 237-250.
- Lin, A. C. and Chang, T. C. 1989. A Framework For Automated Mechanical Assembly Planning, J. of Mech. Working Technology, 20, 237-248.
- McHugh, J. A. 1990. Algorithmic Graph Theory, Prentice-Hall Int., Inc., Int. Edition.
- O'Grady, P. 1991. A Review of Approaches For Assembly, Concurrent Engineering, 1 (3), 5-11.
- Pahl, G. and Beitz, W. 1988. Engineering Design, The Design Council, Springer-Verlag, London.
- Requicha, A .A. G. 1977. Mathematical Models of Rigid Solid Objects, Tech. Memo., Production Automation Project, University of Rochester, 28.
- Requicha, A. A. G. 1980. Representation For Rigid Solids: Theory, Methods and Systems, ACM Computing Surveys, 12 (4), 437-464.
- Seow, K. T. and Devanathon, R. 1993. Temporal Logic Programming For Assembly Sequence Planning, AI in Engineering, 1994 Elsevier Science Lim., 8, 253-263.
- Singh, N. 1997. Systems Approach to Computer Integrated Design and Manufacturing, John Wiley & Sons, Inc., International Ed.
- Sinanoğlu, C. 2001. A New Computer Aided Assembly Sequence Planning System With Binary Vector Representation, Ph. D. Thesis , University of Erciyes, Turkey.
- Thomas, J. P. 1991. Computer Aided Mechanical Assembly Planning, Kulwer Academic Publishers, Massachusetts.
- Wolter, J. D. 1988. On the Automatic Generation of Plans For Mechanical Assembly, Ph. D. thesis, Univ. of Michigan.
- Zhang, W. 1989. Representation of Assembly and Automatic Robot Planning by Petri Net, IEEE Trans. On Systems, Man, and, Cybernetics, 19 (2), 418-422.