

## **2 BOYUTLU BİLGİSAYAR DESTEKLİ MONTAJ TASARIM PROGRAMI**

**Cem SİNANOĞLU**

E.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü  
38039-KAYSERİ

**H.Rıza BÖRKLÜ**

G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü  
06500-Beşevler-ANKARA

### **ÖZET**

Yaygın kullanılan CAD sistemlerinden katı modelciler, parçaların tam konum ve yönlerinin tanımlanması ile montaj işlemi yapmalarına rağmen, tasarımcıya esneklik sağlamama ve farklı tasarım çözümlerini denemeyi engelleme gibi bazı olumsuzluklara sahiptir. Bu olumsuzluklar, montajda yer alacak parçaların ilişkisine (sınırlayıcılara) dayalı yöntemlerle ortadan kaldırılabılır. Böylece montajda yer alan parçaların konum ve yönleri, CAD sistemi tarafından otomatik belirlenebilir. Bu makale, sınırlamaya dayalı montaj konusunda yapılan bir araştırma çalışmasını tanıtmaktadır. Unsur temelli tasarım yöntemi ile modellenen makina parçalarının montaj tanımı, zıtlık ve eş eksenlilik sınırlayıcıları kullanılarak yapıldıktan sonra montaj oluşumu, hazırlanmış olan bir bilgisayar programı ile otomatik elde edilmektedir. Yapılan bilgisayar uygulamaları, 2 boyutlu olmakla birlikte kolayca 3 boyuta'da genişletilebilir.

### **ABSTRACT**

Geometric modellers which, are CAD systems and have widely use, can be used to assemble machine components after defining their correct positions and orientations. However, such systems cannot provide required flexibility for the designer and do not allow him to experiment with various design alternatives. These shortcomings can be overcome

by the employment of methods that define the assembly of components in terms of their relationships (constraints). Thus, positions and orientations of components existing in an assembly can be determined automatically by the CAD system.

This paper describes the research work conducted about constraint - based assembly process. Components are modelled by the use of feature - based design approach and then they are related to each other by means of against and coaxial constraints so that assembly of components can be evaluated and visualized by the computer program. Although the applications done so far include 2 dimensional work, it could be easily extended to 3 dimension.

## 1. GİRİŞ

Tasarım işlemi, "problem tanım uzayı denilen fonksiyonel uzayda belirlenen ihtiyaçları, problem ç6züm uzayı denilen fiziki uzayda en uygun karşılayabilecek ürünün tam bir tanıtımını yapabilmek için gerekli faaliyetler bütünü" olarak tanımlanabilir. Belirli bir ihtiyaçın fark edilmesi ile başlayan bu işlem; problem tanımı, sentez, analiz ve optimizasyon, değerlendirme ve ayrıntılı tasarım işlemlerini içeren iteratif bir d6ngü ğeklinindedir. Burada analiz işlemi ile belirlenen bireysel parça boyutları, parça yapım resimlerinin ve sentez işlemi ile belirlenen parçaların sistem içindeki yerleşim düzeni ise, montaj resimlerinin projelendirilmesinde kullanılır.

Katı modelciler kullanılarak oluşturulan makine sistemlerinin montaj tasarımları, montajda kullanılan her bir parçanın yön ve konumunun eksiksiz ve tam olarak tanımlanmasını gerektirmektedir. Bu durum, zor ve zaman alıcı olmakla beraber sistemde yer alan parça boyutlarının değerştirilmesi halinde tekrarlanması söz konusudur. Böylece tasarımcı esnekliği ve farklı alternatifleri incelemesi güçleşeceği gibi tasarımın maliyet ve süresi de artabilecektir.

Montaj modellemede alternatif bir metod ise, sistemde yer alacak parça ilişkilerinin (sınırlayıcılar) kullanılmasına dayalı modellemedir. Bu makale, sınırlamaya dayalı montaj modelleme konusunda yürütülen bir araştırma çalışmasının ilk sonuçlarını özetlemektedir[1]. 2. Kısım kapsamında, bilgisayar destekli montaj sistemleri ve yaklaşımları hakkında yapılan bir kaynak araştırması özetlenmektedir. Kısım 3, montajda yer alacak parçaları ilişkilendirmede kullanılan sınırlayıcıları ve montaj denklemlerinin oluşturulmasını tanıtmaktadır. 4. Kısım'da, unsur temelli yaklaşımla modellenen parçaların montaj işlemini gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bir bilgisayar programı ve kullanılan yaklaşım anlatılacaktır. Son olarak araştırma bulguları, 5. Kısım'da özetlenecektir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Katı modelleme sistemlerinin çoğu, montajları şu şekilde temsil ederler;

- Bir koordinat sistemine göre her parçanın geometrisi ve
- Her parçaya ait  $4 \times 4$  homojenüs dönüşüm matrisi uygulandığında parçanın montaj içerisinde aldığı tam konum.

Katı nesnelerin geometrik temsil metodu, Requicha ve Voelcker [2] tarafından geliştirilmiştir. Buna göre  $n$  parçadan oluşan bir montaj için  $n-1$  homojenüs dönüşüm matrisi, tanımlanmalıdır. Bir dönüşüm matrisinde, 9'ü dönme ve 3'ü öteleme hareketine ait olmak üzere toplam 12 değişken bulunur. Her zaman son dört elemanın üçü, sıfır ve diğeri ise, bir değerine sahip olacağından  $n$  parçalı bir montajda,  $12 \times (n-1)$  değişken kullanılacaktır. PADL-2 [3] ve NONAME [4] gibi metinsel girdi ile çalışan CSG katı modelleme sistemleri, aşağıdakine benzer komut yapıları vasıtası ile parça tanımlanmasına izin verir;

MOVE A-prizma BY (MOVEX=20, MOVEY=20, ROTZ=30, MOVEX=20)

Burada "A" prizması, önce x eksenini boyunca 20 ve sonra y eksenini boyunca 20 birim, ötelenir. Arkasından z eksenini etrafında  $30^{\circ}$  döndürülür ve tekrar x eksenini boyunca 20 birim ötelenir. "MOVEX=20" şeklindeki her ifade için bir dönüşüm matrisi oluşturulmaktadır. Bu tür tanımlamanın ortaya çıkaracağı olumsuz iki sonuç;

- Montajda yer alan parça boyutlarının değiştirilmesi halinde dönüşüm matrisi değişken değerlerinin de değiştirilmesi,
- Parça tanımında kullanılan komutların değiştirilmesi güçlüğünden dolayı hata yapma ihtimalinin yüksek olmasıdır.

Bu olumsuzluklardan ilki, NONAME'de "MOVEX=length-of-prizma-b" gibi parametrik ifadelerle elimine edilmiş olmasına rağmen ikincisi halen mevcuttur. Bu eksiklik, geliştirilecek bir montaj modelleme sistemi ile giderilebilir.

Edinburgh Üniversitesinde geliştirilmiş olan robot montaj dili RAPT [5], montajda bulunan parça unsurları arasında kullanılacak zıtlık, eş düzlemsellik, geçme ve paralellik gibi sınırlayıcılar ile montaj tanımlanmayı mümkün kılar. Lee ve Gossard [6], iki montaj operatöründen oluşan bir montaj dili önermektedirler. Bu çalışmada kullanılan sınırlayıcılar; zıtlık ve geçmedir. Lee ve Andrew'in yaklaşımında ise [7], montaj sınırlayıcıları ile oluşturulan denklemler kullanılmaktadır. Turner [8] tarafından geliştirilen GEOTOL'da iki bağımlı konumlandırma operatörü tanımlanmaktadır. Bunlar; yüzey-kenar-köşe (FEV) ve eş eksenli

konumlamadır. Her bir operatör, altı serbestlik derecesini (SD) elimine eder. FEV operatöründe;

- İki düzlemsel yüzey, eş düzlemsel olarak sınırlandırılır (3 SD elimine edilir).
- İki kenar, eş doğrusal olarak sınırlandırılır (2 SD elimine edilir).
- İki diklik çakışacak tarzda bir sınırlama yapılır (Son SD yok edilir).

Lieberman ve Wesley [9,10] tarafından tanımlanan AUTOPASS robot programlama sistemi, "world graph" yapısındaki ilişkileri içerir. Bu yapıdaki komutlar ise;

- PLACE object1 ON object2
- INSERT object1 IN object2

şeklinindedir. Graftaki her düğüm, bir montajı veya parçayı temsil eder. Grafın her bir kenarı ise; parça, montaj, sınırlama ve bağlama ilişkilerinden birini göstermektedir. Ko ve Lee [11], bir sınırlandırma grafi kullanarak parça montajlarını temsil etmişlerdir. Grafın düğüm noktaları, parçaları temsil ederken; kenarları, bu düğümler arasındaki sınırlamaları (ilişkileri) göstermektedir. Bu sınırlamalar; zıtlık, geçme, sıkı geçme ve temastan oluşmaktadır. Eastman [12], parçalar arası bağıl konumları hiyerarşik şekilde düzenleyen bir "location graph" yapısı geliştirmiştir. Bu graftaki her bağ, bir homojenüs dönüşüm matrisine karşılık gelmektedir. Kim ve Lee [13] tarafından geliştirilen yaklaşımla da montaj modelleme, parçalar arasında tanımlanan sınırlayıcılardan oluşturulduktan sonra tasarlanan sistemin dinamik ve kinematik analizinde kullanılmaktadır. Kane [14], kam veya dişli gibi özel istisnalar ile montajda yer alan bazı parçaların silindirik ve düzlemsel yüzeylerini esas alarak uyguladığı montaj sınırlayıcıları

vasıtası ile tasarımları tanımlamıştır. Ancak Rocheleau ve Lee [15], mevcut sınırlayıcıların farklı özellikteki her montajı geliştirmeye kifayet etmeyeceğini belirtmektedir.

### 3. SINIRLAYICI KULLANARAK OTOMATİK MONTAJ

#### 3.1 Montaj Sınırlayıcıları

**Zıtlık Sınırlayıcısı:** İki farklı parça konumları, sahip oldukları iki düzlemsel yüzey veya bir düzlemsel yüzey ve bir silindirik yüzeyin birbirlerine “zıt” olduğu kabul edilerek sınırlandırılabilir. Zıtlık sınırlayıcısı, uygulandıkları parça yüzeylerinin aynı düzlemde, yüzey normal vektörlerinin aynı doğrultu ve zıt yönlü olacağını belirtmektedir.

**Geçme Sınırlayıcısı:** Geçme sınırlayıcısı, silindirik bir delik ve mil (dış ve iç silindirik yüzeyli parçalar) arasında uygulanabilir. Mil ve delik eksen çizgileri üzerinde ikişer nokta koordinatlarının bilinmesi gereklidir.

**Eş Düzlemsellik Sınırlayıcısı:** Bu sınırlayıcı, iki düzlemsel yüzeyin eş düzlemde (aynı düzlemde) olacağını tanımlar. Burada yüzeylerin normal vektörleri paralel ve aynı yönlü iken; yüzeylere ait kenarlar üzerinde seçilen iki nokta, aynı doğru üzerinde bulunmalıdır.

**Diğer Sınırlayıcılar:** Yukarıda tanıtılan montaj sınırlayıcılarına ilaveten kaynaklarda başka sınırlayıcılardan da bahsedilmektedir [16]. Bunlar;

- Temas Sınırlayıcı - Birleşecek iki parça üzerindeki iki noktanın çakışmasını gerektirir. Zıtlık sınırlayıcısına benzemekle birlikte noktaların çakışması ve parçalar üzerinde birden çok yüzey çiftleri arasında gerçekleşmesi ile farklılık arz eder.

- Sıkı Geçme Sınırlayıcısı - Geçme sınırlayıcısında dönmenin olmayacağı özel bir haldir.
- Serbest Dönme - Civata veya mil gibi bir eksen çizgisi etrafında dönebilen parçalarda söz konusudur.

### 3.2. Montaj Denklemlerinin Oluşturulması

$N$  parçadan oluşan bir montaj için gerekli denklem sayısı  $M$  [16],

$$M = 6(N - 1) + 16.NA + 16.NC + 18.NF + 2.NR$$

olur. Burada  $NA$ , zıtlık;  $NC$ , eş düzlemsellik;  $NF$ , geçme ve  $NR$ , serbest dönme sınırlayıcılarını belirtmektedir. Bu denklemlerde kullanılacak değişken sayısı,  $V$  ise;

$$V = 12.(N - 1) + 12.(NA + NC + NF)$$

olur. Buradaki  $12.(N-1)$ , dönüşüm matrisleri eleman sayı toplamını;  $12.(NA + NC + NF)$  ise, zıtlık, eş düzlemsellik ve geçme sınırlayıcılarında kullanılan değişken sayısını ifade etmektedir [16]. Anılan Homejenüs dönüşüm matrisi,

$$[T] = \begin{bmatrix} m_x & q_x & r_x & x \\ m_y & q_y & r_y & y \\ m_z & q_z & r_z & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

olarak belirtilebilir. Bu dönüşüm matrisi, değişken sayısının artmasına sebep olacağından aşağıdaki gibi bir  $[R]$  alt matrisinin kullanımı faydalı olacaktır.

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [R] & 0 \\ & 0 \\ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada  $x$ ,  $y$  ve  $z$ ; aynı eksenler doğrultusundaki öteleme değerlerini belirtirken,  $[R]$  matrisi;

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos\alpha \cdot \cos\beta & -\sin\alpha \cdot \cos\beta & \sin\beta \\ \sin\alpha \cdot \cos\gamma + \cos\alpha \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma & \cos\alpha \cdot \cos\gamma - \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma & -\cos\beta \cdot \sin\gamma \\ \sin\alpha \cdot \sin\gamma - \cos\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma & \cos\alpha \cdot \sin\gamma + \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma & \cos\beta \cdot \cos\gamma \end{bmatrix} \quad (3)$$

olur. Burada  $\alpha$ ,  $x$  eksenini;  $\beta$ ,  $y$  eksenini ve  $\gamma$  ise,  $z$  eksenini etrafındaki dönme açılarıdır. Böylece  $M$  denklem ve  $V$  değişken sayıları;

$$\begin{aligned} M &= 4.NA + 4.NC + 6.NF + NR \\ V &= 6.(N-1) \end{aligned} \quad (4)$$

olur. Montaj sınırlayıcıların uygulanması ile elde edilen denklem sisteminin çözümü için Newton-Raphson iterasyon metodu kullanılır [16].  $n$  değişken ve  $m$  lineer olmayan denklemden oluşan bir sistem için Newton-Raphson metodu:

$$X_{k+1} = x_k + [J(x_k)]^{-1} \cdot R_k \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Burada  $X_k$ ,  $k$ 'inci iteratif çözüm vektörü;  $[J(X_k)]$ , Jakobien matrisi ve  $R_k$  ise, fazlalık vektörüdür. Aşağıda verilen  $m$  denklemde bulunan  $n$  değişkenin,  $(x=[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T)$  çözümü için,

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (6)$$

önce bu denklemleri vektör formunda yazarsak;

$$F(x) = 0 \quad (7)$$



olur. (7)'deki denklemleri Newton-Raphson formunda yazmak için (i) adımda ( $x_i$ ) kadar bir çözüm olduğu kabul edilirse, (i+1) adımda, aşağıdaki gibi  $x_{i+1}$ 'lik bir çözüm olacaktır.

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i \quad (8)$$

$x_i$ 'ye göre (6) nolu denklemlerin lineerleştirilmesi ile;

$$F_{i+1} = F_i + \frac{\partial F(x_i)}{\partial x} \Delta x_i \quad (9)$$

olur.  $x_{i+1}$ 'in çözülmesi ile  $F_{i+1}=0$  elde edilir ve (9) denkleminde yerine konulursa,

$$\frac{\partial F(x_i)}{\partial x} \Delta x_i = -F_i \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \frac{\partial f_m}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{bmatrix} \quad (11)$$

veya

$$\begin{aligned} [J]_i \cdot \Delta x_i &= R_i \\ [J]_i^T \cdot [J]_i \cdot \Delta x_i &= [J]_i^T \cdot R \end{aligned} \quad (12)$$

elde edilir. Burada  $[J]_i = [J(x_i)]$ , jakobien;  $\Delta x_i$  fark ve  $R_i$  fazlalık matrisleridir.  $J[x_i]$ ,  $m \times n$  boyutunda kare olmayan bir matristir. Least square metodu, yukarıdaki denklemin çözümünde kullanılabilir ve denklemin her

iki tarafının  $[J]_i^T$  ile çarpma esasına dayanmaktadır. (12) denkleminin  $\Delta x_i$  elde etmek için çözümü;

$$\Delta x_i = [J^T \cdot J]_i^{-1} \cdot [J]_i^T \cdot R_i \quad (13)$$

şeklinde olur. Burada önce  $x_0$  için tahmini bir değer alınır ve Jakobien matrisi  $[J_0]$  ve artan vektör  $R_0$  hesaplanır. Arkasından (13) denklemi kullanılarak  $\Delta x_0$  bulunduktan sonra (8) denklemi ile  $x_1$ 'i hesaplanır. Benzer adımlar,  $\Delta x_1, x_2, \Delta x_2$  ve  $x_3 \dots \Delta x_{n-1}$  ve  $x_n$ 'i elde etmek için de tekrarlanır.  $\Delta x, 0$ 'a yaklaştığı veya  $R$ 'nin elemanları  $0$ 'a yaklaştığı zaman çözüm elde edilir.

#### 4. MONTAJ BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu kısımda unsur tabanlı modelleme yöntemi ile oluşturulan 2 boyutlu (2B) çeşitli makina parçalarının bilgisayar destekli nasıl monte edilebileceği hakkında yürütülen bir çalışma özetlenecektir. Montaj konusunda yapılan bu çalışmaya paralel yürütülen diğer bir çalışmada geliştirilmiş olan Geometrik Unsur Tabanlı Tasarım (GUTAT) sistemi kullanılarak modellenen bireysel parçalar, bu sisteme eklenen bir montaj modülü ile montaj sistem yeteneğine kavuşturulmuştur.

##### 4.1. Montaj Parçalarının İlişkilendirilmesi ve Tanımı

Montaj tanımında; “*zıtlık*” ve “*eş eksenlilik*” sınırlayıcıları kullanılmıştır. 3 boyutlu (3B) montaj modellemede iki parçanın zıtlık sınırlayıcısı bu parçaların birleşecek olan düzlemsel yüzeyleri, bu yüzeyler üzerindeki birer nokta ve vektör ile tanımlanmaktaydı. Bu sistemdeki **zıtlık sınırlayıcısı** ise,

birleşecek parçaların iki kenarı arasında birleşimi sağlamaktadır (parçalar 2B'li modellendiklerinden). İkinci sınırlayıcı **eş eksenlilik**, parça eksenlerini aynı eksene getirmede kullanılmaktadır. Düzlemden bir parçanın serbestlik derecesi 3 dür (bunlar, x ve y eksenleri boyunca öteleme ve z eksenini etrafındaki dönmedir). İki parça arasında **zıtlık sınırlayıcısı** kullanıldığında, parçaların temas yüzeylerine dik doğrultulu öteleme ve z eksenini etrafındaki dönme hareketi elimine edilir. **Eş eksenlilik sınırlayıcısı** kullanılması ile parçaların eksenleri aynı doğrultuya taşınır ve böylece eksenlere dik doğrultudaki öteleme hareketi de ortadan kalkar. Bu durumda montaj için gerekli olan 0 serbestlik derecesi sağlanmış olur.

GUTAT kullanılarak modellenen parçalar, daha sonra yukarıda belirtilen sınırlayıcıların uygun bir tarzda kullanılması ile montaj için tanımlanır. Bu amaçla, basit bir montaj tasarım syntaxı geliştirilmiştir. Şekil 1'de görünen bu syntax, insan ve bilgisayar tarafından kolayca okunabilir bir formattadır.

```
%Açıklama
%Açıklama
%Açıklama
%Açıklama
montaj {isim( Montaj_İsmi )
parca {zitlik(Parça_Dosyası, İlişkili_Unsurmilduz_1, Yerel_Koordinata_Göre_Pozisyonu)
      zitlik (Parça_Dosyası,İlişkili_Unsurmilduz_1,Yerel_Koordinata_Göre_Pozisyonu,Yerleşim)
      es_ksen(Eş_Eksenli_Olduğu_Parça_Dosya_İsmi)
      }
}
```

**Şekil 1:** Unsur temelli montaj tasarım syntaxı.

Şekilde verilen basit montaj syntax yapısı, hiyerarşik bir yapıda montaj edilecek parçaların bildirilmesi, tanımlanması, denenmesi ve istenilen d6zeltmelerin yapılmasına m6saade edecek tarzda tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu syntaxın kullanılması ile yapılacak montaj program mod6llerinin ilk satırları, kullanıcı tercihinine g6re yorum ve açıklama amaçlı kullanılabilir. Bu t6r satırlar, bir “%” karakteri ile baŐlamalıdır. Bu satırlardan sonra “montaj” kelimesi ile baŐlayan ve “{ ... }” parantezleri arasında montaj tanımlanmasını m6mk6n kılan mod6ler bir yapı yer almaktadır. Burada yapılacak montaja, bir isim verilebilmektedir.

Alt mod6l parça syntaxı, iki zıtlık ve bir eş eksensellik parametrelerinden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi zıtlık; montaj edilecek parçanın bilgisayardan okuyacağı dosya ismini, bu dosyaya ait unsur ismini ve bu unsurun b6lgesel eksen konumunu (-1, 0 veya 1 olarak) tanımlanmaktadır. Burada tanımlanan unsur, montaj parçaları arasında referanstır ve bunun b6lgesel eksen takımıyla ilişkileri; “-1” (solda), “0” (b6lgesel eksende) ve “1” (sağda) olur. Montaj tasarım kodu, program dıŐında herhangi bir text edit6r6 kullanılarak da yapılabilir ve montaj tasarım programında kullanılabilir.

İkinci zıtlık parametresi, birinci ile aynı amaçlı kullanılır; fakat burada; birinciye ilave olarak durum parametresi eklenmiŐtir. Bu parametre, global koordinat sistemine g6re parça b6lgesel koordinat sistemi farklı bir y6nde (açıda) ise, yanlıŐ (f) veya aynı ise, doğru (t) olarak tanımlanır. EŞ eksensellik parametresi ikinci bir sınırlayıcı olarak aynı eksen doğrultusunda bulunduğu parçanın “parça dosya ismini” b6nyesinde saklar.

## 4.2. Montaj Modülü

Montaj program akış algoritması Şekil 2’de verilmiştir. Bu modülde GUTAT bilgisayara yüklenir ve bir montaj tasarım dosyası okunur. İlk parçanın aç ve koordinat değerleri, montaj aşamasında kullanılmak amacı ile bilgisayar hafızasında saklanır. İlk çizilen montaj parçası bu değerlere göre ekrana çizdirilir. Daha sonra okunan montaj parçaları, zıtlık ve eş eksensellik sınırlayıcılarına bağlı olarak çizdirilir. Zıtlık sınırlayıcısı uygulanan parça unsurunun bölgesel koordinatına göre tanımlanmış “-1”, “0” ve “1” ilişki değerlerine bağlı olarak unsurun ve dolayısıyla ait olduğu parçanın yeni konumu hesaplanır. Eş eksensellik sınırlayıcısı ise, hangi parçaların eş eksenselli olduğunu tespit ederek taşınacak parça koordinat değerlerini yeniden hesaplar. Bu işlemler, programca belirlenen parça sayısı kadar sürdürülerek montaj işlemi tamamlanır. Daha sonra montaj modülü, yeni parça koordinat değerlerine göre montaj çizimini gerçekleştirir. İşlemler, Şekil 2’de verilen algorithmada açıkça görülmektedir.

{ Başla

*{ Kullanıcı tarafından;*

*- Montaja bir dosya adı verilir }*

*{{ Monte edilecek ilk parça ise;*

*- Parça konum ve koordinat değerleri saklanır }*

*{ Monte edilecek ilk parça değilse;*

*- İlk parça konum ve koordinat değerleri parçaya atanır*

*- Zıtlık sınırlayıcısına göre parça konum ve koordinat değerleri belirlenir*

*- Eş eksensellik sınırlayıcısına göre parça konum ve koordinat değerleri belirlenir }*

*{ İşlem son parçaya kadar tekrarlanır }*


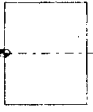
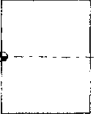
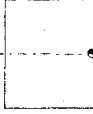
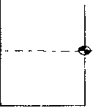
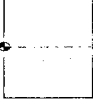
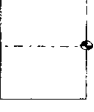
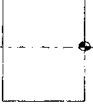
*{ Montaj ekranda çizilir }*

Bitiş ]

Şekil 2: Montaj program algoritması.

Montajda kullanılacak referans parçasını, “Sp” (sabit parça); monte edilecek parçayı ise, “Hp” (hareketli parça) olarak adlandıralım. Bu parçalar üzerindeki unsur yerel koordinatları ve zıtlık sınırlayıcısı kullanılmak sureti ile hareketli parçanın sabit parça üzerine yerleştirilmesi 4 farklı şekilde olabilir. Konumlama durumu (-1, 0, 1) dikkate alındığında, bu 4 farklı yerleştirme şeklinin her biri de d6rder farklı alternatifte sahip olacak (d6nme, 6teleme veya d6nme/6teleme biçiminde) ve b6ylece 16 değişik alternatif olacaktır (Şekil 3).

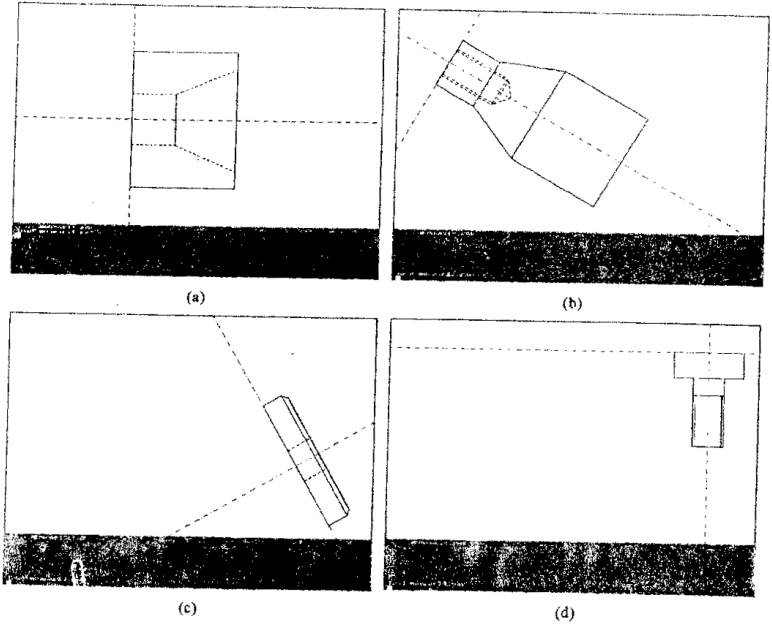
Burada “-1”, hareketli parçanın sabit parça üzerindeki unsur yerel koordinat sistemi soluna getirileceğini (monte edileceğini); “0”, unsur yerel koordinat sistemi orijinine getirileceğini; “1” ise; sağ tarafına getirileceğini g6stermektedir. 6rneğin Şekil 3’deki birinci alternatifin ilk satırını inceleyelim. Burada Sp ve Hp, 0 değerlerini almakta; yani, Sp’nin montaja tabii unsur yerel koordinat sistem orijini ile, Hp unsur yerel koordinat sistem orijininin çakışması için hareketli parçanın bir d6nme ve bir 6teleme ( $d + 6$ ) hareketi yapması gerekir. Diğer alternatiflerde benzer şekilde olacaktır.

Sabit Parça (Sp)	Hareketli Parça(Hp)	Sp			Hp			Durum
		-1	0	1	-1	0	1	
			x x	x x		x x	x	d+δ δ δ d+δ
			x x	x x	x x	x x		d-δ δ δ d+δ
		x x	x x			x x	x	d+δ δ δ d+δ
		x x	x x		x x	x x		d+δ d+δ δ d+δ

Şekil 3: Montaj parçalarının unsur yerel koordinatına bağlı ilişkileri.

#### 4.4. Örnek Tasarım

Burada montaj modülünün kullanılması örnek bir sistem üzerinde açıklanacaktır. Montaj işlemine başlamadan önce montajda birleştirilecek parçaların modellenmesi, GUTAT [17] yardımı ile yapılmalıdır. Bir montajda yer alacak dört parçanın unsur temelli modelleri, Şekil 4'de görülmektedir. Bu örnekte yer alan tüm parçalar, değişik konum ve açılara sahip bulunmaktadır. Ayrıca bu parçalarla ilgili veriler, ayrı parça dosyalarında saklanmıştır. Montaj, unsur temelli tasarımları modellenen bireysel parçaların montaj syntaxı kullanılarak ilişkilendirilmesi ile başlar. Bu örnek için yazılan montaj tanımı, Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 4: Montaj parçalarının farklı konumları.



Burada Şekil 4 (a), (b), (c) ve (d)'deki parçalar, parça modülünde tanımlı olan zıtlık ve eş eksenlilik sınırlayıcıları kullanılarak ilişkilendirilir. Montaj aşamasında 1 nolu parça dışındaki her parçaya, 1 nolu montaj parçası konum ve açı değerleri referans alınarak ötelenme veya dönme işlemleri yaptırılır. Her bir parça, bir diğer parça ile ilişkilidir ve bu ilişkilerden montaj işlem sırası elde edilir. Montaj sırası tespit edilmiş bir parça, ötelenme veya dönme ile montaj konumuna yerleştirilir. Montaj ilişkilerini bilgisayar programı otomatik olarak rapor eder (Tablo 1).

```

%Çektirme montajı
montaj (isim:(çektirme)
% 1 ve 2 nolu parçaların montajı
  Parca {zıtlık(monpar11,milduz_1,0)
        zıtlık(monpar12,milduz_1,0,t)
        es_eksen(monpar11)}
% 1 ve 3 nolu parçaların montajı
  parca {zıtlık(monpar11,milduz_1,0)
        zıtlık(monpar13,milduz_1,1,f)
        es_eksen(monpar11)}
% 3 ve 4 nolu parçaların montajı
  parca {zıtlık(monpar13,milduz_1,0)
        zıtlık(monpar14,milduz_1,1,t)
        es_eksen(monpar13)}
}

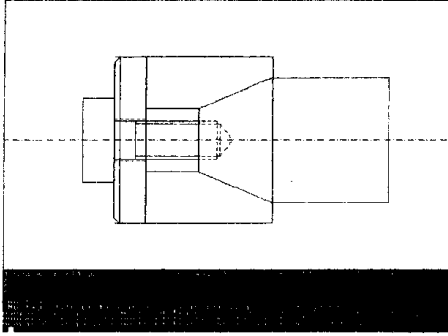
```

Şekil 5: Örnek montaj tasarım tanımı.

Tablo 1: Sınırlayıcı listesi.

Parça ismi	Unsur ismi	Zıtlık	Parça ismi	Unsur ismi	Zıtlık	Eş eksenlilik	d
monpar11	milduz_1	0	monpar12	milduz_1	0	monpar11	t
monpar11	milduz_1	0	monpar13	milduz_1	1	monpar11	f
monpar13	milduz_1	0	monpar14	milduz_1	1	monpar13	t

Ayrıca Şekil.4’de verilen örnek parçaların montaj modülü ile otomatik olarak birleştirilmiş hali, Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6: Örnek parçaların montajı.

## 5. Sonuç

Bu makalede, sınırlandırmaya dayalı bilgisayar destekli montaj konusunda yürütülen bir araştırma çalışmasının ilk sonuçları özetlenmektedir. Unsur temelli modelleme ile oluşturulan 2B simetrik parçaların montaj ilişkileri; zıtlık ve eş eksenlilik sınırlayıcılar kullanılarak yapılmaktadır. Parçaların montaj içindeki konum ve yerleri, hazırlanan bilgisayar programı tarafından hesaplanarak ekranda görüntülenmektedir. Bu tür bir metotla yapılacak montaj işleminin avantajları;

- Kullanıcıya kolay montaj tanımı sağlamakta ve

- Montajı oluşturan parça boyutlarının değiştirilmesi halinde yeni montaja göre montajı güncelleştirebilmesi şeklinde belirtilebilir.

Çalışmanın şimdilik 2B olması ve iki sınırlayıcıyı kapsamasına rağmen, 3B'da yeni sınırlayıcılar da kullanılacak şekilde genişletilmesi mümkündür. Ayrıca montaj sıra planlaması konusu da, ileri ki araştırmalarda ele alınacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Sinanoğlu, C., Bilgisayar Destekli Montaj, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Ağustos 1996.
2. Requicha, A.A.G. and Voelcker, H.B., "Solid Modelling: A Historical Summary and Contemporary Assessment", IEEE Computer Graphics and Applications, 2, 9-24, 1983.
3. Brown, S.C.M., "PADL-2: A Technical Summary, IEEE Computer Graphics and Applications", 2, 69-84, 1982.
4. GMP Staff, Description of NONAME, Geometric Modelling User Manuel 1, Geometric Modelling Project, University of Leeds, Leeds, May 1981.
5. Ambler, A.P. and Poolestone, R.J., "Inferring The Positions of Bodies from Specified Spatial Relationships", Artificial Intelligence, 6, 157-174, 1975.
6. Lee, K. and Gossard, D.C., "A Hierarchical Data Structure for Representing Assemblies: Part 1", Computer Aided Design, 17(1), 15-19, January 1985.
7. Lee, K. and Andrews, G., "Inference of The Positions of Components in an Assembly: Part 2", Computer Aided Design, 17(1), 20-24, January 1985.
8. Turner, J.U., Tolerance in Computer Aided Geometric Design, PhD Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, USA, May 1987.
9. Lieberman, L.I. and Wesley, M.A., "AUTOPASS: An Automated Programming System For Computer Controlled Mechanical Assaembly", IBM Journal of Research and Development, 21, 321-333, 1977.

10. Wesley, M.A. v.d., "A Geometric Modelling System for Automated Mechanical Assembly", IBM Journal of Research and Development, 24(1), 67-74, January 1980.
11. Ko, H. and Lee, K., "Automatic Assembling Procedure Generation From Mating Conditions", Computer Aided Design, 19 (1), 3-10, January 1987.
12. Eastman, C.M., "The Design of Assemblies", Technical Paper, SAE, 810197, 1981.
13. Kim, S.H. and Lee, K., "An Assembly Modelling System for Dynamic and Kinematic Analysis", Computer aided Design, 1, 2-18, Jan/Feb 1989.
14. Kane, P.M., Solid Modelling Techniques for Automated Robotic Assembly, PhD Thesis, Geometric Modelling Project, University of Leeds, Leeds, September 1987.
15. Rocheleau, D.N. and Lee, K., "System for Interactive Assembly Modelling", Computer Aided Design, 19(2), 65-70, March 1987.
16. Zeid, I., CAD/CAM Theory and Practice, McGraw-Hill, Inc., New York, 1991.
17. elik, S., Unsur Tabanlı Makina Tasarımı, Y6ksek Lisans Tezi, Erciyes 6niversitesi, Kayseri, Ağustos 1996.