

Hakan Dilipak
Dr.

Ahmet Özdemir
Doç. Dr.

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim
Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü
ANKARA

Bilgisayar Destekli Alt Kurgu Belirlenmesi, Alt Kurgu Sıralarının Üretilmesi ve Grafik Olarak Gösterilmesi

Ürünlerin kurgu (montaj) tasarımı CAD/CAM sistemlerinin en önemli konularından biri olmaya başlamıştır. Bu çalışmada, kurgu sıralarının alt kurguya (alt montaja) dayalı olarak üretilmesi gerçekleştirilmiş ve böylece kurgu sıralarının üretilmesi sırasında harcanan sürenin azaltılması sağlanmıştır. Birleştirilmiş halde katı model olarak tasarlanan endüstriyel ürünlerin kullanıcı etkileşimi olmadan muhtemel bütün alt kurguları belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen alt kurguların muhtemel bütün kurgu sıraları üretilmiştir. Son olarak her alt kurgu için üretilen kurgu sıraları, irtibat sıra grafiğiyle tasarımcıya sunulmuştur. Çalışma, AutoCAD 2000 paket programında, Visual LISP, Visual BASIC ve Turbo PASCAL programlama dilleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli kurgu, alt kurgu belirlenmesi, kurgu sırası üretme, irtibat sıra grafiği

GİRİŞ

Endüstriyel bir ürünün kurgusu yapılırken, günümüz üretim mantığına göre ürüne ait birden fazla parça ayrı bir yerde birleştirilerek alt kurgusu oluşturulabilmekte ve ana kurguya sanki tek bir parçaymış gibi birleştirilmektedir. Bu şekilde, bir ürüne ait parçaların bir grup halinde birleştirilmesi, alt kurgu olarak adlandırılmıştır [1].

Günümüz teknolojisinde, ürünlerin henüz tasarım aşamasında kurgu sıralarının üretilmesi oldukça önemlidir. Bilgisayar destekli olarak kurgu sıralarının üretilmesi, özellikle parça sayısı fazla olan ürünlerde oldukça uzun sürmektedir. Bir kurgu işlemi, kurgusu yapılacak ürünün her bir parçasının ve alt kurgusunun diğer parçalara göre konumunu belirlemek, bunları doğru ve mantıklı olarak sıralamaktır. Ürünü oluşturan parça sayısının artması ve kurgu sıralarının çeşitliliğinin büyümesi dikkate alındığında, bu sırayı otomatik olarak belirlemek oldukça karmaşık bir işlemi beraberinde getirmektedir.

Alt kurgular halinde yapılan bir kurgu işleminde, ana kurguya dahil edilecek parça sayısının azalmasıyla özellikle, kurgu sırasının bilgisayarda üretilme süresinde çok büyük zaman kazançları olmaktadır. Önce ürünün alt kurgularının belirlenmesi ve bu alt kurguların, kurgu sıralarının üretilmesi esnasında değerlendirilmesi, araştırmacılar için çalışma konusu olmuştur.

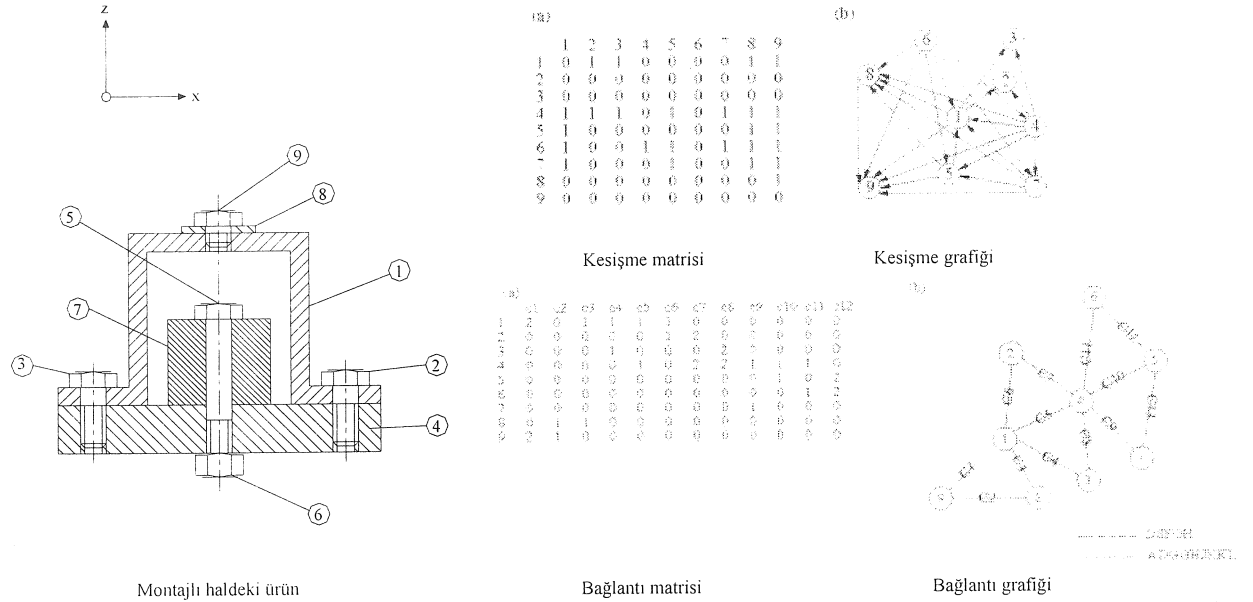
Yapılan yayın taraması, kurgu alanında bir çok çalışmanın yapıldığını ve bu çalışmaların hedefinin ürüne ait en uygun kurgu sıralarının öncelikle belirlenmesi olduğunu göstermektedir. Ancak, yapılan bir çok çalışma, kullanıcı ile etkileşimli çalıştığı için, kullanıcıdan kaynaklanan hatalar ve kullanıcının deneyiminin sağlayacağı olumlu veya olumsuz yönlerin varlığını da beraberinde getirmiştir. Bunun yanında, kurgu sıralarının üretilmesi için tüm muhtemel seçenekler denendiği için kurgu sıralarının üretilme süreleri oldukça uzun sürmektedir. Bu süreyi kısaltmak için, önce alt kurguların belirlendiği daha sonra da kurgu sıralarının üretildiği çalışmaların da ağırlık kazandığı görülmektedir [2 – 8].

Ürünlerin kurgu sıraları üretilirken, her parça bütün aşamalarda birleştirilip birleştirilmediği tek tek kontrol edilmektedir. Bu durum, özellikle parça sayısı fazla olan endüstriyel ürünlerin kurgu sıralarının üretilmesinin çok uzun sürmesine sebep olmaktadır. Araştırmacılar, öncelikle bu sürenin azaltılması için, ürünün parçalarını alt kurgular halinde gruplayarak parça sayısının azaltılması yönünde çalışmalar yapmıştır [9, 10, 11]. Kurgu sıraları üretilirken, kural tabanlı [9], ürünlerin temas ve sökülme durumlarına göre irtibat ilişkilerinin belirtildiği matrisler [10, 12, 13] ve genetik algoritma kullanılarak [14] kurgu sıraları üretilmiştir. Ürünün parçaları arasındaki irtibat ilişkilerinin belirlenmesinde, kesişme grafiği [10], bağlantı grafiği [10, 15], kesişme matrisi [10, 12], bağlantı matrisi [10, 12], temas matrisi [12, 13], taşıma matrislerinden [13] yararlanılmıştır. Kurgu

sıraları üretilirken ürünün sökülerek analizinden yararlanıldığı tespit edilmiştir [10, 12, 13, 16]. Üretilen kurgu sıraları, kurgu sıra grafiği [13], ve/veya grafiği [17], irtibat sıra grafiği [18] ile kullanıcıya sunulmuştur.

Subramani ve Devhurst [7], ürünlerin belirli servisler veya tamir parçaları için ihtiyaç duyulan alt kurgu sıralarının üretilmesini gerçekleştirmiştir. Dini ve Santochi [12], kurgu sıralarının bilgisayar programları ile belirlenebilmesi ve alt kurgunun belirlenmesi için, alt kurgu ile diğer parçalar arasındaki matematiksel ifadeyi üretmede kullanılan kesişme, temas ve bağlantı matrislerinden yararlanmıştır. Oliver ve Huang'ın [16] çalışmasında, otomatik kurgu tasarımını kolaylaştırmak ve sabit parça veya alt kurguları referans almak için serbest parçalarla çarpışma yolunu bulan bir yaklaşım anlatılmaktadır. Kurgu yolları, ürünün sökülme sırası belirlendikten sonra, bu sıranın tersi alınıp birleştirilme sırası olarak üretilmektedir.

Ong ve Wong [10], kurgu sırasının üretilmesi işleminin oldukça uzun sürmesinden hareketle, bu süreyi azaltmak için, alt kurgulardaki parçaları beraber gruplayarak, bağımsız parçaları bu alt kurgulara eklemişlerdir. Böylece, ürünü oluşturan parça sayısı azalmakta ve dolayısıyla kurgu sırasını üretmede harcanan zaman da kısalmaktadır. İlk olarak ürün modelinden kullanıcı etkileşimli olarak bağlantı ve kesişme matris ve grafikleri oluşturulmuştur. Hazırlanan matris ve grafiklere matematiksel işlemler uygulanarak, sökülme sırası oluşturulmakta ve daha sonra, alt kurgu algılanması gerçekleştirilmektedir. Belirlenen alt kurgulardan, ana parça ile irtibatlı alt kurgular iptal edilmektedir. Şekil 1'de, ürün, kesişme matrisi, kesişme grafiği, bağlantı matrisi ve bağlantı grafiği verilmiştir. Buna göre bu ürünün üretilen kurgu sırası, Çizelge 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Dokuz parçalı bir ürün, ürüne ait bağlantı, kesişme matrisleri ve grafikleri [10]

Çizelge 1. Şekil 2'deki ürün için oluşturulan kurgu sıraları [10]

Sıra Numarası	Parça Numarası	Sökülme Yönü
1	2 veya 3	+Z
2	3 veya 2	+Z
3	1 Nolu Alt kurgu	+Z
4	5	+Z
5	7	+Z
6	6	-Z
7	4	-Z
1 Numaralı Alt kurgunun Sökülme Sırası		
8	9	+Z
9	8	+Z
10	1	+Z

Gottipoli ve Gosh [13] ise, ürünlerin kurgu sıralarını alt kurgu dahil olmak üzere üretmişler ve üretilen sıraları kurgu sıralama grafiğinde kullanıcıya sunmuşlardır. PADL-2 katı modelleme sistemi kullanılarak oluşturulan kurgunun geometrik modeline, çarpma - algılama modeli uygulandıktan sonra, temas ve geçme fonksiyonları oluşturulmuş ve bu fonksiyonlara göre muhtemel kurgu sıraları üretilmiştir.

Zussman ve arkadaşları [15] tarafından, alt kurguların uygun kurgu sıralarını belirlemek için etkili bir algoritma kullanılmaktadır. Homem de Mello ve Sanderson [17] tarafından yapılan çalışmada, kurgu sıralarının üretilmesi için bir algoritma kurulmuştur. Bu algoritma, kurgu sıralarına karşılık gelen ve/veya grafik örneklerine dönüştürülmüştür. Lazzarini ve Marcelloni [14], kurgu planlarını değerlendiren ve üreten genetik bir algoritma önermektedir. Kurgu sıralarının üretilmesi için parçalar alt kurgular şeklinde gruplandırılmaktadır. Chakrabarty ve Wolter [19] tarafından yapılan çalışmada, kurgu sıralarının oluşturulma mantığı, parçaların birleştirilerek alt kurguları, geriye kalan parça ve alt kurguların da monte edilmesi şeklindedir. Arieve ve Kramer [20] çalışmalarında, alt kurgu operasyonlarının farklı kombinasyonlarının dikkate alınmasıyla muhtemel bütün kurgu sıralarının güvenli bir şekilde üretildiği bir yöntemi anlatmaktadır.

Bu makalenin konusu olan çalışmada, çok uzun süren kurgu sıralarının üretilme sürelerinin azaltılması için, alt kurgusunun belirlenmesi ve alt kurguya dayalı olarak kurgu sıralarının üretilmesi ve bu işlemlerin kullanıcı etkileşimi olmadan yapılması hedef alınmıştır. Bunun için endüstriyel ürünler, CAD ortamında katı model olarak tasarlanmıştır. Daha sonra bu modelden, gerekli kurgu verileri elde edilerek (Temas ve Hareket fonksiyonları), ilk olarak ürüne ait alt kurgular belirlenmiştir. Belirlenen alt kurguların kendi içinde ve genel ürün için kurgu

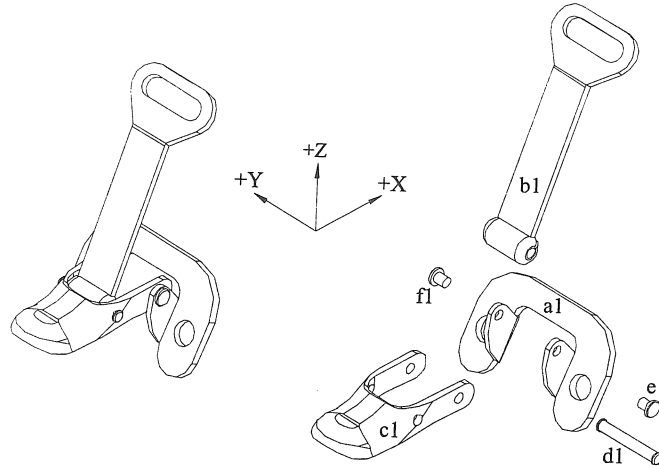
sıraları üretilmiştir. Kurgu sıraları üretildikten sonra gerek, alt kurgular ve gerekse de ürün için üretilen kurgu sıraları irtibat sıra grafiği ile kullanıcıya sunulmuştur.

ALT KURGULARIN BELİRLENMESİ

Alt kurgular, özellikle parça sayısı fazla olan ürünlerin gerek kurgularının yapılmasında, gerekse kurgu sıralarının oluşturulmasında oldukça kolaylık sağlamaktadır. Ancak, bir üründeki alt kurguların belirlenmesi, oldukça karmaşık ve zaman alıcı olan program sürecini de beraberinde getirmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, alt kurgular doğru olarak algılanabilmekte, gerek ana kurgudaki kurgu sırası, gerekse alt kurgunun parçaları arasındaki kurgu sırası belirlenebilmektedir. Alt kurguların belirlenmesi bilgisayar tarafından kullanıcı etkileşimi olmadan gerçekleştirilmektedir. Bunun için temas ve hareket fonksiyonlarından yararlanılmıştır.

Alt kurgunun belirlenmesi için ilk olarak endüstriyel ürünlerin birleştirilmiş halde katı model olarak tasarlanmaları gerekmektedir. Daha sonra, ürünün katı modelinden temas (T) ve hareket (H) fonksiyonları kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir [21]. T fonksiyonları endüstriyel ürüne ait her elemanın, ürünü oluşturan diğer elemanlarla temasta olup olmama durumlarına göre türetilen 0 ve 1 rakamlarından oluşan matris şeklindeki fonksiyonlardır. H fonksiyonları ise, endüstriyel ürüne ait her elemanın, ürünü oluşturan diğer elemanlar tarafından sökülmesinin engellenip engellenmemeye durumuna göre türetilen 0 ve 1 rakamlarından oluşan matris şeklindeki fonksiyonlardır. T ve H fonksiyonları kartezyen koordinat sisteminin altı ana eksenine (+x, +y, +z, -x, -y ve -z) için oluşturulduğu için, her bir fonksiyon altı tane elemandan meydana gelmiştir. Şekil 2'de gösterilen kilit için üretilen temas ve hareket fonksiyonları Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kilitin birleştirilmiş ve sökülmüş haldeki katı model tasarımı

Çizelge 2. Kilit için üretilen T ve H fonksiyonları

TEMAS FONKSİYONLARI							HAREKET FONKSİYONLARI						
Çift	+x	+y	+z	-x	-y	-z	Çift	+x	+y	+z	-x	-y	-z
albl	0	0	0	0	0	0	albl	1	1	0	0	1	1
alcl	0	1	0	0	1	0	alcl	1	0	1	0	0	1
aldl	0	0	0	0	0	0	aldl	1	1	1	0	1	1
alel	1	0	1	1	1	1	alel	0	1	0	0	0	0
alfl	1	1	1	1	0	1	alfl	0	0	0	0	1	0
bicl	0	1	1	1	1	0	bicl	1	0	0	0	0	1
bldl	1	0	1	1	0	1	bldl	0	1	0	0	1	0
blel	0	0	0	0	0	0	blel	1	1	1	1	1	1
bifl	0	0	0	0	0	0	bifl	1	1	1	1	1	1
cldl	1	1	1	1	1	1	cldl	0	1	0	0	1	0
clel	1	0	1	1	0	1	clel	0	1	0	0	0	0
clfl	1	0	1	1	0	1	clfl	0	0	0	0	1	0
dlel	0	0	0	0	0	0	dlel	0	1	1	1	1	1
dfl	0	0	0	0	0	0	dfl	0	1	1	1	1	1
efl	0	0	0	0	0	0	efl	1	0	1	1	1	1
blal	0	0	0	0	0	0	blal	0	1	1	1	1	0
clal	0	1	0	0	1	0	clal	0	0	1	1	0	1
dial	0	0	0	0	0	0	dial	0	1	1	1	1	1
elal	1	1	1	1	0	1	elal	0	0	0	0	1	0
flal	1	0	1	1	1	1	flal	0	1	0	0	0	0
clbl	1	1	0	0	1	1	clbl	0	0	1	1	0	0
dibl	1	0	1	1	0	1	dibl	0	1	0	0	1	0
elbl	0	0	0	0	0	0	elbl	1	1	1	1	1	1
flbl	0	0	0	0	0	0	flbl	1	1	1	1	1	1
dicl	1	1	1	1	1	1	dicl	0	1	0	0	1	0
elcl	1	0	1	1	0	1	elcl	0	0	0	0	1	0
flcl	1	0	1	1	0	1	flcl	0	1	0	0	0	0
eldl	0	0	0	0	0	0	eldl	1	1	1	0	1	1
fldl	0	0	0	0	0	0	fldl	1	1	1	0	1	1
flel	0	0	0	0	0	0	flel	1	1	1	1	0	1

Temas ve hareket fonksiyonları endüstriyel ürünlerin kurgu sıralarının üretilmesinde kullanıldığı gibi [18], alt kurguların belirlenmesinde de kullanılabilir-mektedir. Hazırlanan programda, endüstriyel ürünlerin alt montajlarının teşhisi için uygulanan işlem sırası aşağıda verilmiştir.

1. Ana kurgudaki geçmelerin belirlenmesi
2. Parçaların gruplandırılması
3. Gruplandırılan parçalardan alt kurguya uygun olmayanların çıkarılması
4. Alt kurguların belirlenmesi

Ana Kurgudaki Geçmelerin Belirlenmesi

Ana kurgudaki geçmelerin program tarafından algılanabilmesi için, daha önce türetilen temas ve hareket fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Bir çiftin geçme yapabilmesi için, en az üç eksende çiftin elemanlarının birbiri ile temasta olması ve yine en az

üç eksende sökülmesinin mümkün olması gerekmektedir. Bu mantıkla program tarafından, kartezyen koordinat sisteminin altı ana ekseninden (+x, +y, +z, -x, -y ve -z) en az üç ekseninde teması olan ve en az üç ekseninde de sökülme serbestliği olan çiftler belirlenerek, bu çiftlerin geçme yaptığı belirlenmektedir. Geçme yapan çiftler belirlendikten sonra ikinci aşama olarak, aynı parçanın geçme yaptığı çiftlerden birer grup oluşturulmaktadır.

Şekil 2'de gösterilen kilit için, kilidi oluşturan parçaların yapmış olduğu geçmeler Çizelge 3'de verilmiştir. Burada, geçme yapan çiftler ve bu çiftlerin sökülme yönlerine karşılık gelen rakamlar, ayrıca geçme yapan çiftlerden yararlanılarak, her bir parçanın geçme halinde olduğu parçalar yazdırılmıştır. Çizelge 2'ye göre (al, el) çifti (+y) yönünde bir sökülme serbestliği vardır. Buna göre (al, el) çifti geçme yapmış bir çifttir. al parçası el ve fl parçalarıyla geçme yaptığı için (al, el, fl) grubu oluşturulmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Kilit kurgusunda geçme yapan çiftler, sökülme yönleri ve oluşan gruplar

S.No	Geçme Yapan Çiftler	Sökülme Yönleri	S.No	Gruplar
1	<i>a1, e1</i>	2	1	<i>a1, e1, f1</i>
2	<i>a1, f1</i>	5	2	<i>b1, c1, d1</i>
3	<i>b1, c1</i>	1 - 6	3	<i>c1, b1, d1, e1, f1</i>
4	<i>b1, d1</i>	2 - 5	4	<i>d1, b1, c1</i>
5	<i>c1, d1</i>	2 - 5	5	<i>e1, a1, c1</i>
6	<i>c1, e1</i>	2	6	<i>f1, a1, c1</i>
7	<i>c1, f1</i>	5		

Parçaların Gruplandırılması

Bu aşamada Çizelge 3'de oluşturulan gruplar yeniden gözden geçirilmiş, alt kurgu oluşturamayacak parçalar çıkarılarak, alt kurguda bulunması gereken parçalar mevcut gruplara eklenmiştir. Yeni grupların oluşturulması, 2 adımda gerçekleştirilmiştir.

1. adım: Çizelge 4'deki her grup ve grubu oluşturan her eleman tek tek kontrol edilmiştir. Örneğin, (*b1, c1, d1*) grubunun, grup başı (*b1*) haricindeki diğer parçaların (*c1, d1*) grup başı olduğu satırlar (*c1 - {c1, b1, d1, e1, f1}*, *d1 - {d1, b1, c1}*) bu gruba eklenmiştir (*b1, c1, d1, e1, f1*). Çünkü, bu grubun bir alt kurgu olması için, sadece bir parçanın geçme yaptığı parça değil, grubu oluşturan tüm parçaların geçme yaptığı parçaların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu adımdaki ikinci işlem ise, ana parçanın elemanı olduğu bir grup, alt kurgu oluşturamayacağı için, ana parçanın grup başı olduğu satır (*a1, e1, f1*) ile her gruptaki ana parça silinmiştir.

2. adım: Bu adımda, bir önceki adımda elde edilen gruplar tek tek kontrol edilmiştir. Bu kontrol neticesinde, grup başı parça aynı olmak şartıyla bir başka grup tarafından kapsanan (alt grup olan) gruplar silinmiştir. Çünkü, alt gruplar, ana gruplar içerisinde ileri aşamalarda ayrıca kontrol edilecek şekilde program hazırlanmıştır.

Yukarıda bahsedilen iki adım kilite uygulandığında, birinci adımda, kilidin ana parçası *a1* olduğu için Çizelge 3'deki (*a1, e1, f1*) satırı ve diğer satırlardaki *a1* parçası silinmiştir. Daha sonra, her

gruptaki tüm elemanların grup başı olduğu satırlar bu gruba eklenmek suretiyle Çizelge 4'de yeni gruplar elde edilmiştir. İkinci adımda ise, oluşturulan bu gruplar incelenerek, grup başı aynı olmak şartıyla, başka bir grup tarafından kapsanan gruplar silinerek yeni gruplar oluşturulmaktadır.

Gruplandırılan Parçalardan Alt Kurguya Uygun Olmayanların Çıkarılması

Bu aşamaya kadar parçalar gruplandırılmıştır, fakat, bu gruplar veya gruplardaki parçaların bir veya daha fazlasının, alt kurguya uygun olup olmadığına karar verilmemiştir. Bu aşamada, alt kurguya uygun olmayan gruplar ve gruplardaki alt kurguya uygun olmayan parça veya parçalar gruptan çıkarılmıştır. Bu işlem, kurgu sırasını belirlemede karşılaşılan karmaşık ve zaman alıcı bir süreç olmuştur. Çizelge 4'de belirtilen her grubun, alt kurgu oluşturup oluşturamayacağı ve böylece gruptaki alt kurguya uygun olmayan parçaların çıkarılması gerçekleştirilmiştir.

Bir önceki aşamada elde edilen ve Çizelge 4'de belirtilen grubun, 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. Örneğin, Çizelge 4'deki her iki grubun eşleşmesi Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 4. Kilit kurgusunda alt kurgu oluşturabilecek gruplar

S.No	Gruplar	Alt kurgu oluşturamayan grupların elenmiş hali
1	<i>b1, c1, d1</i>	
2	<i>b1, c1, d1, e1, f1</i>	<i>b1, c1, d1, e1, f1</i>
3	<i>c1, e1</i>	
4	<i>c1, e1, f1</i>	<i>c1, e1, f1</i>
5	<i>c1, f1</i>	

Çizelge 5. (b1, c1, d1, e1, f1) ve (c1, e1, f1) grup elemanlarının kendi aralarında eşleşmeleri

S.No	Eşleşmeler	
	b1, c1, d1, e1, f1	c1, e1, f1
1	b1, c1	c1, e1
2	b1, d1	c1, f1
3	b1, e1	c1, e1, f1
4	b1, f1	
5	b1, c1, d1	
6	b1, c1, e1	
7	b1, c1, f1	
8	b1, d1, e1	
9	b1, d1, f1	
10	b1, e1, f1	
11	b1, c1, d1, e1	
12	b1, c1, d1, f1	
13	b1, c1, e1, f1	
14	b1, d1, e1, f1	
15	b1, c1, d1, e1, f1	

Alt Kurguların Belirlenmesi

Bu aşamaya kadar parçalar, geçme durumlarına göre gruplandırılmış ve bu gruplardan, alt kurgu oluşturabilecek yeni gruplar elde edilmiştir. Bu aşamada ise, elde edilen gruplar arasından alt kurgu oluşturamayacakların çıkarılması, başka bir grup tarafından kapsanan grupların silinmesi ve elde edilecek olan alt kurguların da, bir alt kurguyu ihtiva edip etmediğinin kontrolü yapılmıştır.

İlk olarak, elde edilen yeni grupların, kurgulu haldeki ürün modelinden sökülüp sökülemeyeceği kontrol edilmiştir. Alt kurgu belirleme işlemi, hareket fonksiyonu üzerinde yapılacak işlemler neticesinde, program tarafından elde edilmektedir. Örneğin (b1, c1) grubu; bu grubun elemanları, hareket fonksiyonundaki kurguyu oluşturan diğer elemanlar tarafından (bu gruptaki diğer elemanlar hariç) sökülme yönleri tespit edilmiştir. Bu durumda b1 ve c1 parçası kuruyu oluşturan diğer parçalar (a1, d1, e1, f1) ile sökülme yönlerinin aynı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Sökülme yönleri aynı ise bu grup alt kurgu oluşturabilmekte, sökülme yönleri aynı değilse alt kurgu oluşturamamaktadır. Bu durumda alt kurgu oluşturabilecek gruplar belirlenmiştir. Kilit için alt kurgu oluşturabilecek iki tane alt kurgu belirlenmiştir (b1, c1) ve (b1, c1, d1). Bu iki alt kurgu incelendiğinde, her iki grubun ana parçası aynı ve (b1, c1) grubunun (b1, c1, d1) grubu tarafından kapsandığı görülmektedir. Bu durumda, (b1, c1) grubu silinmektedir.

Bu aşamadan itibaren, alt kurgu oluşturamayacak olan grupların silinme işlemi yapılmıştır. Bunun için, ilk olarak parçalar arasında temas şartı aranmıştır. Alt kurgu oluşturacak olan

grubun içinde, birbirleriyle temasta olmayan parça varsa, bu gruplar silinmiştir. Daha sonra grup başı parça aynı, fakat, diğer parçaları farklı olan gruplar varsa (bir parça iki farklı alt kurguda olamayacağı için), bu sefer de bu alt kurguların ilki kalmış, diğerleri program tarafından otomatik olarak silinmiştir.

Alt kurguların belirlenmesi işleminin son aşaması olarak, iç içe alt kurgu olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun için, belirlenen alt kurgular bir kez daha değerlendirilmiştir. Elde edilen alt kurgular içinde, grup başı olan parça, başka bir alt kurgunun elemanı ise, bu alt kurguların, elemanı olduğu grubun bir alt kurgusu olarak algılanması sağlanmıştır. Belirlenen alt kurgular yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak kodlanmıştır. Bu kodlama işlemi İngiliz alfabesinin büyük harfleri (A1, B1, C1, D1, E1,, Z1) kullanılarak yapılmıştır. Buna göre, (b1, c1, d1) grubu A1 alt kurguya olarak kabul edilmiştir. Kilidin kurgusunda (a1, b1, c1, d1, e1, f1), (b1, c1, d1) alt kurgusuna A1 olarak adlandırılmış ve ana kurgu (A1, a1, e1, f1) şeklinde oluşturulmuştur.

ALT KURGU SIRALARININ ÜRETİLMESİ

Varılan noktaya kadar muhtemel alt kurgular, yukarıda anlatılan işlemler neticesinde belirlenmiştir. Bundan sonra, belirlenen alt kurguların parçaları arasındaki kurgu sıralarının üretilmesi ve her alt kurgunun ürün kurgusunda hangi sırada birleştirileceğinin belirlenmesi için, ürüne ait kurgu sıralarının belirlenmesi de gerekmektedir. Kilit için (A1, a1, e1, f1) ana kurgusu ve (b1, c1, d1) alt kurgusu için kurgu sıraları üretilmiştir.

Kurgu sıralarının belirlenmesi, muhtemel kurgu sıralarının belirlenmesi işlemine oldukça benzer olmakla beraber, alt kurguların olması sebebiyle biraz daha karmaşık bir yapıyı göstermektedir. Burada da yine temas ve hareket fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Ancak, ürünlerin yeniden kodlanmasında alt kurguların olması ve daha önce oluşturulan temas ve hareket fonksiyonları çizelgesinde, alt kurguların belirtilmemesi sebebiyle, ana kurgu ve alt kurgu için ayrı ayrı temas ve hareket fonksiyonlarının oluşturulmuştur.

Ürünün alt kurguları içerecek şekilde temas ve hareket fonksiyonlarının oluşturulması, ürün için daha önceden belirlenen temas ve hareket fonksiyonlarında aşağıda açıklanan bir takım işlemler gerçekleştirilerek yapılmıştır. Kilidin (a1, e1, f1, A1) ana kurgusu ve Kilidin (b1, c1, d1) alt kurgusu için yeniden oluşturulan T ve H fonksiyonları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Kilitin ($a1, e1, f1, A1$) ve ($b1, c1, d1$) alt kurguları için T ve H fonksiyonları

$(a1, e1, f1, A1)$ ana kurgusu				$(b1, c1, d1)$ alt kurgusu			
T FONKSİYONLARI		H FONKSİYONLARI		T FONKSİYONLARI		H FONKSİYONLARI	
a1e1	101111	a1e1	010000	b1c1	011110	b1c1	100001
a1f1	111101	a1f1	000010	b1d1	101101	b1d1	010010
a1A1	010010	a1A1	100001	c1d1	111111	c1d1	010010
e1f1	000000	e1f1	101111	c1b1	110011	c1b1	001100
e1A1	101101	e1A1	000010	d1b1	101101	d1b1	010010
f1A1	101101	f1A1	010000	d1c1	111111	d1c1	010010
e1a1	111101	e1a1	000010				
f1a1	101111	f1a1	010000				
A1a1	010010	A1a1	001100				
f1e1	000000	f1e1	111101				
A1e1	101101	A1e1	010000				
A1f1	101101	A1f1	000010				

Burada ilk olarak ürünü oluşturan parçalar eşleştirilmiş, alt kurguların elemanı olan parçalar ($b1, c1, d1$) silinmiş ve bu parçalar yerine alt kurgunun kodu yazdırılmıştır ($a1, e1, f1, A1$). Bu eşleşme neticesinde alt kurgunun bulunmadığı çiftler olduğu gibi alınmıştır. Alt kurgunun bulunduğu çiftler ise, örneğin ($a1, A1$) çifti, $A1$ alt kurgusunu oluşturan tüm elemanların ($b1, c1, d1$) her biri tek tek $a1$ parçasıyla oluşturduğu çiftler halinde alt alta yazdırılmıştır. Daha sonra, bu çiftlerin sütunlarına temas fonksiyonu için "V (veya)", hareket fonksiyonu için "Λ (ve)" operatörü uygulanarak yeni bir fonksiyon hazırlanmıştır. Aşağıda, ($a1, A1$) çiftinin temas ve hareket fonksiyonunun nasıl elde edildiği gösterilmiştir. Hazırlanan bu çift, temas ve hareket fonksiyonlarında ilgili sütunlara yazdırılmıştır.

T FONKSİYONU		H FONKSİYONU	
a1, b1-	000000	a1, b1-	110011
a1, c1-	010010	a1, c1-	101001
a1, d1-	000000	a1, d1-	111011
a1, A1-	010010	a1, A1-	100001

Her alt kurgu için temas ve hareket fonksiyonu oluşturulduktan sonra kurgu sırası üretme işlemi, muhtemel bütün kurgu sıralarının üretilmesi işlemi ile aynı alınmıştır. Tek fark, hangi grubun kurgu sırası üretilecekse, o grup için oluşturulan temas ve hareket fonksiyonlarının kullanılmasının gerekli olmasıdır.

Son olarak, oluşturulan kurgu sıraları uzantısı "sir" olan dosyalara yazdırılmış ve elde edilen nihai kurgu sıraları da "altmon.sir" dosyası halinde kaydedilerek kullanıcıya sunulmuştur. Kilit için alt kurguya dayalı olarak oluşturulan kurgu sıraları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Kilit için alt kurguya dayalı olarak üretilen muhtemel bütün kurgu sıraları

$(a1, e1, f1, A1)$ Alt kurgusu		$(b1, c1, d1)$ Alt kurgusu	
S.No	Kurgu sırası	S.No	Kurgu sırası
1	$a1, A1, e1, f1$	1	$b1, c1, d1$
2	$a1, A1, f1, e1$	2	$c1, b1, d1$
3	$A1, a1, e1, f1$		
4	$A1, a1, f1, e1$		

KURGU SIRALARININ İRTİBAT SIRA GRAFİĞİNDE GÖSTERİMİ

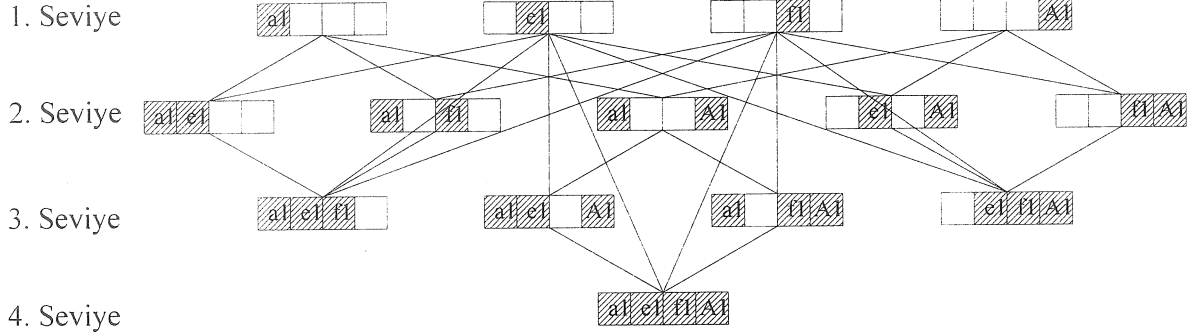
Kurgu sıralarının grafik olarak gösterilmesi, en az kurgu sıralarının üretilmesi ve alt kurguların belirlenmesi kadar karmaşık ve zaman alıcı bir işlem olmasına rağmen, üretilen kurgu sıralarının net bir şekilde kullanıcıya sunulması ihtiyacı ortadadır. Bu çalışmada, gösterim metodu olarak, irtibat sıra grafiği seçilmiştir. Çünkü bu metotta, kurgu operasyonları, aşama aşama hangi parçanın veya alt kurgunun kurgu edildiği net bir şekilde gösterilmektedir.

İrtibat sıra grafiği düğüm (kutu) ve hatlardan oluşmaktadır. Hatlar, açık hat ve kapalı hat olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bir düğüme gelen ve düğümden çıkmayan hatlar kapalı hat, bir düğüme gelip düğümden çıkan hatlar ise açık hat olarak belirlenmiştir. Bunun yanında irtibat sıra grafiği, parça sayısı kadar seviyeden oluşmaktadır. Birinci seviye parçaların henüz kurguya başlanmamış yani bağımsız halini ifade etmekte, dolayısıyla parça sayısı kadar düğümden oluşmaktadır. Son seviye ise, kurgunun 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 [1]. Kilitin ($a1, e1, f1, A1$) ana kurgusu için çizdirilen irtibat sıra grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir.

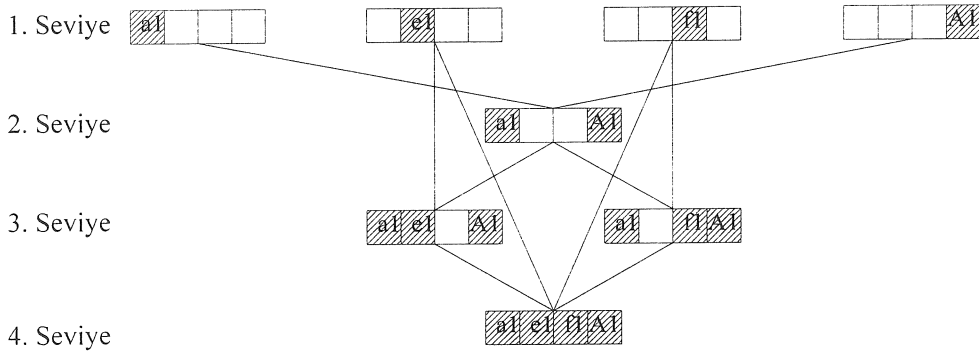
Şekil 3'e bakıldığında bazı düğümlere gelen kurgu hatlarının düğümden çıkmadığı görülmektedir. Bir düğümden ayrılan kurgu hattı yoksa, bu düğümün silinmesini ve dolayısıyla bu düğüme gelen kurgu hatlarının da grafikten çıkarılmasını sağlayacak mantık programa yerleştirilmiştir. Bu mantık tüm

grafığe çıkan hattı olmayan düğüm kalmayınca kadar uygulanarak budanmış irtibat sıra grafiği elde edilmiştir (Şekil 4).

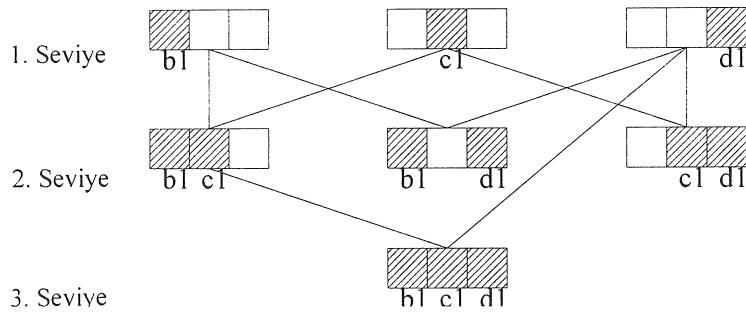
Kilidin ($b1, c1, d1$) alt kurgusu için çizdirilen budanmamış irtibat sıra grafiği Şekil 5'de, budanmış irtibat sıra grafiği de Şekil 6'da gösterilmiştir.



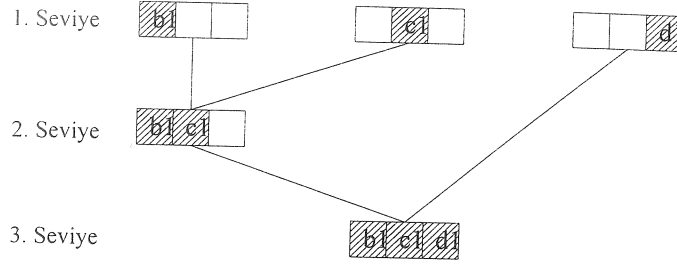
Şekil 3. Kilidin ($a1, e1, f1, A1$) ana kurgusu için budanmamış irtibat sıra grafiği



Şekil 4. Kilidin ($a1, e1, f1, A1$) ana kurgusu için budanmış irtibat sıra grafiği



Şekil 5. Kilidin ($b1, c1, d1$) ana kurgusu için budanmamış irtibat sıra grafiği



Şekil 6. Kilitin ($b1$, $c1$, $d1$) ana kurgusu için budanmış irtibat sıra grafiği

ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Hazırlanan program ile aks, kızak, döner teker, saatçi mengenesi, iletme tertibatı, dişli kutusu vb. bir çok uygulama yapılmış [1] ve bu çalışmada ise mafsal ile vana örneği verilmiştir.

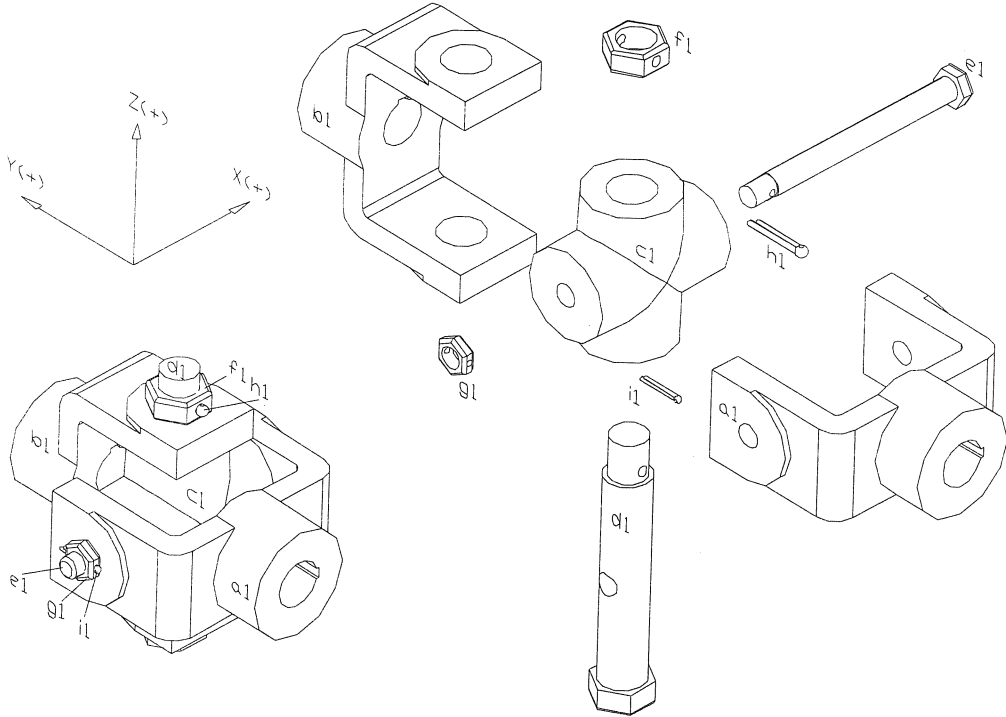
1. Mafsal

Program, Şekil 7'de gösterilen mafsal için çalıştırılmış ve ($b1$, $c1$, $d1$, $f1$, $h1$) alt kurgusu

belirlenmiştir. Daha sonra, ($A1$, $a1$, $e1$, $g1$, $i1$) ana montajı ve ($b1$, $c1$, $d1$, $f1$, $h1$) alt kurgusu için kurgu sıraları üretilmiştir (Çizelge 8).

2. Vana

Program, Şekil 8'de gösterilen vana için çalıştırılmış ve belirlenen alt kurgular ile her alt kurgu için üretilen kurgular veya kurgu sıra sayıları Çizelge 9'da verilmiştir.



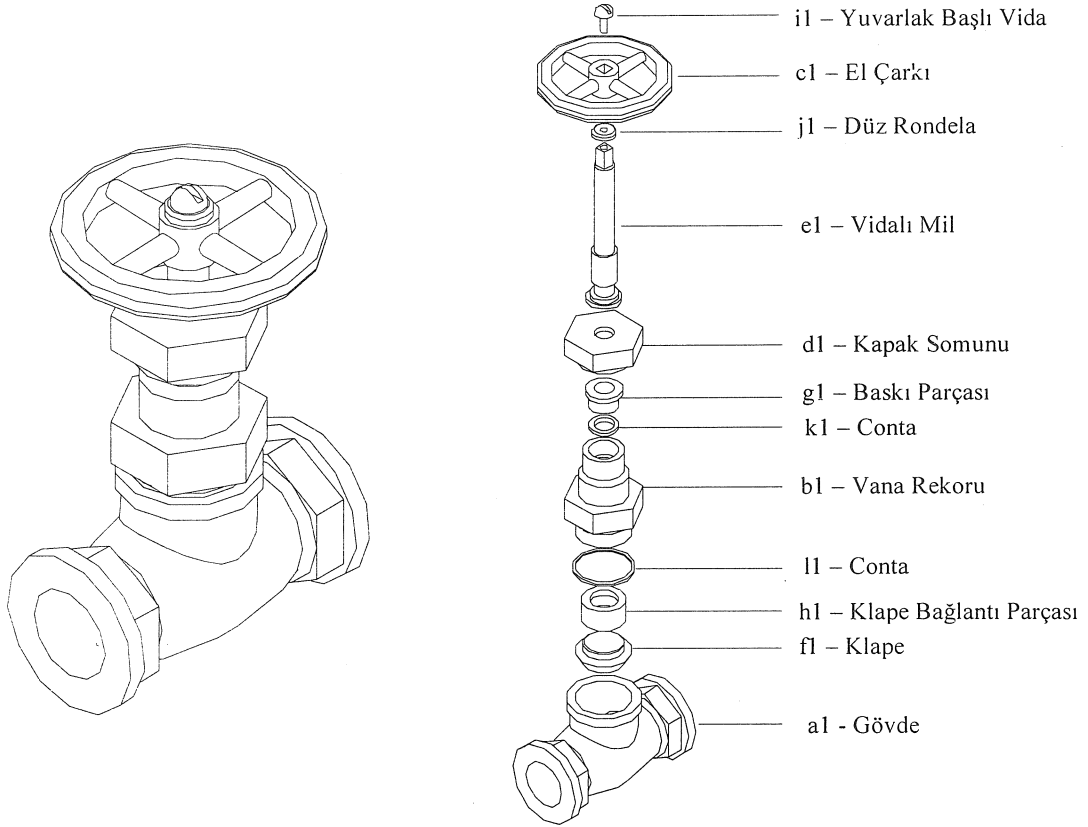
Şekil 7. Mafsalın birleştirilmiş ve sökülmüş modeli

Çizelge 8. Mafsalın (A1, a1, e1, g1, i1) ana kurgusu ve (b1, c1, d1, f1, h1) alt kurgusu için üretilen kurgu sıraları

S.No	(A1, a1, e1, g1, i1) ana montajı	S.No	(b1, c1, d1, f1, h1) alt montajı
	Montaj Sırası		Montaj Sırası
1	a1, g1, A1, e1, i1	1	b1, c1, d1, f1, h1
2	a1, A1, e1, g1, i1	2	b1, c1, f1, d1, h1
3	a1, A1, g1, e1, i1	3	b1, f1, c1, d1, h1
4	g1, a1, A1, e1, i1	4	c1, b1, d1, f1, h1
5	A1, a1, e1, g1, i1	5	c1, b1, f1, d1, h1
6	A1, a1, g1, e1, i1	6	f1, b1, c1, d1, h1

Çizelge 9. Vananın alt kurguya dayalı olarak üretilen kurgular veya kurgu sıra sayıları sıraları

(A1, a1) Ana kurgusu		(b1, d1, g1, k1, l1, B1, C1) Alt kurgusu		(c1, D1) Alt kurgusu		(e1, f1, h1) Alt kurgusu		(i1, j1) Alt kurgusu	
S.No	Kurgu S.	S.No	Kurgu S.	S.No	Kurgu S.	S.No	Kurgu S.	S.No	Kurgu S.
1	a1, A1		78 tane kurgu sırası üretilmiştir.	1	c1, D1	1	e1, f1, h1	1	i1, j1
2	A1, a1			2	D1, c1	2	e1, h1, f1	2	J1, i1
						3	f1, e1, h1		
						4	h1, e1, f1		



Şekil 8. Vananın birleştirilmiş ve sökülmüş modeli

Gerçekleştirilen çalışmada, CAD ortamında birleştirilmiş halde katı model olarak tasarlanan her türlü endüstriyel ürünün alt kurguları belirlenebilmekte, alt kurguların ve alt kurguları içeren ve genel ürünün kurgu sıraları üretilebilmekte ve üretilen kurgu sıraları ayrı ayrı irtibat sıra grafiğinde gösterilmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalardan farklı olarak işlemler kullanıcı etkileşimi olmaksızın gerçekleştirilmiştir.

Kurgu sırasını üretmede, ana hedefin tam otomatikleşme olduğu tespit edilmiştir. Ancak, tam otomatikleşme için yapılan çalışmaların, kurgu sıralarının üretilme sürelerinin çok fazla olması sebebiyle çalışmalarda, bu sürenin de azaltılması hedefine yönelik araştırmalara öncelik verildiği belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışma ile literatürde yapılan, irtibat ilişkilerinin elde edilmesi, kurgu sıralarının üretilmesi ve üretilen sıraların kullanıcıya sunulması açısından benzer çalışmalar ile mukayese yapılmıştır.

Kurgu sıralarının üretilmesinin temeli olan ürünün parçaları arasındaki irtibat ilişkileri, "en çok grafik [4,7, 12, 15, 17] ve matris [3, 12, 13, 16, 18, 21] 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 araştırmacılar Ong - Wong [10] keşişme ve bağlantı, Dini -Santochi [12] ise keşişme, 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 eksenini için ayrı ayrı hazırlanmaktadır. Gottipolu ve Ghosh [13] ise temas ve hareket matrislerini, PADL - 2 katı modelleme paketini kullanarak elde etmiştir.

Çalışmada, kullanıcı etkileşiminden uzak hazırlanmaya çalışıldığı için, Gottipolu ve Ghosh'un kullanmış olduğu temas ve hareket matrisleri tercih edilmiştir.

Kurgu sıralarının üretilmesinde, ürünün irtibat ilişkileri kullanılmaktadır. Gottipolu ve Ghosh [13], temas ve hareket matrislerini kullanarak aynı anda ürünün kurgu ve alt kurgu sıralarını üretmektedir. Kurgu sıraları için muhtemel bütün olasılıkların kontrol edildiği çalışmada, sadece kurgu sıralarının üretilme sürelerinin fazla olması, birde buna alt

kurguların üretimi için harcanan sürenin eklenmesiyle, kurgu sıralarının üretilme süresi oldukça uzun sürmektedir. Bu yüzden parça sayısı az olan ürünler için tercih edilen bir yöntem olmuştur.

Ong ve Wong [10], kurgu sıralarını üretilme sürelerinin azaltılması amacıyla, ürünün alt kurgusunu belirleyen ve sadece alt kurguya dayalı olarak montaj sıralarını üreten bir çalışma yapmıştır. Ancak, ürünün ana parçasıyla bağlantılı olan alt kurguları algılayamaması bu çalışmanın önemli bir olumsuz yönüdür.

Gerçekleştirilen çalışmada ise, muhtemel bütün veya alt kurguya dayalı olarak kurgu sıralarının üretilmesi isteğe bağlı bırakılarak daha farklı bir yaklaşım ortaya konmuştur.

Ürünlerin üretilen kurgu sıraları kullanıcıya, bir çok grafik yöntemle sunulmaktadır [1]. Ancak bu yöntemler içerisinde, hiyerarşik bir yapıya sahip olan ve/veya grafiği [17] ve irtibat sıralama grafiği (montaj sıra grafiği) grafiği [4, 13, 18] araştırmacılar tarafından en fazla tercih edilen yöntemler olmuştur. Bu iki yöntem, hiyerarşik olarak birbirinin tersi şeklinde hazırlanmaktadır. Ve/veya grafiği, ürünün kurgusundan sökülmesini gerçekleştirecek şekilde; irtibat sıralama grafiği ise, bağımsız parçalardan ürünün kurgusunu yapacak şekilde hazırlanmaktadır. Yani, ve/veya grafiği ürünün sökülme sırasını, irtibat sıralama grafiği de kurgu sırasını göstermektedir. Bu sebeple gerçekleştirilen çalışma da irtibat sıralama grafiği tercih edilmiştir.

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

1. Ürünün montaj modelinin grafik tabanlı olarak oluşturulmasının bir sonucu olarak, bu yöntemlerin kullanıcı etkileşimli olarak üretildiği tespit edilmiştir. Bunun yanında, matrise dayalı yöntemlerin 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 parçalar arasındaki ilişki bilgilerinin otomatik olarak elde edilmesiyle, temas ve hareket fonksiyonları tamamen kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir.
2. Montaj sıraları, temas ve hareket fonksiyonları kullanılarak, kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir.
3. Yapılan çalışmalarda parça sayısının sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, en fazla 38 parçalı bir ürün için denenmiş ve başarılı sonuç elde

- edilmiştir. Ancak, program 250 parçalı ürünün kurgu sırasını üretecek şekilde tasarlanmıştır.
4. Montaj sıralarının üretilmesi sırasında, alt montajlar gerektiğinde dahil edilmeyerek montaj sıraları üretilebildiği gibi, alt montajlar kullanılarak da montaj sıraları üretilmiştir.
 5. Literatürde, üretilen montaj sıralarının kullanıcıya sunulması için, bir çok grafik yöntemin kullanıldığı [1], bunların içerisinde en çok kullanılanları ve/veya grafikleri ile irtibat sıralama grafiği olarak tespit edilmiştir. Bu iki temsil yöntemi birbirinin tersi şeklindedir. Ve/veya grafiğinin en üst seviyesi, montajın bitmiş en alt seviyede montajın henüz başlanmamış şeklini, irtibat sıralama grafiğinin en üst seviyesi, montajın henüz başlanmamış en alt seviyede montajın bitmiş halini ifade etmektedir. Çalışmada, irtibat sıralama 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.
 6. Alt montaja dayalı olarak üretilen montaj sıralarında da, hem ana montaj hem de her alt

7. irtibat sıralama grafiği, gereksiz kolların budanmış ve budanmamış durumları da olmak üzere üretilebilmiştir.
7. İrtibat sıralama grafiği, kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir.
8. Çalışma, AutoCAD 2000 paket programında hazırlanmış ve montaj sıralarının üretilmesi için yine, ilgili programın çizim editörü kullanılmaktadır. Ancak, montaj sırası üretilecek ürün, AutoCAD 2000'in desteklediği veri yapıları (SAT, DWG, DXF) olmak şartıyla herhangi bir BDT / BDİ paket programında da tasarlanabilmektedir.

Gerçekleştirilen çalışma, otomatikleşme konusunda atılmış önemli bir adım olarak görülmektedir. Gerek kurgunun temsilinin yapılması (temas ve hareket fonksiyonlarının üretilmesi), gerekse muhtemel bütün kurgu sıralarının üretilmesi aşaması tamamen kullanıcı etkileşiminden ve tecrübelerinden uzak tutulmuştur.

Kilit, mafsal ve vanaın muhtemel bütün ve alt kurguya dayalı olarak kurgu sıraları Pentium III 600 işlemcili 128 MB RAM hafızalı bir bilgisayarda üretilmiş ve üretilme süreleri ile kurgu sıra sayıları Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Kilit, mafsal ve vana için kurgu sıra sayısı ve üretilme süreleri

Parça Adı	Muhtemel Bütün Kurgu Sıraları		Alt Kurguya dayalı muhtemel bütün kurgu sıraları					
	Kurgu sıra sayısı (tane)	Üretilme süresi	Kurgu sıra sayısı (tane)					
Kilit	16	2 s.	<i>al, el, fl, Al</i>	<i>bl, cl, dl</i>				1 s.
			4	2				
Mafsal	340	195 s.	<i>Al, al, el, gl, il</i>	<i>bl, cl, dl, fl, hl</i>				1 s.
			6	6				
Vana	676	2 saat 36 dk. 41 s.	<i>Al, al</i>	<i>bl, dl, gl, kl, ll, Bl, Cl</i>	<i>cl, Dl</i>	<i>el, fl, hl</i>	<i>il, jl</i>	9 s.
			2	78	2	4	2	

COMPUTER AIDED DETECTION OF SUBASSEMBLY, GENERATION OF SUBASSEMBLY SEQUENCES AND GRAPHIC REPRESENTATION

Assembly design of products is one of the most important subjects for the CAD/CAM systems. In the first step of this study, the identification of the subassemblies of a product is performed. Thus, the time spent for the generation of the assembly sequences is significantly decreased. The solid model of an assembled product is the input for the program and the subassemblies are detected without user

interaction and the possible assembly sequences of the subassemblies are generated. Finally, the assembly sequences of all subassemblies are represented to the designer in the form of a liaison sequence graph. During the study, AutoCAD 2000 software package and the Visual LISP, Turbo PASCAL and Visual BASIC computer languages are inter connectively used.

Keywords: Computer aided assembly, sub- assembly detection, generation of assembly sequence, liaison sequence graph.

KAYNAKÇA

1. Dilipak, H., "Bilgisayar Destekli Montaj Aşamalarının Teşhisi ve Montaj Sınırlamalarına Dayalı Optimizasyonu", Doktora Tezi, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2001).
2. Mosemann, H., Roehrdanz, F., Wahl, F., "Assembly Stability as a Constraint for Assembly Sequence Planning", *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1, 233-238, (1998).
3. Gungor, A., Gupta, S., M., "Disassembly Sequence Planning for Products with Defective Parts in Product Recovery", *Computers Ind. Engng*, 35 (1998) 1 - 2, 161 - 164.
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 (1995) 2, 935 - 956.
5. 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 (1996) 8, 3447 - 3465.
6. Sanderson, A.C., De-Mello Luiz, S.H., Zhang, H., "Assembly Sequence Planning", *AI Magazine*, 11 (1990) 1, 62 - 81.
7. Subramani, A., K. and Dewhurst, P., "Automatic Generation of Product Disassembly Sequences", *Annals of the CIRP*, 40 (1991) 1, 115 - 118.
8. Elmaragy, H. A. ve Knell, L., "Design and automatic assembly sequence generation of a DC. Motor", *Center Flexible Manufacturing Reserch and Development Master University*, (1991), 672 - 683.
9. Zhao, J., Masood, S., "An Intelligent Computer - Aided Assembly Process Planning System", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15 (1999), 332-337.
10. 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 (1999) 425-431.
11. Abe, S.; Murayama, T.; Oba, F.; Narutaki, N., "Stability Check and Reorientation of Subassemblies in Assembly Planning", *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems*, 2 (1999), 486 - 491.
12. Dini, G. Ve Santochi, M., "Automated Seqencing and Subassembly Detection in Assembly Planning", *Institute of Mechanical Technology*, (1992), 1 - 4.
13. Gottipolu, R., B. and Ghosh, K., "Representation and Selection of Assembly Sequences in Computer-Aided Assembly Process Planning", *Int. J. Prod. Res.*, 35 (1996) 12, 3447 - 3465.
14. Lazzarini, B., Marcelloni, F., "A Genetic Algorithm for Generating Optimal Assembly Plans", *Artificial Intelligence in Engineering*, 14 (2000) 14, 319 - 329.
15. Zussman, E., Lenz, E., Shpitalni, M., 1990, "An Approach to the Automatic Assembly Planning Problem", *Annals of the CIRP*, 39 (1990) 1, 33 - 36.
16. Oliver, J., H. and Huang, H., T., 1994, "Automated Path Planning for Integrated Assembly Design", *Computer - Aided Design*, 26 (1994) 9, 658 - 667.
17. 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), 56 - 61.
18. Dilipak, H., Özdemir, A., "Bilgisayar Destekli Montaj: Bölüm 2 - Montaj Sıralarının Otomatik Belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 4 (2001) 1, 13 - 22.
19. Chakrabary, S. and Wolter J., "A Structure - Oriented Approach to Assembly Sequence Planning", *IEEE Transsactions on Robotics and Automation*, 13 (1997) 1, 14 -29.
20. Arieh, B., D. , Kramer, B., "Computer Aided Process Planning for Assembly: Generation of Assembly Operations Sequence", *International Journal Of Production Research*, 32 (1994) 3, 643 - 656.
21. Özdemir, A., Dilipak, H., "Bilgisayar Destekli Montaj: Bölüm 1 - Temas ve Hareket Fonksiyonlarının CAD Ortamında Otomatik Oluşturulması", *Politeknik Dergisi*, 3 (2000) 1, 71 - 80.