

## MONTAJ SIRALARININ SINIRLAMALARA DAYALI GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

Hakan DİLİPAK\*, Ahmet ÖZDEMİR

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

hdilipak@gazi.edu.tr,

### ÖZET

Ürünlerin montaj ve alt montaj sıralarının daha kısa sürede geliştirilmesi ve montaj sıralarının içerisinde en uygunlarının seçilmesi yönünde bir çalışma yapılmıştır. Ürünlerin henüz montaj sıraları geliştirilmeden önce sınırlamaların belirlenip, sınırlamalara dayalı olarak montaj sıralarının geliştirilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen montaj sıralarına sınırlamalar uygulanarak en uygun montaj sırası belirlenmiştir. Ana parça, montaj kararlılığı, son parça ve montaj zorunluluğu olmak üzere dört farklı sınırlama kullanılmıştır. Çalışma, AutoCAD 2000 paket programında, Visual LISP, Visual BASIC ve Turbo PASCAL programlama dilleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

*Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli montaj, montaj sırası geliştirme, sınırlamalar.*

## OPTIMIZATION AND GENERATION OF THE ASSEMBLY SEQUENCES WITH CONSTRAINTS

### ABSTRACT

In order to determine the appropriate sequence to be used for the assembly and the subassembly of a product, all assembly sequences are firstly generated in this study and then they are evaluated in order to select the feasible one according to the given constraints. Some constraints are applied before identify the assembly sequences and the generation of the assembly sequences is performed with constraints. The four constraints are used such as the main part, the assembly stability, the last part and the assembly necessity. The study is practically displayed on the AutoCAD 2000 drawing editor and the programs developed in Visual LISP, Visual BASIC and Turbo PASCAL computer languages.

*Key Words: Computer aided assembly, generating of assembly sequence, constraints.*

### 1. GİRİŞ

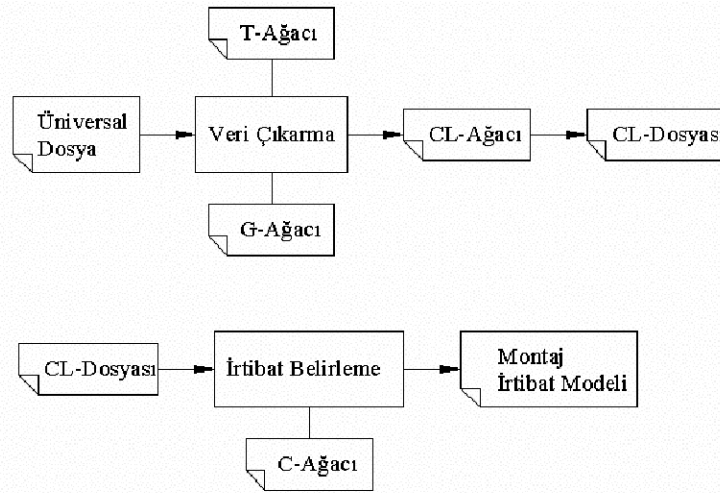
Endüstriyel bir ürüne ait muhtemel yüzlerce veya binlerce montaj sırası olabilmektedir. Bu montaj sıralarının, ürünü oluşturan parça sayısının artmasıyla çok daha büyük rakamlara ulaşabildiği

görülmüştür. Diğer taraftan muhtemel bütün montaj sıraları oluşturulduktan sonra, bir çok montaj sırası, değerlendirilmeye bile alınmadan silinmektedir. Montaj sırasında sınırlama deyiimi, geliştirilen montaj sıralarında bir takım şartlar belirleyerek, teşhis edilen montaj sıralarında bu şartları sağlamayanların silinmesi işlemi olarak önceden gerçekleştirilen çalışmalara (1 - 6) dahil edilmiştir. Örneğin, bir montaj işlemi, genelde bir parçanın üzerine diğer parçaların birleştirilmesiyle yapılmaktadır. Bu durumda geliştirilen montaj sıralarından, ana (üzerine diğer parçaların ekleneceği) parçanın ilk sırada olduğu montaj sıralarının kalıp diğerlerinin silinmesi, montajın doğal uygulamasının sonucu olan bir sınırlama işlemi olarak yorumlanmıştır.

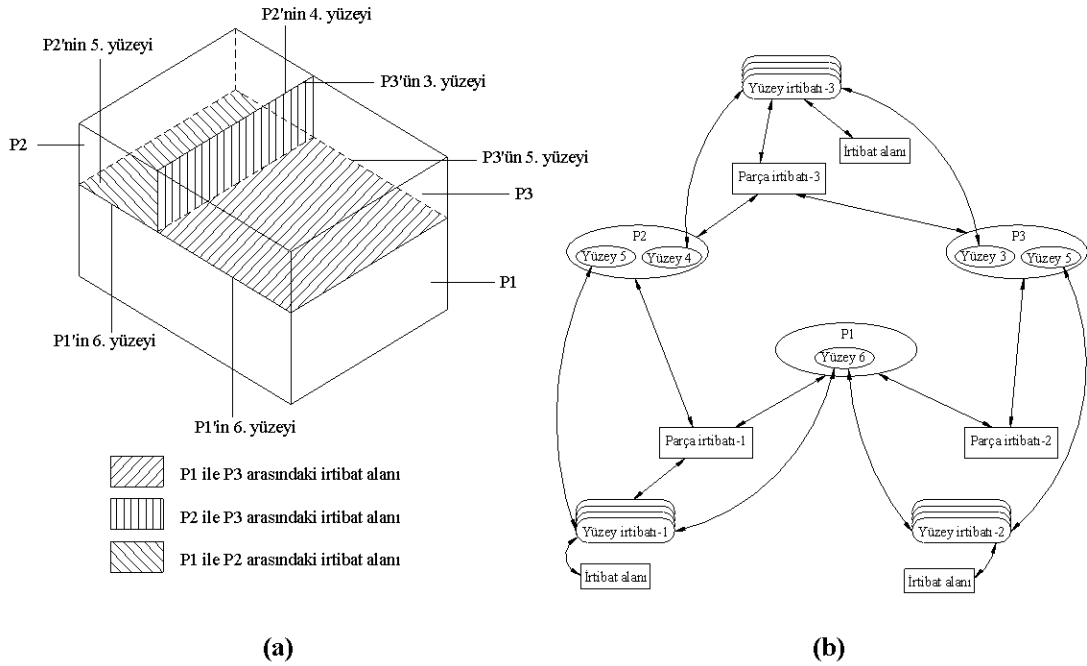
Montaj, imalatın, montaj sırasının belirlenmesi işlemi de, montajın en önemli süreci olduğundan, montaj sırasının tespit edilmesi hakkında literatürde oldukça fazla araştırma yapıldığı tespit edilmiştir. Bu araştırmaların temel amacı, yapılmış çalışmaların eksikliklerinin giderilerek daha iyi bir sistem kurmak ve bu alandaki otomatikleşmeyi artırmak olmuştur. 1980'li yıllarda başlayan montaj sırasının belirlenmesi çalışmaları, önceleri el ile yapılmakta iken, daha sonraları bilgisayar destekli olarak yapılmaya devam etmiştir. Ancak, bilgisayar destekli yapılmasına rağmen, montaj planlama işleminin hala kullanıcı etkileşimli olduğu ve tam otomatik olmadığı görülmektedir. Bilgisayar ile montaj sırası geliştirme üzerine yapılan araştırmalar, montaj işleminin tasarım aşamasının tamamen otomatikleşmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Ürünlere ait çok fazla sayıda montaj sırası olması ve bu montaj sıralarının hepsinin teşhis edilmesi, hem montaj sıralarının geliştirilme süresini artırmakta hem de doğru sıralamanın seçimini zorlaştırmaktadır. Bunun üzerine, geliştirilen montaj sıraları içerisinde en uygun bir veya birkaç tanesinin seçilmesi için (7 - 11) sınırlamalar kullanılmıştır.

Linn ve Liu, montaj sırası geliştirmede hem parça irtibat ilişkilerinin hem de öncelik sınırlama bilgilerinin gerekli olmasından hareketle; I-DEAS paket programında yer alan ve bir ürünün montaj tasarımının parça irtibat ilişkilerini belirlenmesi için geliştirilen bir algoritmayı sunmuştur (13). Veri elde etme (çıkarma) programı; I-DEAS paketinin üniversal dosyasından geometrik ve topolojik verileri işlemeye geçirmekte ve sonuçları bir ASCII ve CL dosyasına yazmaktadır (Şekil 1). İrtibat elde etme programında ise; CL - dosyasında yer alan veriler kullanılarak parçalar arasındaki irtibatlar geliştirilmektedir. Şekil 2a'da örnek bir ürün modeli ve Şekil 2b'de ise programca geliştirilen ürün irtibat modeli verilmiştir.



Şekil 1. İrtibat belirleme yöntemi (13)



Şekil 2. Ürün modeli ve bu ürüne ait irtibat modeli (13)

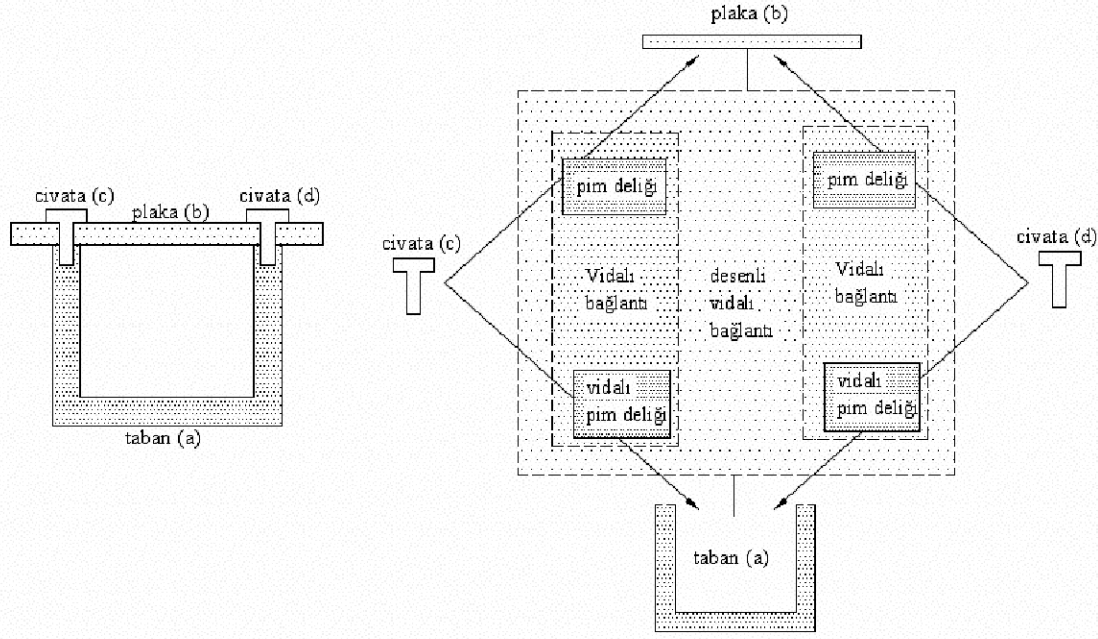
Zhao ve Masood tarafından, ICAAPP (An Intelligent Computer - Aided Assembly Process Planning System) adı altında, makina parçaları için optimum montaj sırasını geliştiren bir çalışma yapılmıştır. Sınırlama olarak ana parça ve alt montajlar kullanılmıştır (12). Ong ve Wong, montaj sırasının geliştirilmesi işleminin oldukça uzun sürmesinden hareketle, bu zamanı azaltmak için, alt montajlardaki parçaları beraber gruplayarak, bağımsız parçaları bu alt montajlara eklemişlerdir. Böylece, ürünü oluşturan parça sayısının azalmasıyla, montaj sırasını geliştirmede harcanan zamanın da azalmasını sağlamışlardır (14).

Ye ve Urzi, montaj karar destek sistem tasarımı ile ilgili deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada mühendislerin montaj planlamadaki performanslarını etkileyen ve aşağıda belirtilen karakteristiklerde, buluşsal (heuristic) kuralların kullanımı ile ilgili bir araştırma yapılmıştır (15).

- \* Montaj sırası sınırlamalarının belirlenmesi
- \* Hassas tasarım için strateji geliştirilmesi
- \* Montaj sırasının ve güvenilirliğinin ayrıntılı planı
- \* Nihai detayların belirlenmesi için sistematik bir strateji belirlenmesi
- \* Montaj sıralarının yerel planları

Yukarıda belirtilen ve mühendislerin montaj planlamada kullandıkları bu karakteristikler, montaj planlama için kullanıcı etkileşimli karar destek sistemi tasarımını desteklemektedir (15).

Ürünlerin sınırlı bir zaman aralığında monte edilmesinin zorunlu olduğu ve her türlü planlamada bilgisayar desteğinin arandığı, esnek montajın esas alındığı bir diğer çalışmada montaj unsurlarının kullanıldığı ve bu özelliklerden montaj sırası planlamada nasıl faydalanabileceği aktarılmaktadır (16). Çalışmada kullanılan örnek bir ürün ve bu ürüne ait unsur modeli Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Montaj için unsur modelli bir örnek (16)

Lazzerini ve Marcelloni, montaj planlarını değerlendiren ve geliştiren genetik bir algoritma önermektedir (17). Mosemann, Roehrdanz ve Wahl, montaj sırasını geliştirirken montaj kararlılığı sınırlamasını kullanmışlardır. Bu sistem, planın icrası esnasında farklı yöndeki demonte sayısını en aza indirmekte ve montaj sıralarını değerlendirmektedir (18). Laperriere ve El Maraghy tarafından yapılan çalışmada, monte edilecek ürünün grafik bir modelinin geliştirilmesiyle optimum montaj sıraları, yalnız bir işlemde otomatik olarak geliştirilmekte ve hesaplanmaktadır. Bu çalışmada; yeniden yönlendirme sayısı, montaj işleminin eşzamanlı olarak yapılması, benzer işlemlerin gruplandırılması ve sabit kriterler kullanılmıştır (19). Gottipolu ve Ghosh ise montaj sıralarını nitel ve nicel kriterler kullanarak değerlendirmektedir (20). Zorc ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada montaj sıraları, geometrik yapılabirlik, kararlılık ve paralellığe dayanarak geliştirilmektedir (21). Beranek ve arkadaşlarının yaptığı çalışma, bir ürünün montajı için muhtemel montaj sıralarının otomatik olarak geliştirilmesi problemi üzerinedir. Muhtemel bütün montaj sıralarını geliştirmek için, robot hareketi, kalıp ve parça kararlılığı gibi sınırlamalar göz önünde bulundurulmuştur (22).

Montaj sıralarının geliştirilme sürelerinin azaltılması amacıyla gerçekleştirilen araştırmada, diğer çalışmalardan farklı olarak sınırlamalar, iki aşamalı olarak belirlenmiş ve kullanılmıştır. İlk olarak, sınırlamalar montaj sıraları geliştirilmeden belirlenmiştir. Böylece, montaj sıralarının geliştirilmesi aşamasına harcanan zaman daha da azaltılmıştır. İkinci olarak, montaj sıraları geliştirildikten sonra sınırlamaların belirlenmesiyle, teşhis edilen montaj sıralarından istenilmeyenlerin çıkarılması sağlanmış ve kullanıcıya en uygun montaj sıralarının bir listesi sunulmuştur. Sınırlamalar, hem montaj sıralarının geliştirilmesinden önce ve hem de alt montaj sıralarının geliştirilmesinden sonra kullanılabilir. Geliştirilen programda ana parça, montaj kararlılığı, son parça ve montaj zorunluluğu olmak üzere 4 adet öncelikli sınırlama kullanılmıştır.

## 2. MONTAJ VE ALT MONTAJ SIRALARININ GELİŞTİRİLMESİ

Çalışmada, endüstriyel ürünün montaj edilmiş katı modelinin AutoCAD 2000 paket programının çizim editöründe tasarlandığı kabul edilmiştir. Ürünün montajlı katı modeli, geliştirilen programın doğrudan girdisi olarak esas alınmıştır. Tasarlanan bu model, montajın matris model temsilinin oluşturulmasında kullanılan tüm verileri içerdiği için, kullanıcıya ayrıca ürünü ve parçayı tanıttıcı sorular sorulmamıştır. Ürünün katı modelindeki veriler ışığında, Visual LISP ve Turbo PASCAL 7.0'

da yapılan programlarla montajın temsili otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu temsil, ürüne ait bütün parçaların birbirlerine göre konumlarının, temaslarının ve demonte yönlerinin belirtildiği matris formatındaki verilerden meydana gelmiştir (23, 24). Matris formatında olan bu veriler, literatüre de uygun olarak temas ve hareket fonksiyonları olarak adlandırılmıştır. Temas ve hareket fonksiyonları, yapılan çalışmanın temelini oluşturmuş ve bu fonksiyonlar üzerinde yapılan matematiksel işlemler neticesinde gerçekleştirilmiştir. Temas ve hareket fonksiyonlarının oluşturulması, parçalara kod atamalar dahil tüm işlemler tamamen bilgisayar tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmiş, kullanıcı etkileşimiyle tespit gibi uzun zaman alan sıkıcı sorular listesinden kurtulma sağlanmıştır (23, 24). Endüstriyel ürünlerin temas ve hareket fonksiyonları geliştirildikten sonra, muhtemel bütün montaj sıraları yine kullanıcı etkileşimi olmadan geliştirilmektedir (24, 25).

Kullanıcı etkileşimli sınırlama tayini ile buna dayalı olarak montaj sıralarının geliştirilmesi ve montaj sıraları geliştirilmeden önce optimizasyon seçeneklerinin belirlenebilmesi imkanı kullanıcıya ayrıca sunulmuştur. Kullanıcı tarafından belirlenen şartlara uygun olarak montaj sıraları geliştirilmekte, dolayısıyla ürüne ait muhtemel bütün montaj sıraları yerine istenilmeyen sıraların henüz daha geliştirilmeden silinmesi sağlanmaktadır. Bu sayede kontrol edilmesi gereken eşleşmeler ve dolayısıyla yapılan işlemler azalmakta bu da montaj sırası belirleme süresini azaltmaktadır. Sınırlamanın çok sayıda olması, montaj sırası belirleme süresini o derece azalmakta ve montaj grafiğinin çok sadeleşmiş görüntüsü elde edilmektedir.

Alt montaj teşhisinde de kullanılabilen sınırlamalarla, alt montajların montaj sırasının ve dolayısıyla ana montaj sıralarının çok kısa sürede belirlenmesi imkanı, montaj tasarımcısına sunulmuştur. Alt montajların teşhisi, beraberinde iki farklı seçenekle kullanıcıya sunulmuştur. Bunlar, hem alt montaja hem de sınırlamaları belirleyerek, bu sınırlamalara dayalı olarak montaj sıralarının geliştirilmesidir. Alt montaja ve kullanıcının sıralarını geliştirmeden önce belirleyeceği sınırlamalara dayalı olarak montaj sıralarının teşhis edilmesiyle, sıraların geliştirilme aşamasında harcanan zaman açısından çok büyük kazançlar sağladığı tespit edilmiştir.

Çalışmada, AutoCAD'in çizim editöründen faydalanılmış ve kullanıcının işlemleri (T ve H fonksiyonlarını geliştirmek, montaj sırasını geliştirmek, vb.) rahatlıkla yapabilmesi için, AutoCAD'in üst menüsü programa uygun olarak yeniden düzenlenmiştir.

Belirlenen montaj sırası veya sıraları tasarımcıya yeni ufuklar açmakta, gerekirse ürün veya ürüne ait parçalarda tasarım değişikliği yapılarak montaj sıralarının tekrar geliştirilmesi sağlanmaktadır. Hazırlanan program, 250 parça ve/veya alt montajın montaj sırasını geliştirebilecek kapasitededir. Ancak çalışmada, en fazla 38 parçaya kadar olan endüstriyel ürünler için uygulamalar yapılmış, problemsiz ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

### 3. MONTAJ SINIRLAMALARI

Endüstriyel ürünlerin montaj sıralarının sınırlamalara dayalı olarak geliştirilmesinde, montaj sıraları geliştirilmeden önce, kullanıcı tarafından sınırlamalar belirlenebilmektedir. Belirlenen sınırlamaları sağlamayan montaj sıraları henüz geliştirilme aşamasında dikkate alınmayarak, ürüne ait muhtemel bütün montaj sıraları yerine sadece sınırlamaları sağlayan montaj sıraları geliştirilebilmektedir.

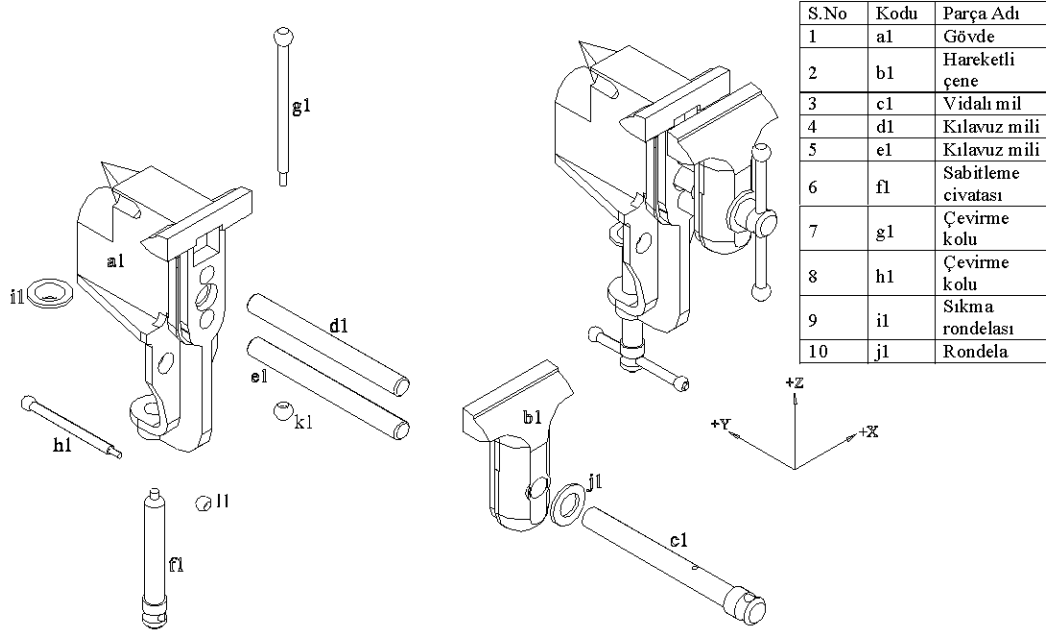
#### 3.1. Ana Parça Sınırlaması

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 sıralarının belirlenmesi yerine, diğer parçaların üzerine inşa edileceği ana parçayı belirleyerek, geliştirilecek montaj sıralarından kullanılmayacakları baştan elemek suretiyle, gerek montaj sıralarının geliştirilme süresini kısaltması, gerekse kontrolün kolay olması açısından geliştirilen montaj sıra sayılarının az olması istenilen bir özelliktir.

Geliştirilen program, ana parçayı otomatik olarak seçebildiği gibi, kullanıcı tarafından da belirlenebilmesine imkan sağlanmaktadır. Ana parça, montajı oluşturan parçalar içerisinde kütlece

en büyük olan parça olarak kabul edilmiştir . Kullanıcı isterse programın belirleyeceği ana parçayı kabul edebilmekte veya kendisi başka bir parçayı ana parça olarak atayabilmektedir.

Şekil 4'de gösterilen saatçi mengenesi için, program tarafından ana parça olarak a1 parçası belirlenmiş ve muhtemel 22620 adet montaj sırası 2 saat 37 dk 5 s.'lik bir süre içinde elde edilmiştir. Ana parça sınırlaması uygulanırsa toplam 3690 adet muhtemel montaj sırasının 29 dk. 36 s içerisinde geliştirildiği tespit edilmiştir.



Şekil 4. Saatçi mengenesi

### 3.2. Montaj kararlılığı sınırlaması

Bir montajın kararlı olması için, bazı parçaların özellikle bir biri ardı sıra monte edilmeleri istenmektedir. Böyle durumlarda, muhtemel bütün montaj sıraları geliştirilmeden önce montajın kararlılığı açısından ard arda gelmesi gereken parçalar kullanıcı tarafından belirlenmekte ve montaj sırasının geliştirilmesi yapılabilmektedir. Kullanıcı tarafından belirlenen parçalara göre program, belirlenen parçaların peş peşe gelmediği tüm montaj sırası ihtimallerini değerlendirme dışında bırakmaktadır. Böylece, montaj sırasının geliştirilme süresi ve geliştirilen montaj sıralarının sayısı oldukça azalmaktadır. Montaj kararlılığı sınırlamasında kullanıcıya, bir seferde istediği kadar parça seçme imkanı tanınmıştır.

Saatçi mengenesi örneğinde, sadece montaj kararlılığı sınırlaması kullanılarak, dört adet sınırlama belirlenmiştir. Bunlar (e1, d1), (b1, j1, c1), (i1, f1) ve (h1, i1) sınırlamalarıdır, örneğin, bu ürünün montaj sıralarının belirlenmesinde e1 parçasından sonra d1 parçası, b1 parçasından sonra j1 ve j1 parçasından sonrada c1 parçasının gelmesi istenilmektedir. Bu sınırlamalar neticesinde montaj sıralarının geliştirilme süresinin 17 saniyeye ve geliştirilen montaj sıra sayısının 75 adete indiği tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi bu ürüne ait muhtemel 22620 adet montaj sırası varken kullanılan (e1, d1), (b1, j1, c1), (i1, f1) ve (h1, i1) olmak üzere dört adet montaj kararlılığı sınırlaması ile montaj sıra sayısı 75'e düşürülmekte ve kullanıcıya tasarım hızı ve çalışma kolaylığı sağlanmıştır.

### 3.3. Son Parça Sınırlaması

Montaj operasyonlarında, ürünün özelliğine göre montajı yapılacak son parça genel olarak bilinmektedir. Bu sınırlamanın da, montaj sırası geliştirilmeden önce belirlenmesiyle, kullanıcıya hem mantıklı bir montaj sırası sunulmuş, hem de montaj sıralarının geliştirilme süresi azaltılmıştır. Son parça sınırlamasında, program, kullanıcının son olarak montaj edilmesini istediği parçayı, montaj sıralarının geliştirilmesi esnasında işleme tabi tutmamaktadır. Montaj sırasının belirlenmesinin son

aşamasında ise bu parçayı ekleyerek, montaj sırasını geliştirme işlemini tamamlamaktadır.

Saatçi mengersi montajında, son parça sınırlaması olarak sadece 11 parçasının programa bildirilmesiyle geliştirilen 10900 adet montaj sırası, 2 saat 10 dk. 38 s de belirlenmiştir.

### 3.4. Montaj Zorunluluğu Sınırlaması

Çalışmada montaj sıralarının geliştirilmesinde kullanılan dördüncü ve son sınırlama montaj zorunluluğu sınırlamasıdır. Montaj operasyonlarında, özellikle bazı parçaların peş peşe montaj edilmemesi istenen durumlar olabilmektedir. Parçaların ard arda montaj edilmemesi şartına montaj zorunluluğu sınırlaması adı verilmiştir. Montaj zorunluluğu sınırlamasında, kullanıcıya montaj operasyonlarında peş peşe montaj edilmesini istemediği parçaları belirleyebilme imkanı sunulmuştur. Bu seçeneğin kullanılmasıyla programa, montaj sıralarını geliştirirken, belirlenen parçaların ard arda geldiği montaj sıralarının değerlendirilmemesini sağlayacak satırlar yerleştirilmiştir. Böylece programa kullanıcı tarafından belirlenen parçaların ard arda geldiği montaj sıralarının geliştirilmemesi özelliği de kazandırılmıştır.

Saatçi mengersi örneğinde, k1 parçasından sonra h1 parçasının montaj edilmesi montaj mantığı açısından uygun olmayacaktır. Bunun için montaj zorunluluğu sınırlamasında (k1, h1) çiftinin ard arda gelmemesinin kullanıcı tarafından bildirilmesiyle toplam 19788 adet montaj sırası, 2 saat 16 dak 23 s de geliştirilmiştir.

### 3.5. Sınırlamaların Birlikte Kullanılması

Yukarıda anlatılan dört sınırlamanın, kendi aralarında olumlu ve olumsuz yönleri olmaktadır. 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 belirlenmesi imkanı da 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 sıralarını geliştirme 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.

Saatçi mengersi montajında, yukarıda anlatılan ve Çizelge 1'de verilen sınırlamalara göre 1 tane uygun montaj sırası geliştirilmiştir.

**Çizelge 1.** Saatçi mengersinin en uygun montaj sıralarının geliştirilmesinde kullanılan sınırlamalar, geliştirilme süreleri ve toplam montaj sıra sayıları

Ürün adı (Parça sayısı)	Sınırlamalar	Uyg. sınırlamalar	Geliştirilme süresi	Sıra sayısı
Saatçi Mengersi (12)	Muhtemel bütün sıralar		2 saat 37 dk. 5 s.	22620
	Ana Parça	a1	29 dk. 36 s.	3960
	Kararlılık	(e1, d1) (b1, j1, c1) (i1, f1) (h1, l1)	17 s.	75
	Son Parça	l1	2 saat 10 dk. 38 s.	10900
	Zorunluluk	(k1, h1)	2 saat 16 dk. 23 s.	19788
	Ana Parça - Kararlılık		4 s.	15
	Ana Parça - Son Parça		19 dk. 55 s.	1440
	Ana Parça - Zorunluluk		28 dk.	3596
	Tüm sınırlamalar		2 s.	1

Sonuç olarak, saatçi mengenesine ait toplam 226200 adet muhtemel montaj sırası varken, sınırlamalara dayalı olarak geliştirilen en uygun montaj sıra sayısı sadece 1 dir. Ayrıca, muhtemel bütün montaj sıralarının geliştirilmesinde harcanan süre 2 saat 37 dak 5 s gibi oldukça uzun bir süre tutarken, sınırlamalara dayalı olarak belirlenen montaj sıralarının geliştirilme süresi sadece 2 saniye gibi çok kısa bir süre aldığı tespit edilmiştir. Gerek bu sınırlama, gerekse diğer sınırlamalarda, kullanıcının belirlemiş olduğu bütün sınırlamalar montaj sırasına uygunluğu açısından program tarafından tekrar kontrol edilmektedir. Kullanıcının, yanlışlıkla yapacağı bir hatalı parça seçiminde eğer, böyle bir sınırlama neticesinde montaj sırası geliştirilemiyorsa, program montaj sıralarını geliştiremeyecektir. Yani, kullanıcı sınırlamalarını gerçeğe dayalı olarak belirlemek zorunda bırakılmıştır.

Program montaj sıralarını geliştirirken ilk olarak, ürünü oluşturan parçalar arasından montesi muhtemel çiftleri belirlemiş ve birbiriyle temasta olan bütün parçalar başlangıçta monte edilebiliyor kabul edilmiştir. Bu aşamada, örneğin ana parça sınırlaması kullanılmışsa, ilk sırada ana parça olarak belirlenen parça olmayan bütün montaj sıraları silinerek, ileri aşamalarda dikkate alınmamıştır. Saatçi mengenesi örneğinde ilk aşamada 30 adet çift monte edilme ihtimali varken, a 1 ana parça sınırlaması kullanılarak bu sayı 5'e düşmüş ve böylece daha ilk aşamada 25 adet ve bunlardan türetilebilecek binlerce muhtemel montaj sıraları değerlendirilmeye alınmamış olmaktadır. Daha sonra, bu iki parçaya ve parçalara (alt montajlara) monte edilebilecek diğer parçalar belirlenmekte ve bu işlem en son parça monte edilinceye kadar devam etmektedir. Eğer son parça sınırlaması kullanılmış ise, ürüne en son monte edilmesi istenen parça son aşamaya kadar monte edilip edilmeyeceği kontrol edilmemektedir. Montaj kararlılığı sınırlaması ise, belirlenen parçaların ard arda monte edilmesi istendiğini belirtmektedir. Bunun için, ilgili aşamada sadece belirtilen parçaların monte edilip edilemeyeceği kontrol edilmekte, diğer parçalar değerlendirmeye alınmamaktadır. Bunun tersi olan montaj zorunluluğu sınırlamasında da, belirtilen parçalar montaj sıraları geliştirilirken dikkate alınmamıştır. Böylece, bilgisayarın yapması gereken işlem sayısı, sınırlamaların kullanılmasıyla çok büyük bir oranda azaltılarak, ürüne ait montaj sıralarının geliştirilme süresinin de azaltılması sağlanmıştır. Sınırlamaların kullanılmasına rağmen, istenmeyen sayıda montaj sırası geliştirilmesi göz önünde bulundurularak, 4. Bölümde anlatıldığı gibi montaj sıra sayısının azaltılması sağlanmıştır.

#### 4. MONTAJ SIRALARININ SINIRLAMALARA DAYALI OPTİMİZASYONU

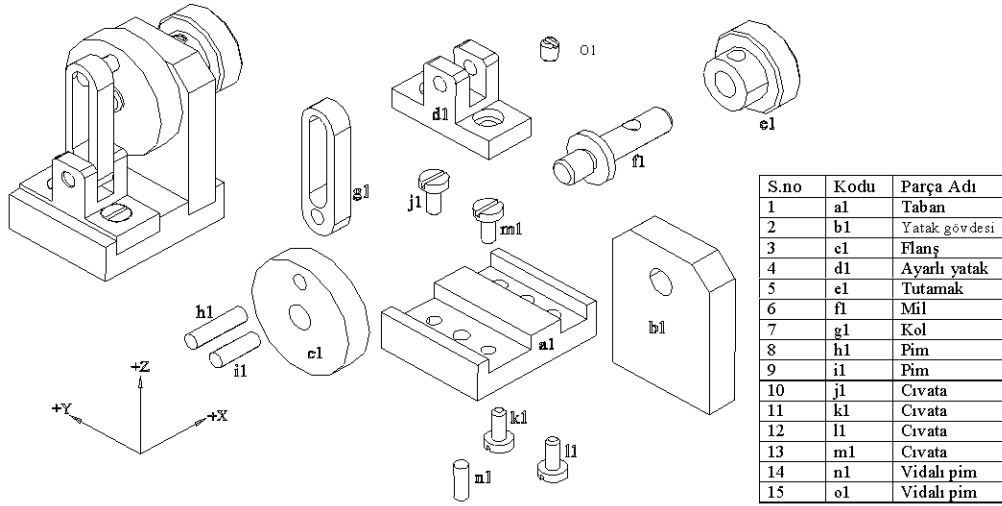
Optimizasyon, geliştirilen montaj sıraları içerisinde en uygun olanların sıralı olarak belirlenmesi için, montaj sınırlamalarının kullanılması şeklinde düşünülmüştür. Bu sebeple, sınırlamaların montaj sıralarının henüz geliştirilmeden önce kullanılması mümkün olduğu gibi, sıralar geliştirildikten sonrada kullanılması mümkün hale getirilmiştir. Montaj sıraları geliştirilmeden sınırlamalar kullanılarak, sıraların geliştirilme süreleri azaltılmakta, sıralar geliştirildikten sonra, en uygun montaj sırasının belirlenmesi için yine sınırlamalar kullanılabilir. Montaj sıralarının optimizasyonu için, ana parça, son parça, montaj kararlılığı ve montaj zorunluluğu olmak üzere 4 tane sınırlama kullanılmıştır.

Endüstriyel ürüne ait montaj sıraları sınırlamalara dayalı olarak veya muhtemel bütün montaj sıraları şeklinde geliştirilebilmektedir. Sınırlamalara dayalı olarak geliştirilmesine rağmen hala fazla sayıda montaj sırası olabilmektedir. Bu durumda, geliştirilen sıraların içerisinde tekrar sınırlamalar uygulanarak en uygun bir veya birkaç tanesini seçimi sağlanabilmektedir. En uygun montaj sıralarının tespiti için, ilk olarak sınırlamalar belirlenmekte, daha sonra, montaj sıralarının geliştirilmesiyle elde edilen ve ilgili dosyalarda saklı olan her aşamadaki montaj sıraları tek tek değerlendirilmekte ve yeni belirlenen montaj sınırlamalarına uymayan montaj sıraları silinerek en uygun montaj sırası veya sıraları belirlenmiş olmaktadır.

#### 5. ÖRNEK UYGULAMA

Şekil 5'de gösterilen ilerletme tertibatı için kullanılan sınırlamalar ve bu sınırlamalar doğrultusunda geliştirilen montaj sıraları ve süreleri Çizelge 2'de verilmiştir.





Şekil 5. İlerletme tertibatı

Çizelge 2. İlerletme tertibatının en uygun montaj sıralarının geliştirilmesinde kullanılan sınırlamalar, geliştirilme süreleri ve toplam montaj sıra sayıları

Ürün adı (Parça sayısı)	Sınırlamalar	Uygulanan sınırlamalar	Geliştirilme süresi	Sıra sayısı
İlerletme Tertibatı (15)	Muhtemel bütün sıralar		-	-
	Ana Parça	<i>A1</i>	-	-
	Kararlılık	<i>(a1, b1, k1, l1) (d1, j1, m1) (g1, i1, h1) (e1, o1)</i>	-	-
	Son Parça	<i>h1</i>	-	-
	Ana Parça – Kararlılık		24 s	10
	Kararlılık – Son Parça		52 s	14
Tüm sınırlamalar		18 s	4	

## 6. SONUÇ

Montaj sıralarının geliştirilmesinden önce montaj sınırlamalarının kullanılmasıyla, anlamsız montaj sıraları, henüz geliştirilmeden iptal edilebilmiş ve montaj sıralarının geliştirilme süresi azaltılmıştır. Buna rağmen hala montaj sıra sayısı fazla olması ihtimali varsayılarak, geliştirilen sıralara yukarıda belirtilen sınırlamalar tekrar uygulanarak, en uygun montaj sırasının belirlenmesi sağlanmıştır.

Montaj sıralarının tayin edildiği temas ve hareket fonksiyonları, endüstriyel ürün modellemede ve günümüzde yaygın olarak kullanılan katı model montajı esas alınarak elde edilmesi önemli bir avantajdır. Montaj sıralarının kullanıcı etkileşimi olmadan geliştirilmesi, montaj grafiğindeki gereksiz ve anlamsız montaj aşamalarının tespit edilerek silinmesi, ayrıca montaj sınırlamalarının montaj sıraları geliştirilmeden önce ve geliştirildikten sonra da uygulanabilmesi bu çalışmanın diğer olumlu yönleridir.

Çalışmada, ürünlerin sınırlamalara dayalı muhtemel bütün montaj sıraları kullanıcı etkileşimi olmadan geliştirilmektedir. Geliştirilen sıraların içerisinde en uygun montaj sırasının seçimi için, kullanıcı etkileşimi gerekmektedir. Sınırlamaların kullanıcı etkileşimli olması bir olumsuzluk gibi gözükmesine rağmen, çok az montaj deneyimine sahip kişilerce dahi programın kullanılabilir olması ayrı bir üstünlük olarak yorumlanmıştır.

Çalışmada, montaj sıraları kullanıcı etkileşimi olmadan geliştirilmesine rağmen, sıranın geliştirilmesi ve en uygun 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 edilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Delchambre, A., "Computer-aided assembly planning", *Industrial Automation Department* (1992).
2. Seow K., T., Devanathan, R. , "Temporal framework for assembly sequence representation and analysis", *IEEE Transactions On Robotics And Automotion*, 10(2): 220 (1994).
3. Khrisnan S., S., Sanderson, A.C., "Reasoning about geometric constraints for assembly sequence planning", *Proceedings IEEE International Conference On Robotics And Automotion*, 1, 776 (1991).
4. Heemserk C., J., M., Reijers L., N., "A concept for computer - aided process planning of flexible assembly", *Annals of the CIRP*, 39, 1, 25 - 28 (1990).
5. Gupta, S. and Krishnan V., "Product family - based sequence design methodology", *IIE Transactions*, 30: 933 (1998).
6. Lee, H., R., Gemmill, D., D., "Improved methods of assembly sequence determination for automatic assembly systems", *Europan Journal of Operational Research*, 131, 611 (2001).
7. Hong, D., S., Cho, H., S., "A genetic - algorithm - based approach of the generation of robotic assembly sequences", *Control Engineering Practice*, 7: 151 (1999).
8. Caselli, S., Zanichelli, F., "On assembly sequence planning using petri nets", *Proceeding Of The IEEE International Symposium On Assembly And Task Planning*, 239 (1995).
9. Arie, B., D., Kramer, B. , "Computer aided process planning for assembly: generation of assembly operations sequence", *International Journal Of Production Research*, 32(3): 643 (1994).
10. Waarts, J. , Boneschanscher, N. , Bronsvoort, W. , "A semi automatic assembly sequence planner", *Proceedings IEEE Conference On Robotics And Automotion*, 3: 2431 (1992).
11. Schmidt Linda, C. , Jackman, J., "Evaluating assembly sequences for automatic assembly systems", *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 27(1): 23 (1995).
12. Zhao, J., Masood, S., "An intelligent computer - aided assembly process planning system", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15: 332 (1999).
13. Linn, R., J., Liu, H., "An automatic assembly liaison extraction method and assembly liaison model", *IIE Transactions*, 31: 353 (1999).
14. 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).
15. Ye, N., Urzi, D., A., "Heuristic rules and strategies of assembly planning: experiment and implications in the design of assembly decision support system", *Int. J. Prod. Res.*, 34(8): 3447 (1996).
16. Van Holland, W., Bronsvoort, W., F., "Assembly features and sequence planning", [www.eg.its.tudelft.nl/~wwwcc/papers/vanHolland.ifip96.pdf](http://www.eg.its.tudelft.nl/~wwwcc/papers/vanHolland.ifip96.pdf), 1-10 (1996).
17. Lazzarini, B., Marcelloni, F., "A genetic algorithm for generating optimal assembly plans", *Artificial Intelligence in Engineering*, 14: 319 (2000).
18. Mosemann, H., Roehrdanz, F., Wahl, F., "Assembly stability as a constraint for assembly sequence planning", *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automotion*, 1: 233 (1998).
19. Laperriere, L. and El Maraghy, H., A., "Assembly sequences planning for simultaneous engineering applications", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 231 (1994).
20. 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).
21. Zorc, S., Noe, D., Kononenko, I., "Efficient derivation of the optimal assembly sequence from product description", *Cybernetics and Systems*, 29(2): 159 (1998).
22. Beranek John, M., Dutta, D., "On the automatic generation of assembly sequence for polyhedral assemblies", American Society of Mechanical Engineers, *Design Enginnering Division*, 33:31 (1991).
23. Özdemir, A., Dilipak, H., "Bilgisayar destekli montaj: bölüm 1 - temas ve hareket fonksiyonlarının CAD ortamında otomatik oluşturulması", *Politeknik Dergisi*, 3(1): 71-80 (2000).
24. Dilipak, H., "Bilgisayar destekli montaj aşamalarının teşhisi ve montaj sınırlamalarına dayalı optimizasyonu", Doktora Tezi, G.Ü. Tek. Eğt. Fak., Kasım 2001, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü* (2001).

25. Dilipak, H., Özdemir, A., "Bilgisayar destekli montaj: bölüm 2 - montaj sıralarının otomatik belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 4(1): 13-22 (2001).

*Geliş Tarihi:20.06.2002*

*Kabul Tarihi:13.11.2002*

