

ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLERİN MONTAJ VE ALT MONTAJ SIRALARININ OLUŞTURULMASI VE SINIRLAMALARADAYALI OPTİMİZASYONU

Hakan DİLİPAK, Ahmet ÖZDEMİR*

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, 06500, Teknikokullar,
Ankara, TÜRKİYE, hdilipak@gazi.edu.tr*

ÖZET

Gerçekleştirilen çalışmada, montaj sıralarının otomatik üretilmesi amacıyla ürünün katı modeli girdi olarak kullanılmıştır. Ürün modelinden, montajın matris anlatımı gerçekleştirilerek temas (T) ve hareket (H) fonksiyonları türetilmiştir. Kartezyen koordinat sisteminin altı eksen boyunca; T fonksiyonu, ürünü oluşturan parçalar arasındaki temaslardan, H fonksiyonu ise parçaların demontaj serbestliğinden kullanıcı etkileşimi olmaksızın üretilmiştir. Çalışmada, ana parça, montaj kararlılığı, son parça ve montaj zorunluluğu olmak üzere dört sınırlama kullanılmıştır. Montaj sıraları kullanıcıya irtibat sıralama grafiği ile sunulmuştur. Geliştirilen sistem, sınırlamalar hariç tamamen kullanıcı etkileşimsiz olup, önceden sınırlama kullanımıyla montaj sıralarının üretilme sürelerinde çok büyük kazançlar sağlamıştır. AutoCAD 2000 paket programı, Visual LISP, Turbo PASCAL ve Visual BASIC programlama dilleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli montaj, montaj sırası üretme, alt montaj, demontaj, sınırlamalar, irtibat sıralama grafiği

GENERATION OF ASSEMBLY AND SUBASSEMBLY SEQUENCES OF INDUSTRIAL PRODUCTS AND THE OPTIMIZATION WITH CONSTRAINTS

ABSTRACT

In the prepared study, the solid model of the product is used as an input to automatically generate the assembly sequences. Preparing the matrix representation of the product from product model, the contact and the motion functions are generated. Along the six main directions of Cartesian coordinate system, the contact and the motion functions are generated without user interaction. The contact function includes contacts between parts of the product, the motion function is formed from the freedom of disassembly. In the study four constraints are taken into account namely main part, assembly stability, last part and assembly necessity. Assembly sequences are presented to the user with the liaison sequence graph that has a hierarchical structure and can be easily understood. Developed system has no user interaction except constraints. On a large scale profits have been realized in the generating time of assembly sequences by using of constraints before generating of whole sequences. In this work AutoCAD 2000 as main software and besides Visual LISP, Turbo PASCAL and Visual BASIC have been used as programming languages.

Key Words: Computer aided assembly, assembly sequence generating, subassembly, disassembly, constraints, liaison sequence graph

1. GİRİŞ

Endüstriyel ürünlerin tasarım ve imalat süreçlerinin önemli bir adımı sayılan montaj tasarımı ve planlaması günümüzde bilgisayar destekli yapılabilmekte ve bu alanda son derece yaygın akademik araştırmalar devam etmektedir. BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımlarının önemli bir modülü olarak görev yapan montaj birimleri, ürünü oluşturan bireysel parçaların 3 boyutlu modellerinden hareketle monteli katı modelini oluşturabilmektedir.

Bir ürünün montaj sırasını tespit etmek için, genellikle iki metodun yaygın olarak tercih edildiği literatür çalışmalarından elde edilmiştir. Bunlar;

1. Gerçek şartları göz önünde bulundurarak bir ürünün demontaj sırasını tespit etmek ve bu sırayı tersine çevirmek,

2. Ürün montajında kullanılan teknik ve teknolojik kuralları kullanarak doğrudan montaj sıralarını üretmektir.

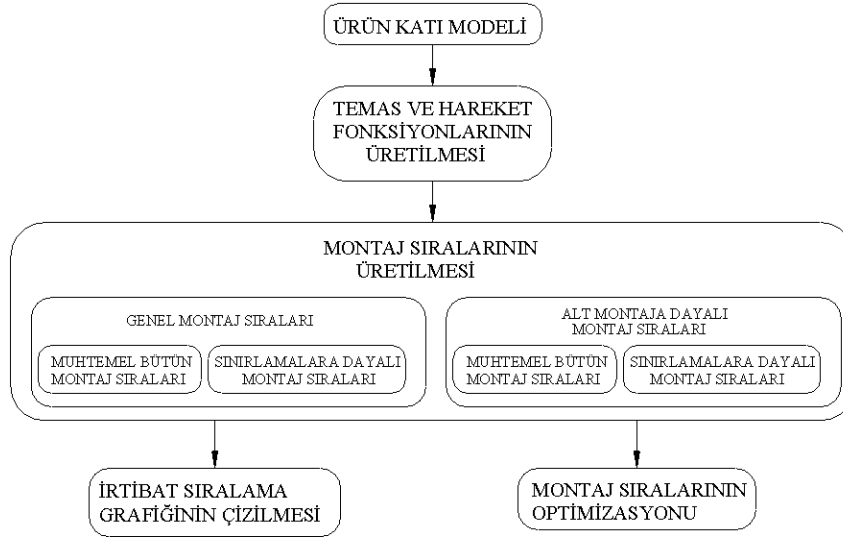
Çalışmada, literatürde de yaygın olarak tercih edilen birinci metoda dayalı bilgisayar destekli montaj sırasını üretmek için bir yazılım geliştirilmiştir. Montaj sıralarının üretilmesinin temeli olan ürünün parçaları arasındaki irtibat ilişkileri, en çok grafik (1 -5) ve matris (1, 6 - 10) tabanlı olmak üzere iki şekilde elde edilmektedir. Grafik tabanlı yöntemler, kullanıcı etkileşimli olarak üretildiği gibi, matris tabanlı yöntemler kullanıcı etkileşimli veya etkileşimsiz olarak üretilebilmektedir. Önce ürünün matris modeli oluşturulup bu modelden, irtibat ilişkileri grafik olarak kullanıcıya sunulabilmektedir. Ancak, irtibat ilişkilerinin kullanıcı etkileşimi olmadan üretilebilmesi için ürünün katı model temsili gerekmektedir.

Matris tabanlı yöntem kullanan araştırmacılardan Ong - Wong (6) kesişme ve bağlantı, Dini - Santochi (11) ise kesişme, temas ve bağlantı matrislerini elde etmişlerdir. Ancak, her iki araştırmada kullanılan matrisler kullanıcı etkileşimli olarak elde edilmektedir. Aynı zamanda, bağlantı matrisleri vida, vb. bağlantıların kullanıcı tarafından belirlenmesinin gerektirmektedir. Yine bu araştırmacıların kullandığı matrisler kartezyen koordinat sisteminin her eksenine için ayrı ayrı hazırlanmaktadır. Gottipolu ve Ghosh (12) ise temas ve hareket matrislerini, PADL - 2 katı modelleme paketini kullanarak elde etmiştir. Geliştirilen programda, mümkün olduğunca kullanıcı etkileşimi istenmediği için, Gottipolu ve Ghosh tarafından kullanılan temas ve hareket matrisleri bu çalışma içinde tercih edilmiştir. Gottipolu ve Ghosh (12), temas ve hareket matrislerini kullanarak aynı anda ürünün montaj ve alt montaj sıralarını üretmektedir. Ong ve Wong (6), montaj sıralarını üretilme sürelerinin azaltılması amacıyla, ürünün alt montajını teşhis eden ve sadece alt montaja dayalı olarak montaj sıralarını üreten bir çalışma yapmıştır. Ancak, ürünün ana parçasıyla bağlantılı olan alt montajları algılayamaması bu çalışmanın önemli bir dezavantajıdır.

Gerçekleştirilen çalışmada, literatürde yapılmış olan çalışmalardan farklı olarak CAD ortamında katı model olarak tasarlanan ürünlerin, montaj sıraları kullanıcı etkileşimi olmadan belirlenmekte, varsa alt montajlar teşhis edilmekte ve bu alt montajlara ait montaj sıraları üretilmektedir. Ürünlerin üretilen montaj sıraları kullanıcıya, bir çok grafik yöntemle sunulmaktadır. Ancak bu yöntemler içerisinden, hiyerarşik bir yapıya sahip olan ve/veya grafiği (5, 13 -19) ve irtibat sıralama grafiği (montaj sıra grafiği) grafiği (1, 4, 12, 20 - 26) araştırmacılar tarafından en fazla tercih edilen yöntemler olmuştur. Bu iki yöntem, hiyerarşik olarak birbirinin tersi şeklinde hazırlanmaktadır. Ve / veya grafiği, ürünün montajından demontajını yapacak şekilde; irtibat sıralama grafiği ise, bağımsız parçalardan ürünün montajını yapacak şekilde hazırlanmaktadır.

Bu çalışmada, montaj sıraları üretilmeden, ana parça, montaj kararlılığı, son parça, montaj zorunluluğu olmak üzere dört tane sınırlama kullanılmıştır. Montaj sıraları üretilmeden önce sınırlamaların kullanılmasıyla, anlamsız montaj sıraları henüz üretilmeden iptal edilmiş ve montaj sıralarının üretilme süresi azaltılmıştır. Buna rağmen hala sıra sayısı fazla olması ihtimali varsayılarak, üretilen sıralara yukarıda belirtilen sınırlamalar tekrar uygulanarak, en uygun montaj sırasının belirlenmesi sağlanmıştır. Hazırlanan program, 250 parçanın montaj sırasını üretebilecek kapasitededir. Ancak çalışmada, en fazla 38 parçaya kadar olan endüstriyel ürünler için uygulamalar yapılmış ve

başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

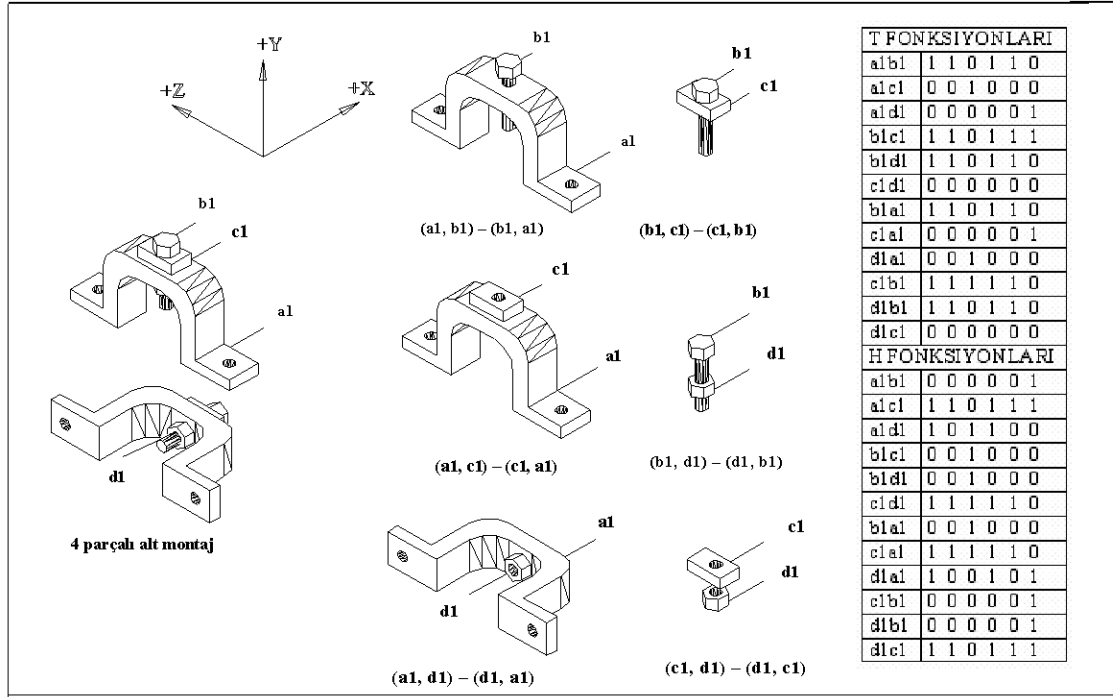


Şekil 1. Geliştirilen programın genel algoritması

Geliştirilen bilgisayar programının genel algoritması Şekil 1'de verilmiştir. Ürünün katı modeli programın girdisini oluşturmaktadır. CAD ortamındaki ürün modelinden kullanıcı etkileşimi olmadan T ve H fonksiyonları üretilmektedir. Bu fonksiyonlar, montaj sırası üretme sürecinin temel girdilerini oluşturmaktadır. T ve H fonksiyonları yorumlanarak; muhtemel bütün montaj sırası, sınırlamalara dayalı montaj sırası, alt montaja dayalı muhtemel bütün montaj sırası ve alt montaja ve sınırlamalara dayalı montaj sırası olmak üzere dört farklı şekilde montaj sıraları üretilmektedir. Montaj sıraları üretildikten sonra, üretilen montaj sıraları irtibat sıra grafiklerinde kullanıcıya sunulduğu gibi, üretilen montaj sıralarına montaj sınırlamaları tekrar uygulanarak en uygun montaj sırasının seçimi sağlanabilmektedir.

2. ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLERİN TEMAS VE HAREKET FONKSİYONLARININ KULLANICI ETKİLEŞİMİ OLMADAN ÜRETİLMESİ

Montaj sıralarının bilgisayar ortamında otomatik olarak belirlenebilmesi için, endüstriyel bir ürünün parçaları arasındaki konum ve demontaj ilişkilerinin elde edilmesi ve bu ilişkilerin bilgisayar tarafından anlaşılabilir ve değerlendirilebilir biçimde olması gerekmektedir. Bunun için BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) ortamında katı model olarak monteli bir halde tasarlanan bir ürünün koordinat sisteminin üç ana eksenine (x, y, z) boyunca ürünü oluşturan her bir parçanın hareket ettirilmesi gerçekleştirilmiştir. Eksenler boyunca hareketler neticesinde, parçaların diğer parçalarla temasta olup olmadığı ve hareketini hangi parçaların engellediği belirlenmektedir. İlk olarak montajı oluşturan tüm parçalar birbirleriyle eşleşerek birer çift oluşturmakta her çift ürünün elemanı olan iki parçadan meydana gelmektedir. Bir üründeki her parça diğer parçalarla eşleştirilerek çiftler oluşturulmaktadır. Şekil 2'de 4 parçadan oluşan bir alt montaj, oluşturulabilecek muhtemel bütün çiftler ve alt montaj için T ve H fonksiyonları gösterilmektedir.



Şekil 2. 4 parçadan oluşan bir alt montaj, muhtemel bütün çiftler, T ve H fonksiyonları

Burada, T fonksiyonu, montajlı haldeki bir ürünün, sırayla bütün elemanlarının diğer elemanlarla 6 yön boyunca temas edip etmeme durumuna göre hazırlanmıştır. Örneğin $(a1, b1)$ eşleşmesine göre, $b1$ parçası sabit tutulmuş ve $a1$ parçasının $b1$ parçasıyla sırayla 6 yön boyunca temas ettiği yüzeyler kontrol edilmiştir. Temas fonksiyonunun $(a1, b1)$ çifti için ayrılan kısma, temas eden yüzeylere karşılık gelen yönün bulunduğu sütuna "1", temas olmayan yüzeylere karşılık gelen yönün bulunduğu sütuna da "0" yazılmıştır. Şekil 2'deki alt montajın $(a1, b1)$ çiftinin temas fonksiyonu $(a1, b1)=(1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0)$ şeklindedir. Burada, $b1$ parçası sabit tutulduğunda, $a1$ parçasının $b1$ parçasıyla temas ettiği yönler $+x$, $+y$, $-x$, ve $-y$ 'dir, bu $(a1, b1)$ çifti $+z$ ve $-z$ yönlerinde birbirleriyle temasta değildir.

H fonksiyonu, montajlı haldeki bir ürünün, sırayla her bir elemanın diğer elemanlar tarafından demontesine engel olup olmama durumuna göre hazırlanmaktadır. Örneğin $(a1, b1)$ eşleşmesine göre, $b1$ parçası sabit tutulmakta ve $a1$ parçası sırayla $+x$, $+y$, $+z$, $-x$, $-y$ ve $-z$ yönlerinde hareket ettirilmektedir. Bu hareket esnasında, $b1$ parçası tarafından, $a1$ parçasının hareketinin engellenip engellenmediği kontrol edilmektedir. Hareket fonksiyonunun $(a1, b1)$ çifti için ayrılan kısma, hareketi engellenen yönlerin bulunduğu sütuna "0", hareketi engellenmeyen yönlerin bulunduğu sütuna da "1" yazılmaktadır. Şekil 2'deki alt montajın $(a1, b1)$ çiftinin hareket fonksiyonu $(a1, b1)=(0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1)$ şeklindedir. Burada, $b1$ parçası sabit tutulduğunda, $a1$ parçası sadece $-z$ yönünde hareket edebilmekte, $a1$ parçasının demonte hareketi $+x$, $+y$, $+z$, $-x$ ve $-y$ yönlerinde $b1$ parçası tarafından engellenmektedir. T ve H fonksiyonlarının kullanıldığı yerlerden biri de ürünün montaj sıralarının üretilmesidir (25, 26).

T ve H fonksiyonları AutoCAD ortamında aşağıda belirtildiği şekilde oluşturulmaktadır. Ürüne ait parçaların birbirleriyle eşleştirilmesiyle elde edilen çiftler, AutoCAD'in move (taşıma) komutu kullanılarak, sırayla 6 eksen boyunca hareket ettirilmiştir. Hareket mesafesi, hareketli parça, sabit duran parçanın hareket eksenindeki koordinatını geçinceye kadar olan mesafe olarak dikkate alınmıştır. Bu hareketleri, esnasında AutoCAD'in interfere (interference - kesişim) komutu kullanılarak kesişme kontrolü yapılmıştır. Eğer ilk harekette kesişme varsa, bu iki parçanın hareket edilen ekseninde temasta olduğu kabul edilmiş ve temas fonksiyonunun ilgili sütununa "1" yazdırılmıştır. İlgili eksenin seçilen yönünde temas olduğu için demontajın bu yönde mümkün olmayacağına karar verilmiş ve hareket fonksiyonunun ilgili sütununa da "0" yazılmıştır. Temas yok ise, hareketli parça, sabit parçanın koordinatını geçinceye kadar kontrol edilmiş kesişme gerçekleştiği anda hareket fonksiyonunun ilgili

sütununa "0" yazılarak harekete son verilmiştir. Sabit parçanın koordinatları aşıldığında hala kesişme yoksa bu sefer hareket fonksiyonunun ilgili sütununa "1" yazılmıştır. Temas ve hareket fonksiyonlarının yazı (text) modunda oluşturulan "temas.txt" ve "hareket.txt" dosyalarına aktarılması sağlanmıştır (25, 26).

3. ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLERİN MUHTEMEL BÜTÜN MONTAJ SIRALARININ ÜRETİLMESİ

Montaj sıralarının belirlenmesi, ürünün montajlı haldeki katı modelinden elde edilen T ve H fonksiyonlarının elemanı olan çiftlere uygulanan Boolean operatörleri neticesinde gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak, T fonksiyonundan toplam temas (TT) fonksiyonu ve H fonksiyonundan da toplam hareket (TH) fonksiyonu oluşturulmaktadır. TT fonksiyonundan, toplam temas sonucu (TTS), TH fonksiyonundan da, toplam hareket sonucu (THS) elde edilmiştir. Bu TTS ve THS değerlerinin de değerlendirilmesiyle montaj edilebilirlik veya edilemezlik (M) yargısı elde edilmiştir (24,26).

Çizelge 1'de Şekil 2'deki alt montaj için, ilk aşamada monte edilebilecek muhtemel çiftler belirlenmiştir. Bunun için muhtemel bütün çiftlerin T ve H fonksiyonlarının elemanları arasında Boolean operatörlerinden "V" (veya) kullanılmış ve T için TTS, H için de THS değerleri elde edilmiştir. Daha sonra TTS ve THS elemanlarına " " (ve) operatörü uygulanarak M değeri belirlenmiştir. M değeri 1 olan çiftlerin bu aşamada alt montaj oluşturabilmeleri mümkündür.

Çizelge 1. Montaj sırası için uygun olan ve olmayan çiftlerin belirlenmesi

Çift	Temas Fonksiyonları						Hareket Fonksiyonları						THS	Montaj edilebilirlik	
abl	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
acl	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
ald	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1
bcl	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
bdl	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
cdl	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0

TTS

0: Çiftler arasında temas yok

1: Çiftler arasında temas var

THS

0: Demonte mümkün değil

1: Demonte mümkün

M

0: Çiftler monte edilemez

1: Çiftler monte edilebilir

Daha sonra, alt montaj oluşturabilen bu çiftlere eklenebilecek diğer parçaların belirlenebilmektedir. Örneğin, (al, bl) çiftine cl parçasının eklenebilmesinin kontrolü; önce (al, bl) ile cl parçaları kartezyen çarpımı yapılarak iki farklı çift meydana gelmektedir (al, cl) ile (bl, cl). Daha sonra bu çiftlerin T ve H fonksiyonları alt alta yazılarak sütunlarına T için "V", H için " " operatörü uygulanmaktadır. Böylece, TT ve TH fonksiyonları oluşturulmaktadır. TT ve TH fonksiyonunun elemanlarına "V" operatörü uygulanarak TTS ve THS değerleri elde edilmektedir. TTS ve THS değerlerine tekrar " " operatörü uygulanarak M değeri elde edilmektedir. M değeri 1 ise bu aşamadaki alt montajın mümkün olduğu belirlenmektedir. Çizelge 2'de (al, bl, cl) montaj sırasının mümkün olmadığı, (al, cl, bl) montaj sırasının mümkün olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 2. (al,bl,cl) ve (al,cl,bl) montaj sırasının kontrolü

Çiftler	Eklenen parça	Kartezye n çarpım	Temas Fonk.	TTS		Hareket Fonk.	THS	M
(a1,b1)	c1	(a1, c1)	0 0 1 0 0 0			1 1 0 1 1 1		
		(b1, c1)	1 1 0 1 1 0			0 0 1 0 0 0		
		TT	1 1 1 1 1 1	1	TH	0 0 0 0 0 0	0	0
(a1,c1)	b1	(a1, b1)	1 1 0 1 1 0			0 0 0 0 0 1		
		(c1, b1)	1 1 1 1 1 0			0 0 0 0 0 1		
		TT	1 1 0 1 1 1	1	TH	0 0 0 0 0 1	1	1

Çizelge 2'de gösterilen işlem tüm çiftler ve tüm parçalar için uygulanarak, endüstriyel ürünlere ait montaj sıraları kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmektedir.

Montaj sıralarını yukarıdaki akışla gerçekleştiren program Turbo Pascal programlama dilinde hazırlanarak, "Monsir.exe" olarak derlenmiştir. Bu program çalıştırıldığında, parça sayısı kadar "sir" uzantılı dosya oluşturulmaktadır. Oluşturulan ilk dosya "sira 1.sir", parçaların kodlarından oluşmakta ve henüz montaja başlanmadığı için sadece bağımsız parçaları göstermektedir (*a1, b1, c1, ...*). İkinci adımda "sira2.sir" dosyası oluşturulmakta ve iki parçanın birleşmesi ile elde edilen alt montajları ifade eden karakterleri ihtiva etmektedir $\{(a1, b1), (a1, c1), (b1, c1), \dots\}$. Dosyaların hazırlanması, sırayla son adım olan montaj sıralarının üretildiği "sira(parça sayısı).sir" dosyasına kadar devam etmekte ve son adımda elde edilen dosya, nihai montaj sıralarını içermektedir. Elde edilen dosyaların, (örneğin "sira5.sir"), montaj hattı oluşturmada 5. basamakta olduğunu ve bu basamakta montaj edilebilen beş tane parçanın montaj sırasının içerildiğini gösterecek şekilde adlandırılmıştır $\{(a1, b1, e1, f1, g1), (a1, b1, e1, fl, hl), (a1, dl, el, fl, g1), (a1, dl, el, fl, jl), \dots\}$.

Bütün parçaları içine alan ve muhtemel bütün montaj sıralarını hazırlama mantığında; ilk olarak Çizelge 1'de gösterilen her bir çift için M değeri belirlenmiştir. M değeri "1" olan çiftler "sira2.sir" dosyasına yazılmış ve "sira2.sir" dosyasının her satırı tek tek ele alınarak her bir satırda sembolü bulunmayan bütün parçaların elde edilmiş olan alt montaja eklenip eklenemeyeceği kontrol edilmiştir. Bu kontrolde M değerleri "1" çıkan parçalar mevcut çifte eklenerek "sira3.sir" dosyasına yazılmıştır. Bu işlem, bütün parçalar bitinceye kadar döngü olarak yapılmış ve bütün parçaların birbirlerine eklenmesiyle yapılan kontrol neticesinde, endüstriyel ürünlerin montajı için muhtemel bütün montaj sıraları elde edilmiştir (24,26).

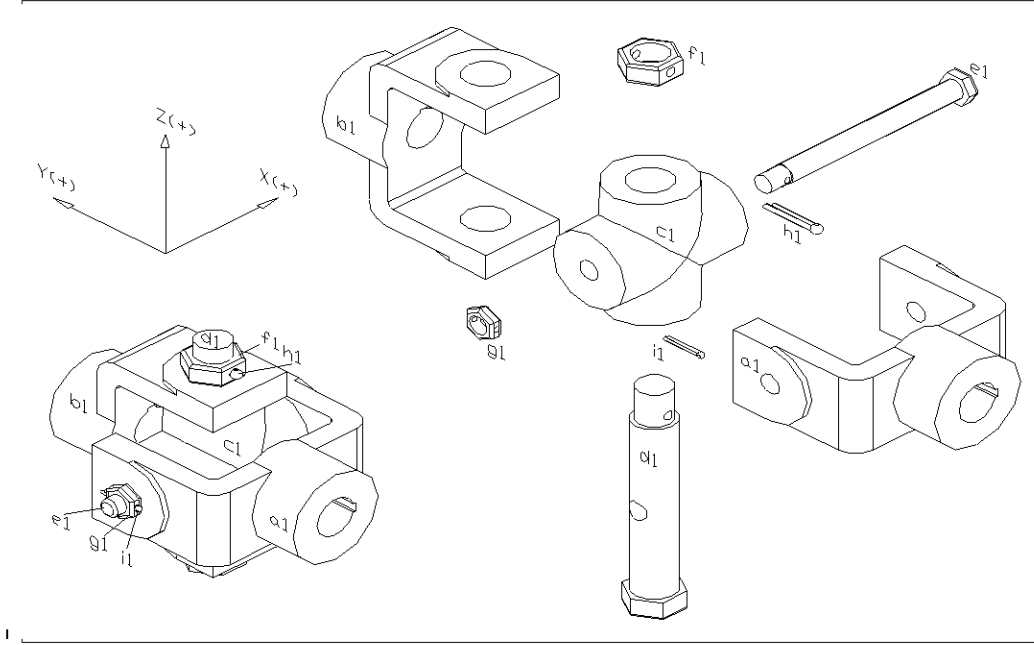
4. ALT MONTAJ

4.1. Endüstriyel ürünlerin alt montajlarının kullanıcı etkileşimi olmadan teşhisi

Gerçekleştirilen çalışma, alt montajları doğru olarak algılayabilmekte, gerek ana montajdaki montaj sırasını, gerekse alt montajın parçaları arasındaki montaj sırasını teşhis edebilmektedir. Alt montajların teşhis edilmesi bilgisayar tarafından kullanıcı etkileşimi olmadan gerçekleştirilmektedir (26). Bunun için T ve H fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Alt montajların teşhisinde uygulanan işlem sırası aşağıda verilmiştir.

1. Ana montajdaki geçmelerin belirlenmesi
2. Parçaların gruplandırılması
3. Gruplandırılan parçalardan alt montaja uygun olmayanların çıkarılması
4. Alt montajların belirlenmesi

Şekil 3'de gösterilen mafsal için yukarıda belirtilen dört adım uygulanarak alt montajları teşhis edilmiştir. Birinci aşamada, her parçanın geçme yaptığı diğer parça ve demontaj yönü belirlenmiş daha sonra, aynı parçayla geçme yapan diğer parçalardan gruplar oluşturulmuştur (Çizelge 3).



Şekil 3. Mafsalın monteli ve dağıtılmış katı model görüntüleri

Çizelge 3. Mafsal montajındaki geçme yapan ve alt montaj oluşturabilecek gruplar

Mafsal montajındaki geçme yapan gruplar				Mafsal montajındaki alt montaj oluşturabilecek gruplar	
S.No	Geçme Yapan Çiftler	Demontaj Yönleri	Gruplar	Gruplar	Alt montaj oluşturabilecek gruplar
1	<i>a1, e1</i>	4	<i>a1, e1</i>		
2	<i>b1, d1</i>	3	<i>b1, d1</i>	<i>b1, d1</i>	-
3	<i>c1, d1</i>	3	<i>c1, d1, e1</i>	<i>b1, c1, d1, e1, f1, h1</i>	-
4	<i>c1, e1</i>	4	<i>d1, b1, c1, e1, f1, h1</i>	<i>c1, d1, e1</i>	-
5	<i>d1, e1</i>	4	<i>e1, a1, c1, d1, g1, il</i>	<i>c1, d1, e1, g1, il</i>	-
6	<i>d1, f1</i>	6	<i>f1, d1, h1</i>	<i>c1, d1, e1, f1, g1, h1, il</i>	<i>c1, d1, e1, f1, g1, h1, il</i>
7	<i>d1, h1</i>	2	<i>g1, e1, il</i>	<i>b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1, il</i>	<i>b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1, il</i>
8	<i>e1, g1</i>	1	<i>h1, d1, f1</i>	<i>d1, f1, h1</i>	<i>d1, f1, h1</i>
9	<i>e1, il</i>	2	<i>il, e1, g1</i>	<i>e1, g1, il</i>	<i>e1, g1, il</i>
10	<i>f1, h1</i>	2			
11	<i>g1, il</i>	2			

İkinci aşamada, ana parçanın bulunduğu bir grup alt montaj oluşturamayacağı için, ana parçanın bulunduğu grup silinir ve ana parçanın bulunduğu diğer gruplardan ana parça silinir. Sonra, her grup için elemanları kontrol edilir. Grubun herhangi bir elemanı başka bir grubun grup başı ise, grup başı olduğu grubun tüm elemanları da, elemanı olduğu gruba ilave edilir. Daha sonra, grup başı aynı olmak şartıyla başka bir grup tarafından kapsanan gruplar silinir. Mafsal alt montajı için bu işlem uygulanarak Çizelge 3 elde edilmiştir. Buna göre, 2. ve 3. sıradaki gruplar, 7. sıradaki (*b1, c1, d1, e1, f1, g1, h1, il*) grubu tarafından; 4. ve 5. sıradaki gruplar, 6. sıradaki (*c1, d1, e1, f1, g1, h1, il*) grubu tarafından kapsandığı için, 2, 3, 4 ve 5. gruplar silinerek diğer gruplar kalmaktadır.

Üçüncü aşamada, alt montaja uygun olmayan gruplar ve gruplardaki alt montaja uygun olmayan parça veya parçalar gruptan çıkarılmıştır. Bir önceki aşamada belirlenen üç grubun her biri, kendi elemanları arasında, grup başı parça aynı olmak şartıyla birbirleriyle eşleştirilmiştir. Bu eşleşme, grup başı parçanın, grubun diğer parçalarıyla, ikili, üçlü, dördü ve grubun toplam eleman sayısına ulaşıncaya kadar yapılmaktadır. (*d1, f1, h1*) grubunun kendi aralarında yaptığı eşleşmeler; (*d1, f1*),

(*dl,hl*) ve (*dl, fl, hl*) şeklindedir.

Bu işlem Çizelge 3'de alt montaj oluşturabilecek 4 grup için uygulandıktan sonra, elde edilen yeni gruplar içerisinde alt montaja uygun olanlardan yeni gruplar oluşturulur (Çizelge 4) ve daha sonra bunlardan grup başı parça aynı olmak şartıyla başka bir grup tarafından kapsanan gruplar çıkarılarak alt montaja uygun yeni grup veya gruplar tespit edilir. Bu işlem neticesinde mafsal için sadece (*bl, cl, dl, fl, hl*) grubu alt montaj olarak teşhis edilmiştir.

Çizelge 4. Mafsal için alt montaj oluşturabilecek muhtemel bütün gruplar

S.No	Gruplar	S.No	Gruplar
1	<i>bl,cl</i>	9	<i>bl,cl,dl,gl</i>
2	<i>bl,fl</i>	10	<i>bl,c,l,fl,gl</i>
3	<i>bl,gl</i>	11	<i>bl,cl,dl,fl,gl</i>
4	<i>bl,cl,dl</i>	12	<i>bl,cl,dl,fl,gl</i>
5	<i>bl,cl,fl</i>	13	<i>bl,cl,dl,fl,gl,hl</i>
6	<i>bl,cl,gl</i>	14	<i>cl,fl</i>
7	<i>bl,fl,gl</i>	15	<i>cl,gl</i>
8	<i>bl,cl,dl,fl</i>	16	<i>cl,fl,gl</i>

4.2. Alt montajların montaj sıralarının üretilmesi

Alt montajlar belirlendikten sonra, teşhis edilen alt montajların parçaları arasındaki montaj sıralarının üretilmesi ve her alt montajın ürün montajında hangi sırada monte edileceğinin belirlenmesi için, ürüne ait montaj sıralarının üretilmesi de gerekmektedir. Alt montajlar teşhis edildikten sonra, ürüne ait parçalara yeniden kod atanmıştır. Bu kodlama işleminde, alt montaj oluşturan parçalar üründen çıkarılmış, onların yerine alt montaj kodunun yazılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Mafsal için (*bl, cl, dl, fl, hl*) alt montajına *A1* kodu program tarafından otomatik olarak atanmıştır. Buna göre mafsalın alt montajlı gösterimi Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Mafsal montajında ürüne ait parçaların alt montajlı olarak kodlanması

S.No	Alt montaj ismi	Alt montajlar
1	-	<i>A1, al, el, gl, il</i>
2	<i>A1</i>	<i>bl, cl, dl, fl, hl</i>

Alt montaj sıralarının üretilmesi işlemi, montaj sıralarının üretilmesiyle aynıdır. Ancak, Çizelge 6'da verilen ana montaj ve alt montaj için ayrı ayrı montaj sıraları üretilmektedir. Bunun için, ana ve alt montaj için ayrı ayrı T ve H fonksiyonları üretilmesi gerekmektedir. için (*bl, cl, dl, fl, hl*) alt montajı için T ve H fonksiyonları, mafsalın T ve H fonksiyonlarından aynen alınmakta ancak, (*a1, e1, g1, il, A1*) ana montajı için T ve H fonksiyonlarının yeniden üretilmesi gerekmektedir. Ürünün alt montajları içerecek şekilde T ve H fonksiyonlarının oluşturulması, ürün için daha önceden belirlenen T ve H fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Çizelge 6'da, mafsal montajının alt montajlı olarak oluşturduğu T ve H fonksiyonları gösterilmiştir.

Çizelge 6. Mafsalın (*al, el, gl, il, A1*) ana montajı için oluşturulan T ve H fonksiyonları

TEMAS FONKSİYONLARI		HAREKET FONKSİYONLARI		T FONKSİYONU	H FONKSİYONU
<i>ale1</i>	1 1 1 0 1 1	<i>ale1</i>	0 0 0 1 0 0		
<i>alg1</i>	0 0 0 1 0 0	<i>alg1</i>	1 1 1 0 1 1	<i>al, c1-</i>	100100
<i>ali1</i>	0 0 0 0 0 0	<i>ali1</i>	1 1 1 0 1 1	<i>al, d1-</i>	100100
<i>a1A1</i>	1 0 0 1 0 0	<i>a1A1</i>	0 0 1 0 1 1	<i>al, fl-</i>	000000
<i>elg1</i>	0 1 1 1 1 1	<i>elg1</i>	1 0 0 0 0 0	<i>al, h1-</i>	000000
<i>eli1</i>	1 0 1 1 0 1	<i>eli1</i>	0 1 0 0 0 0	<i>al, A1-</i>	100100
<i>e1A1</i>	0 1 1 0 1 1	<i>e1A1</i>	1 0 0 0 0 0		
<i>gli1</i>	1 0 1 1 0 1	<i>gli1</i>	0 1 0 0 0 0		
<i>g1A1</i>	0 0 0 0 0 0	<i>g1A1</i>	0 1 1 1 1 1		
<i>ilA1</i>	0 0 0 0 0 0	<i>ilA1</i>	0 1 1 1 1 1		

Her alt montaj için T ve H fonksiyonu oluşturulduktan sonra montaj sırası üretme işlemi, Bölüm 4'de anlatılan muhtemel bütün montaj sıralarının üretilmesi işlemi ile aynı alınmıştır. Tek fark, hangi grubun montaj sırası üretilecekse, o grup için oluşturulan T ve H fonksiyonlarının kullanılmasının gerekli olmasıdır. Mafsal örneği için alt montaja dayalı olarak oluşturulan montaj sıraları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Mafsal için alt montaja dayalı olarak üretilen muhtemel bütün montaj sıraları

<i>(a1,e1,g1,i1,A1)</i> Ana montajı		<i>(b1,c1,d1,f1,h1)</i> Alt montajı	
S.No	Montaj sırası	S.No	Montaj sırası
1	<i>a1,g1,A1,e1,i1</i>	1	<i>b1,c1,d1,f1,h1</i>
2	<i>a1,A1,e1,g1,i1</i>	2	<i>b1,c1,f1,d1,h1</i>
3	<i>a1,A1,g1,e1,i1</i>	3	<i>b1,f1,c1,d1,h1</i>
4	<i>g1,a1,A1,e1,i1</i>	4	<i>c1,b1,d1,f1,h1</i>
5	<i>A1,a1,e1,g1,i1</i>	5	<i>c1,b1,f1,d1,h1</i>
6	<i>A1,a1,g1,e1,i1</i>	6	<i>f1,b1,c1,d1,h1</i>

Mafsal örneğinde, muhtemel bütün montaj sıralarının üretilmesinde 340 tane montaj sırası için toplam 195 s., alt montaja dayalı olarak muhtemel montaj sıralarının üretilmesinde de 3 s kadar kısa bir süre aldığı tespit edilmiştir.

5. MONTAJ SIRALARININ ÜRETİLMESİNDE VE EN UYGUN SIRANIN SEÇİLMESİNDE MONTAJ SINIRLAMALARININ KULLANILMASI

Endüstriyel bir ürüne ait muhtemel yüzlerce montaj sırası olabilmektedir. Bu montaj sıraları, ürünü oluşturan parça sayısının artmasıyla çok daha büyük rakamlara ulaşabildiği görülmüştür. Diğer taraftan muhtemel bütün montaj sıraları oluşturulduktan sonra, bir çok montaj sırası değerlendirilmeye bile alınmadan silinmektedir. Montaj sırasında sınırlama deyimi, üretilen montaj sıralarında bir takım şartlar belirleyerek, teşhis edilen montaj sıralarında bu şartları sağlamayanların silinmesi işlemi olarak çalışmaya dahil edilmiştir.

Çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak sınırlamalar, iki aşamalı olarak belirlenmiş ve kullanılmıştır. İlk olarak, sınırlamalar montaj sıraları üretilmeden belirlenmiştir. Böylece, montaj sıralarının üretilmesi aşamasına harcanan zaman daha da azaltılmıştır. İkinci olarak, montaj sıraları üretildikten sonra sınırlamaların belirlenmesiyle, teşhis edilen montaj sıralarından istenilmeyenlerin çıkarılması sağlanmış ve kullanıcıya en uygun montaj sıralarının bir listesi sunulmuştur. Geliştirilen programda ana parça, montaj kararlılığı, son parça ve montaj zorunluluğu sınırlamaları olmak üzere 4 adet öncelikli sınırlama kullanılmıştır.

Ana parça sınırlaması, montajın üzerine inşa edileceği ana parçanın belirlenmesi işlemidir. Genelde montaj işlemi, bir parçanın üzerine diğer parçaların montaj edilmesiyle yapılmaktadır. Bu durumda, bir ürüne ait muhtemel bütün montaj sıraları belirlenmemekte, diğer parçaların üzerine inşa edileceği ana parçanın belirlenmesiyle, üretilen montaj sıralarından kullanılmayanlar baştan elenmektedirler.

Montaj kararlılığı sınırlaması, bir montajın kararlı olması için, bazı parçaların özellikle bir biri ardı sıra monte edilmeleri istenmektedir. Böyle durumlarda, muhtemel bütün montaj sıraları üretilmeden önce, peş peşe gelmesi gereken parçalar kullanıcı tarafından belirlenerek, montaj sırasının üretilmesi yapılabilmektedir.

Son parça sınırlaması, Montaj operasyonlarında, ürünün özelliğine göre montajı yapılacak son parça genel olarak bilinmektedir. Bu sınırlamanın da, montaj sırası üretilmeden önce belirlenmesiyle, kullanıcıya hem kararlı bir montaj sırası sunulmuş, hem de montaj sıralarının üretilme süresi azaltılmıştır.

Montaj zorunluluğu sınırlamasında, kullanıcıya montaj operasyonlarında peş peşe montaj edilmesini istemediği parçaları belirleyebilme imkanı sunulmuştur. Bu seçeneğin kullanılmasıyla programa, montaj sıralarını üretirken, belirlenen parçaların ard arda geldiği montaj sıralarının değerlendirilmemesini sağlayacak satırlar yerleştirilmiştir. Böylece programa kullanıcı tarafından belirlenen parçaların ard

arda geldiği montaj sıralarının üretilmemesi özelliği de kazandırılmıştır.

5.1. Montaj sıralarının sınırlamalara dayalı üretilmesi

Endüstriyel ürünlere ait montaj sıraları üretilmeden önce, kullanıcı tarafından sınırlamalar belirlenmektedir. Belirlenen sınırlamaları sağlamayan montaj sıraları henüz üretilme aşamasında dikkate alınmayarak, ürüne ait muhtemel bütün montaj sıraları yerine sadece sınırlamaları sağlayan montaj sıraları üretilmektedir. Bu sınırlamalar tek tek kullanılabilirdiği gibi, bir kaç veya hepsi birden de kullanılabilir. Bu sınırlamaların hepsinin kullanılmasıyla, ürüne ait en hızlı ve kabul edilebilir montaj sıralarının belirlenmesinin de gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Herhangi bir endüstriyel ürüne ait montaj sıralarının belirlenmesinde, geliştirilen program, muhtemel bütün montaj sıralarını belirleyebilmektedir. Ancak, bu süre ürünü oluşturan parça sayısına paralel olarak üstel olarak artmaktadır. Parça sayısının fazla olduğu ürünler dikkate alındığında, bu sürenin azaltılarak daha kısa sürede, en uygun montaj sıralarının belirlenmesi için sınırlamalardan, literatürde yer alan çalışmaların aksine montaj sıralarının üretme sürecinin başında faydalanılması düşünülmüş ve uygulanmıştır. Sınırlamalar ne kadar çok belirlenirse, işlemler o kadar hızlı yapılmakta ve elde edilen sonucun güvenilirliği artmakta ve analizi de o denli kolaylaşmaktadır.

5.2. Montaj sıralarının montaj sınırlamalarına dayalı optimizasyonu

Hızla gelişen teknolojiye ayak uydurabilmek için, geliştirilen programların hızlı, kullanıcı etkileşiminin mümkün mertebe az olmasının yanı sıra, en uygun neticenin elde edilme zorunluluğu vardır. Montaj sıraları üretilmeden önce belirlenen sınırlamalara rağmen, üretilen fazla sayıda montaj sırası olma ihtimaline karşı, programa, optimizasyon bölümü de konulmuştur. Optimizasyon, üretilen montaj sıraları içerisinde en uygun ve uygunlarının belirlenmesi için, montaj sınırlamalarının kullanılması olarak belirlenmiştir. Bu sebeple, sınırlamaların montaj sıralarının henüz üretilmeden önce kullanılması mümkün olduğu gibi, sıralar üretildikten sonrada kullanılması mümkün hale gelmiştir. Montaj sıraları üretilmeden sınırlamalar kullanılarak, sıraların üretilme süreleri azaltılmakta, sıralar üretildikten sonra, en uygun montaj sırasının belirlenmesi için yine montaj sıraları kullanılabilir. Montaj sıralarının optimizasyonu için, ana parça, son parça, montaj kararlılığı ve montaj zorunluluğu olmak üzere 4 tane sınırlama kullanılmıştır.

En uygun montaj sırası veya sıralarının belirlenmesinde, herhangi bir optimizasyon yöntemi kullanılmamasına rağmen, yukarıda belirtilen montaj sınırlamaların kullanıcı desteği ile kullanılmasıyla, uygun montaj sıraları tespit edilebilmektedir.

6. ÜRETİLEN MONTAJ SIRALARININ İRTİBAT SIRALAMA GRAFİĞİNDE ANLATIMI

Bu aşamaya kadar, endüstriyel ürünün, BDT ortamında, monteli olarak katı modeli tasarlanmış, ürüne ait montajın temsili yapılmış (T ve H fonksiyonları), muhtemel veya en uygun montaj sıraları üretilmiştir. Daha sonra, üretilen montaj sıralarının temsili (grafik olarak gösterilmesi) gerekmektedir. Montaj sıralarının grafik olarak gösterilmesi de en az montaj sıralarının üretilmesi kadar karmaşık ve zaman alıcı bir işlem olmasına rağmen, üretilen montaj sıralarının net bir şekilde kullanıcıya sunulması ihtiyacı ortadadır. Bu çalışmada, gösterim metodu olarak, irtibat sıralama grafiği seçilmiştir. İrtibat sıralama grafiği düğüm (kutu) ve hatlardan oluşmaktadır. Hatlar, açık hat ve kapalı hat olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bunun yanında irtibat sıralama grafiği, parça sayısı kadar seviyeden oluşmaktadır. Birinci seviye parçaların henüz montaja başlanmamış yani bağımsız halini ifade etmekte, dolayısıyla parça sayısı kadar düğümden oluşmaktadır. Son seviye ise, montajın bitmiş halini göstermekte ve sadece bir düğümden oluşmaktadır. Birinci seviyeye giren bir hat olmamakta, sadece düğümlerden çıkan hatlar olmaktadır. Buna karşın son seviye de ise, düğüme giren hatlar olmakta son seviye olduğu için bu düğümden çıkan hat olmamaktadır (26). Çizelge 8'de mafsalm 2. seviyesine ait montaj hatlarının gösterildiği dosya ve Çizelge 9'da da mafsalm 2. seviyesindeki düğümlerin anlatıldığı dosya verilmiştir.

Çizelge 8. Mafsal montajında 2. seviyedeki montaj hatları

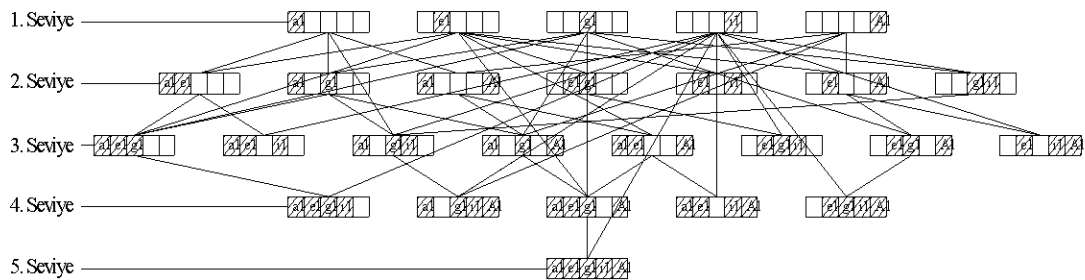
Sıra No	Montaj Hattı	Sıra No	Montaj Hattı	Sıra No	Montaj Hattı	Sıra No	Montaj Hattı	Sıra No	Montaj Hattı
1	<i>a1,c1</i>	8	<i>b1,f1</i>	15	<i>e1,i1</i>	22	<i>c1,b1</i>	29	<i>f1,d1</i>
2	<i>a1,d1</i>	9	<i>c1,d1</i>	16	<i>f1,h1</i>	23	<i>d1,b1</i>	30	<i>h1,d1</i>
3	<i>a1,e1</i>	10	<i>c1,e1</i>	17	<i>g1,i1</i>	24	<i>e1,b1</i>	31	<i>g1,e1</i>
4	<i>a1,g1</i>	11	<i>d1,e1</i>	18	<i>c1,a1</i>	25	<i>f1,b1</i>	32	<i>i1,e1</i>
5	<i>b1,c1</i>	12	<i>d1,f1</i>	19	<i>d1,a1</i>	26	<i>d1,c1</i>	33	<i>h1,f1</i>
6	<i>b1,d1</i>	13	<i>d1,h1</i>	20	<i>e1,a1</i>	27	<i>e1,c1</i>	34	<i>i1,g1</i>
7	<i>b1,e1</i>	14	<i>e1,g1</i>	21	<i>g1,a1</i>	28	<i>e1,d1</i>		

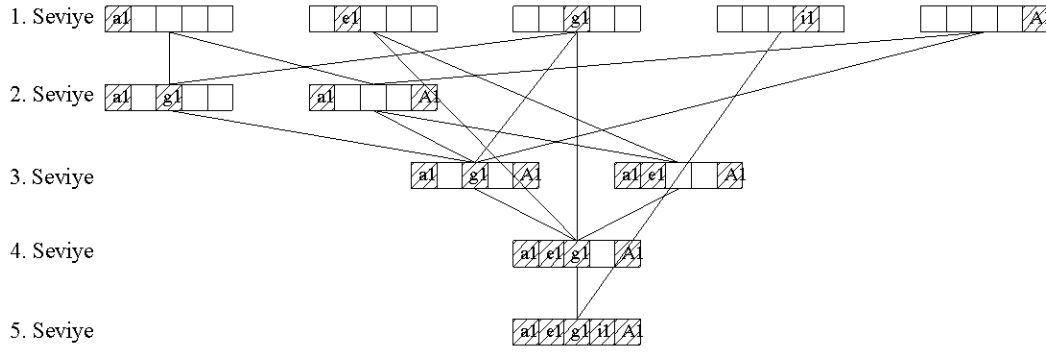
Çizelge 9. Mafsal montajında 2. seviyedeki düğümler

Sıra No	Düğüm	Sıra No	Düğüm	Sıra No	Düğüm
1	<i>a1,c1</i>	7	<i>b1,e1</i>	13	<i>D1,h1</i>
2	<i>a1,d1</i>	8	<i>b1,f1</i>	14	<i>E1,g1</i>
3	<i>a1,e1</i>	9	<i>c1,d1</i>	15	<i>E1,i1</i>
4	<i>a1,g1</i>	10	<i>c1,e1</i>	16	<i>F1,h1</i>
5	<i>b1,c1</i>	11	<i>d1,e1</i>	17	<i>G1,i1</i>
6	<i>b1,d1</i>	12	<i>d1,f1</i>		

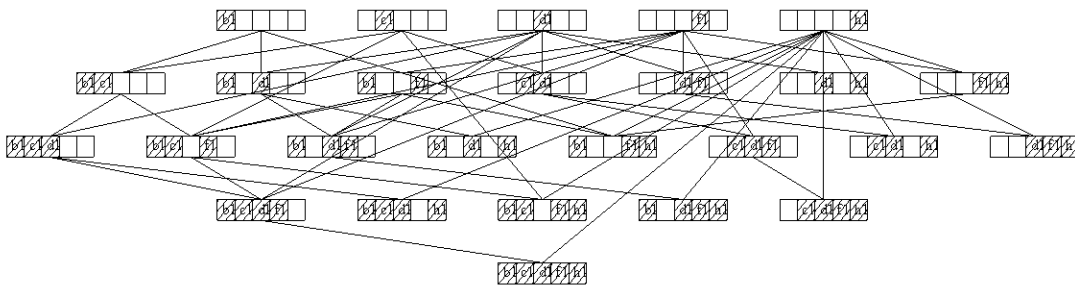
Her iki çizelge incelendiğinde, montaj hattında aynı parçalar farklı sıralarda yazıldığı görülmektedir (örneğin, (a1, b1) ve (b1, a1) alt montajları). Ancak irtibat sıralama grafiğinde bu iki alt montajda aynı düğümü ifade ettiği için bunlardan birisi silinmektedir. Kısaca, irtibat sıralama grafiğinde, montaj hatlarında, aynı parçalar farklı montaj sıralarını oluşturmalarına rağmen, bu alt montajlar aynı düğümü ifade ettikleri için sadece bir tanesi kalmakta diğerleri iptal edilmektedirler.

Düğümler oluşturulduktan sonra, her seviye için düğümleri oluşturan dosyalardaki veriler okunarak, düğümlerdeki parçalar için ayrılan kutucuklara ilgili parçaların kodu yazılarak işaretlenmiştir (taranmıştır). Bundan sonra, her seviye için hatları oluşturan dosyalar okunarak, düğümler arasındaki montaj hatları çizdirilmiştir. Daha sonra ekrandaki mevcut çizimlerde kapalı montaj hatları olduğu için bu irtibat sıra grafiği, budanmamış irtibat sıralama grafiği olarak adlandırılmıştır. Mafsalın (a1, e1, g1, i1, A1) ana montajı için budanmamış irtibat sıra grafiği Şekil 4'de ve budanmış irtibat sıra grafiği Şekil 5'de, (b1, c1, d1, f1, h1) alt montajı için budanmamış irtibat sıra grafiği Şekil 6'da ve budanmış irtibat sıra grafiği de Şekil 7'de gösterilmiştir.

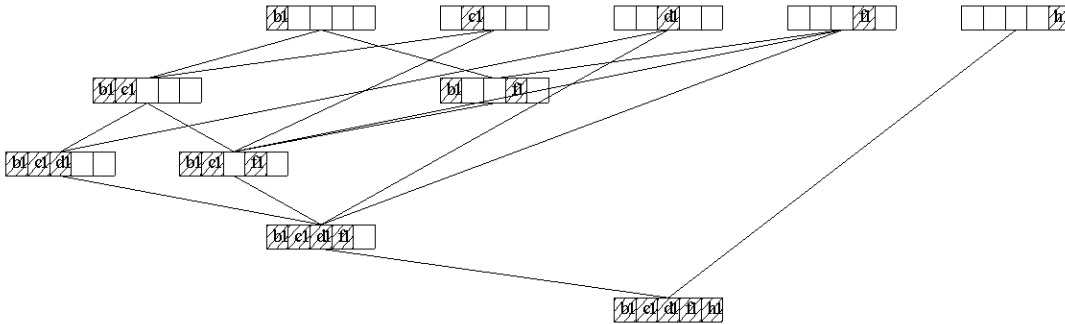
**Şekil 4.** Mafsalın (*a1, e1, g1, i1, A1*) ana montajı için budanmamış irtibat sıra grafiği



Şekil 5. Mafsalın ($a1, e1, g1, il, A1$) ana montajı için budanmış irtibat sıra grafiği



Şekil 6. Mafsalın ($b1, c1, d1, fl, h1$) alt montajı için budanmamış irtibat sıra grafiği



Şekil 7. Mafsalın ($b1, c1, d1, fl, h1$) alt montajı için budanmış irtibat sıra grafiği

7. SONUÇ

Montaj sıralarının tayin edildiği T ve H fonksiyonlarının, endüstriyel ürün modellemede ve günümüzde yaygın olarak kullanılan katı model montajı esas alınarak elde edilmesi, bilgisayar destekli montaj sıralarının üretilmesi alanında yapılan çalışmalara ciddi bir katkı sağlamıştır. Montaj sıralarının kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmesi, montaj grafiğindeki gereksiz ve anlamsız montaj aşamalarının tespit edilerek silinmesi, ayrıca montaj sınırlamalarının montaj sıraları üretilmeden önce ve üretildikten sonra da uygulanabilmesi bu çalışmanın getirdiği diğer faydalar olarak yorumlanmıştır.

Ürünlerin muhtemel bütün montaj sıraları, kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmektedir. Üretilen sıraların içerisinde en uygun montaj sırasının seçimi için, kullanıcı etkileşimli olarak sınırlamalar kullanılmaktadır. Sınırlamaların kullanıcı etkileşimli olması bir olumsuzluk olmasına rağmen, sınırlamaların, montajın elle veya otomatik yapılması göz önünde bulundurularak belirlenecek olması, çalışmanın farklı bir özelliğini yansıtmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada, montaj sıralarının üretilmesi alanındaki eksiklikler analiz edilerek, bu problemler üzerinde durulmuştur. Tespit edilen eksiklikler ve getirilen çözüm ve yenilikler aşağıda verilmiştir.

" Ürünün montaj modelinin grafik tabanlı olarak oluşturulmasının bir sonucu olarak, bu metotların kullanıcı etkileşimli olarak üretildiği tespit edilmiştir. Bunun yanında, matrise dayalı metotların ise, otomatik üretilme zorluğundan dolayı yine kullanıcı etkileşimli olarak oluşturulduğu belirlenmiştir. Çalışmada, ürünün parçaları arasındaki irtibatların belirlenmesinde, matris modeli kullanılmıştır. Ürünün montajlı haldeki katı modelinden gerekli bilgilerin otomatik olarak elde edilmesiyle, temas ve hareket fonksiyonları tamamen kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir. Montaj sıraları, temas ve hareket fonksiyonları kullanılarak, kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir.

" Yapılan çalışmalarda parça sayısının sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Montaj sıralarının daha kısa sürede üretilmesi, parça sayıları fazla olan ürünlerin gereksiz bir çok montaj sıralarının var olduğu yargısından hareketle, yukarıda da belirtilen (Bölüm5) sınırlamalar, henüz montaj sıraları üretilmeden kullanılmıştır. Böylece, parça sayısı fazla olan ürünlerin, montaj sıralarının üretilmeleri dakikalar gibi çok kısa süre içerisinde gerçekleşmektedir.

" Montaj sıralarının üretilmesi sırasında, alt montajlar gerektiğinde dahil edilmeyerek montaj sıraları üretilbildiği gibi, alt montajlar kullanılarak da montaj sıraları üretilmiştir. Alt montaja dayalı olarak montaj sıraları üretilmeden önce, sınırlamalar kullanılmış ve sıraların üretilme süresi daha da azaltılmıştır. Alt montaja ve alt montaj - sınırlamalara dayalı olarak montaj sıraları üretildikten sonra, yine sınırlama kullanılmak suretiyle, en uygun montaj sırası veya sıralarının seçilmesi sağlanmıştır.

" Çalışmada, irtibat sıra grafiği kullanılarak, montaj sıralarının iki boyutlu bir ortamda kullanıcıya net bir şekilde sunulması sağlanmıştır. Ayrıca grafiğin, montaj sırası oluşturamayan kolları yine kullanıcı etkileşimine ihtiyaç duyulmaksızın silinerek, daha sade bir gösterimi de sağlanmıştır. Alt montaja dayalı olarak üretilen montaj sıralarında da, hem ana montaj hem de her alt montaj için, irtibat sıra grafiği, gereksiz kolların budanmış ve budanmamış durumları da olmak üzere üretilmiştir. İrtibat sıra grafiği, kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir.

Montaj sıraları kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmesine rağmen, en uygun sıranın seçilmesi aşamasında kullanıcı etkileşimi söz konusudur. Sınırlamaların da kullanıcı etkileşimi olmadan genel maliyet ve / veya süre kriterine göre belirlenmesi, çalışmanın verimliliğini daha da arttıracaktır. Sınırlama olarak ana parça, son parça, montaj zorunluluğu ve kararlılığı sınırlamaları kullanılmıştır. Bu sınırlamaların gerçek montaj hatları da dikkate alınacak şekilde artırılması tavsiye edilmektedir. Montaj sıraları, ürünün montajlı haldeki katı modelinden yararlanarak üretilmektedir. Ürünün katı model bilgisinde, bir çok veri bulunmaktadır. Bu bilgilerden faydalanmak suretiyle, grup teknolojisi, uzman sistem teknikleri gibi daha farklı yöntemler kullanılarak da montaj sıraları üretilmeli ve diğer yöntemlerle kıyaslaması yapılmalıdır. Çalışmada, AutoCAD 2000 paket programı ve bu programın özellikleri kullanılmıştır. Ürünün IGES, DXF veya SAT gibi veri yapıları kullanılmak suretiyle, herhangi bir BDT programına bağlı olunmadan da, bağımsız programların yapılabilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

1. Baldwin, D., F., Abell, T., E., Lui, M., C., M., De Fazio, T., L. And Whitney, D., E., "An integrated computer aid for generating an evaluating assembly sequences for mechanical products", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7(1): 78 (1991).
2. Delchambre, A., "Computer-aided assembly planning", *Industrial Automation Department*, (1992).
3. Latombe, J., C., Wilson, R., H. and Cazals F., "Assembly sequence with toleranced parts", *Computer Aided Design*, 29(2): 159 (1997).
4. Yan-Xue, G.P., "Assembly/disassembly sequence planning for life-cycle cost estimation", *Manufacturing Science And Engineering American Society Of Mechanical Engineers, Manufacturing Engineering Division*, MED, 2(2): 935 (1996).
5. Seow K., T., Devanathan, R., "Temporal framework for assembly sequence representation and analysis", *IEEE Transactions On Robotics And Automation*, 10: 2 (1994).

6. Ong, N., S., and Wong, Y., C., "Automatic subassembly detection from a product model for disassembly sequence generation", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15: 425 (1999).
7. Eng, T., H., Ling, Z., K., Olson, W., McLean, C., "Feature-based assembly modeling and sequence generation", *Computers & Industrial Engineering*, 36:17 (1999).
8. Gungor, A., Gupta, S., M., "Disassembly sequence planning for products with defective parts in product recovery", *Computers Ind. Engng*, 35:1 - 2, 161 (1998).
9. Lee, Y., Kumara, S., R., T., "A scheme for mechanical assembly design and assembly line layout conceptualization", *Computers and Industrial Engineering*, 27: 1 -4, 261 (1994).
10. Uchiyama, N., Arai, E., Igoshi, M., "Study on assembly sequence generation for mechanical products", *Transactions of The Japan Society of Mechanical Engineers*, 60: 573, 1882 (1994).
11. Dini, G. Ve Santochi, M., "Automated sequencing and subassembly detection in assembly planning", *Institute of Mechanical Technology*, University of Pisa (1992).
12. Gottipolu, R., B. and Ghosh, K., "Representation and selection of assembly sequences in computer-aided assembly process planning", *Int. J. Prod. Res.*, 35: 12, 3447 (1996).
13. Zhao, J., Masood, S., "An intelligent computer - aided assembly process planning system", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15: 332 (1999).
14. Van Holland, W., Bronsvort, W., F., "Assembly features and sequence planning", www.eg.its.tudelft.nl/~wwwcc/papers/vanHolland.ifip96.pdf. (1996).
15. Zorc, S., Noe, D., Kononenko, I., "Efficient derivation of the optimal assembly sequence from product description", *Cybernetics and Systems*, 29(2): 159 (1998).
16. Murayama, T., Oba F., "Efficient algorithm for generating assembly sequences in modification design", *Journal of The Japan Society For Precisi on Engineering*, 60(11): 1663 (1994).
17. Floriani, L., D. And Nagy, G., "A graph model for face To face assembly", *IEEE* (1989).
18. Homem de Mello, L. S. and Sanderson, A. C., "A correct and complete algorithm for the generation of mechanical assembly sequences", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation* (1989).
19. Abrantes, M., J., Hill, S., D., "Computer - aided planning of mechanical assembly sequences", *Technical Report 95 : 7* (1996).
20. Yan, X., Gu, P., "Graph based heuristic approach to automated assembly planning", 4th ASME Flexible Assembly Conference American Society of Mechanical Engineers, *Design Engineering Division*, 73, 97 (1994).
21. De Fazio, L. T. ve Whitney, E. D., "Simplified generation of all mechanical assembly sequences", *Journal of Robotics and Automation* (1987).
22. Werling, G., Wild, H., "HOM - A Hybrid object model for automatic assembly planning", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 5: 153 (1994).
23. Lee, H., R., Gemmill, D., D., "Improved methods of assembly sequence determination for automatic assembly systems", *European Journal of Operational Research*, 131, 611 (2001).
24. Dilipak, H., Özdemir, A., "Bilgisayar destekli montaj: bölüm 2 - montaj sıralarının otomatik belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 4(1): 13 (2001).
25. Özdemir, A., Dilipak, H., "Bilgisayar destekli montaj: bölüm 1 - temas ve hareket fonksiyonlarının CAD ortamında otomatik oluşturulması", *Politeknik Dergisi*, 3(1): 71 (2000).
26. Dilipak, H., "Bilgisayar destekli montaj aşamalarının teşhisi ve montaj sınırlamalarına dayalı optimizasyonu", Doktora Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2001).