

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**MONTAJ SIRALARININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ
TESPİTİ VE OPTİMİZASYONU**

Proje No: FBA-10-3068

NORMAL ARAŞTIRMA PROJESİ

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü

Oktay YÜCEL
Kurum Dışı

Mart 2013

KAYSERİ

TEŐEKKÖR

“FBA-10-3068” proje kodlu “Montaj Sıralarının Bilgisayar destekli Tespiti ve Optimizasyonu” başlıklı projemize sağladığı katkıdan dolayı Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
Özet	5
Abstract	6
1. Giriş	7
2. Amaç ve Kapsam	7
3. Genel Bilgiler	9
3.1. Graf Temelli Metotlar	10
3.2. Unsur Temelli Metotlar	16
3.3. Matris Temelli Metotlar	18
4. Gereç ve Yöntem	19
4.1 Matris Temelli Montaj Sırası Planlama Yaklaşımı	19
4.1.1 Temas Fonksiyonu (T)	21
4.1.2. Hareket Fonksiyonu (H)	22
4.2. Montaj Sıralarının Belirlenmesi	24
5. Bulgular	32
6. Tartışma ve Sonuç	32
7. Kaynaklar	34

ÖZET

Bu çalışmada, montaj sırası planlamada daha önce ortaya konmuş matris temelli bir yaklaşımdan yararlanılarak, BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) ortamında çalışabilecek, BDT veritabanını kullanabilecek, etkin, esnek ve kullanımı kolay bir bilgisayar yazılımı geliştirmek hedeflenmiştir.

Geliştirilen nesneye yönelik ve olay tabanlı bilgisayar programı, ürünün üç boyutlu katı modelini oluşturan parçaları sayabilmekte, otomatik ya da kullanıcı etkileşimli olarak tanımlayabilmektedir. Parçalar arasındaki temas ve hareket ilişkilerini otomatik olarak belirleyebilmektedir. Belirlenen bu ilişkiler programda matris formatında temsil edilmiş olup, tamamen otomatik üretilen montaj sıralarının bulunmasında parçaların birbirlerine montaj edilip edilemeyeceğinin kararlaştırılmasında kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Montaj Sırası Planlama, Montaj Planlama, BDT.

ABSTRACT

By utilizing a matrix based methodology which was previously suggested in assembly sequence planning literature, it has been aimed in this study to develop active, flexible and easy to use computer software which can run in a CAD environment and which has the ability to use CAD database itself.

The object oriented and event driven computer program prepared in this project has the ability to count the parts included in product's 3-D solid model, and to identify them either automatically or by the user's interactive intervention. It can also automatically determine and display on the screen the contact and motion relations between parts. In the software, these relations have been represented in matrix format and have been used for the evaluation of assembly sequences to be automatically generated due to the decision whether relating parts could form a feasible assembly or not.

Key Words: Assembly Sequence Planning, Assembly Planning, CAD.

1. GİRİŞ

2. AMAÇ VE KAPSAM

Bir ürünün imal edilmesi sürecinde hammaddenin temin edilmesinden ürünün üretilmesine kadar geçirilen tüm aşamalarda, o ürünün tasarımı önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde teknolojik imkânlar geliştikçe, özellikle bilgisayar destekli tasarım (BDT) ortamlarının kullanım kolaylıkları, ürünlerin artık üretime gitmeden, daha kısa sürede ve karmaşık şekillerde tasarlanabilmesine imkân sağlamaktadır. Bu kolaylıklar sayesinde ürünün tasarımı her an değiştirilebilmekte ve geliştirilebilmektedir. Ancak, teknolojik kolaylıkların sağladığı bu esnekliğe ve birim zamanların kısalmış olmasına rağmen, gittikçe artan rekabet ve tükenen kaynakların daha verimli kullanılma zorunluluğu, tasarım işleminin önemini her zamankinden çok artırmış ve artırmaya da devam etmektedir.

Bir ürünün tasarlanması sırasında, ürünün tamamının göz önüne alınması ile birlikte, o ürünü oluşturan tüm parçaların tek tek incelenmesi, tasarımlarının gözden geçirilmesi ve gerekirse iyileştirilmesi de büyük önem arz etmektedir. Parçaların fiziksel uyumluluğu ve geometrik birleştirme şartları, daha kısa sürede üretim ve maliyet etkinliği açısından tasarımda üzerinde hassasiyetle durulması gereken hususlardır. Çünkü tasarlanan münferit parçalar birleştirilerek ürünü oluşturmakta ve parçaların bireysel durumları nihai ürünü doğrudan etkilemektedir.

Ürün tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerden birisi de montajdır. Montaj, münferit parçaların bir araya getirilerek ürünün son halinin elde edildiği faaliyet süreci olarak adlandırılmaktadır [1].

Montaj işlemi, ürünü oluşturan parçaların belirli kurallar çerçevesinde birbirleri ile eşleştirilmesi şeklindeki bir dizi işlemden oluşmaktadır. Montaj işlemi, seçilen bir temel parçadan başlayarak, sırası ile diğer parçaların ilgili temas yüzeylerinin birbirlerine birleştirilmesidir. Montajda takip edilen işlemlerin karmaşıklığı, çeşitliliği ve bu işlemlerin planlanmasındaki zorluk, montajın ve dolayısıyla ürünün maliyetini oldukça yükseltmektedir [2].

Montaj işleminin gerçekleştirilmesindeki bu karmaşıklık, montaj sıralarının üretimden önce uygun bir şekilde planlanması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Planlamanın ürünün üretilmesinden önce gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, tasarım esneklikleri doğrultusunda montaj sırası planlamasının ürünün tasarım aşamasında gerçekleştirilmesi daha uygun olmaktadır. Montaj sırası planlama aşağıda verilen işlem sırasına göre yapılmaktadır;

- Ürünün BDT ortamında çizilmesi,
- Çizimdeki bilgilerden faydalanılarak ürüne ait topolojik model (parçaların irtibat modeli, temas ve çarpışma ilişkileri) oluşturulması veya ürünün montajlı katı modelinin elde edilmesi,
- Daha sonra kullanıcı ile etkileşimli bir halde montaj sırasının üretilmesi ve bu sıraların optimize edilerek en uygun montaj sırası veya sıralarının belirlenmesi.

Uygun görüldüğü takdirde, tasarım değişikliği yapıp aynı işlem tekrar uygulanabilmektedir [3].

Montaj sıra planlayıcı, ürünü oluşturan parçaları belirleyen ve işlemler arası öncelik ilişkilerini içeren montaj sıra planlarını türeten, ürünü geometrik tanımlama tabanlı bir sistemdir. Her bir plan, gerçekleştirilecek montaj işlemlerini ve bu işlemlerin sıralarını tayin etmektedir. Montaj planlama, montajın en zaman alıcı ve önemli kısmını oluşturduğundan birçok araştırmacı, bu alanda en uygun montaj planlama yaklaşımını geliştirmek için farklı yaklaşımlar kullanarak çeşitli çalışmalar yapmıştır [4].

Bu proje çalışmasının amacı, esnek ve kolay kullanılabilen bir montaj sırası planlama sistemi geliştirmek ve yaygın olarak kullanılan bir BDT sistemi ile etkileşimli olarak çalıştırabilmektir. BDT ortamında katı olarak modellenen parçalar üzerinde sistemin denenmesi suretiyle sonuçların ortaya konarak montaj sıralarının doğruluklarının test edilmesi ise diğer bir hedef olarak belirlenmiştir.

3. GENEL BİLGİLER

Montaj sırası planlama konusunda şimdiye kadar yapılmış çalışmalar genel olarak şu başlıklarda incelenebilir:

- Graf Temelli Metotlar
- Unsur Temelli Metotlar
- Matris Temelli Metotlar
- Optimizasyon Teknikleri Kullanan Yaklaşımlar
- Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Kullanan Metotlar
- Diğer Metotlar

Bu metotların geliştirilmesinde doğrudan ve ayrıştırma teknikleri olmak üzere iki ayrı teknik kullanılmaktadır [5].

Doğrudan teknikler, kullanıcı ile etkileşimli olarak soru-cevap yaklaşımını içermektedir. Bu yaklaşım ile geliştirilen sistemlerde, kullanıcı tarafından yanıt verilmesi gereken sorular ile birlikte montaj sıralarını belirlemeye yarayacak öncelik sınırlayıcılarının elde edilmesi amaçlanmakta böylece planlama sistemi genelleştirilebilmektedir. Bu nedenle bu yaklaşım, sadece az sayıda parça içeren montaj sistemlerinde kullanılabilir. Uygun montaj planlarını belirlemek için oluşturulan veri tabanının büyüklüğü (araştırma ağacındaki hızlı büyüme), bu tekniğin önemli bir dezavantajıdır [5].

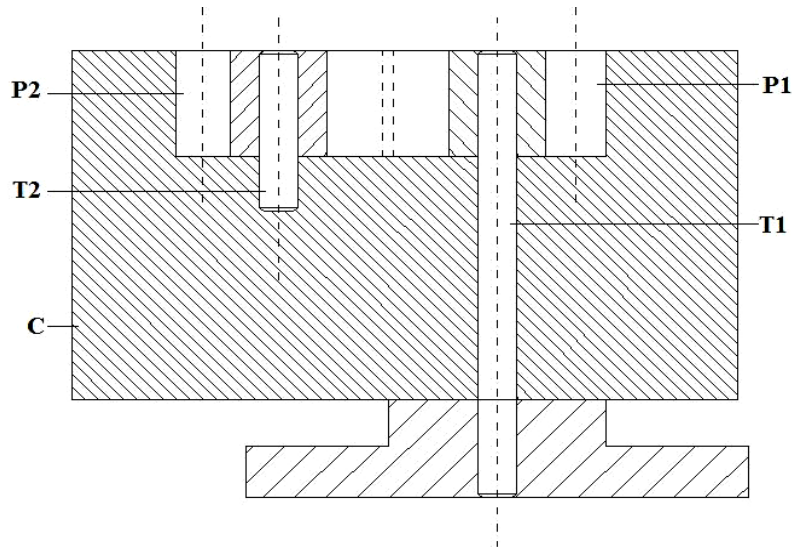
Montaj sırası planlama işlemini bir demontaj planlama problemi (tersten montaj) olarak ele alan ayrıştırma tekniğinde ise, bir ürünün monte edilmiş halinden başlanması durumunda daha az montaj olasılığı ile karşılaşılacağı ortaya konmuştur. Fakat bu yaklaşımda, demontaj işleminin ardından parçalar şekillerini koruyamamakta ve montaj edilmesi sorun teşkil etmektedir. Bu dezavantaj ancak, ayrıştırma tekniği kullanıldığında eğer demontaj sıralaması tersinir olursa veya sistem demonte edildiğinde içinde yer alan tüm parçalar orijinal şekillerini koruyabiliyorsa ortadan kalkmaktadır. Bu yaklaşım VE/VEYA grafi, temas grafi vb. gibi tekniklerce kullanılmaktadır [5].

Bu temsil metotları, ürün BDT veri tabanı ile kullanıcı tarafından girilen ek bilgileri kullanmaktadır. Bu tür sistemlerle montaj işlemlerinin ayrıntılı bir analizi yapılabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan graf temelli temsil metotları; AND/OR grafları, yön grafları, temas grafları, yönsüz bloklama grafları, öncelik diyagramı, bağlama yöntemi ve öncelik grafi olarak belirtilebilir.

3.1. Graf Temelli Metotlar

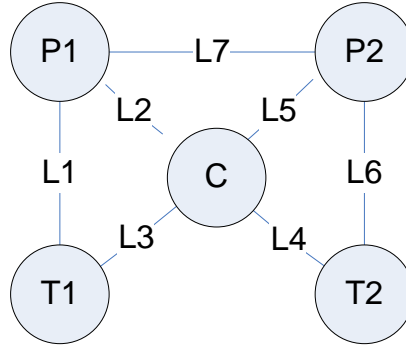
Graf temelli temsiller, montajın kısmi görünümünü içermekte ve montaj işlemlerinin özelliklerine yoğunlaşmaktadır. Graf temelli temsiller gerek BDT veritabanından gerekse kullanıcı tarafından sağlanan bilgilerden elde edilebilmektedir. Montajdaki çakışma ve öncelik ilişkilerini temsil eden graflardan olası montaj sıraları türetilerek, bu sıralar montaj bağlantı grafi VE/VEYA grafi, yön grafları, temas grafları, yönsüz bloklama grafları, petri ağları, öncelik diyagramı ve montaj sıralama grafi gibi graflarla temsil edilebilmektedirler.

Montaj sırası planlama literatüründe kullanılan en yaygın graf temsili, montaj bağlantı grafidir. Bu graf temsili, montaj sistemindeki parçalar arasında var olan temas, bir tür ortak montaj işlemi olarak düşünülerek, parçalar arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Düğümler parçaları, kenarlar ise parçalar arasındaki montaj ilişkisini ifade etmektedir.



Şekil 3.1. Yağ pompası kesiti [6].

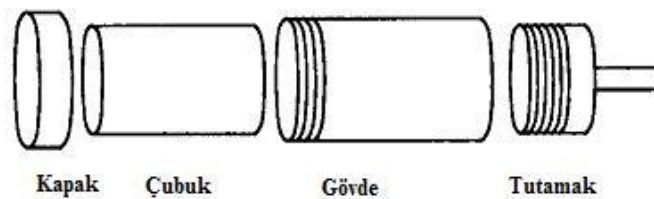
Şekil 3.1.'de verilen yağ pompası kesitine göre, P1 ve P2 dişli çarklar, T1 ve T2 miller ve C ise ana gövde parçayı temsil etmektedir. Parçalar düğümleri oluşturmakta ve parçalar arasında bir montaj ilişkisi bulunmakta olup, yağ pompası için çizilebilecek montaj bağlantı grafi Şekil 3.2 'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Yağ pompası montaj bağlantı grafi [6].

De Mello ve Sanderson [7], VE/VEYA grafi adı verilen bir graf çeşidi ile ürünün tüm olası montaj sıralarının kısa ve öz temsili gerçekleştirilmeyi amaçlamışlardır. Bir VE/VEYA grafinin tüm olası montaj planlarının temsili için az sayıda düğüm içermesi uygun montaj planlarının elde edilmesine yönelik araştırmayı kolaylaştırmaktadır. VE/VEYA graf yaklaşımında, montaj problemi montajın alt montajlara ayrılması ile çözümlenmektedir. Bunun için geometrik, mekanik geçme ve kararlılık olmak üzere belirlenen 3 çeşit sınırlayıcı, ürüne ait demontaj ağacı oluşturmada ve aday çözümler arasında en uygununu bulmada kullanılmaktadır.

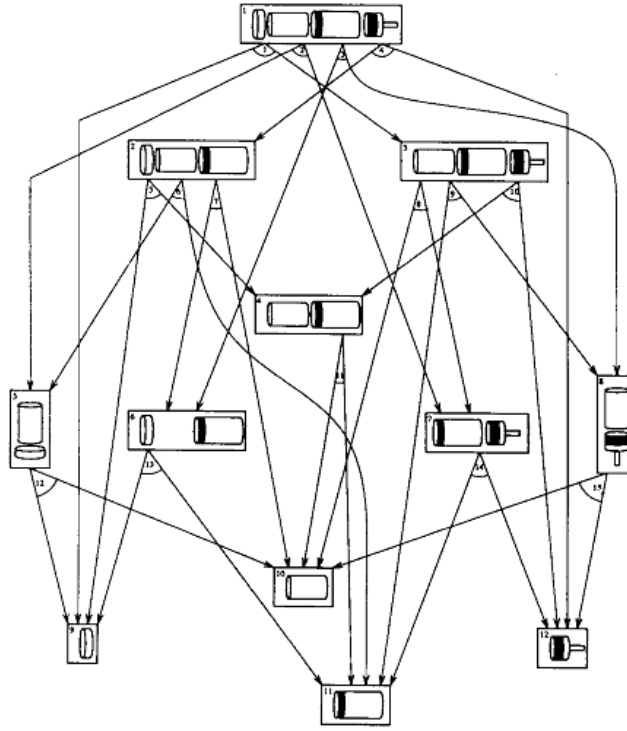
Söz konusu çalışmada VE/VEYA grafi yapılarındaki yukarıdan aşağı araştırması ile en iyi montaj planını bulmak; alttan yukarı araştırması ile ise uygulama hatalarını düzeltmek mümkün olmuştur. VE/VEYA grafları düğümler ve yaylardan meydana gelmekte ve işlemlerin ortalama sayısını azaltmaktadır.



Şekil 3.3. Basit bir montaj parçası [7]

Şekil 3.3.'te, bu çalışmada montaj sıraları elde edilen basit bir parça ile Şekil 3.4'te aynı parçaya ait VE/VEYA grafi verilmiştir. Buna göre, ilk ve son terminal düğümüne sahip olan her yol bir uygun montajı göstermektedir.

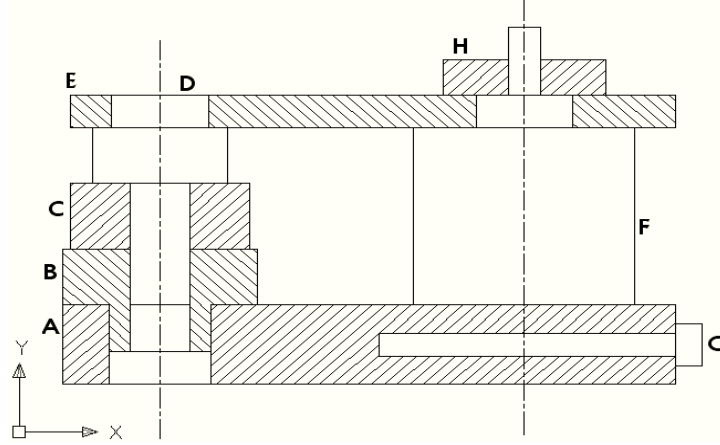
VE/VEYA grafini oluşturan her yaya, işlem karmaşıklığı ve alt montaj serbestlik derecesi faktörlerine göre bir ağırlık verilmektedir. Daha sonra her montaj ağacının toplam maliyeti hesaplanır, aralarından en ucuzu en iyi montaj sırası anlamına gelmektedir.



Şekil 3.4. Şekil 3.3'te verilen basit montaj parçasının VE/VEYA grafi [7].

Temas grafi VE/VEYA grafi gibi oldukça sık kullanılan graf temelli bir yaklaşımdır. Bu yaklaşıma göre, birbirleriyle temas eden parçaların koordinat sisteminin temel yönleri doğrultusunda küçük öteleme ara kesitleri kullanılmak suretiyle parçalar arasındaki ilişki ve demontaj yönleri tanımlanır.

Şekil 3.6.(a)'daki çakışım matrisinde 0, temas olmadığını; 1, temas olduğunu ve 2 ise basit bir öteleme hareketi ile demontajın mümkün olmayacağını göstermektedir. Şekil 3.5. te gösterilen örnek montaj sistemine ait temas grafi Şekil 3.6. (b)'de verilmiştir.



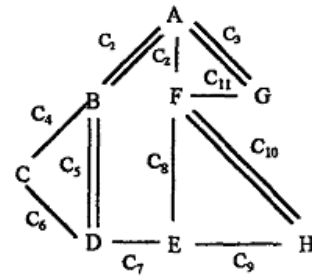
Şekil 3.5. Temas grafi oluşturulacak örnek montaj sistemi [5].

Tablo 3.1. X ve Y eksenli boyunca temas tabloları [5].

	Y eksenli boyunca temas durumları	X eksenli boyunca temas durumları
A	B,F,G	B,F,G
B	C	A,D
C	D	D
D	E	B,C,E
E	H	D,F
F	E,G	A,E
G	A,F	
H		F

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
A	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
F	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	1
G	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0

(a)

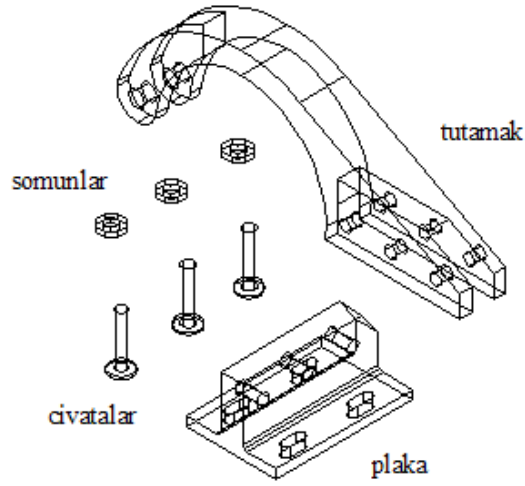


(b)

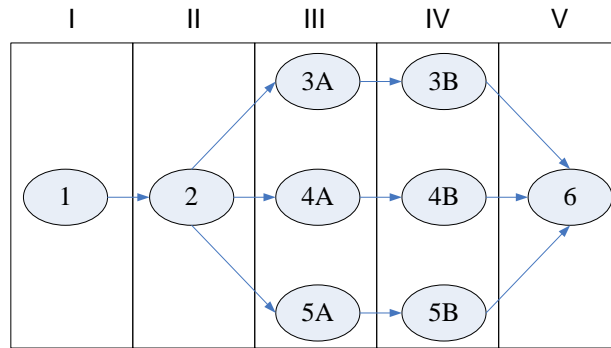
Şekil 3.6. Şekil 3.5'teki örnek montaj sistemine ait (a) çakışım matrisi (b) temas grafi [5].

Montaj sırası planlamaya yönelik diğer bir yaklaşım ise, bir ürünün olası tüm montaj sıralarını gösteren öncelik diyagramıdır [8]. Bu yöntem ile her ayrı montaj işlemi bir sayıyla ifade edilmektedir. Montaj basamakları oklarla birbirlerine bağlanmakta, bu oklar öncelik ilişkilerini göstermektedir. Öncelik diyagramında yapılacak işler sütunlarda temsil

edilmektedir. En başta yapılacak işlem ilk sütunda yerini almaktadır. Dikkat edilecek husus, temel parçanın ilk sütunda yer alması gerekliliğidir. Bir sonraki kolona yerleştirilen montaj işlemleri sadece bir önceki kolonda gösterilen montaj işlemi tamamlandığı zaman yapılabilir. Çizgiler daha sonra önceki ve sonraki kolonlardaki montaj işlemlerini ilişkilendirmek için kullanılır. Bu gösterime örnek olarak, Şekil 3.7.'de bir menteşe montajı ve Şekil 3.8.'de ise bu montaja ait öncelik diyagramı görülmektedir [9].



Şekil 3.7. Menteşe parçası demonte görüntüsü [9].



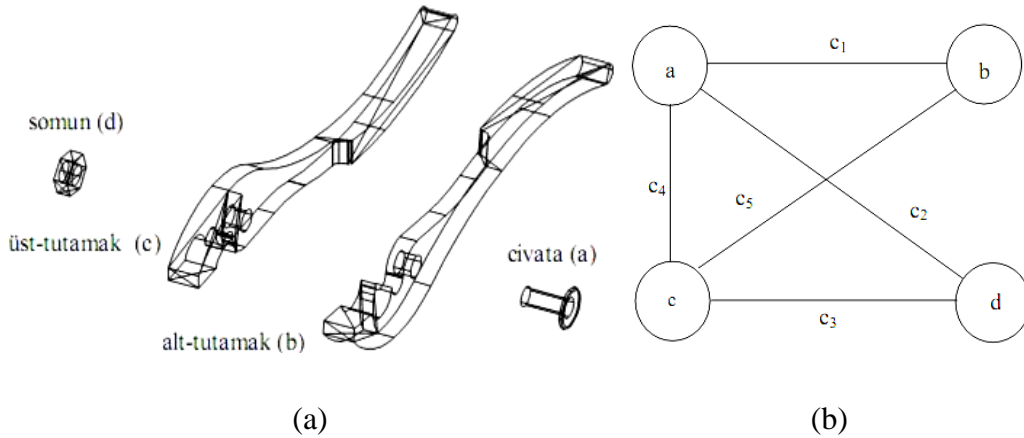
Şekil 3.8. Menteşe montajının öncelik diyagramı [9].

Şekil 3.8.'deki diyagrama göre, tutamak parçası temel parça olarak seçilmiş, montaj edilmek üzere yerine yerleştirilmiş ve bu işlem 1 numaralı montaj işlemi olarak belirlenmiştir. 2 numaralı montaj işlemi, tutamak parçasına plakanın yerleştirilmesi işlemidir. 2. montaj işlemi

ile elde edilen tutamak ve plakanın oluşturduğu alt montaja 1. civatanın montajı 3A, 3A montaj işlemi ile gösterilen alt montaja 1. somunun takılması da 3B montaj işlemidir. 4A ve 4B sırasıyla 2. civata ve 2. somun montajını, 5A ve 5B'de 3. civata ve somun montajını temsil eden işlemlerdir. Burada 6 numaralı işlem ise montajın tamamlanmış halini göstermektedir.

Börklü ve Sinanoğlu [10], montaj sırası planlamaya etkin çözümler sağlayacak bir yöntem araştırırken graf tabanlı metotlar kullanmışlardır. Montaj bağlantı grafi ile montajı oluşturan parçalar ve parçalar arasındaki ilişkiler; yön grafi ile ise montaj sıralarının temsil edilmiştir. Her bir montaj durumu parça küme ayrışmaları ile gösterilmiştir. Alt montaj, kararlılık, geometrik ve mekanik uygunluk sınırlayıcıları kullanılarak montajı yapılamayacak parça alt kümeleri belirlenmektedir. Uygun montaj sıralarının yön graf temsilini oluşturmada hiyerarşik seviyeler dikkate alınmıştır. Bu çalışmada montaj planlamanın elle yapılmış olması, planlamanın mutlaka bir uzman tarafından yapılma zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Ayrıca karmaşık ve zaman alıcı bir metot olduğundan elle planlama, ürünlerdeki parça sayısının sınırlı kalmasına ve sadece az parçalı ürünlere uygulanabilmesine yol açmaktadır.

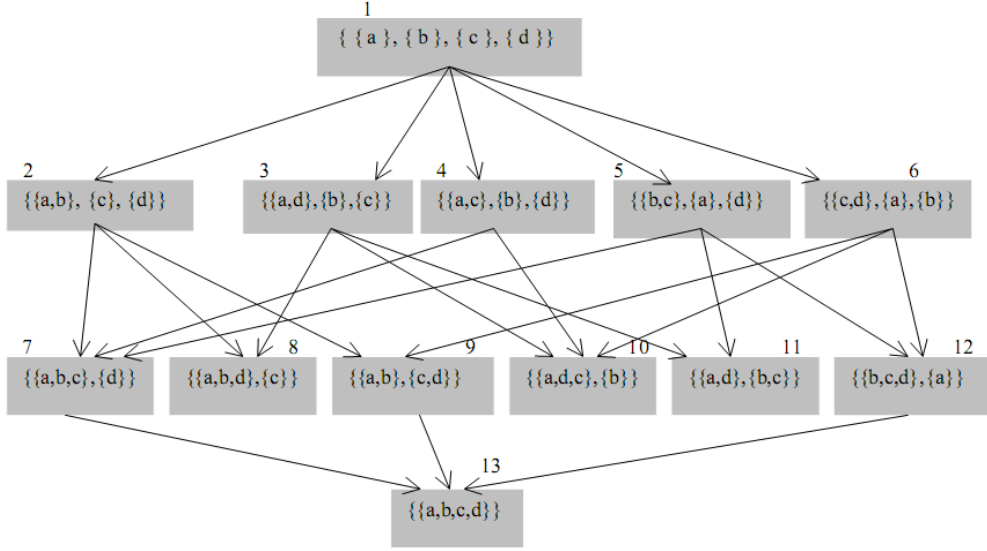
Bu çalışmada, montaj sıralarının elde edilmesi için kullanılan örnek pense montajı Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. 4 parçalı pense montajının (a) demonte görüntüsü (b) montaj bağlantı grafi [10].

Buna göre, çizilecek $\langle X_p, T_p \rangle$ yön grafının ilk düğümü $\theta_1 = \{\{a\}, \{b\}, \{c\}, \{d\}\}$ olup tamamlanmamış montaja karşılık gelmektedir. Tamamlanan montaja karşılık gelen son

düğüm ise $\{\theta_f = \{a, b, c, d\}\}$ olmakta ve alt montaj şartı, geçerlilik şartı, geometrik uygunluk şartı ve mekanik uygunluk şartı olmak üzere 4 şart göz önünde bulundurularak 4 seviyede el ile oluşturulmaktadır: Şekil 3.10.



Şekil 3.10. Şekil 3.9'da gösterilen pensenin tüm montaj sıralarının yön grafi [10].

3.2. Unsur Temelli Metotlar

Unsurlar, tasarım ve imalatta yaygın olarak yer almakta fakat montajda pek kullanılmamaktadır. Montaj sıra planlamada parçalar arası öncelik ilişkilerini bulmak için, tutucu el planlama, hareket planlama ve kararlılık analizi gibi işlemler zorunludur. Ayrıca öncelik ilişkilerini belirlemek için imalat ve montaja ait bilgiler de gerekmektedir. Bu bilgi, çoğu zaman hazır sunulmakta veya ürün modelinde sınırlı biçimde olabilmektedir. Tasarımcı, ürün modeline ait sadece geometrik ve topolojik veriler ile farklı parçaların konumları veya aradaki bazı basit ilişkileri temsil edebilmektedir. Kararlılık analizi, hareket planlama ve tutucu planlama için gerekli olan bilgiyi ürün modelinden çıkarmak için analiz programları uygulanmış olsa da bu, oldukça zor bir işlemdir. Ürün modelindeki bilgiyi tasarım işlemi esnasında depolamak daha kolaydır. Buradaki problem, unsur modelleri kullanmak suretiyle önemli ölçüde çözülebilmektedir.

Eng ve ark. [11], montaj sıra planlama otomasyonu için unsur tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Temel montaj modelleme stratejisi, ürüne ait parçaların eşleşme unsurlarına dayanmaktadır. Çalışmalarında, BDT modeliyle ürünün montaj modeli bütünleştirilmiş,

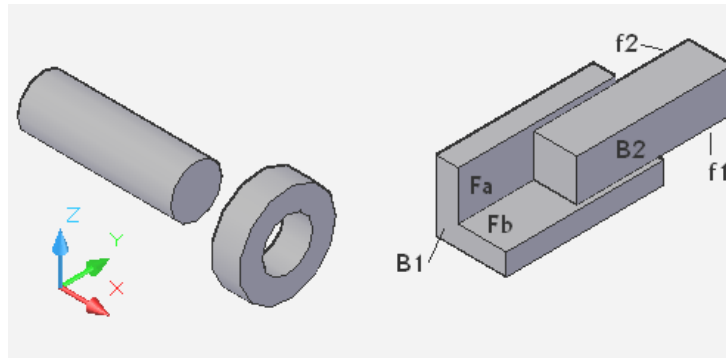
montaj sırası doğru ve pratik şekilde üretilmiş ve planlama işlemi için bir yazılım sistemi kurulmuştur. Öncelik ilişkileri kullanıcı etkileşimli olarak belirlenmektedir. Monte esnasındaki çarpışmaların belirlenmesi için sınır kutusu kontrol yaklaşımı kullanılmıştır. Sonuç olarak iyi bir montaj sırasının seçimi için, monte edilebilirliği, becerisi, montaj yönü maliyeti ve kararlılığından yararlanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan 3x4'lük unsur matrisi temsili Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} x & -x & wx & -wx \\ y & -y & wy & -wy \\ z & -z & wz & -wz \end{bmatrix}$$

Şekil 3.11. Unsur Matrisi [6].

Burada, +x, +y, +z, -x, -y, -z, doğrusal hareketleri ve +wx, +wy, +wz, -wx, -wy, -wz de dönel hareketleri temsil etmekte ve hareket serbestisinin olmadığını gösteren 0 değeri ile hareket serbestisi olduğunu gösteren 1 değerinden birini almaktadır. Şekil 3.12'de silindirik ve prizmatik örnekler için unsur matrisi gösterilmektedir.

Chao ve Chen [12], montaj parçaları ile birlikte fonksiyonel montaj bilgisini içeren bir model sunmuşlardır. Söz konusu model, farklı parçalar arasındaki montaj ilişkilerini gösteren bir montaj diyagramı ve parçaların veri ilişkilerini temsil eden sınırlama tablosundan ibaret olup montajın analiz edilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Montaj diyagramında bloklar ve düğümler, parçaları ve alt montajları temsil etmek için kullanılmıştır.



$$(Cyl_Hole,x) = 1F_{B1,B2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$1F_{B1,B2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad 2F_{B1,B2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

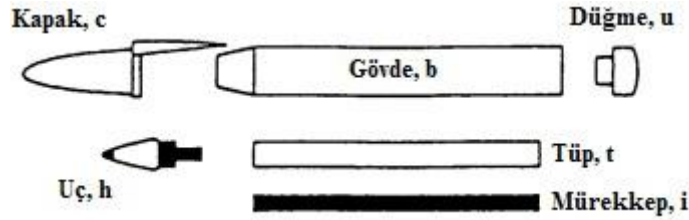
Şekil 3.12. Silindirik ve prizmatik unsurlar ve bunlara ait unsur matrisleri [6].

Zha ve Du [13], bir bilgi tabanlı uzman sistem geliştirerek, unsur tabanlı BDT sistemi, ürün modelleme sistemi, montaj planlama sistemi ve montaj değerlendirme sistemini entegre etmişlerdir.

3.3. Matris Temelli Metotlar

Ürünü oluşturan parçalar arasındaki konum ve bağlantı bilgilerinin elde edilmesi, montaj veya demontaj sıralarının otomatik belirlenmesi için bir zorunluluktur. Bu ilişkisel verinin elde edilmesi için kartezyen koordinat sisteminin eksenleri boyunca parçaların BDT ortamında hareket ettirilmesi düşüncesi kullanılmaktadır. Bu hareketler diğer parçalar ile kesişmelerin belirlenmesine ve demontaj sıralarının elde edilmesine izin verir. Daha kolay ve etkin bir temsil için BDT ortamından çıkarılan tüm bilgi bir matematiksel modelde yapılandırılabilir. Böylece, bir ürünün parçaları arasındaki çakışma (çarpışma), temas, bağlantı, hareket VE/VEYA ilişkileri matris şeklinde temsil edilerek montaj planlamaya girdi olarak kullanılabilir.

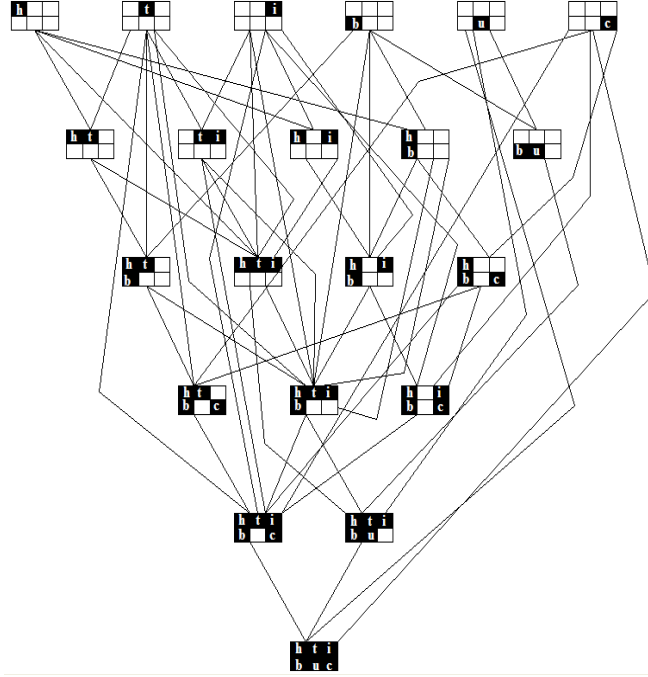
Gottipolu ve Ghosh [14-16], çalışmalarında ilk önce ürünün olası tüm montaj sıralarını teşhis etmiş daha sonra bu ürün için en iyi montaj sırasını tayin etme işlemini bu sıraları değerlendirerek gerçekleştirmişlerdir. WCS' de geometri ve konumları temsil edilen ürünün münferit parçalarının geometrik modellerini oluşturmak için PADL-2 katı modelleme paketi kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Mürekkepli dolmakalem parçasının demonte görüntüsü [15].

Bu çalışmada, Şekil 3.13'te gösterilen ve örnek olarak kullanılan montajın geometrik modelinden ilişkisel montaj bilgisinin çıkarılması hedeflenmiştir. Bunun için önce her parçanın kendisi dışındaki tüm parçalarla bir çift oluşturduğu ortaya konarak oluşturulan çiftlerde parçalar arasındaki temas, sonrasında ise her bir parçanın diğerinden olası demontaj

yönelimi tayin edilmiştir. Montajın uygulanabilir olması için gerekli olduğu belirtilen iki tip sınırlama - bağlanabilirlik ve öncelik sınırlamaları dikkate alınmıştır.



Şekil 3.14. Şekil 3.13.'te verilen parçanın montaj sıra grafiği [15].

Bu sınırlamalara dayalı, olası tüm montaj sıraları türetilmiş ve bir montaj sıralama grafiğinde temsil edilmiştir. Şekil 3.14. Montaj sıralama grafiğindeki düğümler, olası alt montajları gösteren parça kümelerinin alt kümeleridir.

4. GEREÇ VE YÖNTEM

4.1 MATRİS TEMELLİ MONTAJ SIRASI PLANLAMA YAKLAŞIMI

Proje kapsamında kullanılan montaj sırası planlama metodu matris temelli montaj planlama yöntemidir. Montaj sıralarının belirlenmesi işlemi öncelikle ürünün BDT ortamında katı modellenmesi ile başlamaktadır. Montajı oluşturan bileşen parçalar arasındaki mantıksal ve fiziksel ilişkileri tarif edebilecek ilişkisel bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yaklaşımda kullanılan ilişkisel modelin gösterimi aşağıda açıklanmıştır [17].

N parçalı bir montaj sisteminin ilişkisel modeli $\langle P, U \rangle$ ile gösterilmektedir. Burada P bir semboller kümesi olup, parçaları göstermektedir. Aynı parçaya ait iki farklı sembol olamayacağı gibi, bir sembol iki farklı parçayı işaret edemez.

$$P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_N\}$$

U, eleman sayısı parçaların oluşturabileceği çift sayısına eşit olan bir kümedir. Bu kümenin her bir elemanı a ve b indisleri ile gösterilen bileşenler arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. S ise, parçaların oluşturabileceği çiftlerin sayısını vermektedir.

$$U = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_S\}$$

$$S = N(N - 1)$$

Temas fonksiyonu (T_{ab}), a ve b parçaları arasındaki temas ilişkisini, hareket fonksiyonu (H_{ab}) ise, a ve b parçaları arasındaki doğrusal hareket edebilirliği gösteren 6 elemanlı fonksiyonlardır. İndisleri (1, 2, 3, 4, 5, 6) sırasıyla kartezyen koordinat sisteminin +X, +Y, +Z, -X, -Y, -Z eksenlerine karşılık gelen elemanlarının her biri "0" veya "1" değerlerinden birini alabilmektedir.

$$T_{ab} = (T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6)$$

$$T_{ab}: T_i \rightarrow \{0,1\}, \quad i = 1 - 6$$

$$H_{ab} = (H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6)$$

$$H_{ab}: H_i \rightarrow \{0,1\}, \quad i = 1 - 6$$

Bu şekilde tanımlanan fonksiyonlarla birlikte a ve b parçaları arasındaki ilişki, U_i şu şekilde gösterilmektedir.

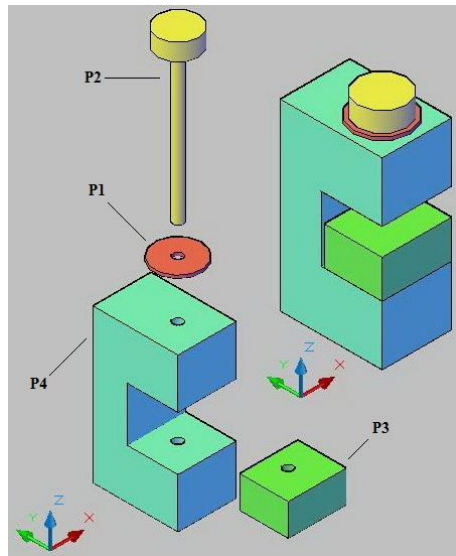
$$U_i = \langle P_a, P_b, T_{ab}, H_{ab} \rangle$$

Bu gösterimde, belirlenen temas ve hareket fonksiyonlarının detaylı açıklamaları ve metodun montaj sıralarının belirlenmesinde nasıl kullanılacağı Şekil 4.1’de görülen montaj sistemi üzerinde yapılacaktır.

4.1.1 Temas Fonksiyonu (T)

Temas fonksiyonu, montajlı haldeki bir ürünün, sırayla bütün elemanlarının diğer elemanlarla 6 yön boyunca temas edip etmeme durumuna göre oluşturulmaktadır [6].

Montajı oluşturan parçalardan her biri, diğer parçalar ile montaj içerisindeki konumu korunacak şekilde eşleştirilir. Alt montaj çiftini oluşturan ilk parça hareketli, ikinci parça ise sabit kabul edilir. Aralarında 6 koordinat eksenini boyunca temas olup olmadığı belirlenir. Bunun için, hareketli parçanın hareket yönüne göre temas fonksiyonunun ilgili eksenin işaret ettiği indisi taşıyan elemanı, temas var ise “1”, temas yok ise “0” değerini almaktadır.



Şekil 4.1. Basit bir montaj ve demontaj görüntüsü [16].

Örneğin Şekil 4.1’de görünen basit montajı oluşturan parçalardan P₁ ve P₂’nin oluşturduğu P₁-P₂ çifti ele alınsın. Buna göre P₁ hareketli ve P₂ sabittir. P₁’in 6 eksen boyunca hareket yönlerine göre P₂ ile +X, +Y, -X, -Y ve -Z yönlerinde (1, 2, 4, 5 ve 6 yönleri) temas ettiği,

+Z’de ise temas etmediği gözlemlenmektedir. Bu nedenle P_1 - P_2 çiftine ait temas fonksiyonu değerleri şu şekilde olmaktadır:

$$T_{12} = (1,1,1,1,1,0)$$

Aynı şekilde P_2 - P_1 çifti düşünüldüğünde, bu sefer P_1 sabit, P_2 hareketlidir. Temas fonksiyonu değerleri P_2 ’nin hareket yönlerine göre belirlenecektir. Bu durumda P_2 - P_1 çiftine ait temas fonksiyonu değerleri şu şekilde olmaktadır:

$$T_{21} = (1,1,0,1,1,1)$$

Dikkat edilecek olursa, T_{12} ve T_{21} birbirlerinin ters matrisidir. Şekil 4.1’ de verilen montaj sistemi 4 parçadan oluşmaktadır. Bu nedenle, oluşturulabilecek çift sayısı $S = 4(4 - 1) = 12$ ’dir. Oluşturulan tüm çiftlere ait temas fonksiyonu değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Şekil 4.1’de verilen montaj sistemi parçalarının temas fonksiyonu değerleri.

Temas Fonksiyonu	T_1 +X	T_2 +Y	T_3 +Z	T_4 -X	T_5 -Y	T_6 -Z
T_{12}	1	1	1	1	1	0
T_{13}	0	0	0	0	0	0
T_{14}	0	0	0	0	0	1
T_{21}	1	1	0	1	1	1
T_{23}	1	1	0	1	1	0
T_{24}	1	1	0	1	1	0
T_{31}	0	0	0	0	0	0
T_{32}	1	1	0	1	1	0
T_{34}	0	0	0	0	0	1
T_{41}	0	0	1	0	0	0
T_{42}	1	1	0	1	1	0
T_{43}	0	0	1	0	0	0

4.1.2. Hareket Fonksiyonu (H)

Hareket fonksiyonu, montajlı haldeki bir ürünün, sırayla her bir elemanının diğer elemanlar tarafından demontajına engel olup olmama durumuna göre hazırlanmaktadır [6].

Montajı oluşturan parçalardan her biri, diğer parçalar ile montaj içerisindeki konum korunacak şekilde eşleştirilir. Çifti oluşturan ilk parça hareketli, ikinci parça ise sabit olarak düşünüldüğünden, koordinat eksenleri boyunca doğrusal hareket ettirilen ilk parçanın ikinci parçaya çarpma olasılığı var ise hareket fonksiyonunun ilgili eksene karşılık gelen elemanı “0” değerini almakta, çarpışma yok ise değer “1” olmaktadır.

Şekil 4.1’deki montaj sistemine göre, P_1 ve P_2 ’nin oluşturduğu P_1 - P_2 çifti tekrar ele alınsın. P_1 hareketli ve P_2 sabittir. P_1 ’in 6 eksen boyunca hareket ettirilmesi sonucunda, P_2 ’nin P_1 ile $-Z$ haricindeki tüm yönlerde çarpıştığı gözlemlenmektedir (1, 2, 3, 4 ve 5 yönleri). Bir başka ifadeyle, sabit parça olan P_2 , hareketli parça olan P_1 ’in söz konusu eksenlerdeki demonte hareketini engellemektedir. P_1 - P_2 çiftine ait hareket fonksiyonu değerleri şu şekilde olmaktadır:

$$H_{12} = (0,0,0,0,0,1)$$

Bu sonuca göre P_2 parçası sabitken, P_1 parçası sadece $-Z$ yönünde demonte olabilmektedir. P_1 parçası demonte olabildiği yönün tersinde, $+Z$ yönünde, monte olabilmektedir.

Aynı şekilde P_2 - P_1 çifti düşünüldüğünde, bu sefer P_1 sabit, P_2 hareketlidir. Hareket fonksiyon değerleri P_2 ’nin hareket yönlerine göre belirlenecektir. Bu durumda P_2 - P_1 çiftine ait hareket fonksiyonu değerleri şu şekilde olmaktadır:

$$H_{21} = (0,0,1,0,0,0)$$

Buna göre ise, P_1 parçası sabitken, P_2 parçası sadece $+Z$ yönünde demonte olabilmektedir.

H_{12} ve H_{21} de, temas fonksiyonunda olduğu gibi, birbirlerinin ters matrisidir. Oluşturulan tüm çiftlere ait hareket fonksiyon değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Şekil 4.1'deki montaj sistemi parçalarının hareket fonksiyonu değerleri.

Hareket Fonksiyonu	H ₁ +X	H ₂ +Y	H ₃ +Z	H ₄ -X	H ₅ -Y	H ₆ -Z
H ₁₂	0	0	0	0	0	1
H ₁₃	1	1	1	1	1	0
H ₁₄	1	1	1	1	1	0
H ₂₁	0	0	1	0	0	0
H ₂₃	0	0	1	0	0	0
H ₂₄	0	0	1	0	0	0
H ₃₁	1	1	0	1	1	1
H ₃₂	0	0	0	0	0	1
H ₃₄	1	0	0	1	1	0
H ₄₁	1	1	0	1	1	1
H ₄₂	0	0	0	0	0	1
H ₄₃	1	1	0	1	0	0

4.2. Montaj Sıralarının Belirlenmesi

Temas fonksiyonu ile parça çiftleri arasında temas olup olmadığı belirlenmekte ve parça çiftleri arasında bir bağlantıdan söz edilebilmektedir. Parça çiftleri arasında temas olup olmaması parçaların birbirlerine monte edilebilmeleri için gerek şart olsa da yeterli şart olamamaktadır.

Parça çiftlerinin birbirlerine monte edilebilmeleri ve dolayısıyla montajın uygulanabilir olabilmesi için, montaj hareketini engellemeyecek şekilde parçalar arasında çarpışmasız bir yönün/ksenin bulunması gerekmektedir. Bu yönün/ksenin olup olmadığı bilgisi ise hareket fonksiyonu ile elde edilmektedir. Bir bileşen, söz konusu yönde/eksende başka bir bileşene çarpmadan hareket edebiliyorsa, tam tersi yönde monte edilebilir demektir. Bir montajın uygulanabilir olması için dikkate alınması gereken iki önemli sınırlayıcı kriter olup bunlar, Bağlanabilirlik ve Öncelik kriterleridir.

Bağlanabilirlik kriteri, parçalar arası temas ilişkilerini gösterirken, öncelik kriteri ise hangi parçanın diğerlerinden önce montaj edilmesi gerektiği bilgisini sağlamaktadır. Bazı parçalar, diğer bazı parçalardan önce montaj olmalıdır, aksi takdirde sonraki montaj operasyonları ile

çakışır, operasyonu engeller. Bir parçanın başka bir parçaya ya da bir montaj sistemine monte edilebilmesi için bu kriterlerin ikisini birden sağlaması gerekmektedir.

Bu sınırlayıcı kriterler, temas ve hareket fonksiyon değerlerinin tablolar halinde yazılmaları ve fonksiyon elemanlarının mantıksal operatörler (Boolean operatörleri) ile işleme tabi tutulması sayesinde test edilmektedir.

Toplam Temas Fonksiyonu (TT), alt alta yazılan parça çiftlerinin temas fonksiyonu sütunlarının mantıksal VEYA (\vee) işlemine tabi tutulması ile oluşan yeni fonksiyon, Toplam Hareket Fonksiyonu (TH), bu parça çiftlerinin hareket fonksiyonu sütunlarının VE (\wedge) işlemine tabi tutularak bulunan yeni fonksiyon; Toplam Temas Sonucu (TTS), toplam temas fonksiyonunun her bir elemanına VEYA (\vee) işlemi yapılması sonucu elde edilen değer, Toplam Hareket Sonucu (THS), ise toplam hareket fonksiyonunun her bir elemanına VEYA (\vee) işlemi uygulanarak elde edilen sonuçtur.

Montaj edilebilirlik (M), toplam temas sonucu ile toplam hareket sonucunun mantıksal VE (\wedge) işlemine tabi tutulması ile elde edilen değerdir ve bir parçanın başka bir parçaya, ya da bir montaj sistemine eklenip eklenemeyeceğini göstermektedir:

$$M = TTS \wedge THS$$

İki parçanın birbirlerine monte edilebilmesi için gerekli olan bağlanabilirlik ve öncelik kriterlerinin ikisini birden sağlamaları açısından; parçalar arasında eksenlerden en az bir tanesinde temas olması ve yine eksenlerden en az bir tanesinde de hareket serbestisi olması gerekmektedir. Bir başka ifade ile, temas fonksiyon değerlerinden en az bir tanesinin “1” ve hareket fonksiyonu değerlerinden de en az birinin “1” olması gerekmektedir. Buna göre, Tablo 4.1.’deki çiftlerden, P_1-P_3 (ya da P_3-P_1) çiftinin temas fonksiyonlarının tamamı “0” olduğundan, bu çiftin monte edilemeyeceği açıkça görülmektedir.

İkiden fazla sayıda parçanın belirli sıra ile montaj edilebilmesi için ise, 6 koordinat ekseninden en az birinde, montaj edilecek parçanın diğer parçalardan en az biriyle temasta olması ve o parçalardan en az biri tarafından hareketinin engellenmemesi gerekmektedir.

Örneğin, P_1 ve P_2 çifti ele alınsın ve P_3 parçasının bu çifte monte edilip edilemeyeceği araştırılsın. Bu durumda montaj bir kartezyen çarpımı şeklinde modellenmekte ve sonuçta iki adet parça çifti ortaya çıkmaktadır.

$$\{P_1, P_2\} \times \{P_3\} = \{(P_1P_3), (P_2P_3)\}$$

Bağlanabilirlik kriteri için, alt alta yazılan bu çiftlerin temas fonksiyonlarının her bir sütununa mantıksal VEYA (\vee) işlemi uygulanır ve toplam temas fonksiyonu (TT) elde edilir. Toplam temas fonksiyonunun her bir elemanı da VEYA (\vee) işlemine tabi tutularak toplam temas sonucu (TTS) belirlenir. Sonuç “1” ise temas vardır, kriter sağlanmıştır; “0” ise temas yoktur kriter sağlanmamıştır. Bu işlem Tablo 4.3.’te gösterilmiştir. Tablo 4.3.’teki sonuca göre, P_3 parçası P_1 - P_2 çifti ile temastadır, bağlanabilirlik kriterini sağlamıştır.

Tablo 4.3. P_1 - P_2 - P_3 montaj sırası bağlanabilirlik kriterinin test edilmesi.

Çift	T_1 +x	T_2 +y	T_3 +z	T_4 -x	T_5 -y	T_6 -z	TTS
(P_1P_3)	0	0	0	0	0	0	
(P_2P_3)	1	1	0	1	1	0	
TT	$0\vee 1 = 1$	$0\vee 1 = 1$	$0\vee 0 = 0$	$0\vee 1 = 1$	$0\vee 1 = 1$	$0\vee 0 = 0$	1
$TT_i = T_i(P_1P_3) \vee T_i(P_2P_3), i=1-6$							
$TTS = TT_1 \vee TT_2 \vee TT_3 \vee TT_4 \vee TT_5 \vee TT_6$							

Öncelik kriteri için ise, alt alta yazılan çiftlerin hareket fonksiyonlarının her bir sütununa mantıksal VE (\wedge) işlemi uygulanır ve toplam hareket fonksiyonu (TH) elde edilir.

Toplam hareket fonksiyonunun her bir elemanı da VEYA (\vee) işlemine tabi tutularak toplam hareket sonucu (THS) belirlenir. Sonuç “1” ise en az bir ekseninde hareket serbestisi vardır, öncelik kriteri sağlanmıştır; “0” ise hiçbir ekseninde hareket serbestisi yoktur, kriter sağlanmamıştır. Bu işlem de Tablo 4.4.’te gösterilmiştir. Tablo 4.4.’e göre $THS = 1$ olduğundan, P_3 parçası P_1 - P_2 çifti ile öncelik kriterini de sağlamıştır.

Tablo 4.4. P₁-P₂-P₃ montaj sırası öncelik kriterinin test edilmesi.

Çift	H ₁ +x	H ₂ +y	H ₃ +z	H ₄ -x	H ₅ -y	H ₆ -z	THS
(P ₁ P ₃)	1	1	1	1	1	0	
(P ₂ P ₃)	0	0	1	0	0	0	
TH	0∧1 = 0	0∧1 = 0	1∧1 = 1	0∧1 = 0	0∧1 = 0	0∧0 = 0	1
TH_i = H_i(P₁P₃) ∧ H_i(P₂P₃), i=1-6							
THS = TH₁∨TH₂∨TH₃∨TH₄∨TH₅∨TH₆							

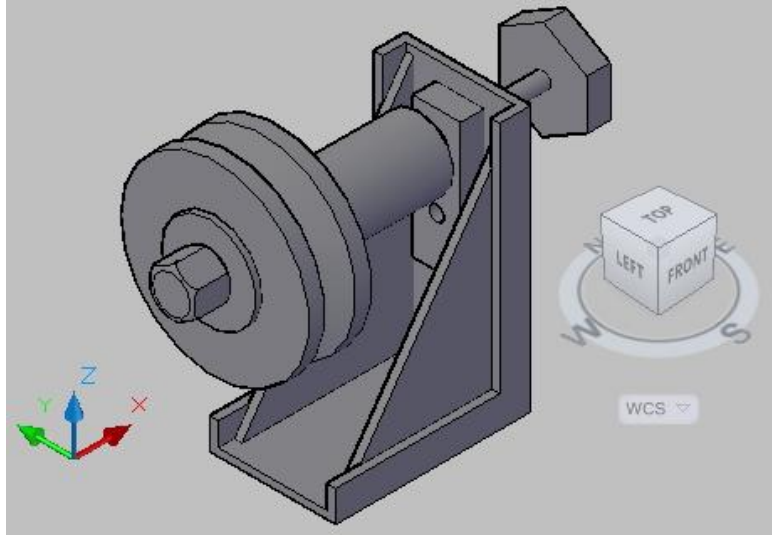
Bir parçanın, bir montaj kümesine montaj edilebilmesi için montaj edilebilirliğinin (M) “1” değerini alması gerekmektedir. M değeri “0” ise montaj gerçekleştirilememektedir. P₃ parçasının P₁-P₂'ye montaj edilip edilemeyeceği örneğinde:

$$M = 1 \wedge 1 = 1$$

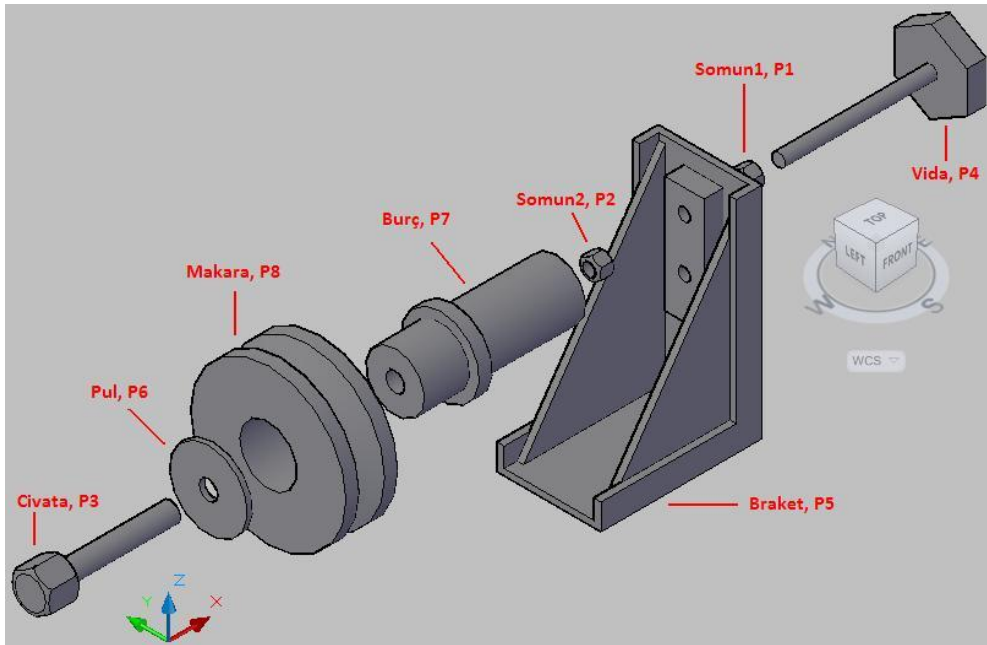
olduğundan, montajın gerçekleşeceği sonucuna varılır. Gerçekten de Şekil 4.1. incelendiğinde, P₁-P₂-P₃ sırasındaki bir montaj sırası uygun olmaktadır. Tablolardan görüleceği üzere, her seviyedeki bütün olasılıkların alt alta yazılıp montaj sıralarının elde edilmesi, oldukça fazla sayıda işlemin gerçekleştirilmesiyle mümkün olabilmektedir.

Proje kapsamında, montaj sırası planlama alanında sonrasında yapılacak olan çalışmalara temel oluşturacak tarzda örnek montaj sistemleri incelenmiştir. AutoCAD ortamında 3 boyutlu olarak modellenen ve 8 bileşenden oluşan Makara Destek Sistemi planlama ön çalışmaları yapılmıştır.

Şekil 4.2'de montajlı, Şekil 4.3'de ise demontaj haldeki görüntüsü verilen Makara Destek Sistemi'ni oluşturan 8 adet parça sırasıyla: 1. Somun1, 2. Somun2, 3. Cıvata, 4. Vida 5. Braket, 6. Pul, 7. Burç ve 8. Makara şeklinde adlandırılmıştır.



Şekil 4.2. Makara Destek Sistemi montajlı katı model görüntüsü.

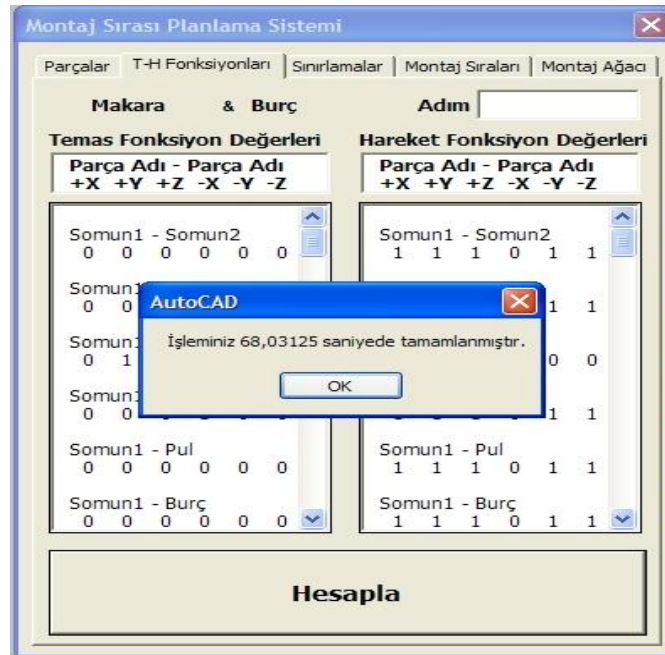


Şekil 4.3. Makara Destek Montaj Sistemi demontaj görüntüsü.



Şekil 4.4. Makara Destek Sistemi parça listesi

Geliştirilen montaj sırası planlama metodu ile örnek montaj sistemine ait temas ve hareket fonksiyonlarının üretilmiştir. (Şekil 4.4 ve 4.5)



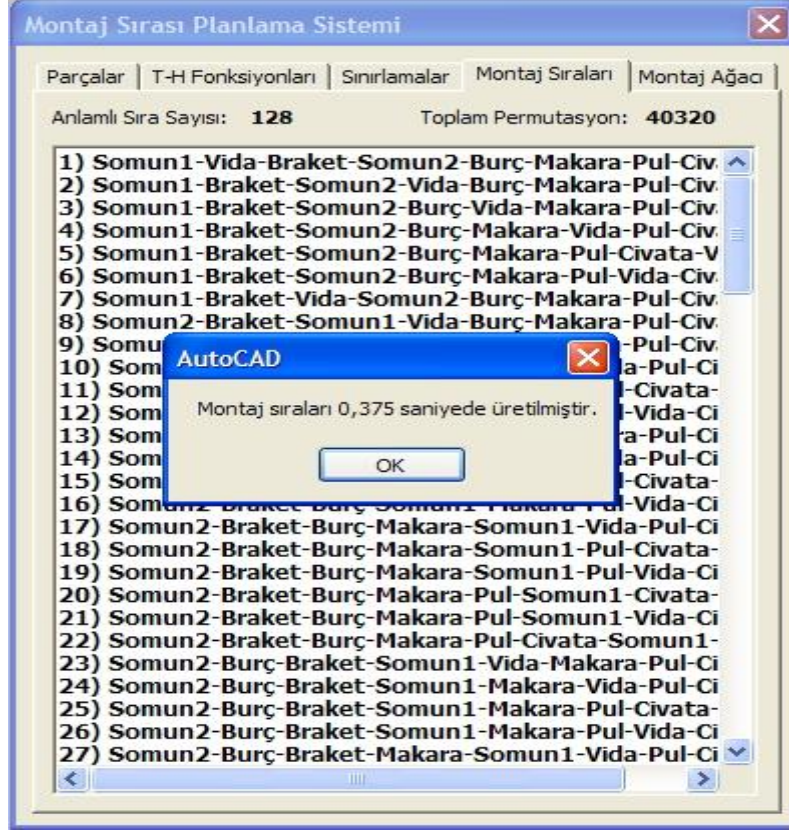
Şekil 4.5. Makara Destek Sistemi'ne ait temas ve hareket fonksiyonlarının program tarafından hesaplanması.

Temas ve hareket fonksiyonlarının üretilmesinin ardından, montaj sıralarının üretilmesi işlemine geçilmiştir. Üretilen montaj sıraları Tablo 4.5.'de sunulmuştur.

Tablo 4.5. Makara Destek Sistemi'ne ait bazı temas ve hareket fonksiyon değerleri

PARÇA ÇİFTLERİ	TEMAS FONKSİYONU DEĞERLERİ						HAREKET FONKSİYONU DEĞERLERİ					
	+X	+Y	+Z	-X	-Y	-Z	+X	+Y	+Z	-X	-Y	-Z
Somun1 - Somun2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Somun1 - Civata	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Somun1 - Vida	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Somun1 - Braket	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
Somun1 - Pul	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Somun1 - Burç	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Somun1 - Makara	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Somun2 - Somun1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Somun2 - Civata	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Somun2 - Vida	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Somun2 - Braket	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Somun2 - Pul	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Somun2 - Burç	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
Somun2 - Makara	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Civata - Somun1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Civata - Somun2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Civata - Vida	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Civata - Braket	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Civata - Pul	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Civata - Burç	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
Civata - Makara	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Vida - Somun1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Vida - Somun2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
Vida - Civata	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Vida - Braket	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Vida - Pul	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Vida - Burç	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Vida - Makara	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Braket - Somun1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Braket - Somun2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
Braket - Civata	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Braket - Vida	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Braket - Pul	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Braket - Burç	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
Braket - Makara	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Pul - Somun1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Pul - Somun2	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Pul - Civata	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Pul - Vida	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Pul - Braket	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Pul - Burç	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Pul - Makara	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Burç - Somun1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Burç - Somun2	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Burç - Civata	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Burç - Vida	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Burç - Braket	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1

Elde edilen 128 adet montaj sırası, Makara Destek Sistemi'nin hiç bir sınırlama olmadan uygun durumdaki muhtemel bütün montaj sıralarını ifade etmektedir.



Şekil 4.6. Makara Destek Sistemi'ne ait montaj sıralarının program tarafından üretilmesi

Tablo 4.6. Makara Destek Sistemi'nin sınırlama olmadan üretilen muhtemel tüm montaj sıraları.

İlk Parça Sınırlaması	Son Sınırlaması	Parça	Alt Alt Montaj Sırası Tercih Sınırlaması
-	-	-	-
1	Somun1-Vida-Braket-Somun2-Burç-Makara-Pul-Civata		
2	Somun1-Braket-Somun2-Vida-Burç-Makara-Pul-Civata		
3	Somun1-Braket-Somun2-Burç-Vida-Makara-Pul-Civata		
4	Somun1-Braket-Somun2-Burç-Makara-Vida-Pul-Civata		
5	Somun1-Braket-Somun2-Burç-Makara-Pul-Civata-Vida		
6	Somun1-Braket-Somun2-Burç-Makara-Pul-Vida-Civata		
7	Somun1-Braket-Vida-Somun2-Burç-Makara-Pul-Civata		
8	Somun2-Braket-Somun1-Vida-Burç-Makara-Pul-Civata		

5. BULGULAR

Proje kapsamında, BDT ortamı olarak, güncel ve nispeten kolay kullanılabilir olması açısından hâlihazırda çok sayıda kullanıcısı olan ve programlamaya izin veren AutoCAD programı seçilmiştir. Söz konusu paket programda uygulama geliştirmeye müsait birçok programlama dilinden, paket programa kendiliğinden entegre olan VBA (Visual Basic Application) tercih edilmiştir.

Geliştirilen yazılımda, ürünün katı modelini oluşturan parçaların sayısı tanınmakta ve parçalar gerek otomatik olarak gerekse kullanıcı etkileşimli olarak bilgi girişi yapılması suretiyle adlandırılabilir.

Tanımlanan parçaların montaj sıralarının üretilmesine temel teşkil eden temas ve hareket ilişkilerinin modellenmesi maksadıyla matris temelli montaj sırası planlama yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu yaklaşım, parçaların birbirlerine montaj edilip edilemeyeceğinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Ürünün tasarımında koordinat eksenlerine göre simetrik şekilde yerleştirilen aynı tipte ne kadar çok parça varsa (cıvata, perçin, vida vs gibi) elemanların montaj edilebilme olasılıkları arttığından; bu durum, montaj sıralarının ve dolayısıyla hesaplama sürelerinin artmasına neden olmaktadır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Montaj, tasarım ve imalat işlemleri sonucunda üretilen parçaların bir araya getirilerek ürünün son halini oluşturma işlemi olup imalat sanayinde ürün geliştirmenin en önemli aşamalarından biridir. Bundan dolayı otomotiv ve elektronik gibi sektörlerde istihdam edilen işçilerin büyük çoğunluğu montaj hattında çalışanları oluşturmaktadır. Ayrıca, çoğu endüstriyel ürünlerin toplam maliyetine % 40 ila % 60 oranında montaj maliyeti etki etmektedir. Montajın bu öneminden dolayı, ürün tasarım aşamasında montaj parametrelerini dikkate alarak iyi bir montaj işlem planlama metodolojisi kullanarak etkin şekilde ürünlerin montajının yapılması sanayide büyük kazançlar sağlayacaktır.

Bu proje çalışmasında, montaj sırası planlamada kullanılan metotlardan matris temelli montaj sırası planlama metodu seçilerek, BDT ortamında çalışabilecek, BDT veritabanını kullanan, etkin, esnek ve kullanımı kolay bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

Günümüzde kullanılan CAD programlarında montaj işlemleri kullanıcı etkileşimi ile gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yazılım bir montaj sisteminde montajı oluşturan parçalar arası uygun montaj sıralarını otomatik belirlemekte ve kullanıcı etkileşimsiz montaj planlama yazılımları için bir bakış açısı sunmaktadır. Montaj sistemini oluşturan parçalar arası temas ve çarpışma ilişkileri montaj modelinden (CAD verisi) otomatik olarak oluşturulmakta ve belirli kurallar çerçevesinde değerlendirilerek montaj sistemine ait uygun montaj sıraları elde edilebilmektedir.

Proje kapsamında geliştirilen montaj planlama sistemi geliştirme/test etme aşamalarında farklı sayıda parça içeren montajlara uygulanmıştır. Bu rapor kapsamında sadece “Makara Destek Sistemi”ne ilişkin bazı sonuçlara yer verilmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Zeid, I., CAD/CAM Theory and Practice, s.576, McGraw-Hill Inc., New York, 1991.
2. Yazar, M., Bilgisayar Yardımıyla Montaj Aşamalarının Kararlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.
3. Baldwin, D., F., et al., An Integrated Computer Aid for Generating an Evaluating Assembly Sequence for Mechanical Products, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 7(1), 78-94. 1991
4. Çiçek, A., Gülesin M., Montaj Yaklaşımları Üzerine Bir Araştırma, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (2), 255-268, 2007
5. Sinanoğlu, C., İkili Vektör Temsili İle Yeni Bir Bilgisayar Destekli Montaj Sırası Planlama Sistemi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2000
6. Dilipak, H., Bilgisayar Destekli Montaj Aşamalarının Teşhisi ve Montaj Sınırlamalarına Dayalı Optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
7. Homem De Mello, L. S. and Sanderson, A.C., And/Or Graph Representation of Assembly Plans, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 6 (2), 188-199, 1990.
8. Whitney, D.E., et al., Designing Assemblies, Research in Engineering Design, 11, 229-253, 1999.
9. Börklü, H. R., Sinanoğlu, C., Montaj Sırası Planlama Yaklaşımları - I: Graf Temelli Algoritmik ve Elle Yapılan Montaj Metodları, Politeknik Dergisi, 4 (1), 63-77, 2001.
10. Börklü, H. R., Sinanoğlu, C., Bilgisayar Destekli Montaj Sırası Planlamada Yön Graf Temsili Ve Bir Örnek Çalışma, Politeknik Dergisi, 4 (1), 1-11, 2001.
11. Eng, T., H., et al., Feature - Based Assembly Modeling and Sequence Generation, Computers & Industrial Engineering, 36, 17 – 33, 1999.
12. Chao, P.Y. and Chen, T. T., Analysis of Assembly Through Product Configuration,

- Computers In Industry, 44, 189-203, 2001.
13. Zha, X. F., Du, H., A PDES/STEP-Based Model and System for Concurrent Integrated Design and Assembly Planning, *Computer Aided Design*, 34, 1087-1110, 2002.
 14. Gottipolu R. B., and Ghosh K., An integrated Approach to the Generation of Assembly Sequences, *International Journal of Computer Applications in Technology*, 8 (3-4), 125-138, 1995.
 15. Gottipolu, R. B. and Ghosh, K., Representation and Selection of Assembly Sequences in a Computer Aided Assembly Process Planning, *International Journal of Production Research*, 35 (12), 3447-3465, 1997.
 16. Gottipolu R. B., and Ghosh K., A Simplified And Efficient Representation For Evaluation And Selection Of Assembly Sequences, *Computers In Industry*, 50, 251-264, 2002.
 17. Zhang, Y.Z., et al., Automated Sequencing and Subassembly Detection in Automobile Body Assembly Planning, *Journal of Materials Processing Technology*, 129, 490-494, 2002.