

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ MATRİS TEMELLİ
MONTAJ PLANLAMA SİSTEM TASARIM YAZILIMI**

**Hazırlayan
Özkan ÖZMEN**

**Danışman
Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU**

Yüksek Lisans Tezi

**Kasım 2012
KAYSERİ**

Not: Dosya boyutunun 4 Mb aşmasından dolayı (8Mb) olmasından dolayı tezde kullanılan resimler Bap birimine yükleme yapmak için çıkartılmış ve dosya boyutu küçültülmüştür.

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ MATRİS TEMELLİ
MONTAJ PLANLAMA SİSTEM TASARIM YAZILIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Özkan ÖZMEN**

**Danışman
Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FBY-12-3987 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Kasım 2012
KAYSERİ**

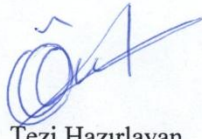
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Özkan ÖZMEN

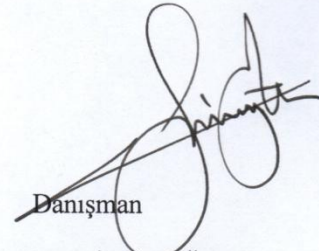
YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Bilgisayar Destekli Matris Temelli Montaj Planlama Sistem Tasarım Yazılımı”
adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma
Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



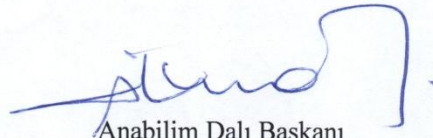
Tezi Hazırlayan

Özkan ÖZMEN



Danışman

Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU



Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. İbrahim UZMAY

KABUL VE ONAY

Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU danışmanlığında **Özkan ÖZMEN** tarafından hazırlanan “**Bilgisayar Destekli Matris Temelli Montaj Planlama Sistem Tasarım Yazılımı**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine **Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

13.11.2012

JÜRİ:

Başkan: Doç. Dr. Eyüp Sabri TOPAL

Üye : Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU

Üye :Doç. Dr. Recep GÜNEŞ

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 27.11.2012 tarih ve 20.12./56-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof.Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında beni maddi açıdan destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu' na (TÜBİTAK) ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FBY-12-3987) teşekkür ederim.

Bu çalışmam boyunca manevi desteğini ve fedakârlığını daima yanımda hissettiğim sevgili eşim Rabia ÖZMEN' e ve aileme teşekkür ederim.

Özkan ÖZMEN
Kayseri, Kasım 2012

BİLGİSAYAR DESTEKLİ MATRİS TEMELLİ MONTAJ PLANLAMA SİSTEM TASARIM YAZILIMI

Özkan ÖZMEN

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Kasım 2012
Danışman: Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU**

KISA ÖZET

Montaj, bir yapı oluşturmak için parçaları bir araya getirme işlemine veya bu işlemin sonucundaki ürüne verilen isimdir. Bu terim her iki amaç için de kullanılır. Montaj sistemlerinde parça sayısının artmasıyla birlikte montaj işleminin karmaşıklığı da artmaktadır. Bu karmaşıklığın üstesinden gelmek için montaj planlama alanında birçok araştırma yapılmış ve çeşitli montaj planlama yaklaşımları geliştirilmiştir.

Bu tez kapsamında, montaj sistemlerinde uygun montaj sıralarını belirlemek için geliştirilen matris temelli montaj sırası planlama yaklaşımı kullanılmış ve uygun montaj sıraları içerisinde hacim optimizasyon kriterine göre optimum sıranın bulunması hedeflenmiştir. Geliştirilen montaj sırası planlama yazılımı AutoCAD 2012 Cad programı ile entegre şekilde çalışmaktadır. Bu yazılım AutoCAD 2012 Cad programı altında makro yazma imkanı sağlayan VBA editörü ortamında geliştirilmiştir. Cad ortamı olarak AutoCAD' in seçilmesinin temel nedeni endüstride yaygın olarak kullanılması ve AutoCAD temel fonksiyonlarını kullanarak VBA editörü ile makro yazma imkanı sunmasıdır.

Günümüzde kullanılan Cad programlarında otomatik montaj sıra planlayıcısı mevcut değildir. Bir montaj sistemine ait uygun montaj sıraları kullanıcı etkileşimi ile sağlanmaktadır. Bu alanda yapılan pek çok çalışma ve yazılım olmasına karşın henüz ticari hale getirilmemiştir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen yazılımın temel hedefi bu eksiği gidermeye yönelik çalışmalar yapmaktır.

Geliştirilen yazılım, AutoCAD çizim uzayında montaj sisteminin parçalarını belirleyebilmekte ve parçalar arasındaki ilişkileri matris formatında otomatik olarak temsil etmektedir. Sonrasında matris temelli montaj sırası planlama metoduna göre

parçalara çeşitli mantık (Boolean) operatörlerini uygulayarak uygun montaj sıralarını üretmektedir.

Parça sayısına göre değişiklik gösterebilen uygun montaj sıralarının sayısı montaj sistemine göre bazen yüzlerce veya binlerce olabilmektedir. Tasarımcının bu sıraları ayrı ayrı değerlendirmesi zor olduğundan dolayı hacim optimizasyon kriterine göre uygun montaj sıralarından optimumu seçilmektedir.

Geliştirilen yazılım, 8 parçalı Palanga Yük Aparatı, 9 parçalı Bağlantı Kızağı ve Mafsal montaj sistemlerinde test edilmiştir. Uygun montaj sayıları sırasıyla 2516, 3090 ve 122 olarak belirlenmiştir. Mevcut uygun montaj sıralarına hacim optimizasyon kriteri uygulanarak her bir montaj sistemine ait sadece 1 adet montaj sırası elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Matris Temelli Montaj Sırası Planlama, Hacim Optimizasyon Kriteri, Optimizasyon, VBA.

COMPUTER-AIDED MATRIX-BASED ASSEMBLY PLANNING SYSTEM DESIGN SOFTWARE

Özkan ÖZMEN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, November 2012

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU

ABSTRACT

Assembly is called to parts of the process of putting together to create a structure or as a result of this process, is the name given to the product. This term is used for both purposes. As the increasing number of pieces in assembly systems also increases the complexity of the assembly process. In order to overcome this complexity, a lot of research in the field of assembly planning has been done and a variety of assembly planning approaches have been developed.

In this thesis, in order to determine the feasible assembly sequence systems, developed matrix-based assembly sequence planning approach is used and aimed to find the optimal sequence within the feasible assembly sequences according to the volume optimization criteria. The developed assembly sequence planning software is working with AutoCAD 2012 integratedly. This software was developed in the VBA editor which allows to write a macro in AutoCAD 2012. The main reason for the selection of AutoCAD as a CAD program is common use in industry and VBA editor which uses the basic functions of AutoCAD allows to write macro codes.

For the cad programs that are used today, automatic assembly sequence planner is not available. Feasible assembly sequences of an assembly system are performed by user interaction. Although there have been many studies and software's in this area, they have not been released commercially, yet. The main aim of developed software in the thesis is to conduct studies to solve this shortcoming.

The developed software can determine assembly systems components in AutoCAD drawing space and provide relationship within components in the form of matrix. Then, by the method of matrix-based assembly sequence planning, components, which are applied various Boolean operators, produces the feasible assembly sequence.

According to the assembly system, feasible assembly sequence numbers which can be vary with part number sometimes may be hundreds or thousands. Due to the evaluation of these sequences is difficult for designer, according to the volume optimization criterion optimum sequence is selected in feasible assembly sequences.

The developed software is tested in assembly systems which are 8-parts pulley load bracket, 9-parts connection cradle and joint. Feasible assembly sequence numbers are 2516, 3090 and 122 respectively. By applying the volume optimization criterion to these feasible assembly sequences, we obtained only 1 feasible assembly sequence.

Keywords: Matrix-Based Assembly Planning System, Volume Optimization Criterion, Optimization, VBA.

İÇİNDEKİLER

BİLGİSAYAR DESTEKLİ MATRİS TEMELLİ MONTAJ PLANLAMA SİSTEM TASARIM YAZILIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
KABUL VE ONAY	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
TEŞEKKÜR.....	iv
KISA ÖZET	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii

GİRİŞ

G.1. Montaj Sırası Planlama ve Önemi.....	1
G.2. Tezin Amacı	4
G.3. Tez Düzeni	4

I. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1. MONTAJ PLANLAMA YAKLAŞIMLARI.....	5
1.1. Graf Tabanlı Yaklaşımlar.....	5
1.2. Unsur Tabanlı Yaklaşımlar	14
1.3. Matris Tabanlı Yaklaşımlar	18
1.4. Optimizasyon Teknikleri Kullanan Yaklaşımlar	21
1.5. Kural Tabanlı, Uzman Sistem Kullanan Yaklaşımlar ve Diğerleri	26
1.6. Montaj Sırası Planlama Metotlarının Karşılaştırılması.....	29

II. BÖLÜM

MATRİS TEMELLİ MONTAJ SIRASI PLANLAMA METODU VE HACİM KRİTERİNE GÖRE OPTİMİZASYON

2.1. Montaj Sıralarının Üretilmesi	32
2.2. Optimum Montaj Sırasının Belirlenmesi	43

III. BÖLÜM

BİLGİSAYAR DESTEKLİ MATRİS TEMELLİ MONTAJ PLANLAMA SİSTEM TASARIM YAZILIMI

3.1. AutoCAD Yazılımı	47
3.2. AutoCAD Ortamında VBA.....	49
3.2.1. VBA’ da Nesne Kavramı	50
3.2.2. VBA’ da Kod Kavramı.....	50
3.2.3. Olay (Event) Kavramı	51
3.2.4. Otomatik Kod Tamamlama	51
3.2.5. Sabitler ve Değişkenler	52
3.2.5.1. Sabitler	52
3.2.5.2. Değişkenler	53
3.2.6 Operatörler.....	54
3.2.7 Kontroller	56
3.2.8 Kontrol ve Döngü Deyimleri.....	57
3.2.8.1 Kontrol Deyimleri.....	58
3.2.8.2. Döngüler	59
3.2.9. Diziler	60
3.2.9.1. Dinamik Diziler	60
3.2.10. Fonksiyonlar	61
3.3 Hacim Kriterine Göre Montaj Sırası Planlama Yazılımı	62

3.3.1. Parçalar Sekmesi	62
3.3.2. K-H Fonksiyonu Sekmesi	63
3.3.3. Montaj Sıraları Sekmesi	64
3.3.4. Montaj Ağacı Sekmesi	67
3.4. Program Kullanımı ve Basit Bir Montaj Sistem Örneği	67

IV. BÖLÜM

MONTAJ SIRASI PLANLAMA SİSTEMİ PROGRAMI ÖRNEK

UYGULAMALARI

4.1. Palanga Yük Aparatı Montaj Sistemi Sıralarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu .	73
4.2. Bağlantı Kızağı Montaj Sistemi Uygun Montaj Sıralarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu.....	82
4.3. Mafsal Sistemi Montaj Sıralarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu	91

V. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	103
EKLER.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	124

SİMGELER VE KISALTMALAR

BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
$N_{i,j}$	: Giriş Graflarının Düğüm Setleri
HMP	: Hiyerarşik Montaj Plancısı
SİKD	: Sıralı İkili Karar Diyagramı
R	: Yön Grafi Matrisi
λ	: Kukla Bağlantı
GA	: Genetik Algoritmalar
YBS	: Yapay Bağışıklık Sistemi
BK	: Bakteriyel Kemotaksis
AI	: Artificial Intelligence – Yapay Zeka
YDY	: Yaşam Döngüsü Yönetimi
MOT	: Montaj Odaklı Tasarım
MİT	: Montaj İçin Tasarım
GSA	: Geometrik Sınırlama Analizi
OSK	: Oriental Sınırlayıcı Kutu
N	: Parça Sayısı
P	: Parçalar Kümesi
$\langle P, U \rangle$	: Montajın ilişkisel modeli

U	: Parça çiftleri kümesi
K	: Kontak Fonksiyonu
H	: Hareket Engelleme Fonksiyonu
S	: Oluşturulabilecek maksimum parça çifti sayısı
TK	: Toplam Kontak
TH	: Toplam Hareket Engelleme
TKS	: Toplam Kontak Sonucu
THS	: Toplam Hareket Engelleme Sonucu
MU	: Montaj Uygunluğu
VB	: Visual Basic
VBA	: Visual Basic for Applications
CAD	: Computer Aided Design – Bilgisayar Destekli Tasarım
GUI	: Graphical User Interface – Grafiksel Kullanıcı Arabirimi
($\vee$)	: Mantıksal “VEYA” işlemcisi
($\wedge$)	: Mantıksal “VE” işlemcisi
CPU	: Central Processing Unit – Merkezi İşlemci Ünitesi
DXF	: Drawing Interchange Format - Çizim Dönüşüm Formatı
WCS	: World Coordinate System - - Dünya Koordinat Sistemi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Şekil 2.2 için Montaj Kesme Setleri	8
Tablo 2.2 Yön Grafi ile Sıralı ikili Karar Diagramının karşılaştırılması	17
Tablo 2.3 VE/VEYA grafi ile Sıralı ikili Karar Diagramının karşılaştırılması ...	17
Tablo 2.4 mühendislik bilgi için benzerlik matrisi.	29
Tablo 2.5 Genlerin yeniden düzenlenme süreci.	30
Tablo 2.6 Montaj Sırası Planlama Yaklaşımlarının Değerlendirme Kriterleri ve Puanlama Değerleri [38].	34
Tablo 2.7 Montaj Sırası Planlama Metotlarının Karşılaştırılması.	34
Tablo 3.1 (P_1P_3) parça çifti temas ilişkisi durumu.	38
Tablo 3.2 (P_3P_1) parça çifti temas ilişkisi durumu.	39
Tablo 3.3 Şekil 3.1' de verilen örnek montaj sistemi parçalarının kontak fonksiyon değerleri	39
Tablo 3.4 (P_1P_3) parça çifti hareket ilişkisi durumu.	40
Tablo 3.5 (P_3P_1) parça çifti hareket ilişkisi durumu.	40
Tablo 3.6 Şekil 3.1' de verilen montaj örneği için oluşturulan parçaların hareket engelleme fonksiyon değerleri	41
Tablo 3.7 ($P_1P_3P_2$) montajı için (P_1P_2), (P_1P_3) parça çiftlerinin temas ilişkisi durumu.	42
Tablo 3.8 ($P_1P_3P_2$) montajı için (P_1P_2), (P_1P_3) parça çiftlerinin hareket ilişkisi durumu.	43
Tablo 3.9 ($P_1P_3P_2P_4$) montajı için (P_1P_4), (P_3P_4), (P_2P_4) parça çiftlerinin temas ilişkisi durumu.	44
Tablo 3.10 ($P_1P_3P_2P_4$) montajı için (P_1P_4), (P_3P_4), (P_2P_4) parça çiftlerinin hareket ilişkisi durumu.	44
Tablo 3.11 2. Seviyedeki tüm parça çiftlerinin kontak fonksiyonlarının belirlenmesi.	45

Tablo 3.12 2. Seviyedeki tüm parça çiftlerinin hareket engelleme fonksiyonlarının belirlenmesi.	45
Tablo 3.13 2. Seviyedeki montaj uygunluğunun belirlenmesi.....	46
Tablo 3.14 3. Seviyedeki montaj uygunluğunun belirlenmesi.....	46
Tablo 3.15 4. Seviyedeki montaj uygunluğunun belirlenmesi.....	47
Tablo 3.16 1. Seviyedeki hacim parçasının aranması.	49
Tablo 3.17 2. Seviyedeki hacim parçasının aranması.	49
Tablo 3.18 2. Seviyedeki hacim parçalarının tekrar aranması.	50
Tablo 3.19 3. Seviyedeki hacim parçasının aranması.	50
Tablo 3.20 4. Seviyedeki hacim parçasının aranması.	50
Tablo 4.1 Autocad sürümleri.....	53
Tablo 4.2 Matematiksel İşlem Operatörleri	61
Tablo 4.3 İlişki Operatörleri.....	62
Tablo 4.4 Not Operatörü Doğruluk Tablosu	62
Tablo 4.5 Or Operatörü Doğruluk Tablosu.....	63
Tablo 4.6 And Operatörü Doğruluk Tablosu	63
Tablo 4.7 Örnek uygun montaj parça listesi	79
Tablo 4.8 Örnek Uygun parça listesindeki parça hacimlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmış şekli.	81
Tablo 4.9 Parçalara hacim optimizasyon kriteri uygulanması 1. aşama.	81
Tablo 4.10 Parçalara hacim optimizasyonu uygulanması 2. aşama.	81
Tablo 4.11 Parçalara hacim optimizasyonu uygulanması 3. aşama.	81
Tablo 4.12 Parçalara hacim optimizasyonu uygulanması 4. aşama.	82
Tablo 4.13 Örnek Montaj Sistemi için Kontak Fonksiyonu değerleri.	86
Tablo 4.14 Örnek Montaj Sistemi için Hareket Engelleme Fonksiyonu değerleri.	86
Tablo 4.15 Örnek Montaj Sistemi İçin Uygun Montaj Sıraları.	87

Tablo 4.16 Örnek montaj sistemindeki parçaların hacim değerleri	88
Tablo 4.17 Örnek montaj ürününün hacim optimizasyon kriterine göre sıralanması....	89
Tablo 5.1 Palanga yük parçalarının program tarafından isimlendirilmesi.....	94
Tablo 5.2 Palanga yük aparatı için kontak ve hareket engelleme fonksiyonları değerleri.....	95
Tablo 5.3 Palanga yük aparatı için parça hacim değerleri ve bu hacim değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanması.	98
Tablo 5.4 Palanga yük aparatı için optimizasyona göre elde edilen sıralama.	98
Tablo 5.5 Bağlantı kızıağı montaj sistemi parçalarının program tarafından isimlendirilmesi.	104
Tablo 5.6 Bağlantı kızıağı montaj sistemi için kontak ve hareket engelleme fonksiyonları değerleri.....	105
Tablo 5.7 Bağlantı kızıağı montaj sistemi için parça hacimleri ve bu hacimleri büyükten küçüğe doğru sıralanması.	109
Tablo 5.8 Bağlantı kızıağı montaj sistemi optimum montaj sıralaması.	109
Tablo 5.9 Mafsal montaj sistemi parçalarının program tarafından isimlendirilmesi.	116
Tablo 5.10 Mafsal için kontak ve hareket engelleme fonksiyonları değerleri.....	117
Tablo 5.11 Mafsal için parça hacimleri ve bu hacim değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanması.....	120
Tablo 5.12 Mafsal için optimizasyona göre elde edilen sıralama.	121

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Erken ürün tasarımında montaj sırası tasarımı ve değerlendirme rolleri.....	7
Şekil 2.2 Örnek bir bağlantı diyagramı.	7
Şekil 2.3 Başlık, alt destek parçası, pin için çakışma kontrolleri a) Başlığın süpürülmesi, b) Alt destek parçasının süpürülmesi, c) Pin' in süpürülmesi.	12
Şekil 2.4 Örnek bir montajın a) Demontaj görüntüsü b)Bağlantı grafi.....	14
Şekil 2.5 a)Yön Grafi b) Yön Grafi için Sıralı İkili Karar Diyagramı.....	15
Şekil 2.6 Örnek montaj için a) VE/VEYA grafi b) VE/VEYA grafi için Sıralı İkili Karar Diyagramı	16
Şekil 2.7 Araba gövdesi montaj işlemi ve arka zeminin ana parçaları.	23
Şekil 2.8 Arka zemin alt montajının yönlendirilmiş grafi.	23
Şekil 2.9 Arka Zemin Alt Montajının Bağlantı Zemini	24
Şekil 2.10 Bir yapı ve bu yapıyla ilgili irtibat grafi a) örnek montaj sistemi, b) montaj sisteminin irtibat yapısı.....	28
Şekil 2.11 YBS, rehberli-ga ve memetik algoritmaların karşılaştırılması.	29
Şekil 2.12 İki boyutlu montajda genetik algoritma tabanlı hibrit modelin maksimum uygunluğa karşı popülasyon grafiği	30
Şekil 3.1 AutoCad 2012 ortamında oluşturulmuş üç boyutlu alışveriş arabası tekerleğinin a) Patlatılmış Görünüşü, b) Montaj Görünüşü.	37
Şekil 4.1 Geliştirilen program içerisinde prosedür örnekleri.	56
Şekil 4.2 Geliştirilen program içerisindeki tanımlamalar kısmı.	57
Şekil 4.3 VBA' da nesne ve olay kavramları.	57
Şekil 4.4 VBA' da otomatik kod tamamlama.	58
Şekil 4.5 Program içerisinde public parametresinin kullanımı.	61
Şekil 4.6 VBA programlama yapısı.	63
Şekil 4.7 VBA' da kontroller.	64
Şekil 4.8 Program içerisinde etiketlerin kullanımı.....	64

Şekil 4.9 Program içerisinde metin kutusunun kullanımı.	65
Şekil 4.10 Program içerisinde komut butonunun kullanımı.	65
Şekil 4.11 Program içerisinde liste kutusunun kullanımı.	66
Şekil 4.12 VBA’ da genel kod prosedürü.	66
Şekil 4.13 Select Case deyiminin program içerisinde kullanımı.	67
Şekil 4.14 If...Then...Else Deyim Grubunun program içerisinde kullanımı.	68
Şekil 4.15 For...Next döngüsünün program içerisinde kullanımı.	69
Şekil 4.16 Program içersindeki dizi tanımlanması.	70
Şekil 4.17 Program içersindeki dinamik dizi tanımlanması.	71
Şekil 4.18 Program içersindeki MsgBox fonksiyonunun kullanılması.	72
Şekil 4.19 Program içersindeki round fonksiyonunun kullanılması.	72
Şekil 4.20 Program içersindeki len deyiminin kullanılması.	73
Şekil 4.21 Program içersindeki open parametresinin kullanılması.	73
Şekil 4.22 Program içersindeki Close deyiminin kullanılması.	74
Şekil 4.23 AutoCAD ortamında VBA projelerinin açılması.	74
Şekil 4.24 Program ara yüzü.	75
Şekil 4.25 Program parçalar sekmesi.	76
Şekil 4.26 Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonu Sekmesi.	77
Şekil 4.27 K-H fonksiyonlarının oluşturulması için akış şeması [39].	77
Şekil 4.28 Montaj Sıraları sekmesi program ara yüzü.	78
Şekil 4.29 Kabarcık algoritmasının şematik gösterimi.	80
Şekil 4.30 Hacim kriterine göre optimizasyon algoritması.	82
Şekil 4.31 Montaj Ağacı Sekmesi.	83
Şekil 4.32 Programın genel algoritması.	84
Şekil 4.33 Alışveriş arabası tekerleği örneği.	84
Şekil 4.34 Parçaların belirlenmesinde program ara yüzü.	85

Şekil 4.35 K-H fonksiyonlarının hesaplanmasında program ara yüzü.	86
Şekil 4.36 Uygun Montaj Sıralarının bulunması.	87
Şekil 4.37 Hacim optimizasyon kriteri sonucu.	88
Şekil 4.38 Örnek montaj sisteminin demontaj hali.	89
Şekil 4.39 Alışveriş arabası tekerleği örneğinin hacim optimizasyon kriterine göre montajı; a) 1. Adım, b) 2. Adım, c) 3. Adım, d) 4. Adım.	91
Şekil 5.1 Palanga yük aparatı üç boyutlu montaj modelinin görüntüsü.....	92
Şekil 5.2 Palanga yük aparatı üç boyutlu demontaj görüntüsü.	93
Şekil 5.3 Palanga yük aparatının parça listesi program arayüzü.....	93
Şekil 5.4 Palanga yük aparatının kontak ve hareket engelleme fonksiyonları program ara yüzü.	94
Şekil 5.5 Palanga yük montaj sistemi için uygun montaj sıraları program ara yüzü.	97
Şekil 5.6 Palanga yük aparatı için uygun montaj sıralarının optimizasyonu.	97
Şekil 5.7 Palanga yük aparatı hacim optimizasyon kriterine göre uygun montaj sırası adımları a) 1. Adım, b) 2. Adım, c) 3. Adım, d) 4. Adım, e) 5. Adım, f) 6. Adım, g) 7. Adım, h) 8. Adım.	102
Şekil 5.8 Bağlantı kızıağı üç boyutlu montaj modelinin görüntüsü.....	103
Şekil 5.9 Bağlantı kızıağı üç boyutlu patlatılmış görüntüsü.	103
Şekil 5.10 Bağlantı kızıağı monta sistemi parça listesi program ara yüzü.....	104
Şekil 5.11 Bağlantı kızıağı montaj sistemi kontak ve hareket engelleme fonksiyonları program ara yüzü.	105
Şekil 5.12 Bağlantı kızıağı montaj sistemi için uygun montaj sıraları program ara yüzü.	108
Şekil 5.13 Bağlantı kızıağı montaj sistemi için uygun montaj sıralarının optimizasyonu.....	108
Şekil 5.14 Bağlantı kızıağı montaj sisteminin hacim optimizasyon kriterine göre montajı. a)1. Adım, b) 2. Adım, c) 3. Adım, d) 4. Adım, e) 5. Adım, f) 6. Adım, g) 7. Adım, h) 8. Adım, i) 9. Adım.	114

Şekil 5.15 Mafsal üç boyutlu montaj modeli görüntüsü.	114
Şekil 5.16 Mafsal parçalarının üç boyutlu demontaj modeli görüntüsü.	115
Şekil 5.17 Mafsal parçalarının parça listesi program ara yüzü.	115
Şekil 5.18 Mafsal kontak ve hareket engelleme fonksiyonları program ara yüzü.	116
Şekil 5.19 Mafsal montaj sistemi uygun montaj sıraları program ara yüzü.	119
Şekil 5.20 Mafsal montaj sistemi uygun montaj sıralarının optimizasyonu.	120
Şekil 5.21 Mafsal montaj sisteminin hacim optimizasyon kriterine göre optimum montaj sırası. a) 1. Adım, b) 2. Adım, c) 3. Adım, d) 4. Adım, e) 5. Adım, f) 6. Adım, g) 7. Adım, h) 8. Adım, i) 9. Adım.	125

GİRİŞ

G.1. Montaj Sırası Planlama ve Önemi

Uluslar arası alanda artan rekabet koşulları, imalatçı firmaların daha kaliteli mamulleri daha kısa sürede ve az maliyetle geliştirmelerini gerekli kılmaktadır. Bu konuda yürütülen yoğun araştırma çalışmaları ile ürün geliştirme ve imalata hitap eden yöntem ve araçların iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Yeni ve etkin yöntemlerin kullanılması ile de, tasarımdan imalata ürün geliştirme süreci azalmakta ve bu süreçte yer alan işlemlerdeki insan hataları da en aza indirgenmektedir. Böylece otomasyon alanında her geçen gün yeni bir aşama kaydedilmektedir [1].

Bilgisayar, teknoloji alanına birçok yenilik ve hız kazandırmıştır. Özellikle imalat sektöründe mamuller üretilmeden önce bilgisayar ortamında tasarlanmakta, montaj edilmekte, fiziksel ve fonksiyonel açıdan simüle edilmekte, varsa hatalar düzeltildikten sonra imalata geçilmektedir. Böylece hem zamandan, hem de maliyetten çok büyük kazançlar sağlanmaktadır [2].

Montaj, bir yapı oluşturmak için parçaları bir araya getirme işlemine veya bu işlemin sonucundaki ürüne verilen isimdir. Bu terim her iki amaç içinde kullanılır [3]. Montaj planlama, mekanik montaj parçaların üretiminde temel rol oynar [4]. Montaj sırası planlama çok karmaşık bir işlemdir. Bu karmaşıklık parça sayısının artmasıyla daha da zorlaşmaktadır. Bir mamulün yüzlerce montaj sırası olmasına rağmen optimum montaj sırasının belirlenip kullanılması gerekmektedir. Bunun için mamulün muhtemel tüm montaj sıralarının belirlenmesi ihtiyacı vardır. Ürünlerin montajını oluşturabilecek oldukça fazla sayıda montaj sırası vardır ve bu sıralar parça sayısına paralel olarak artmaktadır [2].

Montaj sırası planlama, geometrik ve kalıtsal sıralı (öncelikli) olanları da içeren tüm sınırlayıcıları belirleme, tanımlama ve karşılama tasarım işlemi olarak ta kabul

edilebilir. Montaj sıraları, ağırlıklı olarak ürün geometrisine bağlıdır. Bunlar, bir montajda kesinlikle değişmeyen ve montaj çevresi tarafından değiştirilemeyen rijit sınırlayıcılar olarak adlandırılır. Geometrik olmayan ihtiyaçlar basit sınırlayıcılar olarak adlandırılır ve montaj işlemini kolaylaştırmak için kullanılmaktadır.

Hazırlanacak farklı ve uygulanabilir montaj sırası planları arasından en uygununun seçimi, montaj sisteminin tamamlanması açısından oldukça önemlidir. Seçilecek montaj sırasının; işlemi en kısa sürede bitirmeye izin vermesi, ekonomik ve optimum olması arzulanır. Montaj sıra planlama işleminin deneme yanılma yöntemi ile yapılması iki sebepten dolayı zordur [5].

Bu sebepler:

- Birleştirilecek parça sayısı az olsa dahi uygun montaj sıralarının fazla olabileceği ve
- Tasarımda yapılabilecek küçük değişikliklerin önceki montaj planlarında önemli farklılıklar şeklinde yansıma olasılığıdır.

Belirtilen bu sebepler ve bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelerden dolayı montaj sırası planlama alanında bilgisayar kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Bu amaçla yürütülen araştırmalarla birçok yaklaşım ve otomatik montaj planlama sistemi geliştirilmiştir. Bu montaj planlama sistemlerinin bir kısmı, kullanıcı etkileşimli ve yarı otomatik bilgisayar destekli çalışmaktadır. Diğer sistemler ise, yine bilgisayar destekli ve tam otomatik (kullanıcı etkileşimsiz) montaj sıra planlarını belirleyebilmektedir. Bu sistemlerin geliştirilmesinde kullanılan teknikler; doğrudan ve ayrıştırma teknikleri olmak üzere iki genel sınıfa ayrılabilir [5].

Doğrudan tekniklerde, kullanıcı ile etkileşimli olarak soru-cevap yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu teknikler kullanılarak geliştirilen planlama sisteminin genelleştirilebilme avantajı vardır. Bu yaklaşımı kullanan sistemlerde; birçok soruya kullanıcı tarafından yanıt verilmesi gerekmekte ve birleştirilecek parçaların montaj sıralarını belirlemede yardımcı olacak öncelik sınırlayıcılarının çoğu kullanıcı tarafından sağlanmaktadır. Bu sebepten dolayı bu yaklaşım, sadece birkaç parça içeren ürün montajlarında kullanılabilir. Uygun montaj planlarını belirlemek için oluşturulan veri tabanının büyüklüğü (araştırma ağacındaki hızlı büyüme), bu

yaklaşımın önemli olumsuz tarafıdır. Diğer temel yaklaşım olan ayrıştırma tekniğinde ise, montaj sırası planlama işlemi bir demontaj planlama problemi (tersten) olarak ele alınmaktadır. Bu yaklaşımın geliştirilmesi, bir ürünün monte edilmiş halinden başlanması halinde daha az montaj olasılığı ile karşılaşılacağı gerçeğine dayanmaktadır. Bu yaklaşımın zayıf tarafı, demontaj işlemi sonrası orijinal şekillerini koruyamayan parçaların montajında ortaya çıkmaktadır. Ayrıştırma yaklaşımı, eğer demontaj sıralaması tersinir veya sistem demonte edildiğinde içinde yer alan tüm parçalar orijinal şekillerini koruyabiliyorsa uygulanabilmektedir. Ayrıştırma yaklaşımı; VE/VEYA grafi ve temas grafi gibi tekniklerce kullanılmaktadır [5].

Bazı durumlarda bir montajın bütün bileşenleri, geri kazanımı amaçlamak için demonte edilebilir. Böylece bir ürünün demontaj kolaylığı, servisin azaltılması, onarım süresi, bakım maliyeti ve geri dönüşüm işlemlerinin basitleştirilmesi gibi kriterler için önemli bir faktör haline gelebilir [6].

Bilgisayar yazılımı tarafından demontaj sıralarının otomatik olarak oluşturulması yeni ürünler tasarlariken yukarıda belirtilen kriterlerin değerlendirilmesinde tasarımcı tarafından kullanılabilir. Eğer demontaj sırasının üretimi için ürünün her bileşeni dikkate alınacak olursa, uygun demontaj sıralarının sayısı büyük olabilir. Uygun demontaj sıralarının sayısını azaltan bir metot da, alt montaj birleşenlerini bir grup haline getirmektir. Böylece demontaj sıraları için bileşen sayısı azaltılmış olacaktır [6].

Montaj sırası üretim sisteminin tasarımı, ürün istasyonlarının konfigürasyonunu ve ulaşılabilir üretim oranını belirgin bir şekilde etkiler. Sıralama ayrıca bağlama kalıbı tasarımı, kalite kontrol için yapılan testlerin ve parçaların başarılı bir şekilde üretilmesi için önemli bir rol oynar. Ayrıca tasarım mühendisleri için bir ürün tasarladığı zaman montaj sıralamasını dikkate almak önem arz eder. Montaj maliyeti özellikle örnek bir üretim için montaj sırasının üretilmesiyle değerlendirilir [7].

Bu tez çalışması kapsamında, ayrıştırma tekniğini referans alan matris temelli montaj sırası planlama metodu kullanılmaktadır.

G.2. Tezin Amacı

Endüstride kullanılan montaj sistemleri çok farklı sayı ve biçimde parçalar ihtiva edebilmektedir. Hâlihazırda geliştirilen montaj sırası planlama sistemleri eğitim test üniteleri ile sınırlı kalmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen montaj sırası planlama sistemi endüstride yaygın olarak kullanılan AutoCAD programı ile etkileşimli şekilde çalışacak ve 3 boyutlu montaj modeli verilen bir montaj sistemine ait optimum montaj sırasını kullanıcı etkileşimsiz olarak otomatik belirleyecektir. Farklı sayıda parça içeren montaj sistemlerine ait uygun montaj sıraları “Matris Temelli Montaj Sırası Planlama” [8] metodu belirlenecek ve optimum montaj sırası ise hacim optimizasyon kriterine göre tespit edilecektir. Geliştirilen montaj sırası planlama yaklaşımının anlaşılabilmesi açısından başlangıçta 4 parçalı basit bir montaj sistemi ele alınacak sonrasında ise farklı sayıda ve daha fazla parça içeren montaj sistemlerine yönelik geliştirilen montaj sırası planlama tasarım yazılımının kabiliyetleri hakkında bilgi verilecektir.

G.3. Tez Düzeni

“Bilgisayar Destekli Matris Temelli Montaj Planlama Sistem Tasarım Yazılımı” isimli bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır.

Giriş’de, montaj sırası planlama ve önemine değinilmiş ve tezin amacı anlatılmıştır.

Bölüm-I’ de, montaj sırası planlama konusunda yapılan çalışmalar incelenmiş ve bir literatür derlemesi yapılmıştır. Graf Tabanlı, Unsur Tabanlı, Matris Tabanlı, Optimizasyon Teknikleri Kullanan, Kural Tabanlı, Uzman Sistem Kullanan ve diğer yaklaşımlar hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm-II’ de kullanılan matris temelli montaj sırası planlama metodunun teorik alt yapısı 4 parçalı basit bir montaj sistem örneği ile açıklanmıştır.

Bölüm-III’ de geliştirilen Bilgisayar Destekli Matris Temelli Montaj Planlama Sistem Tasarım Yazılımı’ nın alt yapısı anlatılmaktadır.

Bölüm-IV’de farklı montaj sistemlerine ilişkin uygun sıraların belirlenmesi ve optimum sıranın tespitine yönelik program kabiliyeti tanıtılmaktadır.

Bölüm-V’de tartışma-sonuç ve öneriler tartışılmaktadır.

I. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1. MONTAJ PLANLAMA YAKLAŞIMLARI

Planlama istenen hedefleri gerçekleştirmek için bir strateji geliştirmektir. Planlamanın en ilginç uygulamalarından biri de parçalardan mekanik bir ürünü yapılandırmak için farklı montaj işlemlerini belirlemeye ve değerlendirmeye yardımcı olan montaj planlamadır. Kısaca montaj sıra planlayıcı, ürünü oluşturan parçaları belirleyen ve işlemler arası öncelik ilişkilerini içeren montaj sıra planlarını türeten ürünü geometrik tanımlama tabanlı bir sistemdir [9].

Her bir plan, gerçekleştirilecek montaj işlemlerini ve bu işlemlerin sıralarını tayin etmektedir. Bunun için verimli bir montaj sistemi kurmada, montaj planlama önemli bir yer oluşturmaktadır. Montaj planlama, montajın en zaman alıcı ve önemli kısmını oluşturduğundan birçok araştırmacı, bu alanda en uygun montaj planlama yaklaşımı geliştirmek için farklı metotlar kullanarak birçok çalışma yapmıştır [9].

Bu bölümde literatürde yer alan montaj planlama çalışmaları ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler hakkında kısaca bilgi verilecektir.

1.1. Graf Tabanlı Yaklaşımlar

Bir montajın en genel ve yaygın temsilinde graflar kullanılmaktadır. Graf tabanlı temsiller montajın kısmi görünümünü içermekte ve montaj işlemine ve montaj işlemlerinin özelliklerine veya detaylarına yoğunlaşmaktadır. Graf tabanlı temsiller genellikle BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) veritabanı veya kullanıcı tarafından sağlanan bilgilerden elde edilmektedir. Graf tabanlı çalışmalarda geliştirilen bu temsiller

aracılığıyla montaj analiz edilebilmektedir. Montajın analizi; robot yol planlama, çakışmaların kontrolü, öncelik ilişkilerinin belirlenmesi ve montaj işlem sırasının türetilmesini içeren geniş bir alana hitap etmektedir. Montajdaki çakışma ve öncelik ilişkilerini temsil eden bu graflardan olası montaj sıraları türetilerek bu sıralar montaj sıralama grafi gibi graflarda temsil edilmektedir. Daha ileri bir ayrıştırma ile bu graflardan en iyi montaj sırası elde edilebilmektedir [9].

Arieh ve Kramer [10] yaptıkları çalışmada montaj işlemlerinin farklı sıralarını üretmek için bir metodoloji sunmuşlardır. Bu metodolojide montaj planlarının detaylı üretimi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, mümkün olan bütün parçaların giriş sıralarını üretmektedir. Bu sıralamalar da, hangi parçaların monte ürüne eklenebileceği tanımlanmıştır. Bu sıralar, doğrudan montajın olası kombinasyonlarına karşılık gelir ve aynı zamanda montajın iç veya dış türde olup olmadığını belirler. İkinci aşamada, bu sıralamalar ürünün alt montaj kombinasyonlarını üretmek için kullanılır. Burada bütün olası alt montaj kombinasyonları, birinci aşamada ki sıralar kullanılarak üretilir. Olası kombinasyonlar, temas kısıtlamalarına, öncelik kısıtlamalarına, çoklu eşleşme durumuna ve ayrıca teknolojik kısıtlamaya uymak zorundadır. Bu sınırlamalar, yönetilebilir bir sayı için mümkün işlem planlarının sayısını azaltarak işlem süresini kısaltmaktadır. Burada bildirilen araştırma da montaj işlemi planlama sürecini otomatikleştirmenin yanında hesaplama zorluğundan dolayı uygun montaj sıralarını üretmek zaman alıcıdır.

Baldwin ve arkadaşları [11] montaj hattı ve mekanik ürünlerin eşzamanlı tasarımı için bilgisayar destekli bir entegre sistem tanımladılar. Bu sistem, bir ürün için tüm olası montaj sıralarını kullanıcı etkileşimli oluşturan ve daha sonra kendi değerlerine bakarak kullanıcıya yardımcı olan entegre bir bilgisayar programıdır. Program, sıralamaların üretilmesi için demontaj analizini kullandıktan sonra değerlendirmede uzman yardımcılardan faydalanır. Değerlendirme, montaj sırasının durumunu veya hareketlerini, stabilitesini, bağlanma durumunu, oryantasyonunu, yeniden-stabilite ve yeniden-oryantasyon sayısını göz önüne alarak istenen ve istenmeyen sıraları üretir. Tasarımcı, bu kriterlere göre, mantıklı bir sıra seçimi veya gerekli tasarım ayrıntılandırmalarına neden olan sıraları düzenleyebilir. Öncelik bilgileri, montaj sıralarını oluşturan ve bu sıraları düzenleyen aktiviteler ilk defa yukarıda tarif edilen

program tarafından entegre edilmiştir. Program, ayrıca bilgisayar desteği olmadan pratikte uygulanabilecek bir tasarım metodolojisini vurgulamaktadır. İlk olarak, montaj parçalarının topolojik bilgisi parçaların bağlantı irtibat şemasından alınarak sıralamalar üretilir. Şekil 1.1 'de süreç şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 1.1 Erken ürün tasarımında montaj sırası tasarımı ve değerlendirme rolleri [11].

Şekil 1.2' de gösterilen örnek bir bağlantı diyagramı için, montaj kesme-setleri Tablo 1.1 de gösterilmiştir. Buradaki örnek bağlantı diyagramında beş adet parça (A, B, C, D, E) bulunmakta ve bu parçalar arasındaki ilişkiler gösterilmektedir.

Şekil 1.2 Örnek bir bağlantı diyagramı.

Tablo 1.1 Şekil 1.2 için montaj kesme setleri

Kesme Setleri		
<u>Graflar</u>	<u>N_i</u>	<u>N_i</u>
A,B,C,D,E	A	B, C, D, E
	B	A, C, D, E
	C	A, B, D, E
	D	A, B, C, E
	E	A, B, C, D
	A, B	C, D, E
	A, D	B, C, E
	B, C	A, D, E
	B, E	A, C, D
	C, D	A, B, E
	D,E	A, B, C
<u>Alt graflar</u>		
B, C, D, E	B	C, D, E
	C	B, D, E
	D	B, C, E
	E	B, C, D
	B, C	D, E

	B, E	C, D
A, C, D, E	A	C, D, E
	C	A, D, E
	E	A, C, D
A, B, D, E	A	B, D, E
	B	A, D, E
	D	A, D, E
	E	A, B, D
	A, D	B, E
	A, B	D, E
A, B, C, E	A	B, C, E
	C	A, B, E
	E	A, B, C
A, B, C, D	A	B, C, D
	B	A, C, D
	C	A, B, D
	D	A, B, C
	A, B	C, D
	A, D	B, C
C, D, E	C	D, E
	E	C, D
B, C, E	C	B, E
	E	B, C
A, D, E	A	D, E
	E	A, D
A, C, D	A	C, D
	C	A, D
A, B, E	A	B, E
	E	A, B
A, B, C	A	B, C
	C	A, B
A, B, D	B	A, D
	D	A, B
B, D, E	B	D, E
	D	B, E
B, C, D	B	C, D
	D	B, C

Montaj kesme setlerine öncelik ilişkilerini belirlemek için sorular sorulmaktadır. Sorular, bu işlemlerin tersinir ve eş olduğu kabul edilerek bir montaj veya demontaj işlemi olarak belirtilebilir. Montaj kesme setleri üretmek için algoritma girdi olarak irtibat şemasını alır. Her giriş graflarının kesme-setleri, birleşimleri giriş graflarının düğüm setleri olan ve kesişimleri boş küme olan N_i ve N_j , bütün mümkün alt montajlar tarafından belirlenerek oluşturulur. Bu çalışmada, geliştirilen program uzman bir montaj sıra sistem tasarımcısına ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca programa girdi olarak kullanıcının parçaların bağlantı irtibat sıra grafini tanımlaması gerekmektedir.

Chakrabarty ve Wolter [12] yapmış oldukları çalışmada montaj sırası planlama için yeni bir yaklaşım tanımlamaktadırlar. Bu yaklaşım da, büyük montajlar için hesaplama karmaşıklığını elimine eden ve montaj parçaları arasındaki yapısal ilişkilerin hiyerarşik bir gösterimini kullanarak montajı temsil etmişlerdir. Basit bir planlama (HMP, Hiyerarşik Montaj Plancısı) bu kavramlar temelinde uygulamaya konmuştur, analitik ve deneysel sonuçlar, yaklaşımın etkinliğini göstermek için sunulmuştur. Montajların geleneksel irtibat grafi açıklamaları bu hiyerarşinin sadece alt düzeylerinde temsil edilmiştir. Çalışmalarında, yapıların boyutları sabit tutulduğu zaman, planlayıcının beklenen zaman içerisinde polinomial çalışması gösterilmiştir ve planlama zamanı en aza indirilmiştir. Ayrıca tipik sayısal değerlendirme fonksiyonları, iyilik kriteri ve kullanılacak bir planı seçmek için bazı ağırlık kombinasyonları tarafından oluşturulurlar. Algoritmaya montaj içerisindeki yapıları ve alt yapıların hiyerarşik bir ayrışmasını girdi olarak almışlardır. Algoritma yapı kütüphanelerinin ortak yapıları oluşturmak için tercih edilen yollar hakkında bilgi içerdiğini varsaymışlardır. Algoritması düşük seviye yapılar için planlar seçerek ve daha sonra üst düzey yapılarıdaki planları oluşturmak için bunları birleştirerek, aşağıdan yukarıya planlama yapmışlardır. Algoritmada planları seçmek için değerlendirme fonksiyonları kullanmışlardır, fakat bu fonksiyonlar normalde tam bir optimizasyon sağlamamıştır. Ayrıca çalışmada tanımlanan hiyerarşik montaj sistemi, çok spesifik seçenekleri sadece sınırlı biçimde desteklemektedir.

Zorc ve arkadaşları [13] yaptıkları çalışmada, ürünlerin özelliklerinden optimal montaj sırasını elde eden prototip montaj planlayıcısı tanımlanmıştır. Planlayıcı için girdi olarak kullanılan montaj temsili doğrudan montaj hareket geometrisi ile ilgili parçalar

arasındaki konumsal ilişkilere dayanmaktadır. Konumsal ilişkiler tam bir matematiksel tanıma sahiptir ve bu nedenle planlama işlemi diğer hesaplamalar için yararlıdır. Bu çalışmada olası tüm montaj sıralamalarının uzayı bir VE / VEYA grafi tarafından temsil edilmektedir, çünkü VE/VEYA grafi, yön grafi ile karşılaştırıldığı zaman, paralel eylemleri de göstermektedir. Burada VE/VEYA grafi birbirine bağlı VE ve VEYA düğümlerini içerir. VEYA düğümleri montajları, alt montajları veya parçaları temsil eder. VE düğümleri montaj operasyonlarını temsil eder. Grafik sezgisel algoritma varyantını kullanarak en iyi sırayı aramışlardır. Arama süreci iki mantıksal adım olmak üzere, olası tüm sıraları ve en iyi birisi için arama jenerasyonunu oluşturur. Her adımda işlemin olası alternatifler kümesi bulunur, bunlar değerlendirilir ve en iyisi genişletilir.

Bu yaklaşımda çözüm bulmak için iki temel strateji kullanılır;

İleri arama (Son montaja ulaşana kadar süreç, ayrı parçalar ile başlar ve ilk ara alt montaj, ikinci...v.b. bulmaya çalışır.)

Geri arama (Sürecin son montajı ile başlar ve temel parçalara ulaşana kadar, alt montaj...v.b. bulmaya çalışır.)

Parçalar, yerçekimi düşünmeden uzayda serbestçe uçan nesneler olarak kabul edilmektedir. Hareket tipi konumsal ilişki türü tarafından temsil edilir. Sistemin çıktısı optimal montaj sırası ile montaj hareketlerinin gereksinimlerinin tanımlanmasıdır. Montaj sırası, bu aşamada, geometrik fizibilite, istikrar ve paralellik açısından değerlendirilmiştir. İstikrar her alt montaj için kontrol edilir. Uygulanan yaklaşım karmaşıklığı ile başa çıkmak, sıralamaların üretilmesi ve problem uzayının araması için etkin algoritmalar geliştirilmiştir. Burada sıralamaları üretme aşamasında ürünün geometrik özellikleri dikkate alınarak, birçok uygun olmayan sıralama üretilmemiştir.

Ko ve Lee' nin [14] çalışmalarının amacı, bir montaj prosedürünü otomatik üretmek için tasarımcı tarafından sağlanan montaj açıklamasını, otomatik olarak elde edilebildiği bir yöntem geliştirmektir. Geliştirdikleri metotta, bir montaj için montaj prosedürünü otomatik üretmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, bir montajı özellikle eşleşme koşullarından, montaj ilişkilerinden ve montaj bileşenleri tarafından tanımlamışlardır.

Burada üç sorunu dikkate almışlardır:

- Bilgisayarda montaj tarifi?
- Bileşenlerin hiyerarşik yapısı?
- Bileşenlerin hiyerarşik ağaç yapısından bir montaj prosedürünün üretimi?

Çakışma kontrolü için kullanıcıdan daha çok geometrik modelden yardım alarak yapmışlardır. Şekil 1.3 (a), (b), (c)' de bir örnek montaj için çakışma kontrolü gösterilmektedir. Bir montaj birkaç yapı gruplarına bölünmüştür her alt montaj çeşitli gruplara bölünerek her bir grubun çeşitli bileşenlerini oluşturmuştur. Bileşenler arasında relativ hareket varsa her iki bileşen farklı yapı gruplarında bulunmaktadır. Bileşenlerde doğrudan eşleşme yoksa bir alt montaj herhangi iki farklı bileşen ile gruplandırmada bulunmaktadır. Bileşenlerin eşleşme koşullarından, bir montaj prosedürünü iki adımda üretmişlerdir. Öncelikle, bir montaj içerisindeki her bileşen hiyerarşi ağacının özel köşelerine yerleştirilir. İkinci olarak, bir montaj prosedürü, kesişme kontrolünün yardımı ile birinci aşamada tanımlanan hiyerarşi ağacından üretilir.

(a)

(b)

(c)

Şekil 1.3 Başlık, alt destek parçası, pin için çakışma kontrolleri a) Başlığın süpürülmesi, b) Alt destek parçasının süpürülmesi, c) Pin' in süpürülmesi.

Demello ve Sanderson [15] çalışmalarında VE / VEYA grafları kullanarak belirli bir ürünün tüm olası montaj planlarının kompakt temsilini sunmuşlardır. Bu temsil, anlık koşullara göre eylemin üretilmesi için akıllı bir robot tarafından izin verilen montaj sisteminin esnekliğinde bir artış sağlayan verimli planlama algoritmaları için temel oluşturulmuştur. VE/VEYA grafi daha az düğüm gerektirir ve mümkün planlar için aramayı basitleştiren bir durum geçiş grafına eşdeğerdir. Yapılan çalışmada üç uygulama incelenmiştir: En iyi montaj planının ön seçimi, uygulama hatalarının düzeltilmesi ve görevlerin planlanmasıdır. Hedef düğümlerin tanımındaki bir değişiklik, görevleri düzelterek veya devam ettirmek için verilen bir parçayı bırakarak en iyi demontajın ön seçimine izin verir. Bu temsili kullanarak planlamanın verimliliği, öncelik graf temsilleri ve sabit sıralar ile karşılaştırılmıştır. Hesaplama karmaşıklığı ve depolama gereksinimleri de bu yaklaşımın olumsuz yanıdır.

Niu ve arkadaşlarının [16] yaptıkları çalışmada, montaj planlama için öncelik graflarının üretilmesine yönelik hiyerarşik yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımın temeli, bir montajın tüm bileşenleri için sınırlama yönlerinin kümelerini ve bu kümeler için öncelik ilişkilerini hiyerarşik bir yapıda belirlenmesini sağladıktan sonra mümkün sıralamaların sayısına göre her katman için tüm öncelik graflarını elde etmek ve değerlendirmektir. Bu çalışmada kullanılan montaj temsilleri eşleşme ilişki grafi ve hiyerarşik ilişki grafidir. Üretilen öncelik ilişkileri, montaj için öncelik graflarının tersten elde edildiği demontaj öncelik ilişkileridir. Yaklaşım girdi olarak eşleşme ilişki grafi ve geometrik sorgulama ve bilgi yoluyla eşleşme ilişki grafindan elde edilen hiyerarşik ilişki grafindan faydalanmışlardır. Bir montajın eşleşme ilişki grafına göre, yönsüz bloklama grafi üretmek için bir algoritma önermişlerdir. Bir montajın hiyerarşik ilişki grafları ve depolanmış sınırlı yön kümeleri kullanarak, başka bir algoritma tarafından her katman için tüm olası öncelik grafları üretilmiştir. Bir öncelik grafi tarafından izin verilen olası sıraların sayısı, belirli bir tabaka içinde optimal bir öncelik grafi seçerek hesaplanmıştır. Ayrıca, montaj için otomatik olarak optimum montaj planı belirlenmesini hedefleyen bir modelleme yöntemi tanımlamışlardır. Bu yaklaşım, önemli ölçüde planlama karmaşıklığını azaltmıştır. Geometrik öncelik ilişkilerinin üretilmesini otomatik yapar ve bunların daha kolay göz önüne almasını sağlamıştır. Ayrıca, her bir katman için tüm olası öncelik graflarını tüm montaj sıralarını tam olarak üretebilir, montaj işlemleri arasında maksimum paralellik ve esneklik korunabilir ve uygulanabilir bir montaj sırası etkili bir şekilde üretilebilir.

Sinanoğlu ve Börklü [1] yapmış olduğu çalışmada montaj sırası planlamaya graf temelli çözüm yolları önermişlerdir. Montajda yer alan parçalar ve bunlar arası ilişkiler montaj bağlantı grafi ile temsil edilmiştir. Montajda yer alan parçaların muhtemel tüm montaj edilebilirlik sıraları ise, bir yön grafi kullanılarak temsil edilmiş ve işlemdeki her montaj durumu, parça küme bölünmeleri ile gösterilmiştir. Bir montaj durumunu temsil etmeyen parça küme bölünmelerini belirlemek için; alt-montaj, stabilite, geometrik ve mekanik uygunluk gibi sınırlayıcılarından yararlanılmıştır. Uygun montaj sıralamalarının yön graf temsili oluşturulmada, graftaki hiyerarşik seviyeler dikkate alınmıştır.

Gu ve arkadaşlarının [17] yapmış oldukları “Mekanik Montaj Dizileri İçin Sembolik Sıralı İkili Karar Diyagramı (SİKD) Temsili” isimli çalışmalarında tüm montaj

sıralarının sembolik SİKD formülasyonunu göstermişlerdir. Alt montajlar, montaj durumları, montaj görevleri ve montaj sıralarını karakteristik Boolean fonksiyonları ile temsil etmişler ve yön grafi oluşturmak için prosedürler ve SİKD ları içerisinde VE/VEYA graflarıyla sunmuşlardır. SİKD tabanlı temsilin büyük avantajı tüm uygun montaj sıralarının SİKD lı temsilde depolama alanının önemli ölçüde azaltmasıdır. Şekil 1.4 a ve b' de demontaj olarak verilen montaj örneğinin montaj sıraları Şekil 1.5 a, b ve Şekil 1.6 a, b' deki gibi temsil etmişlerdir:

(a)

(b)

Şekil 1.4 Örnek bir montajın a) Demontaj görüntüsü b) Bağlantı grafi.

(a)

(b)

Şekil 1.5 a)Yön grafi b) Yön grafi için sıralı ikili karar diyagramı.

(a)

(b)

Şekil 1.6 Örnek montaj için a) VE/VEYA grafi b) VE/VEYA grafi için sıralı ikili karar diyagramı.

Çalışmalarında, sıralı ikili karar diyagramının depolama verimliliğini test etmişler ve yön grafini VE / VEYA grafi ile karşılaştırmışlardır. Tablo 1.2 ve 1.3 de sıralı ikili karar diyagramının özellikle karmaşık montajlar üzerinde, yön grafi ve VE / VEYA grafinin depolama performansını gösteren bazı deneysel sonuçlar da sunmuşlardır.

Tablo 1.2 Yön grafi ile sıralı ikili karar diagramının karşılaştırılması.

Montaj içerisindeki parça sayısı	Montaj durumlarının sayısı	Montaj görevi sayısı	Depolama alanı	
			Yön Grafi	SİKD
8	363	3107	54.2 kB	26.9
	875	7199	126.2 kB	82.2
	1365	10615	187.2 kB	132.1
10	591	6595	112.3 kB	53.5
	1116	11423	195.9 kB	116.1
	1666	16389	282.1 kB	181.7
12	847	11200	188.2 kB	87.5
	1388	17211	290.6 kB	159.5
	2624	30676	520.3 kB	324.1
13	1159	17778	295.9 kB	122.9
	1663	24466	408.3 kB	209.7
	2452	33982	569.3 kB	318.0
16	3543	97727	1582.3 kB	535.4
	6781	174176	2.76 MB	1.34
	3562	70343	1.13 MB	544.5
20	2902	70391	1.12 MB	439.1
	3967	92026	1.46 MB	672.2
	6300	137746	2.20 MB	1.2 MB

Tablo 1.3 VE/VEYA grafi ile Sıralı ikili karar diagramının karşılaştırılması.

Montaj içerisindeki parça sayısı	Düğüm sayısı	Hyperarc sayısı	Depolama alanı	
			VE/VEYA Grafi	SİKD
6	61	157	2.93 kB	2.95 kB
	59	170	3.12 kB	3.09 kB
	63	262	4.59 kB	2.67 kB
7	112	385	6.89 kB	6.84 kB
	123	605	10.41 kB	7.64 kB
	125	790	13.32 kB	6.30 kB
8	189	703	12.46 kB	13.83
	239	1739	32.16 kB	17.52
	255	2676	43.80 kB	13.98
10	1023	26710	425.34 kB	67.48
	1011	19214	308.12 kB	124.78
	1022	17033	266.14 kB	129.27
16	2040	50072	782.38 kB	354.78
	2037	61892	967.06 kB	332.52
	2047	76990	1.10 MB	239.27
20	4081	150293	2.32 MB	0.99
	4094	194887	2.97 MB	929.97
	4094	233803	3.60 MB	603.72 kB

1.2. Unsur Tabanlı Yaklaşımlar

Unsurlar günümüzde tasarım ve imalat uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakla birlikte montajda sık kullanılmamaktadır. Montaj sırası planlama, parçalar arasındaki öncelik ilişkilerini bulmak için tutucu el planlama, hareket planlama ve kararlılık analizi gibi bazı takım planlamalarına bağlıdır. Ayrıca, öncelik ilişkilerini belirlemek için imalat ve montaja ait bilgiler de gerekmektedir. Bu bilgi çoğu zaman hazır

sunulmamakta veya ürün modelinde sınırlı bir seviyede olabilmektedir. Tasarımcı ürünün modelinde sadece geometrik ve topolojik bilgi ile farklı parçaların konumu veya bunlar arası bazı basit ilişkileri temsil edebilmektedir. Kararlılık analizi hareket planlama ve tutucu planlama için gerekli olan bilgi ürün modelinden çıkarılmıştır. Çıkarılan bilgi kullanılarak ürüne ait montaj modeli oluşturulmaktadır. Montaj modeli üretildikten sonra bu montaj modeli analiz edilerek montaj sıra planlama gerçekleştirilmektedir [9].

Chao ve Chen [18] yaptıkları çalışmada bir ürünün veri yönetim sistemi içerisindeki konfigürasyonunu sistem ürün konfigürasyonu yoluyla bileşenler ile ilgili tasarımı yaparak sağlamışlardır. Montaj kuralları ve montaj sabitleri bu görevleri tamamlamaya yardımcı olmak için kullanılır. Bu çalışmada, ürünlerin montaj işlemleri yoluyla montaj kısıtlamaları ve montaj kurallarının toplanması konuları incelenmiş ve daha sonra bir montaj modeline entegre edilmiştir. Bu model, bir ürünün genel tasarımının temsilinde kullanılmıştır. Ayrıca montaj modeli oluşturmak için modelleme prosedürlerinin kümesi önerilmiştir böylece bir kullanıcı montaj ilişkilerini analiz etmek ve ürünün montajlanabilirliğini kontrol etmek için kullanılabilir. Bu çalışmada, bir ürünün montajının analizi yoluyla, ürün bileşenleri ve bileşenler arasındaki ilişkilerinde dahil olduğu bir montaj diagramı üretilebilir. Montaj sınırlamaları bileşenler arasındaki ilişkilerden türetilir. Bu model ile, her bileşenin seçilmesi ve doğrulanması bir ürünün yapılandırılması işlemi kullanılarak yapılabilir böylece bir tasarımcı daha verimli ürünler tasarlayabilir. Bu çalışmada bir montajın fonksiyonel konuları üzerine odaklanılmıştır. Ürünün fonksiyonları ve bileşenleri analiz edilmiştir ve ürünlerin montajlanabilirliği ürün konfigürasyon yoluyla incelenmiştir.

Werling ve Wild [19] çalışmalarında model tabanlı montaj planlama için yararlı olabilecek yeni bir ürün modeli sunulmuşlardır. Kullanılan modellerin çoğunluğu gerçek iş parçasına benzemektedir ve genellikle özel algoritmalar ile yapılmıştır. Anlatılan model parçaların daha doğru ve daha esnek bir temsilini sağlayabilmişlerdir. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır, birinci kısımda geometri ve topoloji tanımlanırken, diğer kısımda bir nesnenin teknolojik özellikleri tanımlanmıştır. Geometrik parçayla ilgili, model oluşturmak üzere, ikiyüzlü ve analitik yaklaşımlar, birleştirmeyi önermişlerdir. Böylece iki temsilde avantajlardan yararlanabilmişlerdir. Teknolojik

modeli fiziksel özellikleri ve form özellikleri temsili kapsar. Bu temelde, ağırlık, renk ve malzeme özellikleri gibi teknolojik veya fiziksel verileri kullanabilmişlerdir. Bu tür verileri kapsamaları için, özel bir nitelik kavramı geliştirmişlerdir. Geometrik olmayan bilgileri depolamanın basit bir yolu, modelin geometrik düğümlerinde doğrudan kayıt alanları kurmaktır. Bu, önemli bir dezavantaj, esneklik kaybıdır. Burada sunulan veriler, modeli üç farklı yönüyle ele alan bir karışımdır. İlk farkı şekil gösterimlerini birleştirmesi, ikinci farkı iç temsilleri kullanılması ve üçüncüsü ise hem geometrik hem de teknik bilgileri tek bir modelde olmasıdır. Montaj kümesinin modelleri arasında herhangi bir çakışma olup olmadığını kontrol ederek, görev özellikleri bir doğrulama işlemi ile başlar. Modelin uygulaması, montaj sırası planlama çerçevesinde gösterilmiştir. Bu nedenle, planlama sonuçlarının kalitesi kullanılan modelin kalitesiyle yakından ilgilidir. Bu modelin önemli parçası, ürün modeline monte edilecek parçalar hakkında bilgi içermesidir. Burada modeli kullanılarak algoritma azaltmak amacıyla, parçaların gerçek geometrileri genellikle çokyüzlü olarak kabul edilmiştir.

Eng ve arkadaşları [20] yaptıkları çalışmada bir özellik tabanlı modeli montaj sırası planlama otomasyonu için önermişlerdir. Bir ürün için temel montaj modelleme stratejisi, bileşenlerinin eşleşme özelliklerine dayanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, BDT datası ile bir ürünün montaj planlamasını entegre etmek için doğru ve pratik montaj sırasını ve planlama sürecini yürütmek için bir yazılım sistemi oluşturmaktır. Bu çalışma da, montaj planlamasında bir demontaj yaklaşımı kullanılmıştır. İki eşleşme özellikleri arasındaki serbestlik derecesi bilgisi, kinematik koşulları karakterize etmek için kullanılmıştır. Parçaları bir araya getirerek bir sıra oluşturmak yerine, bir ters işlem uyarlanmıştır. Bir montaj analiz süreci parçaları demonte ederek son montajdan devam eder. Geçerli bir montaj sırası için en temel gereksinim montajın geometrik fizibilitesidir. Ayrıca mekanik bir ürünü tarif etmek için eşleşme özellikler kümesi kullanılmıştır. Eşleşme özellikleri temas durumundaki yüzeylerdir. Bunlar düşük seviyeli çokgen yüzlere ve üst düzey özelliklere sahiptir. Serbestlik derecesi kavramı, bir montaj işleminin kinematik karakterizasyonu için kullanılır. Özellikle de, iki eşleşme bileşenlerinin özellikleri arasında serbestlik derecesi kurulur. Daha sonra bu değerler özellik matrisi oluşturmak için kullanılır, bu da kinematik çift irtibat şeması kurulumunda kullanılır. Bir montaj sırası planlama özelliklerini kullanarak, BDT modelleri ile montaj planlamanın daha iyi entegrasyonu yapılabilir. Sınırlayıcı kutu

teknîği belirli bir bileşen için genel montaj uygulanabilirliğini test etmek için kullanılmıştır. Bu işlemler geometrik fizibilite testi oluşturmaktadır. Geometrik fizibilite testleri birçok montaj öncelik ilişkilerini karşılamak için kanıtlanmış olmasına rağmen, bunlar, bazı durumlarda yeterli değildir.

Masclé [21] yapmış olduğu çalışmada bilgisayar destekli montaj sistemi için montaj özelliklerinin bir temsiliyle ilgilenen ve etken teknoloji yazılımı kullanılan bir yaklaşım önermiştir. Sistem kullanıcının katı modelleyiciden kaynaklanan geometrik gösterimi net olmayan fonksiyonel özelliklerin anlamını çıkarmasına izin vermek için tasarlanmıştır. Montaj işleminin her adımında ürün modellenmesi sağlanabilmektedir. Çalışmada oluşturulan sistem içinde tanımlanan veri tabanı yapısı, sistemin otomatik olarak monte durumu olduğunu ve montajın yapısını karşılaştırarak her durumun göreceli özelliklerinin anlaşılmasını sağlayan bir sıralama yapısına dayanmaktadır. Sistemde kullanılan nesne yönelimli yapı, aynı zamanda, kullanıcının müdahale etmesine olanak sağlar ve çeşitli durumların yapılarını yeniden üretir. Bu sayede, öncelikle, montaj sıralarının üretilmesi ve değerlendirme kriteri sağladıktan sonra ikinci olarak montaj kaynaklarının oluşturduğu bir modül ile bir arabirim sağlar. Önerilen model kullanılarak hedefleri karşılamak için, bu çalışmada çeşitli montaj aşamaları incelenmiştir ve her bir aşama için montaj planlayıcısına yardımcı olmak için, sistem tarafından üretilen özelliklerin tipleri belirlenmiştir.

Xiaoming ve Pingan [22], çalışmalarında nesne yönelimli metot ile belirlenen montaj işlem modelini ve montaj ilişki modelinin entegre çerçevesini kullanarak otomatik montaj sırası planlamaya sistematik bir yaklaşım sunmuşlardır. Montaj ilişki modeli, montajı oluşturan bileşenler, irtibatlar, temaslar, sınırlama ve girişim matrisleri açısından bileşenlerin arasındaki geometrik ilişkileri tanımlayan montajın statik modelidir. Montaj işlem modeli, mevcut durumlarda ve alt-işlemlerde, montaj işleminin tüm olası alternatiflerini temsil eden montajın dinamik bir modelidir. Önerilen yaklaşım ile, bir ürünün tüm uygun sıraları oluşturulabilir, ve optimum sıralar her bir sıra için değerlendirilerek tespit edilebilir. Montaj ilişki modeli ve montaj işlem modeline dayalı bir sistematik montaj sırası planlama yaklaşımının başlıca özellikleri ve avantajları, esnek montaj yönlerinin bulunması ve önerilen montaj yönünde daha az hesaplama sayesinde pratik uygulamalar için uygun bir yaklaşım sağlamasıdır. Ayrıca montaj

bilgileri verimli gösterimi gerçekleştirilebilir ve otomatik hesaplama prosedürü ve BDT modeli verileri sayesinde, montaj ilişki modeli otomatik olarak oluşturulabilir. Daha sonra tüm olası sıralar oluşturulabilir, ve optimum sıra seçilebilir. Uygulanabilir sıraların kapsamlı değerlendirilmesi gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşımda, optimum sıra durumları, alt-süreçleri ve hatta bütün planları, örneğin, alt işlemlerin karmaşıklığı, bütün sıraların sürekliliği, v.b. değerlendirerek seçilebilir. Ancak, yaklaşım, tüm montaj işlemleri öngördüğü yönler boyunca işlenir olduğu varsayımına göre çalıştığı için; uygulamada bazı sınırlamalar mevcuttur.

Martinez ve arkadaşları [23] “Optimum montaj planı oluşturma: Basitleştirilmiş bir yaklaşım” isimli çalışmalarında montaj planlarının üretiminde demontaj yöntemini kullanmışlardır ve yeni bir konsept için ikili ağaçlar denkliği ile montaj işleminde yeni bir temsil üzerinde durmuşlardır. Bu yaklaşım, temsili olmayan tüm gereksiz montaj planlarının minimal listesinin oluşturmaya olanak sağlar. Plan üretimi, montaj işlemi kısıtlamaları ve plan düzeyi performans kriterleri tarafından yönetilmektedir. Kullanıcı ara yüzü, önerilen şeklin uygun montaj işleminde bilgi yakalama ve temsili gerçekleştirilmektedir. Önerilen yaklaşım, çeşitli montaj yöntemleriyle birlikte farklı ortamlarda kullanılmak üzere esnekliğe sahiptir.

1.3. Matris Tabanlı Yaklaşımlar

Montaj veya demontaj sıralarının otomatik belirlenmesi için ürünü oluşturan parçalar arasındaki konum ve bağlantı bilgilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu ilişkisel verinin elde edilmesi için genel kriter, kartezyen koordinat sisteminin üç eksen boyunca parçaların BDT ortamında hareket ettirilmesinden ibarettir. Bu hareketler diğer parçalar ile çarpışmaların belirlenmesine ve demontaj sıralarının elde edilmesine izin verir. Basit bir hareket ettirme ile algılanamayan bağlantılar ile ilgili bilgiler BDT ortamında tasarım aşamasında kullanıcı tarafından sağlanabilmekte ve uygun bir şekilde depolanabilmektedir. Daha kolay ve etkin bir temsil elde etmek için BDT ortamından çıkarılan tüm bilgi bir matematiksel modelde yapılandırılmaktadır. Böylece, bir ürünün parçaları arasındaki çakışma, temas, bağlantı, hareket, VE/VEYA ilişkileri matris şeklinde temsil edilerek montaj planlamaya girdi olarak kullanılabilir [9].

Lee ve Kumara' nın [24] çalışmalarında bir şema tasarım aşamasından önce karmaşık bir montaj tasarımını analiz etmeyi ve montaj sıralarının verimli bir şekilde üretilmesi üzerinde durmuşlardır. Tasarımcının dışarıdan müdahalesiyle tercih modülü kümesi elde edilir. Kümenin modüleritesi test edilir ve hiyerarşik montaj sıraları oluşturmak için kullanılır. Modüller için tasarımcının tercihini yansıtacak bu şema tarafından sıralamalar üretilir ve bir montaj tasarımından bir montaj hattı düzenini anlamayı kolaylaştırır. Konsept temelinde sıralamalar; Tamamen demontaj durumları, bireysel demontaj parça değiştirme, grup demontaj parça değiştirme için üretilmiştir. Çalışmalarında demontaj sisteminin tek bir çeviri hareketine sahip olduğu kabul etmişlerdir. İki boyutlu düzlemde X ve Z eksenleri boyunca 4 yönlü demontajı dikkate almışlardır. Her bir parça tüm demontaj yönleri için incelenmiş ve süpürme tablolarına yazılmıştır. Daha sonra montaj ve demontaj sıralarını matrisler ve süpürme tablolarını kullanarak üretmişlerdir.

Dini ve Santochi' nin [25] geliştirdikleri metot üç matrisin tanımlanması (etkileşim matrisi, temas matrisi ve bağlantı matrisi) yoluyla elde edilen ürünün matematiksel bir modeli temeline dayanır. Mümkün alt montajlar bu matrisler için geçerli bazı matematiksel koşullar tarafından belirlenmiştir. Her bir alt montaj ve ürün için tüm olası montaj sıraları üretilir ve matris sayıları bazı optimizasyon kriterlerine göre azaltılabilir. Bu nedenle, bu araştırmanın amacı, bilgisayar programları tarafından yönetilmesi kolay, bir ürünün temsili için matematiksel koşulları doğrulama yoluyla, alt montaj ve sıralarının tespitini sağlayan bir matematiksel model önermektir.

Zhang ve arkadaşları [26] otomobil gövdesinin montajı için tüm uygun montaj sıralamalarını otomatik olarak türetmek için bir prosedür açıklanmışlardır. Bu prosedür otomobil gövdesinin bağlantı ve eşleşme matrisleri yoluyla elde edilen bir matematiksel modeli temeline dayanır. Bu iki matris bileşenleri arasında öncelik kısıtlaması bilgisini ve alt montajları temsil eder. Mümkün alt montajlar bu matrisler için geçerli bazı matematiksel koşulları karşılanmasıyla otomatik olarak tespit edilebilir. Her alt montaj ve tüm ürün için, mümkün montaj sıraları ilk bağlantı alt matrisi ve anlaşmalı matrisi yeniden düzenlenmesiyle üretilir. Uygun montaj planları bu sınırlama grafik çözümü ile oluşturulabilir. Otomobil gövde sistemi birçoklu-seviyeli metal parçaları, alt-düzeneği oluşturmak üzere sonraki aşamadaki montaj seviyelerini oluşturmak üzere birleştirilmiş

hiyerarşik sistemidir. Şekil 1.7' de geliştirilen program için montaj sistemi görülmektedir.

Şekil 1.7 Araba gövdesi montaj işlemi ve arka zeminin ana parçaları.

Şekil 1.8 Arka zemin alt montajının yönlenmiş grafi.

Şekil 1.8' te bağlantıların iki tipini göstermektedir, bileşenleri arasında doğrudan (fiziksel temas olan) bağlantı ve bir kukla bağlantı (fiziksel temas olmayan). Düz çizgi doğrudan bağlantıyı, noktalı ok hattı kukla bağlantıyı temsil eder. Bileşenlerin ilk numaralandırması rastgele yapılmaktadır. Graf teorisine göre, yön grafları içerisinde gösterilen ilişkiler $R = [r_{ij}]$, r_{ij} bir bağlantı matrisi içine bir-bir eşlenebilir. Şekil 1.9' da gösterilen matriste 1 değerinin anlamı i. parçanın j. parçaya direk olarak teması olduğu ve i' nin j' den önce montaj olabildiğini, -1 değerinin anlamı ise i. parça mutlaka j. parçadan sonra montaj olmalı, 0 değeri ise iki parça arasında bağlantı olmadığı, λ simgesi kukla bağlantıyı temsil etmekte ve i parçası j parçasından önce montaj edilmeli, $-\lambda$ yine kukla bağlantıyı temsil etmekte ve i parçası j parçasından sonra montaj edilmeli anlamlarını taşımaktadırlar.

Şekil 1.9 Arka zemin alt montajının bağlantı zemini.

Gottipolu ve Ghosh [8] yapmış oldukları çalışmada bir ürünün montajı için kullanılmak üzere en uygun sırayı belirlemek amacıyla, ilk önce bütün olası sıraları tesbit etmişler ve daha sonra bu sıraları değerlendirerek en iyi sırayı seçmişlerdir. Fakat genellikle uygun sıraların çok büyük sayıda olmasından dolayı, etkin ve kompakt bir temsil metodu gerekli gösmuşlerdir. Montaj sıra grafi olarak isimlendirilen bir temsil kullanmışlar ve daha sonra nitel ve nicel kriterleri kullanarak bunların değerlendirilmesini bu çalışmada sunmuşlardır. PADL-2 isimli katı modelleme paketi, geometrisi ve dünya koordinat

uzayında konumları temsil edilen montajın bileşenlerinin geometrik modellerini oluşturmak için kullanılmıştır.

Montaj geometrik model ilişkisel bilgi çıkarımında iki adım vardır:

- Bileşenlerinin her çifti arasındaki temas durumunun belirlenmesi.
- Diğer her bir bileşenin mümkün demontaj yönlerinin belirlenmesi.

Montaj bileşenlerinin çiftleri arasında bağlantı temas fonksiyonları olarak ifade edilebilir. Öncelik kısıtlamaları bazı bileşenleri diğerlerinden önce monte edilmesini temsil eder; aksi takdirde daha sonra montaj işlemine engel olacaktır. Bu sınırlamalar doğruluk tabloları içine temas ve hareket işlevlerini temsil eder ve sonra boolean cebri ilkelerinin uygulanması ile doğrulanır. Sıraların temsilinde montaj sırası grafi isimli yeni bir metot bu çalışmada sunulmuştur. Montaj sırası grafi, irtibat sırası grafları ile bazı ortak özelliklere sahiptir. Bu çalışmada sunulan montaj sırası graf, etkili ve bir ürünün montajı için kullanılabilen tüm uygun sıraların temsili için kompakt bir yöntemdir.

Ciszak [27] makine parçalarının ve kümelerinin montaj sıralarının bilgisayar yardımıyla belirlenmesi isimli çalışmada graf teorisi ve sezgisel çok amaçlı optimizasyon yöntemlerini kullanarak makine parçaları ve kümelerinin montaj sırasının belirlenmesi için yeni bir konsept sunmuştur. Montaj sıralarını üretebilmek için iki tür matris den (çarpışma matrisi ve montaj matrisi) yararlanmıştır. Grafik teorisinin yanı sıra yager optimizasyon modeline göre en avantajlı montaj sırasının seçimi ile oluşturulan matematiksel ürün modeline göre, makine parçalarının ve kümelerinin mümkün montaj sıralarının oluşturulması için kullanılan algoritmaları incelemişler ve ayrıca simülasyon ve BDT sistemlerini sanal ortamda kullanarak, bağlantı işlemini görselleştirme algoritmasını sunmuştur. Bir ürünün en avantajlı teknolojik montaj işlemini seçmek için montaj sırası ile ilgili olarak ilk aşamada grafik teorisi yoluyla kurulan kabul türevlerini uygulamıştır. Analizler ve hesaplamalar, yager yönteminin olumlu sonuçlar verdiğini ve kullanılabılır olduğunu göstermiştir.

1.4. Optimizasyon Teknikleri Kullanan Yaklaşımlar

Son yıllarda optimizasyon tekniklerinin montaj planlamada kullanılmasıyla optimum montaj sıralarının ürünün BDT modeline bağlı kalmaksızın türetilmesine imkan sağlanmıştır. Montaj planlamada kullanılan optimizasyon teknikleri, tavlama benzetimi ve genetik algoritmalar olarak sınıflandırılabilir. Tavlama benzetimi, optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan bir sezgisel yaklaşım olup montaj planlamada sık kullanılmamaktadır. Metallerin tavlama işlemine benzediğinden bu ismi almıştır. Katı cisimlerin özellikle metallerin soğurken mükemmel atomik dizilişlerini örnek alan optimizasyon tekniklerinin en basitidir. İçerisinde rastgelelik barındırır. Soğutma işlemi bu algoritmada daha iyi sonuçların bulunmasını sağlayacak yeni komşu çözümlerin türetilmesini sağlayan üstel bir ifadedir. Bu yöntem yerel en uygun çözümleri elimine etmek için iyi bir yöntemdir. Son yıllarda montaj planlamada sıkça kullanılan GA' lar (genetik algoritma) ise süreci doğal evrime benzetir. Bu nedenle üreme, çaprazlama, mutasyon gibi doğal evrimde kullanılan işlemcileri içerir. GA, çözüm bilgisinin hiç olmadığı veya çok az olduğu bir durumla aramaya başlar. Çözüm çevreden gelen etkileşime ve genetik işlemcilerle bağlıdır. GA, aramaya paralel bir şekilde, birbirinden bağımsız noktalardan başlar, dolayısıyla alt en uygun çözümlere takılma olasılığı azdır. Bu sebepten GA, karmaşık arama problemleri (birden çok alt çözüm kümesi olan) için en iyi optimizasyon tekniği olarak bilinmektedir [9].

Lazzerini ve Marcelloni [28] yaptıkları çalışmada montaj planlarını oluşturmak ve değerlendirmek için bir genetik algoritma önermişlerdir. Uygulanabilir bir montaj sırası kalitesi aşağıdaki üç optimizasyon kriterine göre değerlendirmiştir;

- (i) Ürün yönelimindeki değişikliklerin en aza indirilmesi;
- (ii) Yedek tutucuları azaltmak ve
- (iii) Teknolojik olarak benzer montaj işlemlerini gruplama.

Bu çalışmada sadece dikey eksen boyunca parçaların monte edilebilir olduğu varsayılmıştır. Bu durum, robot işlemlerini gerçekleştirmek için olanaklı yönler boyunca alt montaj sorununu ortaya çıkarmaktadır. Montaj işlemi sırasında, tek parça kavranır ve montaj hattı içerisine yerleştirilir. Başlangıç düğümünden hedef düğüme her yol, her işlem için belirli bir kombinasyon ile, tek bir montaj sırasını temsil eder. İlk arama alan azaltma öncelik ilişkilerine dayalı montaj sırasının bazı olası pozisyonları, her bir işlem tahsis edilerek elde edilmiştir. Arama stratejisi, toplam maliyeti en düşük

olan uygun bir sıraya denk gelen yolu bulmayı amaçlamaktadır. GA tarafından üretilen sıralar için boşluk arama yöntemi tarafından bulunan montaj sıraları karşılaştırılmıştır. Bu GA uygun bir sıraya yakınsamakta olduğu durumlarda % 70 üzerinde, bu problemin uygunluk alan arama yöntemiyle üretilen sırasının daha yüksek olduğu görülmüştür. Daha sonra, alt montajlar için GA uygulanmasıyla elde edilen en iyi çözümleri kombinasyonlarından oluşan bir başlangıç popülasyonundan başlayarak tüm montajlarda GA çalıştırılmıştır. Bu temsil, montaj işlemleri, tutucu seçimi, ve yol dizisi tarafından üretilen tüm çözüm uzayını kapsayabilir. Bileşen parçalar tek bir bileşen veya alt montaj olabilirler. Başlangıç düğümünden hedef düğümüne her yol, her işlem için belirli bir kombinasyon ile, tek bir montaj sırasını temsil eder.

Hong ve Cho' nun [29] bir genetik algoritma tabanlı yaklaşımı robotik montajda kullanılmak üzere montaj sıralarının üretimi için önermişlerdir. Önerilen metot birey olarak montaj maliyetiyle ilgili uygun bir montaj sırasını göstermektedir ve montaj sistemlerinin tasarımı içinde verimliliğin artırılması ve montaj maliyetlerinin azaltılması için en uygun montaj sıralarının belirlenmesi bu çalışmada esastır. Bireysel genlerin kümesinden oluşan ve montaj maliyeti ile ilgili bir uygunluk atanır. Daha sonra, montaj sıraları popülasyonun evriminden kaynaklanan güçlü olan bireyler belirlenir. Popülasyonda bireyler çok sayıda oluşmaktadır, bunların her biri, bir gen numarasına sahiptir. Bu metotta, bir montaj sırası bireysel olarak birleştirme maliyetleri ile ilgili bir uygunluk atanarak temsil edilmiştir. Bir ürünün robotlu montaj için de uygun olduğu kabul edilir. Bu bölümde, bir popülasyonun tekrarlanan evrimle gelen en yüksek olan bireyin bulduğu bir genetik algoritma tanımlamaktadır. Sonuçta, montaj maliyeti en aza indirerek önerilen yaklaşımın başarıyla, robotik montaj sıraları oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Smith ve Smith [30] yapmış oldukları çalışmada genetik algoritma arama özelliklerini analiz ederek, yerel minimum, erken yakınsama azaltılması için yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmalarında geleneksel temel genetik algoritmalar uygunluğuna dayalı yeni nesil montaj sıralarını tercih etmişlerdir çünkü, geleneksel genetik montaj planlamacıları, yerel-optimal çözümler de erken birleştiğini göstermişlerdir. Çalışmada gelişmiş genetik montaj planlayıcısı geleneksel bir genetik algoritma kullanan bir montaj planlayıcısı üzerinde önemli ölçüde geliştirilmiş arama özellikleri göstermiştir. Özellikle, yeni planlayıcısı optimum veya yakın optimum montajda daha güvenilir planlar ve temel bir genetik algoritma kullanan bir montaj planlayıcısından daha hızlı,

yüksek kaliteli çözümler sunmaktadır. Uygunluk bazlı seçim, yavrular (veya anne ve babanın), her genetik algoritma neslinin sonunda güçlü yerel-optimal çözümlere doğru arama sınırlanır. Gelişmiş genetik montaj planlayıcısı geleneksel bir genetik algoritma kullanan bir montaj planlayıcısı üzerinde önemli ölçüde geliştirilmiş arama özellikleri gösterir. Fakat çalışmanın bir dezavantajı gelişmiş montaj planlayıcısının başlangıçta herhangi bir montaj sırası gerektirmesidir.

Smith [31] genetik montaj planlamacılarındaki erken yakınsamayı azaltmak için iki yeni genetik operatör tanıttı. Erken montaj planlamacıları, graf arama algoritmalarını kullanılır. Graf arama montaj planlamacılarında öncelik, bir montajın (irtibatın) tüm bileşenleri arasındaki bağlantıları bulmak ve irtibat graf oluşturmaktır. Şekil 1.10' da bir yapı ve bu yapıyla ilgili irtibat grafi gösterilmiştir.

(a)

(b)

Şekil 1.10 Bir yapı ve bu yapıyla ilgili irtibat grafi a) örnek montaj sistemi, b) montaj sisteminin irtibat yapısı.

Sonra, graf-arama planlamacıları iteratif kesme-setleri algoritmalarını kullanarak grafa çözümler ve olası tüm yapı gruplarını bulur. Dört genetik operatör kullanan gelişmiş bir genetik montaj planlayıcısı elemanlarını: montaj planı kodlama, uygunluk fonksiyonu, genetik operatörleri ve montaj planlama modeli, geometrik ve fiziksel kısıtlamaları işlemek için kullanmıştır. Küresel-optimal çözümler yerine, yerel optimal erken yakınsamaları azaltmak için önerilen planlayıcı tanıtmış ve iki yeni genetik operatör (kes-yapıştır ve kır-birleştir), yerine sadece çaprazlama ve mutasyon kullanmıştır.

Chang ve diğerlerinin [32] yapmış oldukları çalışmada, bir yapay bağıklık sistemi (YBS) algoritmasını montaj planlama sorununu çözmek için önemişlerdir. Ayrıca bu algoritma performans açısından rehberli-yerel arama algoritması ve memetik algoritma ile karşılaştırmışlardır. Böyle bir algoritmanın (YBS) iki avantajı olduğu görülmüştür. Öncelikle, uygun başlangıç çözümler üretmek için komşuluk listesi kullanılmış ve sonra genetik algoritmalar çaprazlama ve mutasyon mekanizmaları içerisinde çözüm arama

kalitesini yükseltmek için kullanılmıştır. Bu sayede montaj sırası planlama problemlerinin geleneksel bağışıklık algoritmalarına göre daha iyi çözüm sunacağı ve daha fazla etkili olacağı bu çalışmada gösterilmiştir. Şekil 1.11 YBS, rehberli-ga ve memetik algoritmaların karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 1.4 Mühendislik bilgi için benzerlik matrisi.

	C ₀	C ₁	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
C ₀	---	0.67	0.33	0	0.33	0.33	0.67	0.67
C ₁	0.67	---	0.33	0	0.33	0	1	0.67
C ₂	0	0	0.67	1	0.33	0.67	0	0
C ₃	0.33	0.33	---	0.67	0.67	0.33	0.33	0.33
C ₄	0	0	0.67	---	0.33	0.67	0	0
C	0.33	0.33	0.67	0.33	---	0.33	0.33	0.33
C ₆	0.33	0	0.33	0.67	0.33	---	0	0
C ₇	0.67	1	0.33	0	0.33	0	---	0.67
C ₈	0.67	0.67	0.33	0	0.33	0	0.67	---

Şekil 1.11 YBS, rehberli-ga ve memetik algoritmaların karşılaştırılması.

Zhou ve arkadaşları [33] çalışmalarında genetik algoritma (GA) ile bakteriyel kemotaksis (BK) birleştirerek montaj sırası planlama için yeni bir bakteriyel kemotaksis genetik algoritma tabanlı bir hibrid algoritma sunmuşlardır. Bu çalışmada her montaj sırası genetik operatörler tarafından manipüle edilebilen bir kromozomun içerisine kodlanmıştır. Kromozom bölgesindeki her bir gen, çeşitli hareketlerin davranışlarını ve genetik operatörlerin özelliklerini etkileyebilen bir bakteri olarak kabul edilmiştir. Genetik operatörler özelliklerinin içine bakteriyel kemotaksis enjekte ederek, bu evrim sürecinde nüfus çeşitliliğini depolayabilmişlerdir. Genel genetik operatörler bakterilerin çeşitli hareket davranışından yararlanabilen bakteriyel kemotaksis algoritması ile entegre edilmiştir. Sonuç olarak bakteriyel kemotaksis genetik algoritma tabanlı hibrid algoritma yerel optimal çözümler için de yakalama olasılığı azalır ve ilk nüfusun etkisi, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları parametreler üzerine daha az bağımlı olan çözüm arama kalitesini yükseltir. Şekil 1.12 İki boyutlu montajda genetik algoritma tabanlı hibrit modelin maksimum uygunluğa karşı popülasyon grafiği verilmiştir.

Tablo 1.5 Genlerin yeniden düzenlenme süreci.

	gen[1]	gen[2]	gen[3]	gen[4]
Orijinal Kromozom	p_1 1 1 p_2	p_4 1 3 p_3	p_2 0 2 p_1	p_3 1 3 p_4
k=1	p_4 1 3 p_3	p_2 0 2 p_1	p_1 1 1 p_2	p_3 1 3 p_4
k=2	p_2 0 2 p_1	p_4 1 3 p_3	p_1 1 1 p_2	p_3 1 3 p_4
k=3	p_2 0 2 p_1	p_1 1 1 p_2	p_4 1 3 p_3	p_3 1 3 p_4
k=4	p_2 0 2 p_1	p_1 1 1 p_2	p_3 1 3 p_4	p_4 1 3 p_3

Şekil 1.12 İki boyutlu montajda genetik algoritma tabanlı hibrit modelin maksimum uygunluğa karşı popülasyon grafiği.

1.5. Kural Tabanlı, Uzman Sistem Kullanan Yaklaşımlar ve Diğerleri

Uzman sistemler genelde fazlaca uzman yardımına ihtiyaç duyan tasarım, imalat uygulamaları ve montaj gibi oldukça çok karar gerektiren problem çözümlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu tür bir montaj planlama sisteminde herhangi bir montaj analizi kullanıcı etkileşimli olarak yapılarak ürüne ait montaj sıraları elde edilebilmektedir. Üretim kuralları oluşturmak için bilgi tabanında temsil edilen montaj bilgisi otomatik montaj planlamaya izin verir [9].

Steven ve Lai [34] yapmış oldukları çalışmada ürün montajının analizi ve geliştirilmesi için bir bilgi tabanlı uzman tasarım sistemi sunmuşlardır. Sistem, ürünler için analiz yapar ve tasarım kullanma sadeliği için danışmanlık sağlar. Program dört farklı modül kullanılarak oluşturulmuştur. Montaj metodu ilk olarak üretim fonksiyonları kriterleri tarafından belirlenir. Daha sonra montaj verimliliğini elde etmek için manuel veya otomatik olarak montaj analizi yapılır. Montaj verimliliği ve parçanın özelliklerine

dayanarak, tasarım geliştirmeleri, ürün montajını geliştirmek için önerilmektedir. Burada sunulan montaj sistemi için bilgi tabanlı tasarım prolog programlama dilinde yazılmıştır. Ürönlere ve ilgili bileşenlere ilişkin bilgiler tasarımcıdan sorgu seansları aracılığıyla toplanmıştır. Bu bilgiler, ürünü analiz etmede ve tasarım parametrelerinin hesaplanmasında kullanılır. Bilgiler daha sonra farklı tasarım modülleri tarafından erişilebilir bir veritabanında saklanır. Nitel yönergelerden bazıları ilk montaj yöntemini seçmek için kullanılır. Manuel montaj yönteminde ürünün özellikleri sistematik olarak incelenir ve tasarımı etkin olarak hesaplanır. Verim, tasarımın değeri için kullanılır. Bu, parçanın montaj içinde diğeri parçaların ortadan kaldırılması ya da kombinasyonu için bir aday olup olmadığını belirlemek için kullanılabilir. Otomatik montaj analizi işleminde ise montaj maliyeti ve montaj verimliliğini tahmin etmek için parçanın özelliklerini sistematik bir sınıflandırmasını içerir. Bu otomatik bir montaj makinesine yerleştirilmesi için toplu olarak otomatik parçanın işleme ve doğru yönde onu iletmek için (1) maliyet tahmini, (2) montaja otomatik olarak parçayı eklemek için ve herhangi bir ek işlem maliyetin tahminine ve (3) her parçanın montajının diğeri tüm bölümlerden ayrı olup olmadığı konusunda bir karar da dahil olmak üzere üç önemli adımı içerir. Ürünün yeniden tasarımı için uygulanan ilk kriter en az parça sayısıdır. Montaj sürecinde, parçanın kullanımı ve yerleştirilmesi için zaman hesaplanır. Montaj analizleri tarafından üretilen parça veritabanları yeniden tasarım danışmanı için girdi olarak verilmiştir. Veri, toplam maliyet ve toplam montaj süresi hesaplamak için etkin bir şekilde kullanılır. Büyük oranda, sistem iyi bir uzman tasarım sistemi gibi gereksinimleri karşılar.

Demoly ve arkadaşları [35] “Montaj Sırası Planlama Ve Ürün Yapı Mühendisliği İçin Montaj Odaklı Tasarım Sistemi” isimli çalışmalarında eş zamanlı ürün tasarımı ve montaj sırası planlama aşamalarını dikkate alarak, yeni bir fonksiyonel ürün yaşam döngüsü yönetimi (YDY) stratejisi olarak bir montaj odaklı tasarım (MOT) yaklaşımı için yeni bir sistem açıklamışlardır. Çalışmanın temel amacı özellikle ürün yapılanması için yaşam-odaklı ürün geliştirme sürecini desteklemek ve montaj kapsamında bilgi sunmak için montaj işlemi bilgisi ile ön tasarım aşaması halinde montaj sırasını tanımlamaktır. Önerilen çerçeve kuralları montaj için tasarım (MİT) ile ilgili sınır koşulları entegre bir matematiksel modele dayalı yeni bir algoritma ile vurgulamaktadırlar. Bu çerçevede, bir YDY sistemi için montaj odaklı yaklaşım modülü

göz önüne alınarak PEGASUS olarak isimlendirilen yeni bir sistem uygulamaya koymuşlardır. İlk önce bir ürünün yapısından başlayarak, ilişki fonksiyonları ve önceden tanımlanmış gereklilikleri, ürün mimarının tahmini ağırlığının tarif edildiği ürün bileşenlerinin arasındaki temas ilişkileri ve montaj çiftleri anlatan bir irtibat grafi tanımlamışlardır. Ürün mimarı tarafından tanımlanan irtibat grafına dayanarak, montaj planlayıcısı montaj çiftleri ile ilgili her kişi ilişkisi için bir montaj işlemi atamaktadır. Bunun sonucu olarak, planlayıcı öncelik kısıtlamaları getirerek yönlendirilmiş bir graf tanımlar. Ürün mimari ve montaj planlamacısı tarafından tanımlanan yönlendirilmiş grafa dayanarak, ergonomist tanımlanan tespit montaj işlemlerini açıklanmaktadır. Ayrıca, ergonomist kararın gelecekte yapı gruplarının seçimi için kriter yapma gibi bileşenin kütle ve zaman kısıtlamaları ve sınırlamaları tanıtmıştır. Yönlendirilmiş graf algoritması için ilgili giriş bilgileri bir temas matrisine dönüştürülür. Algoritma alt montaj türleri ile ilgili alt-matris türleri alt-entegre ve çeşitli boyutları ile çeşitli alt montaj alternatiflerini üretir. Montaj planlayıcısı ergonomi ve montaj süreci mühendisliği ile ilgili hesap kriterleri dikkate alarak alt montaj katmanlarını yönetir. Önerilen yaklaşım ön tasarım çözüm bilgileri ve montaj sırası bilgilerini eşzamanlı olarak sağlar. Bu şekilde yapılan tasarım kararları herhangi bir yeniden işlemde kaçınarak, tasarımcıya çok erken bir aşamada herhangi bir potansiyel montaj zorlukları ve sorunları öngörebilmesi için izin verir. Fakat bu sistemin dezavantajı mutlaka alanlarında uzman personel gerektirmesidir.

Yi ve arkadaşlarının [36] “Genelleştirilmiş BDT modeli tabanlı mekanik parçaların seçilebilir demontaj stratejisi üzerine araştırma” isimli çalışmalarında demontaj dalga kavramına dayalı mekanik parçaların seçilebilir demontaj stratejisi üzerine yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Mevcut araştırmaların aksine, dalga yayılımı yaklaşımı sınır bileşenlerinin bir dizi seçilmiş bileşeninden yayılan bir dalga boyunca analiz edilerek seçilen bileşenin demontajına optimal sıralar ile tanımlanır. Bu yaklaşımın avantajı montaj bileşenlerinin bir alt analizi ve minimal bileşeni taşıma ile seçilen bileşen için optimal sıranın belirlenmesidir.

Su ve Lai’ nin [37] “Mekânsal montaj sıra planlaması konusunda 3D Geometrik Sınırlama Analizi (GSA) ve Uygulaması” isimli çalışmalarında planlamaya ve optimizasyon konumsal geometrik uygun montaj sırasına odaklanarak, 3D-GSA başlıklı yeni bir yaklaşım oriental sınırlayıcı kutu (OSK) ve ayırma eksen teorisi yöntemine

dayalı yeni bir yöntem önermişlerdir. Buna göre, ilgili bilgisayar destekli 3D montaj sırası planlama sistemi geliştirilmiş ve iki olguya dayalı olarak ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Analiz sonuçları göstermektedir ki, 3D-GSA yöntemi ile, konumsal montaj öncelik ilişkileri doğru ve eksiksiz olarak hesaplanabilir. Böylece, her 3D geometrik uygun montaj sıraları otomatik olarak elde edilebilir. Ayrıca, bir optimizasyon algoritması 3D-GSA yöntemine göre tasarlanmıştır, burada en iyi montaj sıraları montaj açısı ve montaj yönü olmak üzere iki kritere göre hesaplanmıştır.

1.6. Montaj Sırası Planlama Metotlarının Karşılaştırılması

Literatürdeki mevcut montaj sırası planlama sistemleri incelendiğinde her bir sistemin farklı tasarım programları kullanılarak geliştirildiği görülmüştür. Bu bağlamda, farklı montaj sırası planlama sistemleri, aynı yaklaşımları kullansalar bile farklı algoritmalar ile çalıştıkları için bazı avantaj ve dezavantaja sahiptir. Mevcut sistemler incelendiğinde, en iyi montaj sırası planlama sistemine yaklaşıldıkça kullanıcı etkileşimi artmaktadır ve sonuç olarak uzman personel gerektirmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmada uygun montaj sıralarının bulunmasından sonra diğer çalışmaların aksine uzman personel olmadan mevcut sıralamalar içerisinde bir tanesini seçmeyi amaçlanmıştır.

İncelenen yaklaşımlar, kendi arasında belli bir değerlendirme kriteri temel alınarak Tablo 1.6 ve Tablo 1.7’ de incelenmiştir.

Tablo 1.6 Montaj sırası planlama yaklaşımlarının değerlendirme kriterleri ve puanlama değerleri [38].

Değerlendirme Kriterleri	
A: Planlama kolaylığı	G: Toleranslı montaj sistemlerine uygulanabilme
B: Bilgisayarda uygulayabilme	H: Parça özelliklerini kullanabilme
C: Temsil kolaylığı	I: Demontaj yaklaşımı kullanma
D: Karmaşık montaj sistemlerine uygulanabilirlik	İ: Geometrik karşılaştırma kabiliyeti
E: Optimum montaj sırasını bulabilme	J: Tüm uygun montaj sıralarını üretebilme
F: Büyük montaj sistemlerine uygulanabilirlik	K: Planlama zamanının minimizasyonu
Puanlama	(0): Çok kötü
	(1): Kötü

	(2): Orta
	(3): İyi
	(4): Çok İyi

Tablo 1.7 Montaj sırası planlama metotlarının karşılaştırılması.

Değerlendirme Kriteri →	A	B	C	D	E	F	G	H	I	İ	J	K	Ort.
Değerlendirme Metodu ↓													
Graf Tabanlı Yaklaşımlar	3	3	4	2	2	3	0	0	4	4	4	1	3
Unsur Tabanlı Yaklaşımlar	3	3	4	2	2	3	0	2	4	3	3	2	3
Matris Tabanlı Yaklaşımlar	4	4	3	4	2	2	0	4	4	4	4	1	3
Optimizasyon Teknikleri Kullanan Yaklaşımlar	3	4	2	3	4	4	0	3	3	0	1	4	3
Kural Tabanlı, Uzman Sistem Kullanan Yaklaşımlar ve Diğerleri	4	3	2	3	3	3	0	2	3	3	2	3	3

II. BÖLÜM

MATRİS TEMELLİ MONTAJ SIRASI PLANLAMA METODU VE HACİM KRİTERİNE GÖRE OPTİMİZASYON

Tez kapsamında yapılan çalışmada bir montaj sisteminin temsilinde ve montaj sıra planlarının belirlenmesinde “Matris Temelli Montaj Sırası Planlama Metodu” kullanılmıştır. Optimum montaj sırasının tespiti ise geliştirilen hacim kriteri esasına göre yapılmıştır. Bu bölümde, matris temelli montaj sırası planlama metodu ve optimizasyon için geliştirilen hacim kriteri anlatılmaktadır.

Montaj sıralarının belirlenmesi için önerilen yaklaşım montajın bir BDT modelinin oluşturulmasıyla başlar. BDT ortamında oluşturulan montajlı parçalar geometrik bilgi için yeterli olmakla birlikte montaj planlama için yetersizdir. BDT ortamında oluşturulan parçaların verileri montaj planlama sisteminin girdisi olarak kullanılır. Daha sonra matris temelli bir matematiksel model oluşturulur ve Boolean cebirinden faydalanılarak montaj sıraları belirlenir [8]. Elde edilen uygun montaj sıralarından hacim kriterine göre optimizasyon için montajda kullanılan parçaların hacim değerleri alınır ve uygun montaj sıralarından hacim olarak en büyük parçadan başlanarak en küçük parçaya doğru seçim işlemi yapılır. Böylece uygun montaj sıraları değerlendirilerek hacim kriterine göre optimumu seçilir.

N parçalı montajın ilişkisel modeli iki harfle temsil edilir $\langle P, U \rangle$

- $P = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$ burada P kümesinde her sembol montajın sadece bir parçasıyla ilişkilidir.
- $U = \{U_1, U_2, \dots, U_M\}$ burada U kümesinde (her bir sembol 4 lü bir dizi içerir) montaj içerisindeki parçalar arasındaki ilişkileri temsil eder. $M = {}^N P_2 = N(N-1)$.
- $P_a, P_b \in P$ olduğunda $U_i = \langle P_a, P_b, C_{ab}, T_{ab} \rangle$ dört eleman ile temsil edilir [8].

$K_{ab} = (K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6)$ a ve b bileşenleri arasında temasları temsil eden 1x6 lık binary fonksiyondur. Bundan dolayı buna temas fonksiyonu veya kontak fonksiyonu denir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$K_{ab}: K_i \rightarrow \{0,1\} \quad i=1 \dots 6 \text{ ya kadar.}$$

$K_i = 1$ i yönünde temas vardır. Örneğin b parçası a parçası ile i yönünde temas halinde ise $K_i=1$ değerini alır.

$K_i = 0$ olması i yönünde temasın olmadığını belirtir.

$H_{ab} = (H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6)$ a ve b bileşenleri arasında öteleme hareketini temsil eden 1x6 lık binary fonksiyondur. Böylece bu fonksiyona hareket engelleme veya H-fonksiyonu adı verilir. Şu şekilde tanımlanır:

$H_{ab}: H_i \rightarrow \{0,1\} \quad i=1 \dots 6$ ya kadar.

$H_i = 1$ ise i yönünde b parçası a parçasına çarpmadan veya a parçası b parçasını engellemeden b parçası serbestçe hareket ediyor demektir.

$H_i = 0$ ise i yönünde b parçası a parçasına çarpıyor veya a parçası b parçasını engelleyerek b parçasının serbestçe hareket etmesine mani oluyor anlamına gelmektedir.

K ve H fonksiyonlarının altı elemanı sırasıyla kartezyen koordinatların $(+X,+Y,+Z,-X,-Y,-Z)$ yönlerine karşılık gelmektedir. İlk üç eleman ilgili eksenin pozitif, sonraki üç eleman ise negatif yönleridir. Burada her bir parçanın üç ana eksen boyunca yönlendirilmiş olması gerekmektedir.

Şekil 2.1 deki dört parçalı alışveriş arabası tekerleği örneği ile matris temelli montaj sırası planlama metodu ve geliştirilen hacim kriterine göre sırasına göre belirli optimizasyon yönteminin detayları açıklanacaktır.

a)

b)

Şekil 2.1 AutoCad 2012 ortamında oluşturulmuş üç boyutlu alışveriş arabası tekerleğinin a) Patlatılmış görünüşü, b) Montaj görünüşü.

Montaj çiftleri arasındaki bağlantı kontak fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Montajın kompleks yapısından dolayı kontak fonksiyonu temasın olmasını veya temasın olmaması durumunu gösterebilir fakat parçaların serbest hareket edebilme doğrultularını göstermemektedir. Montaj işleminde parçalar için serbest hareket edebilme yolları gereklidir bu bilgi de hareket engelleme fonksiyonundan elde edilir.

2.1. Montaj Sıralarının Üretilmesi

Matris temelli montaj sırası üretim metodunun matematiksel alt yapısı, kontak ve hareket engelleme fonksiyonu değerlerinin boolean olarak (0 veya 1) belirlenmesi ve

aralarında VE/VEYA işlemlerine tabi tutulması ile mümkün sıraların elde edilmesi temeline dayanır. Bu değerler parça çiftleri arasında çeşitli kabuller ile oluşturulur.

Montajı oluşturan parçaların her biri, diğer parçalar ile eşleştirilir. Daha sonra oluşturulan parça çiftlerinden ilk parça hareketli, ikinci parça sabit kabul edilerek parçalar arasında altı ana eksen boyunca ayrı ayrı (+X,+Y,+Z,-X,-Y,-Z) temas durumları incelenir.

Örnek olarak Şekil 3.1 (a)' da gösterilen üç boyutlu alışveriş arabası tekerleği montajında P_1 ve P_3 parçaları incelendiğinde (P_1P_3) , matris temelli montaj sırası planlama metoduna göre P_1 hareketli ve P_3 parçası sabittir. P_1 parçası altı ana eksen boyunca hareket ettirildiği zaman +X,+Y,-X,-Y,-Z yönlerinde temas gözlemlenmekte fakat P_1 parçasının +Z yönünde ise temas gözlenmemektedir. Kontak fonksiyonun (P_1P_3) satırının K_{+x} , K_{+y} , K_{-x} , K_{-y} , K_{-z} sütunlarına 1 değeri yazılırken K_{+z} sütun kısmına 0 değeri yazılır.

Tablo 2.1 (P_1P_3) parça çifti temas ilişkisi durumu.

	K_{+x}	K_{+y}	K_{+z}	K_{-x}	K_{-y}	K_{-z}
(P_1P_3)	1	1	0	1	1	1

Benzer olarak (P_3P_1) parçası incelendiğinde P_3 parçası hareketli, P_1 parçası ise sabit parçadır. P_3 parçası altı ana eksen boyunca hareket ettirildiğinde P_1 parçası ile +X,+Y,+Z,-X,-Y eksenleri boyunca temas gözlenmekte -Z yönünde ise temas gözlenmemektedir. Dolayısıyla (P_3P_1) satırının K_{+x} , K_{+y} , K_{+z} , K_{-x} , K_{-y} sütun değerleri 1 olarak girilirken K_{-z} sütun kısmına 0 değeri verilir.

Tablo 2.2 (P_3P_1) parça çifti temas ilişkisi durumu.

	K_{+x}	K_{+y}	K_{+z}	K_{-x}	K_{-y}	K_{-z}
(P_3P_1)	1	1	1	1	1	0

Burada dikkat edilecek olursa (P_1P_3) ve (P_3P_1) parça çiftleri aynı olmasına rağmen birbirlerine göre kontak fonksiyonlarının değerleri farklıdır.

Şekil 2.1' de verilen 4 parçalı örnek montaj sistemi için parça çifti sayısı $S=N \times (N-1)$ formülünden $S=4 \times (4-1)=12$ olmaktadır. Kontak fonksiyonunun tüm çiftler için oluşturulmuş matrisi Tablo 2.3' de görülmektedir.

Tablo 2.3 Şekil 2.1' de verilen örnek montaj sistemi parçalarının kontak fonksiyon değerleri.

PARÇA ÇİFTLERİ	K - Fonksiyonu					
	K_{+x}	K_{+y}	K_{+z}	K_{-x}	K_{-y}	K_{-z}
(P_1P_2)	0	0	0	0	0	0
(P_1P_3)	1	1	0	1	1	1
(P_1P_4)	0	0	0	0	0	0
(P_2P_1)	0	0	0	0	0	0
(P_2P_3)	0	1	1	0	1	1
(P_2P_4)	0	1	1	0	1	1
(P_3P_1)	1	1	1	1	1	0
(P_3P_2)	0	1	1	0	1	1
(P_3P_4)	0	0	0	0	0	0
(P_4P_1)	0	0	0	0	0	0
(P_4P_2)	0	1	1	0	1	1
(P_4P_3)	0	0	0	0	0	0

Hareket engelleme fonksiyonu montajdaki parçaların birbirlerini ana eksenler boyunca hareketlerini engelleyip engellememe durumlarına göre oluşturulmaktadır. Kontak fonksiyonunda olduğu gibi parçalar ikili gruplar halinde eşleştirilir. Parçalardan ilki hareketli, ikinci parça sabit olduğu varsayılarak ilk parça altı ana eksen boyunca hareket ettirilir ve sabit parçanın hareketli parçayı ilgili ekseninde engelleme veya engellememe durumu dikkate alınır. Eğer sabit parça, hareketli parçanın ilgili ekseninde hareket etmesini engelliyor ise ilgili eksene karşılık gelen satırın sütun kısmına 0 değeri yazılır, şayet hareket ettirilen eksen boyunca bir engelleme yoksa yani ilk parça hareket serbestisine sahipse ilgili satırın sütun kısmına 1 değeri yazılır.

Örnek olarak Şekil 2.1 (a)' da gösterilen üç boyutlu tekerlek montajında P_1 ve P_3 parçaları incelendiğinde (P_1P_3) , P_1 parçası hareketli ve P_3 parçası sabittir. P_1 parçası altı ana eksen boyunca hareket ettirildiği zaman $+X, +Y, -X, -Y, -Z$ yönlerinde P_3 parçasının P_1 parçasının hareketinin engellediği ve $+Z$ yönünde ise P_3 parçasının P_1 parçasına herhangi bir engelleme yapmadığı ve P_1 parçasının hareket serbestisine sahip olduğu gözlenmektedir. Hareket engelleme fonksiyonun (P_1P_3) satırının H_{+x} , H_{+y} , H_{-x} , H_{-y} , H_{-z} sütunlarına 0 değeri yazılırken H_{+z} sütun kısmına 1 değeri yazılır.

Tablo 2.4 (P_1P_3) parça çifti hareket ilişkisi durumu.

	H_{+x}	H_{+y}	H_{+z}	H_{-x}	H_{-y}	H_{-z}
(P_1P_3)	0	0	1	0	0	0

Benzer olarak (P_3P_1) parçası incelendiğinde P_3 parçası hareketli, P_1 parçası sabittir. P_3 parçası altı ana eksen boyunca hareket ettirildiğinde P_1 parçasının $+X, +Y, +Z, -X, -Y$, eksenlerinde P_3 parçasını engellediği ve $-Z$ yönünde ise P_3 parçasının hareket serbestisine sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla (P_3P_1) satırının $H_{+x}, H_{+y}, H_{+z}, H_{-x}, H_{-y}$ sütun değerleri 0 olarak girilirken H_{-z} sütun kısmına 1 değeri verilir.

Tablo 2.5 (P_3P_1) parça çifti hareket ilişkisi durumu.

	H_{+x}	H_{+y}	H_{+z}	H_{-x}	H_{-y}	H_{-z}
(P_3P_1)	0	0	0	0	0	1

Şekil 2.1' de verilen örnek 4 parçalı montaj sistemi için hareket engelleme fonksiyonun tüm çiftler için oluşturulmuş matrisi Tablo 2.6' da verilmiştir.

Tablo 2.6 Şekil 2.1' de verilen montaj örneği için oluşturulan parçaların hareket engelleme fonksiyon değerleri.

H - Fonksiyonu						
PARÇA ÇİFTLERİ	H_{+x}	H_{+y}	H_{+z}	H_{-x}	H_{-y}	H_{-z}
(P_1P_2)	1	1	1	1	1	1
(P_1P_3)	0	0	1	0	0	0
(P_1P_4)	1	1	1	1	1	0
(P_2P_1)	1	1	1	1	1	1
(P_2P_3)	1	0	0	1	0	0

(P_2P_4)	1	0	0	1	0	0
(P_3P_1)	0	0	0	0	0	1
(P_3P_2)	1	0	0	1	0	0
(P_3P_4)	0	1	1	1	1	0
(P_4P_1)	1	1	0	1	1	1
(P_4P_2)	1	0	0	1	0	0
(P_4P_3)	1	1	0	0	1	1

Montajlı parçaların uygun montaj sıralarının belirlenebilmesi için kontak ve hareket engelleme fonksiyonları elde edildikten sonra iki tür sınırlayıcı dikkate alınmalıdır. Bunlar bağlantı ve öncelik sınırlayıcılarıdır. Parçaların bir montaj işlemi açısından diğer parçalara bağlı olduğu bağlantı sınırlayıcısından elde edilebilir. Öncelik sınırlayıcıları ise montajın bazı parçalarının diğerlerinden önce monte edilmesi gerektiğini temsil eder. Bu parçaları istenen sırada montaj olmaması halinde daha sonraki parçaların montajına engel olacaktır. Bu sınırlamalar doğruluk tabloları içerisine K ve H fonksiyonlarının matris elemanlarına Boolean cebri ilkelerinin uygulanması ile doğrulanır.

Örneğin Şekil 2.1. (a)' da gösterilen montajda (P_1P_3) alt montaj parça çiftine P_2 parçası monte edilmek istensin. (P_1P_3) alt montaj parça kümesine (P_2) parçasını eklenecek şekilde düşünelim. Bu iki kümenin kartezyen ürünü $\{(P_1P_3) \times (P_2)\}$, $\{(P_1P_2), (P_3P_2)\}$ sıralı parçaların kümesini verir. Bu sıralı çiftlerin kontak fonksiyonunda en az bir temas varsa (P_2) parçasının (P_1P_3) alt montaj parça çifti ile teması vardır anlamına gelir.

(P_1P_2) ve (P_3P_2) çiftinin kontak fonksiyonları $K_{(P_1P_2)}=(0,0,0,0,0,0)$ ve $K_{(P_3P_2)}=(0,1,1,0,1,1)$ dır. Matematiksel olarak doğruluk tablosu oluşturulacak olursa, Tablo 2.7' de gösterildiği gibi,

Tablo 2.7 $(P_1P_3P_2)$ montajı için (P_1P_2) , (P_1P_3) parça çiftlerinin temas ilişkisi durumu.

K - Fonksiyonu

ÇİFTLER	K_{+x}	K_{+y}	K_{+z}	K_{-x}	K_{-y}	K_{-z}
(P_1P_2)	0	0	0	0	0	0
(P_3P_2)	0	1	1	0	1	1
TK	0	1	1	0	1	1

$TK_i = T_{(P_1P_2)} \vee T_{(P_3P_2)}$ burada $i = 1$ den 6 ya kadar (yani her ekseninde ilgili sütunlar VEYA işlemine tabi tutulur.)

$$TKS = TK_1 \vee TK_2 \vee TK_3 \vee TK_4 \vee TK_5 \vee TK_6$$

Eğer TKS (toplam kontak sonucu) 1 çıkar ise parçalar arasında bağlantı olduğu anlamını taşır. Verilen örnekte;

$$TKS = 0 \vee 1 \vee 1 \vee 0 \vee 1 \vee 1 = 1$$

Bu sonuç (P_2) parçasının (P_1P_3) alt montaj parça kümesine teması olduğu anlamını taşımaktadır. Parçaların montaj olabilmesi için temas gereklidir fakat yeterli değildir.

Öncelik sınırlayıcılarını elde etmek için parçaların hareket engelleme fonksiyonlarından, bağlantı sınırlamalarında olduğu gibi doğruluk tablosu çıkartılır. Daha sonra parçalara mantıksal VE ($\wedge$) işlemi uygulanarak öncelik sınırlayıcıları elde edilir. Elde edilen sonuçlar mantıksal VEYA($\vee$) işlemine tabi tutularak toplam hareket engelleme sonucu (THS) elde edilir.

Tablo 2.8 $(P_1P_3P_2)$ montajı için (P_1P_2) , (P_1P_3) parça çiftlerinin hareket ilişkisi durumu.

H - Fonksiyonu						
ÇİFTLER	H_{+x}	H_{+y}	H_{+z}	H_{-x}	H_{-y}	H_{-z}
(P_1P_2)	1	1	1	1	1	1
(P_3P_2)	1	0	0	1	0	0
TH	1	0	0	1	0	0

$TH_i = H_{(P_1P_2)} \wedge H_{(P_3P_2)}$ burada $i=1$ den 6 ya kadar (yani her ekseninde ilgili sütunlar mantıksal VE işlemine tabi tutulur.)

$$THS = TH_1 \vee TH_2 \vee TH_3 \vee TH_4 \vee TH_5 \vee TH_6$$

Eğer THS sonucu “1” çıkar ise parçalar arasında en az bir ekseninde hareket serbestisi olduğu anlamını taşır. Şayet sonuç “0” çıkar ise parçalar arasında hiçbir ekseninde hareket serbestisi olmadığı anlamına gelmektedir. Örnek montaj sisteminde;

$$THS = 1 \vee 0 \vee 0 \vee 1 \vee 0 \vee 0 = 1$$

Bir parçanın diğer parça kümesine montaj olabilmesi için montaj uygunluğu kriterini sağlaması gerekmektedir. Montaj uygunluğu (MU), toplam hareket engelleme sonucunun ve toplam kontak sonucunun mantıksal VE ($\wedge$) işlemine tabi tutulması ile elde edilir. Sonuç “1” ise parçanın montajı mümkün, sonuç “0” ise parçanın montajının mümkün olmadığı anlamına gelir. Örnek sistemde;

$$MU = THS \wedge TKS$$

$$MU = 1 \wedge 1 = 1$$

Bu sonuca göre (P_1P_3) alt parça kümesine P_2 parçasının montajı mümkündür. Sonuç olarak $(P_1P_3P_2)$ uygun alt montaj parçaları elde edilir. $(P_1P_3P_2)$ alt parça kümesine P_4 parçasının montaj olabilmesi matematiksel olarak şu şekilde modellenir;

$$\{(P_1P_3P_2) \times (P_4)\} = \{(P_1, P_4)(P_3, P_4)(P_2, P_4)\}$$

Bağlanabilirlik ve öncelik kriterleri için doğruluk tabloları;

Tablo 2.9 $(P_1P_3P_2P_4)$ montajı için (P_1P_4) , (P_3P_4) , (P_2P_4) parça çiftlerinin temas ilişkisi durumu.

K - Fonksiyonu						
ÇİFTLER	K_{+x}	K_{+y}	K_{+z}	K_{-x}	K_{-y}	K_{-z}
(P_1P_4)	0	0	0	0	0	0
(P_3P_4)	0	0	0	0	0	0

(P₂P₄)	0	1	1	0	1	1
TK	0	1	1	0	1	1

$$TKS = TK_1 \vee TK_2 \vee TK_3 \vee TK_4 \vee TK_5 \vee TK_6 = 0 \vee 1 \vee 1 \vee 0 \vee 1 \vee 1 = 1$$

$$TKS=1$$

Tablo 2.10 (P₁P₃P₂P₄) montajı için (P₁P₄), (P₃P₄), (P₂P₄) parça çiftlerinin hareket ilişkisi durumu.

H - Fonksiyonu						
ÇİFTLER	H _{+x}	H _{+y}	H _{+z}	H _{-x}	H _{-y}	H _{-z}
(P₁P₄)	1	1	1	1	1	0
(P₃P₄)	0	1	1	1	1	0
(P₂P₄)	1	0	0	1	0	0
TH	0	0	0	1	0	0

$$THS = TH_1 \vee TH_2 \vee TH_3 \vee TH_4 \vee TH_5 \vee TH_6 = 0 \vee 0 \vee 0 \vee 1 \vee 0 \vee 0 = 1$$

$$THS = 1$$

$$MU = TKS \wedge THS = 1 \wedge 1 = 1$$

Sonuç olarak (P₄) parçası (P₁P₃P₂) alt parça kümesine montaj olabilmekte ve tüm ürün için (P₁P₃P₂P₄) montaj sırası mümkün olabilmektedir. Bir montajdaki parça sayısı, montaj işlem basamaklarının sayısını belirler. Şekil 2.1' deki örnek montaj parça sistemi için işlem basamak sayısı 4 tür.

Birinci seviyede parçalar tek başına değerlendirilir. İkinci seviyede parçalar çift olarak, daha sonra ki seviyelerde ise bu durum lineer olarak devam eder ve her seviyede bir parça eklenerek montaj uygunluğu değerlendirilir. Örnek parça için Tablo 2.11 de sonuçlar verilmektedir.

Tablo 2.11 2. Seviyedeki tüm parça çiftlerinin kontak fonksiyonlarının belirlenmesi.

K - Fonksiyonu							
PARÇA ÇİFTLERİ	K _{+x}	K _{+y}	K _{+z}	K _{-x}	K _{-y}	K _{-z}	TKS
(P₁P₂)	0	0	0	0	0	0	0

(P ₁ P ₃)	1	1	0	1	1	1	1
(P ₁ P ₄)	0	0	0	0	0	0	0
(P ₂ P ₁)	0	0	0	0	0	0	0
(P ₂ P ₃)	0	1	1	0	1	1	1
(P ₂ P ₄)	0	1	1	0	1	1	1
(P ₃ P ₁)	1	1	1	1	1	0	1
(P ₃ P ₂)	0	1	1	0	1	1	1
(P ₃ P ₄)	0	0	0	0	0	0	0
(P ₄ P ₁)	0	0	0	0	0	0	0
(P ₄ P ₂)	0	1	1	0	1	1	1
(P ₄ P ₃)	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 2.12 2. Seviyedeki tüm parça çiftlerinin hareket engelleme fonksiyonlarının belirlenmesi.

H - Fonksiyonu							
PARÇA ÇİFTLERİ	H _{+x}	H _{+y}	H _{+z}	H _{-x}	H _{-y}	H _{-z}	THS
(P ₁ P ₂)	1	1	1	1	1	1	1
(P ₁ P ₃)	0	0	1	0	0	0	1
(P ₁ P ₄)	1	1	1	1	1	0	1
(P ₂ P ₁)	1	1	1	1	1	1	1
(P ₂ P ₃)	1	0	0	1	0	0	1
(P ₂ P ₄)	1	0	0	1	0	0	1
(P ₃ P ₁)	0	0	0	0	0	1	1
(P ₃ P ₂)	1	0	0	1	0	0	1
(P ₃ P ₄)	0	1	1	1	1	0	1
(P ₄ P ₁)	1	1	0	1	1	1	1
(P ₄ P ₂)	1	0	0	1	0	0	1
(P ₄ P ₃)	1	1	0	0	1	1	1

Tablo 2.13 2. Seviyedeki montaj uygunluğunun belirlenmesi.

2. Seviye Montaj Kontrolü

ÇİFTLER	TKS		THS		MU
(P ₁ P ₂)	0	∧	1	=	0
(P ₁ P ₃)	1	∧	1	=	1
(P ₁ P ₄)	0	∧	1	=	0
(P ₂ P ₁)	0	∧	1	=	0
(P ₂ P ₃)	1	∧	1	=	1
(P ₂ P ₄)	1	∧	1	=	1
(P ₃ P ₁)	1	∧	1	=	1
(P ₃ P ₂)	1	∧	1	=	1
(P ₃ P ₄)	0	∧	1	=	0

(P_4P_1)	0	$\wedge$	1	=	0
(P_4P_2)	1	$\wedge$	1	=	1
(P_4P_3)	0	$\wedge$	1	=	0

2. seviyeden elde edilen montaj uygunluğunun anlamı (P_1P_3) (P_2P_3) (P_2P_4) (P_3P_1) (P_3P_2) (P_4P_2) parça çiftlerinin montajının mümkün olduğudur. 3. Seviyeye başlanırken bu sıralamalar dikkate alınarak mümkün olmayan montaj sıraları başlangıç aşamasında elenir.

Tablo 2.14 3. Seviyedeki montaj uygunluğunun belirlenmesi.

Seviye 3	Ek. Parça	Parça Çifti	K +x	K +y	K +z	K -x	K -y	K -z	TKS		H +x	H +y	H +z	H -x	H -y	H -z	THS	MU
(P_1P_3)	(P2)	P1P2	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		P3P2	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	1	0	0	1	0	0	1	1
(P_1P_3)	(P4)	P1P4	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	0		
		P3P4	0	0	0	0	0	0			0	1	1	1	1	0		
		TT	0	0	0	0	0	0	0	TH	0	1	1	1	1	0	1	0
(P_2P_3)	(P1)	P2P1	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		P3P1	1	1	1	1	1	0			0	0	0	0	0	1		
		TT	1	1	1	1	1	0	1	TH	0	0	0	0	0	1	1	1
(P_2P_3)	(P4)	P2P4	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		P3P4	0	0	0	0	0	0			0	1	1	1	1	0		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	0	0	0	1	0	0	1	1
(P_2P_4)	(P1)	P2P1	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		P4P1	0	0	0	0	0	0			1	1	0	1	1	1		
		TT	0	0	0	0	0	0	0	TH	1	1	0	1	1	1	1	0
(P_2P_4)	(P3)	P2P3	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		P4P3	0	0	0	0	0	0			1	1	0	0	1	1		
		TT	0	1	0	0	1	1	1	TH	1	0	0	0	0	0	1	1
(P_3P_1)	(P2)	P3P2	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		P1P2	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	1	0	0	1	0	0	1	1
(P_3P_1)	(P4)	P3P4	0	0	0	0	0	0			0	1	1	1	1	0		
		P1P4	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	0		
		TT	0	0	0	0	0	0	0	TH	0	1	1	1	1	0	1	0
(P_3P_2)	(P1)	P3P1	1	1	1	1	1	0			0	0	0	0	0	1		
		P2P1	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		TT	1	1	1	1	1	0	1	TH	0	0	0	0	0	1	1	1

(P3P2)	(P4)	P3P4	0	0	0	0	0	0			0	1	1	1	1	0		
		P2P4	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	0	0	0	1	0	0	1	1
(P4P2)	(P1)	P4P1	0	0	0	0	0	0			1	1	0	1	1	1		
		P2P1	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		TT	0	0	0	0	0	0	0	TH	1	1	0	1	1	1	1	0
(P4P2)	(P3)	P4P3	0	0	0	0	0	0			1	1	0	0	1	1		
		P2P3	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	1	0	0	0	0	0	1	1

3. seviyeden elde edilen sonuçlar $(P_2P_3P_1)$, $(P_1P_3P_2)$, $(P_2P_3P_4)$, $(P_2P_4P_3)$, $(P_3P_1P_2)$, $(P_3P_2P_1)$, $(P_3P_2P_4)$, $(P_4P_2P_3)$ parçaların bu sırada montajlarının mümkün olduğu anlamını taşır ve 4. seviyeye bu sıralamalar ile başlanarak mümkün olmayan montaj sıralar dikkate alınmaması sağlanarak işlem hızı artırılır.

Tablo 2.15 4. Seviyedeki montaj uygunluğunun belirlenmesi.

Seviye 4	Ek. Parça	Parça Çifti	K +x	K +y	K +z	K -x	K -y	K -z	TKS		H +x	H +y	H +z	H -x	H -y	H -z	THS	Mu
(P ₁ P ₃ P ₂)	(P ₄)	P ₁ P ₄	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	0		
		P ₃ P ₄	0	0	0	0	0	0			0	1	1	1	1	0		
		P ₂ P ₄	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	0	0	0	1	0	0	1	1
(P ₂ P ₃ P ₁)	(P ₄)	P ₂ P ₄	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		P ₃ P ₄	0	0	0	0	0	0			0	1	1	1	1	0		
		P ₁ P ₄	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	0		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	0	0	0	1	0	0	1	1
(P ₂ P ₃ P ₄)	(P ₁)	P ₂ P ₁	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		P ₃ P ₁	1	1	1	1	1	0			0	0	0	0	0	1		
		P ₄ P ₁	0	0	0	0	0	0			1	1	0	1	1	1		
		TT	1	1	1	1	1	0	1	TH	0	0	0	0	0	1	1	1
(P ₂ P ₄ P ₃)	(P ₁)	P ₂ P ₁	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		P ₄ P ₁	0	0	0	0	0	0			1	1	0	1	1	1		
		P ₃ P ₁	1	1	1	1	1	0			0	0	0	0	0	1		
		TT	1	1	1	1	1	0	1	TH	0	0	0	0	0	1	1	1
(P ₃ P ₁ P ₂)	(P ₄)	P ₃ P ₄	0	0	0	0	0	0			0	1	1	1	1	0		
		P ₁ P ₄	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	0		
		P ₂ P ₄	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	0	0	0	1	0	0	1	1
(P ₃ P ₂ P ₁)	(P ₄)	P ₃ P ₄	0	0	0	0	0	0			0	1	1	1	1	0		
		P ₂ P ₄	0	1	1	0	1	1			1	0	0	1	0	0		
		P ₁ P ₄	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	0		
		TT	0	1	1	0	1	1	1	TH	0	0	0	1	0	0	1	1
(P ₃ P ₂ P ₄)	(P ₁)	P ₃ P ₁	1	1	1	1	1	0			0	0	0	0	0	1		
		P ₂ P ₁	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		

		P ₄ P ₁	0	0	0	0	0	0			1	1	0	1	1	1		
		TT	1	1	1	1	1	0	1	TH	0	0	0	0	0	1	1	1
(P ₄ P ₂ P ₃)	(P ₁)	P ₄ P ₁	0	0	0	0	0	0			1	1	0	1	1	1		
		P ₂ P ₁	0	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1		
		P ₃ P ₁	1	1	1	1	1	0			0	0	0	0	0	1		
		TT	1	1	1	1	1	0	1	TH	0	0	0	0	0	1	1	1

Bu seviye sonucunda tüm ürün için mümkün olan bütün montaj sıraları bulunur. Bu sıralar (P₁P₃P₂P₄), (P₂P₃P₁P₄), (P₂P₃P₄P₁), (P₂P₄P₃P₁), (P₃P₁P₂P₄), (P₃P₂P₁P₄), (P₃P₂P₄P₁), (P₄P₂P₃P₁) dır. Böylece şekil 3.1 de verilen dört parçadan oluşan alışveriş arabası tekerleği için 24 adet olası farklı montaj sıralamalarından sadece 8 adeti uygun montaj sırasıdır. Bu teorem parçaların 3 boyutlu uzayda kapladığı geometrik şekil özelliklerinden faydalananarak mantıklı montaj sıralarını oluşturmaya yardımcı olur.

2.2. Optimum Montaj Sırasının Belirlenmesi

Sanayide kullanılan ürünlerin montaj sıralarının sayısının genellikle birden fazla olmasından dolayı ürünün tüm mantıklı montaj sıraları elde edildikten sonra çeşitli kriterlere göre bu sıralardan sadece biri seçilerek ürünün montajı gerçekleştirilir. Bu kriterler her ürüne göre uzman montaj sıra planlayıcı tarafından belirlenerek mantıklı montaj sıralarından sadece bir tanesi seçilerek montaj sırası planlama tamamlanır. Bu kriterlerin bazıları yerçekimi etkisi, zaman fonksiyonu, hacim kriteri, iş istasyonları, montaj hattı durumları... v.b. dir. Yapılan bu tez çalışmasında hacim kriteri ile uygun montaj sıraları değerlendirilmiştir.

Hacim sırası kriterine göre değerlendirme işleminin amacı uygun montaj sıraları içerisinde en büyük parçadan en küçük parçaya doğru olan sıralamayı seçmektir. AutoCad 2012 çizim programında oluşturulan parçaların hacim değerleri program tarafından üç boyutlu uzayda kapladıkları hacimler otomatik olarak hesaplanarak sağlanmaktadır. Bölüm-III' de anlatılacak olan çeşitli algoritmalara göre hacimsel değerlendirme yapılmaktadır. Burada her seviye için sırasıyla en büyük parça aranmaktadır. Geliştirilen algoritmaya göre, sıradaki parça uygun montaj sıraları içerisinde yoksa ondan sonraki en büyük parça seçilmekte ve mantıklı montaj sıraları içerisinde aranmaktadır. Şekil 2.1 deki örnek montaj sistemi için büyük parçadan küçük parçaya doğru hacim sıralaması (P₄P₃P₂P₁) şeklindedir. Aşağıdaki tabloda hacim sırası kriterine göre optimizasyon gösterilmiştir.

Tablo 2.16 1. Seviyedeki hacim parçasının aranması.

1. Seviye	Sıralamalar	1. seviyede aranacak parça: P ₄	Bulunan Sıralamalar
Hacim Sıralaması	(P ₁ P ₃ P ₂ P ₄)	P ₁	-
	(P ₂ P ₃ P ₁ P ₄)	P ₂	-
	(P ₂ P ₃ P ₄ P ₁)	P ₂	-
(P₄P₃P₂P₁)	(P ₂ P ₄ P ₃ P ₁)	P ₂	-
	(P ₃ P ₁ P ₂ P ₄)	P ₃	-
	(P ₃ P ₂ P ₁ P ₄)	P ₃	-
	(P ₃ P ₂ P ₄ P ₁)	P ₃	-
	(P₄P₂P₃P₁)	(P₄)	(P₄P₂P₃P₁)

Birinci seviyede uygun montaj sıralarının ilk sütununda en büyük hacimli parça aranmış ve (P₄P₂P₃P₁) sıralaması bulunmuştur. 2. Seviye de uygun montaj sıralamalarındaki yaklaşıma benzer olarak bulunan sıralamalar üzerinden gidilmiş diğer sıralamalar dikkate alınmamıştır.

Tablo 2.17 2. Seviyedeki hacim parçasının aranması.

2. Seviye	Sıralamalar	2. seviyede aranacak parça: P ₃	Bulunan Sıralamalar
Hacim Sıralaması	(P₄P₂P₃P₁)	P₂	-
(P₄P₃P₂P₁)			

2. Seviyede sıradaki parçayı bulamadığı için hacim sıralaması algoritmasına göre P₃ parçasından sonra gelen P₂ parçasını yine aynı seviyede aynı parçaların ikinci sütunlarında aramaktadır.

Tablo 2.18 2. Seviyedeki hacim parçalarının tekrar aranması.

2. Seviye	Sıralamalar	2. seviyede aranacak parça: P ₂	Bulunan Sıralamalar
Hacim Sıralaması	(P₄P₂P₃P₁)	P₂	(P₄P₂P₃P₁)
(P₄P₃P₂P₁)			

2. seviyede P_2 parçası tespit edilmiş olup ilgili sıralamaları (örnek parçamızda 1 adet) $(P_4P_2P_3P_1)$ bulmuştur ve 3. seviyede aramamış olduğu P_3 parçasını tekrar arayacaktır.

Tablo 2.19 3. Seviyedeki hacim parçasının aranması.

3. Seviye	Sıralamalar	3. seviyede aranacak parça: P_3	Bulunan Sıralamalar
Hacim Sıralaması	$(P_4P_2P_3P_1)$	P_3	$(P_4P_2P_3P_1)$
$(P_4P_3P_2P_1)$			

3. seviyede P_3 parçasını elde kalan sıralamalar içerisinde tespit etmiştir.

Tablo 2.20 4. Seviyedeki hacim parçasının aranması.

4. Seviye	Sıralamalar	4. seviyede aranacak parça: P_1	Bulunan Sıralamalar
Hacim Sıralaması	$(P_4P_2P_3P_1)$	P_1	$(P_4P_2P_3P_1)$
$(P_4P_3P_2P_1)$			

Böylelikle 4. seviyede ilgili sıralama tespit edilmiştir. Bu algoritmaya göre parça sıralamaları hacim sıralamasına uymasa dahi $[(P_4P_2P_3P_1), (P_4P_3P_2P_1)]$ eldeki sıralamalara mutlaka büyük parçadan başlayarak küçük parçaya bir sıralama sunmaktadır. Böylelikle mümkün montaj sıralarından en son monte edilmesi gereken (civata, somun... v.b.) parçaların sonda olduğu sıralama, uygun montaj sıralarından elde edilmektedir.

BİLGİSAYAR DESTEKLİ MATRİS TEMELLİ MONTAJ PLANLAMA SİSTEM TASARIM YAZILIMI

“Bilgisayar Destekli Matris Temelli Montaj Planlama Sistem Tasarım” yazılımı Autocad 2012 ortamında Visual Basic For Application (VBA) modülü kullanılarak geliştirilmiştir. Bu program herhangi bir montaj sistemi için tüm olası uygun montaj sıralarını bulunduktan sonra hacim kriterine göre uygun sıraları değerlendirerek optimum montaj sıralarını belirlemektedir.

Geliştirilen programda, AutoCAD ortamında kullanılan VBA ile AutoCAD veri tabanına link sağlanarak geçerli çizim uzayı içerisindeki parçaların belirli özellikleri (hacim, parça kimlik numaraları) alınmaktadır. Parçalar belirli algoritmalara göre büyük hacimden küçüğe sıralanmakta ve uygun montaj sıraları içerisinde elde edilen hacim sıralaması aranmaktadır. Bu işlem yapılırken VBA modülünün dizi değişkenlerinden ve dinamik döngülerden faydalanılmaktadır. Tasarlanan program ara yüzünde kullanılan kontroller arasında genel itibariyle metin kutusu, düğme, liste kutusu, sekmeler... v.b. gibi Visual Basic programlama dilinin VBA modülüne sağladığı nesnelerden faydalanılmıştır.

Hacim Optimizasyon Kriterine Göre Matris Temelli Montaj Sırası Planlama programı beş kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Çizim uzayındaki parçaların kimlik bilgilerinin (handle) tanımlanması
- Kontak ve hareket engelleme fonksiyonlarının hesaplanması
- Ürün için bütün mantıklı montaj sıralarının listelenmesi
- Parçaların hacim sıralamalarının belirlenmesi
- Uygun montaj sıralamalarına hacim kriterinin uygulanması

Çizim uzayındaki parçaların kimlik bilgilerinin tanımlanması bölümünde, VBA modülünün sağlamış olduğu Acad3DSolid ve SelectionSet sınıfları (class) vasıtasıyla istenilen kritere göre parçalar değerlendirilerek üç boyutlu bir dizi değişkenine kaydedilmektedir. Bu işlem gerçekleşirken program çizim uzayından bilgilerini aldığı her parça için AutoCAD tarafında kullanılacağı ikinci bir alfa nümerik karakterli isim vermektedir.

Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının hesaplanması bölümünde, çizim uzayında belirlenen ve listeye kaydedilen parçalar arasından alınan her bir parça kendisi dışındaki parçalar ile sırasıyla uzaydaki koordinatlarına göre kesişim noktaları hesaplanıp kontak ve hareket engelleme fonksiyonlarının tutulduğu bir diziye kaydedilmektedir.

Ürün için tüm olası uygun montaj sıralarının listelenmesi kısmında, kontak ve hareket fonksiyonları Bölüm-II' de detaylı olarak anlatılan matris temelli montaj sırası planlama metoduna göre işleme tâbi tutularak tüm uygun montaj sıraları elde edilmektedir.

Parçaların hacim sıralamalarının belirlenmesi kısmında ise, çizim uzayındaki bütün parçaların taranıp kimlik bilgisi ve hacim değeri ile birlikte kaydedildiği listeye kabarcık sıralama algoritması uygulanarak yeni bir liste içerisine parçaların hacimleri büyükten küçüğe doğru olacak şekilde kaydedilmektedir.

Uygun montaj sıralamalarına hacim kriterinin uygulanması kısmında ise, uygun montaj sıralamaları arasından kabarcık sıralama algoritması ile elde edilen ve yeni bir listeye atılan hacim değerine göre sıralanmış parçalar bütün listede sırasıyla ilgili sütunlarda aranmakta ve yüzlerce uygun fakat anlamsız olabilen sıralama arasından hacme göre büyükten küçüğe doğru olacak şekilde sadece bir tane uygun sıralama bulmaktadır.

3.1. AutoCAD Yazılımı

AutoCAD Autodesk şirketinin 1980'lerin başından beri geliştirdiği bir bilgisayar destekli tasarım (CAD = Computer Aided Design) yazılımıdır. Teknik resim çizmek için kullanılan diğer yazılımlar gibi vektör tabanlıdır. CAD yazılımı çözünürlükten bağımsız, 2-boyutlu ve 3-boyutlu geometrik nesnelerin oluşturulduğu bir veri kümesidir. Bu yazılım alanındaki ilk vektörel çizim yazılımlarından biridir. Çalıştığı işletim sistemlerinin başında Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Mac OS X, iOS, Android gelmektedir. İş istasyonu (workstation) sürümü de bulunur. CAD yazılımı DWG ve DXF biçimlerini işler. 3 ve 2 boyutlu tasarım yapmasının yanında AutoLISP ve Visual Basic yazılımlama dillerini de destekler [40].

Farklı alanlar için üzerinde geliştirilmiş özel sürümleri vardır. Özel sürümlerin en yaygın kullanılanlarından bazıları şunlardır:

- AutoCAD Mechanical: Makine ve otomasyon tasarımı için
- AutoCAD Architecture: Mimari tasarım için
- Ayrıca GIS, mekanik, medya ve eğlence sektörleri için de tasarım ürünleri mevcuttur.

Başta bazı mühendisler, mimarlar, teknik ressamalar ve teknikerler tarafından kullanılan bir bilgisayar destekli çizim-tasarım yazılımıdır. En yaygın kullanılan çizim yazılımıdır. Son olarak Mart 2011'de AutoCAD 2012 sürümü çıkmıştır Tablo 3.1' de AutoCad programının yıllara göre sürümleri gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Autocad sürümleri

Resmi ismi	Versiyon	No	Dağıtım tarihi	Notlar
AutoCAD Versiyonu 1.0	1.0	1	Aralık 1982	DWG R1.0 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 1.2	1.2	2	Nisan 1983	DWG R1.2 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 1.3	1.3	3	Ağustos 1983	DWG R1.3 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 1.4	1.4	4	Ekim 1983	DWG R1.4 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 2.0	2.0	5	Ekim 1984	DWG R2.05 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 2.1	2.1	6	Mayıs 1985	DWG R2.1 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 2.5	2.5	7	Haziran 1986	DWG R2.5 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 2.6	2.6	8	Nisan 1987	DWG R2.6 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 9	9.0	9	Eylül 1987	DWG R9 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 10	10.0	10	Ekim 1988	DWG R10 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 11	11.0	11	Ekim 1990	DWG R11 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 12	12.0	12	Haziran 1992	DWG R11/R12 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 13	13.0	13	Kasım 1994	DWG R13 piyasaya sunuldu.
AutoCAD Versiyonu 14	14.0	14	Şubat 1997	DWG R14 piyasaya sunuldu.

AutoCAD 2000	15.0	15	Mart 1999	DWG 2000 piyasaya sunuldu.
AutoCAD 2000i	15.1	16	Temmuz 2000	-
AutoCAD 2002	15.6	17	Haziran 2001	-
AutoCAD 2004	16.0	18	Mart 2003	DWG 2004 piyasaya sunuldu.
AutoCAD 2005	16.1	19	Mart 2004	-
AutoCAD 2006	16.2	20	Mart 2005	-
AutoCAD 2007	17.0	21	Mart 2006	DWG 2007 piyasaya sunuldu.
AutoCAD 2008	17.1	22	Mart 2007	-
AutoCAD 2009	17.2	23	Mart 2008	-
AutoCAD 2010	18.0	24	Mart 2009	DWG 2010 piyasaya sunuldu.
AutoCAD 2011	18.1	25	Mart 2010	-
AutoCAD 2012	18.2	26	Mart 2011	-
AutoCAD 2013	18.2	27	Mart 2012	DWG 2013 piyasaya sunuldu.

Geliştirilen montaj sırası planlama sistemi AutoCAD programı ile entegre çalışmaktadır. AutoCAD program platformunun seçilmesinin nedeni VBA editörü ile AutoCAD temel fonksiyonlarının kullanılabilmesi, kod yazılabilme imkanı ve AutoCAD programının günümüzde CAD programları içerisinde en yaygın kullanılabildiği olmasıdır.

3.2. AutoCAD Ortamında VBA

AutoCAD ortamında bir VBA programı; verilen bir işlevi yerine getirmek için kodların, VB (Visual Basic) sınıf birimlerin ve AutoCAD şekillerin birlikte kullanımı olarak tanımlanabilir. VBA Projeleri AutoCAD çizim sınırları içinde veya farklı dosyalar halinde kaydedilebilir. Bu projelerin bulunduğu bir çizim AutoCAD ortamında

açıldığında projeler otomatik olarak yüklenir. Kapsamlı projeler farklı dosyalarda kaydedilir ve çok yönlüdür. Bu projeler herhangi bir AutoCAD çizimi açabilir, kapatabilir ve onunla çalışabilirler. Çizim açılırken bu projeler kendiliğinden yüklenemezler. Kullanıcılar ihtiyacı olan macroyu içeren proje dosyasını yüklemelidirler. Kapsamlı projeler diğer kullanıcılarla daha kolay paylaşılır ve yaygın macrolar için mükemmel kütüphaneler oluşturur. Macrolar bir iş döngüsü sonunda bir yönetici ile çalışabilir ve birçok çizimdeki bilgiyi toplayabilirler. Herhangi bir zamanda, kullanıcılar hem yerleştirilmiş hem de kapsamlı projeleri AutoCAD ortamında yüklenmiş olarak bulabilirler. AutoCAD VBA projeleri, bağımsız Visual Basic projeleriyle uyumlu değildir. Buna rağmen VBA ortam geliştiricideki dıştan gelen ve dışa giden VBA komutlarını kullanan projeler arasında şekiller, birimler ve sınıflar değiştirilebilir [41].

3.2.1. VBA’ da Nesne Kavramı

VBA nesneye dayalı bir programlama dilidir. Arabirim nesneleri, grafiksel arabirim (GUI) oluşturmak için kullanılan nesnelerdir. Bu nesneler, Windows ortamından da bilinen butonlar, kaydırma çubukları (scroll bars), tıklandığında açılarak çeşitli bilgileri listeleyen kutular veya ses açıp-kapatmak için kullanılan kaydırıcılar olabilir. Program bu nesnelere bağlı olarak oluşan olaylara göre yazılır. Örneğin bir buton nesnesinin en önemli olayı, butonun tıklanmasıdır. Programcı, bir butona tıklandığı zaman ne olması gerektiğini kodlar ve kullanıcı butona tıkladığında olay gerçekleşmiş olur [42].

3.2.2. VBA’ da Kod Kavramı

Kodlar, programa ne yapmasını istediğimizi belirten deyim ve fonksiyonlardır. VBA nesneye dayalı bir programlama dili olması, kodların nesnelere bağlı olarak yazılması anlamına gelir. Form ve diğer tüm nesnelerin çeşitli olayları (events) ve metotları (methods) vardır. Bu olay ve metotlara göre kodlar, kod penceresine yazılır.

Tüm nesnelere ait kodlar aynı kod penceresine yazılır. Ancak hangi kodun ne amaçla kullanıldığı prosedürlerle belirlenmiştir. Bir uygulama içerisinde onlarca prosedür olabilir ve her prosedürün kullanım amacı farklıdır [42]. Program içerisindeki prosedür örnekleri Şekil 3.1’ de verilmiştir.

Şekil 3.1 Geliştirilen program içerisinde prosedür örnekleri.

Şekildeki kod penceresinde 3 adet prosedür görülmektedir. Bu prosedürler uzun, yatay çizgilerle birbirinden ayrılmışlardır. Prosedürler “Sub/End Sub” etiketleri arasına yazılır. Bu etiketler, prosedürün ne zaman çalıştırılacağını belirler.

Tanımlamalar (Declarations) kısmı, tanımlamaların yapıldığı kısım olup, kod penceresinin en üst kısmında yer almaktadır. Bu kodların yorumlanması için herhangi bir olay olması gerekmez. Program içerisinde tanımlamaların yapıldığı kısım örnek olarak Şekil 3.2’ de verilmiştir.

Şekil 3.2 Geliştirilen program içerisindeki tanımlamalar kısmı.

3.2.3. Olay (Event) Kavramı

Prosedürler nesnelere ve olaylara bağlı olarak çalışır. Nesneler ve olaylar, kod penceresinin üst kısmında açılan kutularda listelenir. Örnek olarak Şekil 3.3 de gösterilmiştir.

Şekil 3.3 VBA’ da nesne ve olay kavramları.

3.2.4. Otomatik Kod Tamamlama

Kod penceresine bir ifade yazdığınızda, VB, bu ifadeden hemen sonra yazılabilecek diğer ifadelerin bir listesini sunar. Yazılacak ifade bu listeden seçilerek, hem kod yazma işlemi hızlandırılmış olur, hem de hata yapma ihtimali azalır. Şekil 3.4 te gösterildiği gibi “btnhesapla” ifadesi yazılıp, nokta işareti konulduğunda, nokta işaretinden sonra yazılabilecek tüm ifadeler, açılan küçük bir pencerede listelenmiştir. Kod penceresine yazılacak olan ifadenin geri kalan kısmı, bu pencereden seçilebilir.

Şekil 3.4 VBA’ da otomatik kod tamamlama.

3.2.5. Sabitler ve Değişkenler

VB’ de kodlar prosedür biçiminde yazılır. Ayrıca bir uygulama içinde birçok form ve modül kullanılabilir. Örneğin bir formda “private” parametresi ile tanımlanan bir değişken başka bir form içinde kullanılamazken, “public” parametresi ile tanımlanmış değişkenler tüm formlarda kullanılabilir. Bu değişkenler kod penceresinin tanımlamalar (declarations) kısmında tanımlanır.

3.2.5.1. Sabitler

Sabitler, değeri program boyunca herhangi bir şekilde değişmeyen her türlü veridir.

Sabit Türleri; uygulamalarda kullanılacak sabitler, kullanılacakları form ve prosedürlere göre, ya prosedür içerisinde ya da formun bildiriler kısmında tanımlanır. Tanımlama işlemi “const” deyimi ile yapılır. Örnek olarak “Const pi = 3.14.” Sabitler genellikle değişkenlere atanarak kullanılırlar. Değişkenlerin türleri, değişkene atanacak sabitin türüne göre belirlenir.

String Sabitler; Karakter ifadelerden oluşan sabitler, string (karakter) sabit olarak adlandırılırlar. Çift tırnak (“ ”) içinde yazılırlar. 1 karakter 1 byte'lık (8 bit) alan kaplar.

Sayısal Sabitler; Tüm sayısal ifadelerdir. Tırnak içinde yazılmadan değişkenlere atanırlar. Tırnak içinde yazıldıklarında string sabit gibi işlem görürler. Aşağıda sayısal sabit çeşitleri belirtilmiştir.

- Tam sayı sabitleri (Integer): 16 bit tam sayı. -32768 ile +32767 arasında değerler alabilir. % karakteri ile gösterilir.
- Uzun Tam sayı sabitleri (Long): 32 bit tam sayı. Yaklaşık ± 2 milyar 147 milyona kadar değer alabilir. & karakteri ile gösterilir.
- Tek incelikli sayısal sabitler (Single): Toplam 32 bit ondalıklı sayı. ! karakteri ile simgelenir.
- Çift incelikli sayısal sabitler (Double): 64 bit ondalıklı sayı. # karakteri ile simgelenir. 15 basamağa kadar değer alabilir.

- Currency: Para ile ilgili işlemlerde kullanılır. 64 bit'lik alan kaplar. Sembolü @ işaretidir.

Boolean Sabiti; *True* (doğru) veya *false* (yanlış) olabilir. İki durumdan birinin geçerli olabileceği durumlarda kullanılır. Örneğin bir formun görüntülenip görüntülenmeyeceği `form1.visible=False` dizilimi ile belirlenebilir. Bu dizilime göre form görüntülenmeyecektir.

Byte Sabiti; 0-255 değerleri arasındaki pozitif tam sayılar için kullanılır. 8 bit'lik (1 Byte) sayılardır.

Date Sabiti; Tarih ve zaman değerleri Date tipi sabittir. 64 Bit'lik yer kaplar. 1/1/100'den 12/31/9999'a kadar değer alabilir.

Variant Sabiti; Diğer tüm sabit türlerini içeren özel bir türdür. Diğer bir deyişle variant türü bir sabit string, sayısal veya date türü bir değer içerebilir. Kullanılacak sabitin tipinden emin olunmadığı zamanlarda variant tipi sabit kullanılır.

3.2.5.2. Değişkenler

Değişkenler, değeri kullanıcı tarafından belirlenen ve program içerisinde farklı değerler alabilen ifadelerdir. Uygulama boyunca kullanılacak değişkenler, formların bildiriler kısmında tanımlanır. “Option Explicit” deyimi, uygulama boyunca kullanılacak değişkenlerin tanımlanmasını zorunlu kılar. Bunun için programın bildiriler bölümüne “Option Explicit” ifadesi eklenir. “Option Explicit” deyimi ile değişkenlerin tanımlanması zorunlu hale getirildiği halde değişkenler tanımlanmadan kullanılırsa hata mesajı ile karşılaşılır. Böylece değişkenlerin tanımlanması zorunlu olur. Değişkenler “dim” deyimi ile tanımlanır. Değişken türü “as” parametresi ile “dim” satırında belirtilir. “Dim değişken ismi as değişken tipi”.

Değişken ismini belirlemede bazı kurallar vardır:

- Değişken ismi nokta ve diğer özel karakterleri içermemelidir.
- Değişken ismi bir string karakterle başlamalıdır.
- İsmi uzunluğu 255 karakterden fazla olmamalıdır.

Bir değişkenin programın her yerinde kullanılabilir olması için public olarak tanımlanması gerekir. Public ifadesi ile birlikte kullanılacak değişken, formun declarations kısmında tanımlanır. “Public değişken ismi as değişken tipi.”

Şekil 3.5 Program içerisinde public parametresinin kullanımı.

3.2.6 Operatörler

VB operatörleri; matematiksel işlem operatörleri, ilişki operatörleri ve mantıksal operatörler olarak üç sınıfa ayrılır. Matematiksel operatörler, isminden de anlaşıldığı gibi, matematiksel işlemler için kullanılan operatörlerdir. Bu operatörler, günlük hayatta kullandığımız toplama, çıkarma, üs alma gibi işlemlerdir. İlişki operatörleri, basit karşılaştırmalardır. Program içerisinde kullanılan değerlerin karşılaştırılması ve programın buna göre yönlendirilmesi, çok sık karşılaşılan bir durumdur. İki değer karşılaştırılır ve karşılaştırmının sonucuna göre program yönlendirilir veya dallanma buna göre gerçekleştirilir. Mantıksal operatörler, birden fazla karşılaştırmayı bir arada yapmak için kullanılır. Tablo 3.2 de matematiksel işlem operatörleri sıralanmıştır.

Tablo 3.2 Matematiksel işlem operatörleri.

Operatör	İşlem
+	Toplama işlemi
-	Çıkarma işlemi
*	Çarpma işlemi
/	Bölme işlemi
\	Tam sayılı bölme
^	Üs alma
()	Parantez içindeki işlemler

Tam sayılı bölme işlemi “\” işareti ile gerçekleştirilir. Bu işaret kullanılarak yapılan bölme işlemlerinde sonucun sadece tam kısmı alınır. Parantez, işlemlerin hangi sıraya göre yapılacağını belirtir.

İlişki operatörleri; iki değerin karşılaştırılmasında kullanılır. Bu karşılaştırmanın sonucuna göre program yönlendirilir. Tablo 3.3 de ilişki operatörleri sıralanmıştır.

Tablo 3.3 İlişki operatörleri.

Operatör	Durum	Yazımı
=	eşitlik	a=b
> <	eşitsizlik	a > < b
< >	eşitsizlik	a < > b
<	küçüktür	a	büyüktür	a>b
<= veya =<	küçük eşit	a<=b veya a== veya =>	büyük eşit	a>=b veya a=>b

İki değer arasında bir karşılaştırma yapıldığında karşılaştırmanın sonucu true (doğru) veya false (yanlış) olur. Doğru sonuçlar için 1, yanlış sonuçlar için 0 değeri döndürülür. Döndürülen bu değerler, bir değişkene atanarak kullanılabilir. Sayısal değerlerin dışında, string değerler de karşılaştırılabilir. String değerlerin karşılaştırılması like operatörü ile yapılır.

Mantıksal operatörler; birden fazla karşılaştırmayı aynı anda yapmak için kullanılır. En sık kullanılan mantıksal operatörler Or (Veya), And (Ve) ve Not (Değil) operatörleridir. Bu operatörlerle yapılan karşılaştırmaların sonuçları da true veya false olarak belirlenir. Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’ da bu operatörlerin doğruluk tabloları verilmiştir

Tablo 3.4 Not operatörü doğruluk tablosu.

Değer	Operatör	Sonuç
1	NOT	0
0	NOT	1

Tablo 3.5 Or operatörü doğruluk tablosu.

1.değer	2.değer	Operatör	Sonuç
1	1	OR	1

1	0	OR	1
0	1	OR	1
0	0	OR	0

Tablo 3.6 And operatörü doğruluk tablosu.

1.değer	2.değer	Operatör	Sonuç
1	1	AND	1
1	0	AND	0
0	1	AND	0
0	0	AND	0

3.2.7 Kontroller

Kontroller, araç kutusu (toolbox) üzerinde bulunan ve arabirim oluşturmak için kullanılan nesnelerdir. Arabirim, programın kullanıcıya görünen yüzüdür. VBA’ da programlama yapısının genel şeması Şekil 3.6 de verilmiştir. Kontroller, ekranın sol kenarında, araç kutusu üzerinde bulunur.

Şekil 3.6 VBA programlama yapısı.

Şekil 3.7 VBA’ da kontroller.

Bu kontroller, uygulamalarda en sık kullanılan kontrollerdir. Tüm kontrollerin form üzerine yerleştirilmesi aynı şekilde olur. Araç kutusundan kontrol seçilir ve form üzerine çizilerek boyutları belirlenir. Kontrollerin boyutları form üzerine yerleştirildikten sonra da değiştirilebilir.

Etiket (Label); form üzerinde sabit yazılar görüntülemek için kullanılan etikettir. Genellikle form üzerindeki diğer kontrollerle ilgili bilgi vermek için kullanılır. Etiket ile belirtilen yazılar kullanıcı tarafından doğrudan değiştirilemez. Etiketler hemen hemen

tüm uygulamalarda kullanılır. Çünkü form üzerindeki diğer kontrollerle ilgili olarak kullanıcıya bilgi verilmelidir. Etiketlerle ilgili pek çok özellik tasarım zamanında veya çalışma zamanında düzenlenebilir. Program içerisindeki etiket kullanımı Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.

Şekil 3.8 Program içerisinde etiketlerin kullanımı.

Metin Kutusu (Text Box); en sık kullanılan arabirim kontrollerinden bir tanesi de metin kutularıdır. Metin kutuları, kullanıcının programa dışarıdan veri girmesi için kullanılır. Birçok uygulamada, kullanıcıdan çeşitli bilgiler almak için metin kutuları kullanılır. Metin kutularına yazılan bilgiler, genelde değişkenlere atandıktan sonra program içinde kullanılır. Program içerisindeki metin kutuları Şekil 3.9’ da gösterilmiştir.

Şekil 3.9 Program içerisinde metin kutusunun kullanımı.

Komut Butonu (Command Button); en çok kullanılan kontroldür bunun sebebi bir uygulamada yapılacak işlemlerin komut butonları ile başlatılması ve durdurulmasıdır. Program içerisindeki komut butonu kullanımı Şekil 3.10’ da gösterilmiştir.

Şekil 3.10 Program içerisinde komut butonunun kullanımı.

Liste Kutusu (List Box); Eleman (veri) listelemek için kullanılan kutudur. Kullanıcı, liste kutusundan bir veya daha fazla eleman seçebilir. Listeye eklenen elemanlar liste kutusunun boyutundan büyük olduğunda, liste kutusuna otomatik olarak bir kaydırma çubuğu eklenir. Şekil 3.11 de program içersindeki liste kutusu gösterilmiştir.

Şekil 3.11 Program içerisinde liste kutusunun kullanımı.

3.2.8 Kontrol ve Döngü Deyimleri

Kontroller, kodlar ile kullanıcı arasındaki iletişimi sağlayan arabirim nesneleridir. Kontrol deyimleri, program akışının kontrolünü belirlemek için kullanılan kodlar sistemidir. Şekil 3.12’ de VBA’ da genel kod yapısı gösterilmiştir.

Şekil 3.12 VBA’ da genel kod prosedürü.

3.2.8.1 Kontrol Deyimleri

Bir butona tıkladığınızda, bu buton için hazırlanmış prosedür içindeki satırlar, baştan sona doğru olacak şekilde yorumlanır. Satırların yorumlanış sırası, kontrol deyimleri ile belirlenir.

Go to Deyimi; yapısal olarak en basit kontrol deyimidir. Bu deyim ile belirtilen satır numarasına veya etikete şartsız olarak dallanma sağlanır. Şartsız dallanma, kontrolün herhangi bir duruma veya şarta bağlı olmadan gerçekleşmesi anlamına gelir.

On n Go to Deyimi; kullanımında Go to deyiminin aksine bir şart gereklidir. Kullanıcının yaptığı seçime göre program birkaç satırdan birine dallanır. Dallanmaların hangi satıra olacağı etiketlerle belirlenir.

Select Case Deyimi; On n Go to deyimine benzer şekilde belirlenen bir şarta (duruma) göre prosedür içinde çeşitli satırlara dallanma işlemini gerçekleştirir. On n Go to deyimine göre daha esnek bir kullanım sağladığı için Select Case deyimini tercih edilir. Şekil 3.13 de Select Case deyiminin program içerisindeki kullanımı gösterilmiştir.

Şekil 3.13 Select case deyiminin program içerisinde kullanımı.

Dizilimde görülen “Select Case” durum satırında bir durum belirlenir. Bu durumun sonucuna göre “Case” ifade satırlarından birine dallanma gerçekleşir. Eğer belirlenen durumu hiçbir “Case” ifade satırı sağlamazsa (doğrulamazsa) dallanma “Case Else” ifade satırına olur.

If...Then...Else Deyim Grubu; sık kullanılan kontrol deyimleridir. Hemen her programda kullanıcıdan çeşitli seçimler yapılması istenir ve bu da hemen her programda “If...Then ... Else” deyimleri kullanılır anlamına gelir. “If... Then ... Else” deyim grubunun hem kullanım amacı, hem de yapısı Select Case deyimine benzer. “If... Then ... Else” deyim grubunda da “Select Case” deyiminde olduğu gibi bir durum belirlenir ve bu durumun sonucuna göre dallanma gerçekleşir. Belirlenen duruma göre yapılacak dallanma sayısı fazla olduğunda “Select Case” deyimi, az olduğunda ise “If... Then ... Else” deyim grubu tercih edilir. Şekil 3.14’ de “If...Then...Else” deyiminin geliştirilen program içerisindeki kullanımı gösterilmiştir.

Şekil 3.14 If...Then...Else deyim grubunun program içerisinde kullanımı.

3.2.8.2. Döngüler

Döngüler, bir program parçasının istenilen sayıda tekrar tekrar yorumlatılmasıdır.

For...Next Döngüsü; programlarda çok sık kullanılan, döngü türüdür. For...Next döngüsünü kullanabilmek için döngünün kaç defa yorumlanacağı bilinmelidir. For...Next döngüsünün program içerisinde kullanılması Şekil 3.15’ da gösterilmiştir.

Şekil 3.15 For...Next döngüsünün program içerisinde kullanımı.

For...Next döngüsü, her zaman For parametresi ile başlar ve Next parametresi ile sona erer. Ayrıca adım (step) parametresi ile, sayacın artış miktarı belirlenir. Böylece sayaç, başlangıç değerinden bitiş değerlerine doğru birer birer değil, “step” parametresi ile belirlenen miktara göre sayar. İç içe döngü kullanımı, birkaç döngünün birbirlerinin içinde kullanılmasıdır. Bu tür bir kullanımın amacı, tek bir döngü kullanımının yeterli olmadığı durumlarda, birkaç döngünün birbiri ile ilişkili olarak çalıştırılmasıdır. Döngülerin birbirleri ile ilgili olması, bir döngünün başka bir döngüden doğrudan etkilenmesi ile olur. Döngüden çıkış için belli şartlar sağlandığında, döngü sona ermeden de döngüyü sonlandırmak gerekebilir. Bu durumda “Exit For” deyimi kullanılır.

3.2.9. Diziler

Diziler, en basit tanımıyla, tek bir değişken ismi altında aynı türden verileri barındırmak için kullanılan değişkenlerdir. Dizi kullanımında, bir değişken içerisinde belli sayıda «kutucuk» açılır ve bu kutucuklara değerler atanır. Bu kutucuklara indis adı verilir. Kullanılan değişkenlere ise indisli değişken adı verilir. Buna göre dizi ve indisli değişken aynı şeyi ifade eder. Diziler, diğer değişken tanımlamalarında olduğu gibi “Dim” deyimi ile tanımlanır. Dizinin içereceği indis sayısı, dizi isminin yanında, parantez içerisinde belirtilir. Diziler eğer bir prosedür içerisinde tanımlanırsa, sadece o prosedür içinde geçerli olurlar ve diğer prosedürden kullanılamazlar. Dizileri form üzerindeki tüm prosedürlerde kullanabilmek için, kod penceresinin bildiriler kısmında tanımlamak gerekir.

Şekil 3.16 Program içerisindeki dizi tanımlanması.

Bir dizi içerisinde birden fazla sayıda boyut (indis grubu) bulunabilir. Böylece birbiri ile ilişkili birçok veri, bir değişken ismi altında toplanabilir. Çok boyutlu diziler de, tek boyutlu dizilerde olduğu gibi “Dim” deyimi ile tanımlanır.

3.2.9.1. Dinamik Diziler

Dinamik dizi, indis sayısı sabit olmayan, gerektiğinde değiştirilebilen dizilerdir. Dinamik dizileri, indis sayısından emin olmadığımız dizileri oluştururken veya daha önce oluşturduğumuz dizinin boyutunu değiştirmek zorunda kaldığımızda kullanırız. Dinamik diziler “Redim” deyimi ile oluşturulur.

Şekil 3.17 Program içerisindeki dinamik dizi tanımlanması.

“Redim” deyimi, prosedür içinde kullanılmalıdır, formun bildiriler kısmında tanımlanamaz. “Redim” deyimi ile yeniden tanımlanan bir dizinin içerdiği eski verilerin tümü silinir.

3.2.10. Fonksiyonlar

Fonksiyonlar, hazır program parçaları olarak tanımlanabilir. Örneğin “Sqr” fonksiyonu, sayıların karekökünü bulmak için önceden hazırlanmış kodları kullanan bir ifadedir. Benzer şekilde sadece 3 harften oluşan “Abs” fonksiyonu, sayıların mutlak değerini bulmak için yeterlidir.

MsgBox Fonksiyonu: Ekranda bir iletişim kutusu görüntülemek için kullanılır. Kullanıcı bu iletişim kutusu üzerinde bir butona tıklayarak program akışını devam ettirir.

Şekil 3.18 Program içersindeki MsgBox fonksiyonunun kullanılması.

Round Fonksiyonu: Kullanım amacı kesirli sayıların istenen basamağa kadar yuvarlatılmasını sağlar.

Şekil 3.19 Program içersindeki round fonksiyonunun kullanılması.

Karakter kullanım fonksiyonları string veriler üzerinde yapılan işlemlerde kullanılan fonksiyonlardır.

Len() Fonksiyonu: Kullanım amacı bir ifadenin kaç karakterden oluştuğunu öğrenmek için kullanılır.

Şekil 3.20 Program içersindeki len deyiminin kullanılması.

Open deyimi: “Open” deyimi, dosyayı veri giriş-çıkışı için hazırlar. Bu dosyaya veri yazmadan veya dosyadan veri okumadan önce, dosya “Open” deyimi ile açılır. Daha sonra gerekli deyimler kullanılarak veri okuma yazma işlemi yapılır.

Şekil 3.21 Program içersindeki open parametresinin kullanılması.

Close deyimi: “Open” deyimi ile açılan dosyayı kapatmak için kullanılır.

Şekil 3.22 Program içersindeki close deyiminin kullanılması.

3.3 Hacim Kriterine Göre Montaj Sırası Planlama Yazılımı

AutoCAD ortamında VBA yöneticisi kullanarak oluşturulan “dvb” dosyası açılarak geliştirilen program çalıştırılabilir. Bunun için geçerli AutoCAD ortamının “Tool” menüsünden “Macro” kısmından “VBA Manager” seçilerek istenen “dvb” AutoCAD ortamına yükelenabilir, silinebilir veya değiştirilebilir. Daha sonra “Tools/Macro/Visual Basic Editor” açılarak geliştirilen programın kod penceresi açılır ve “run (F5)” komutuna basılarak geliştirilen Montaj Sırası Planlama Yazılımı çalıştırılır. Şekil 3.23 de programda “dvb” kodlarının nasıl çalıştırılacağı gösterilmiştir.

Şekil 3.23 AutoCAD ortamında VBA projelerinin açılması.

Programın ara yüzü incelendiğinde dört ana sekmesi olduğu görülür.

Bunlar;

- Parçalar,
- K-H Fonksiyonları,
- Montaj Sıraları
- Montaj Ağacı sekmesidir.

Şekil 3.24 Program ara yüzü.

3.3.1. Parçalar Sekmesi

Programda parçaları belirle butonuna basıldığında program otomatik olarak parçalar sekmesine geçmekte ve AutoCAD çizim ortamındaki parçalara otomatik olarak isim vermektedir. İsim verme işlemi mevcut parça sayısı kadardır ve sırasıyla P1 den başlayarak sıradaki parçalara P2, P3...isimlerini parça sayıları kadar vermektedir. Burada kullanıcı tarafından görülen ve belirsiz bir uzayda verilen isimlerin yanında istenen parçaların tüm özelliklerine rahat bir şekilde erişebilmek için AutoCAD ortamında AutoCAD tarafından parçalara verilen alfa nümerik isimlerde ilk isimleriyle eşleştirilmektedir. Böylece herhangi bir parçanın tüm özelliklerine AutoCAD tarafından verilen isimler sayesinde rahatça erişilebilmektedir.

Şekil 3.25 da görüldüğü gibi program P1 parçasının AutoCAD tarafında tanımlanan ismini de P1/361 olarak yazmaktadır. Parçaların belirlenmesi için gereken kodlar “Ek-1” de verilmiştir.

Şekil 3.25 Program parçalar sekmesi.

3.3.2. K-H Fonksiyonu Sekmesi

K-H fonksiyonları sekmesi, parça çiftlerinin kontak ve hareket engelleme fonksiyonlarının değerlerinin belirlendiği kısımdır. Şekil 3.26’ de kontak ve hareket engelleme sekmesi görülmektedir. “K-H Fonksiyonlarını Hesapla” butonuna basıldığında, program otomatik olarak K-H fonksiyonları sekmesini açmaktadır.

Programda adım değeri, Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının değerlerini bulurken kullanıcı tarafından parçaların birbirlerine göre AutoCAD çizim uzayında ne kadar öteleme hareketi yapacağını belirler. Standart değeri 1 mm dir. Adım değeri yüksek girildiğinde parçaların birbirleri üzerinden atlaması söz konusudur. Bu durumda Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonları değerleri yanlış hesaplanacaktır. Düşük girilen değerler de ise işlem süresi uzamaktadır. Standart değerın tez aşamasında çalışılan tüm parçalarda doğru bir şekilde Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının değerini verdiği görülmüştür.

Şekil 3.26 Kontak ve hareket engelleme fonksiyonu sekmesi.

Şekil 3.27 K-H fonksiyonlarının oluşturulması için akış şeması [39].

“K-H Fonksiyonlarını Hesapla” butonuna basıldığında program tarafından arka planda çalıştırılan kodların algoritması Şekil 3.27’ de şematik olarak gösterilmiştir. Burada AutoCAD çizim uzayında her parça kendisi dışındaki tüm parçalar ile Bölüm-II’ de detaylı bir şekilde anlatılan matris temelli montaj sırası planlama metoduna göre ayrı ayrı kartezyen koordinatların 6 ana ekseninde temas ve hareket durumları incelenmekte ve sonuçlar program ara yüzü ile “Functions.txt” isimli text dosyasına yazılmaktadır.

Elde edilen sonuçlar daha sonra uygun montaj sıralarını bulmak için kullanılmaktadır. Ayrıca, “EK-2” de Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının değerlerinin bulunduğu ilişkin VBA kodları verilmiştir.

3.3.3. Montaj Sıraları Sekmesi

Program ara yüzünde “Uygun Montaj Sıraları” butonuna basıldığında otomatik olarak program montaj sıraları sekmesine geçmekte ve daha önce elde edilen Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının matris elementlerini Bölüm-II’ de detayları verildiği gibi VE/VEYA işlemlerine tabi tutarak uygun montaj sıralarını bulmaktadır. Burada program içerisinde herhangi bir noktada olan değeri sürekli bir geri çağırım olduğu için özyinelemeli programlama tekniği kullanılmıştır.

Şekil 3.28 Montaj Sıraları sekmesi program ara yüzü.

“Optimum Montaj Sırası” butonuna basıldığında ilk olarak program içerisinde bu optimizasyon metodunda kullanılacak değişkenler tanımlanmaktadır. Eğer uygun montaj sıraları oluşmamışsa program ilk önce uygun montaj sıralarını oluşturmakta ve daha sonra AutoCAD çizim uzayında bulunan parçaların tüm özellikleri tanımlanan listeye alınmaktadır.

Yeni listedeki parçaların hacim değerleri bilinmekte ve bu değerlere kabarcık algoritması [43] uygulanarak daha önceden parça özelliklerinin tanımlandığı liste tekrardan düzenlenmekte ve parçaların hacimleri büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır. Kabarcık algoritması Şekil 3.29’ da şematik olarak gösterilmiştir. Ayrıca parçaların hacim değerleri kullanıcının görmesi için program ara yüzünün Hacim listesine yazılmaktadır.

Listedeki parçalar hacim değerlerine göre büyükten küçüğe olacak şekilde sıralanmış olarak durmaktadır. İlk parça hacim değeri en büyük olan parça, listedeki son parça ise hacim değeri en küçük olan parçadır. Program daha sonra uygun montaj listesindeki sıralanmış montaj sıraları içerisinde en büyük hacimli parçayı temel parça seçmek için aramaktadır. Bulduğu parçaya ait sıralamaları saklamakta ve ikinci en büyük hacimli parçayı kalan sıralardan aramaktadır. Ek-3’ de Hacim optimizasyon kriterinde kullanılan kodlar verilmiştir.

Eğer program sıradaki parçayı uygun montaj sıralarının ilgili sütunlarında bulamazsa ondan sonraki aramaya bir sonraki en büyük hacimli parçadan devam etmektedir. Bu sayede hacimleri büyükten küçüğe doğru sıralanmış parçalar uygun montaj sıraları içerisinde aynı sırada olmasa bile program mutlaka uygun montaj sıraları içerisinde en büyük parçaları seçmektedir. Tablo 3.7 de dört parçalı bir montaj sistemi için verilen uygun montaj sıralarına bu algoritmanın uygulanması örnek olarak verilmiştir.

Tablo 3.7 Örnek uygun montaj parça listesi.

P2	P3	P4	P1
P3	P4	P2	P1
P4	P1	P3	P2
P4	P2	P3	P1

Şekil 3.29 Kabarcık algoritmasının şematik gösterimi.

Tablo 3.8 Örnek Uygun parça listesindeki parça hacimlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmış şekli.

P4
P3
P2
P1

Program algoritmasına göre en büyük hacimli parça P4 parçası, uygun montaj sıraları içerisinde ilk sütunda aranacaktır. Bu durumda üçüncü ve dördüncü satırda bulunan parçalar arka planda çalışan ayrı bir listede depolanacaktır.

Tablo 3.9 Parçalara hacim optimizasyon kriteri uygulanması 1. aşama.

P4	P1	P3	P2
P4	P2	P3	P1

İkinci aşamada program P3 parçasını yeni oluşturmuş olduğu liste içerisinde ikinci sütun içerisinde arayacaktır. Yeni listenin ikinci sütununda (P1-P2) P3 parçası olmadığı için hacim sıralamasında P3 parçasından sonra gelen P2 parçası tekrar ikinci sütunda aranacaktır. Sonuç olarak bu parça ilgili sütunda bulunmuştur ve daha önceki listeyi güncelleyerek sadece bu aşamadan sonra bulunan parçalar listelenmiştir.

Tablo 3.10 Parçalara hacim optimizasyonu uygulanması 2. aşama.

P4	P2	P3	P1
----	----	----	----

Program üçüncü aşama için mevcut hacim listesinden en büyük parçayı sıradaki sütunda arayacaktır. Örnek sistemde hacim listesinde bulunmayan P3-P1 parçaları içerisinde en büyük parçayı P3 parçasını üçüncü sütunda tüm satırlar için tekrar arayacaktır. Bulduğu değerleri listeye yazmakta böylece tanımlanan liste bütün aşamalarda güncellenmektedir.

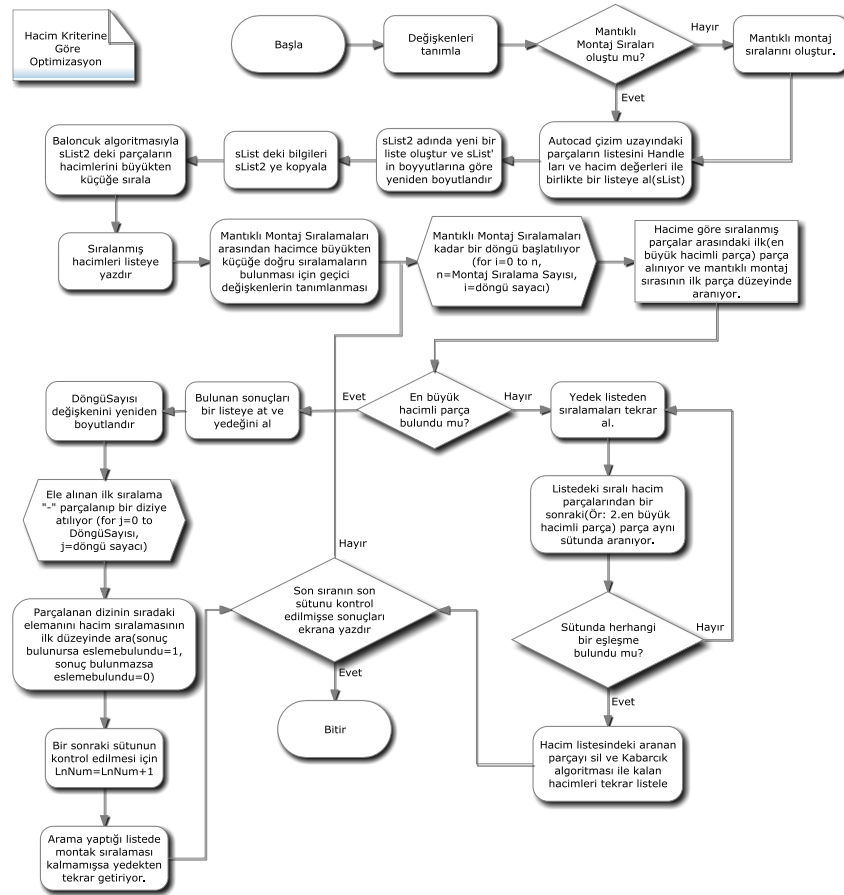
Tablo 3.11 Parçalara hacim optimizasyonu uygulanması 3. aşama.

P4	P2	P3	P1
----	----	----	----

Programın dördüncü aşamasında hacim listesinde kalan son parça P1 parçası elimizdeki listenin dördüncü sütununun tüm satırlarında aranmaktadır. 4. aşama sonunda uygun montaj sıraları içerisinde bulunan sıralama P4-P2-P3-P1 dir. Parçaların hacim sıralaması (P4-P3-P2-P1) uygun montaj sıralamaları içerisinde olmamasına rağmen Uygun montaj sıralamaları içerisinde en büyük hacimli parçadan başlayarak ve uygun montaj sıralamalarına uyarak en büyük hacimli parçalar tamamen otomatik olarak seçilmiştir. Bu yöntemin avantajı montaj edilecek parçaların genelde büyük boyutlu parçaların ana parça seçilerek başlanması ve civata somun gibi küçük parçaların montajın son aşamasında takılması göz önüne alınarak çok sayıda uygulanabilir sıradan sadece bir tanesini kullanıcı etkileşimi olmadan seçmektir. Şekil 3.30 de hacim optimizasyon kriterinin genel algoritması verilmiştir

Tablo 3.12 Parçalara hacim optimizasyonu uygulanması 4. aşama.

P4	P2	P3	P1
----	----	----	----



Şekil 3.30 Hacim kriterine göre optimizasyon algoritması.

3.3.4. Montaj Ağacı Sekmesi

Üretilen tüm uygun montaj sıralarının ve hacim optimizasyon kriterine göre elde edilen tek bir sıranın ağaç yapısında görüldüğü kısımdır. Bu kısım elde edilen uygun montaj sıraları listesi ile hacim kriterine göre bulunan montaj sırası listesinden faydalanarak VBA' nın sağlamış olduğu "Microsoft Treeview Control" kullanılarak yapılmıştır. Montaj ağacı sekmesi Şekil 3.31' de gösterilmiştir.

Şekil 3.31 Montaj ağacı sekmesi.

3.4. Program Kullanımı ve Basit Bir Montaj Sistem Örneği

Bu kısımda, Bölüm-III' de matris temelli montaj sırası planlama teoremi anlatımında kullanılan alışveriş arabası tekerleği bilgisayar destekli matris temelli montaj planlama

sistem tasarım yazılımında örnek olarak incelenecek ve Bölüm-IV’ de farklı sayıda parça içeren montaj ürünlerine uygulanacaktır. Programın genel algoritması Şekil 3.32’ de verilmiştir.

İlk olarak AutoCAD 2012 çizim uzayında oluşturulan montaj ürünü (alışveriş arabası tekerleği) açılır. Şekil 3.33 de örnek parça gösterilmiştir. Matris temelli montaj planlama sistem tasarım yazılımı AutoCAD ana menülerinden “Tools/Macro/VBA Manager/Load” kullanarak yüklenir ve “Visual Basic Editor” e basılır. Daha sonra “run (F5)” komutuna basılarak program çalıştırılır.

Şekil 3.32 Programın genel algoritması.

Şekil 3.33 Alışveriş arabası tekerleği örneği.

Montajlı alışveriş arabası tekerleğindeki parçaların her birini programa tanıtmak için “Parçaları Belirle” butonuna basılır. Bu sayede program otomatik olarak parçaları P1’ den başlayarak isimlendirir ayrıca AutoCAD tarafından parçalara sağlanan alfa nümerik karakterler program tarafından isimler ile eşleştirilerek kullanıcıya yansıtılır. AutoCAD tarafından sağlanan isimlerin kullanılması, parçaların herhangi bir özelliğine erişilmek istendiğinde kullanılır. Şekil 3.34’ de program ara yüzü parçaların belirlenmesinden sonra gösterilmiştir.

Şekil 3.34 Parçaların belirlenmesinde program ara yüzü.

Sonraki adımda parçaların Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonları hesaplanmasıdır. Bunun için ana menüde bulunan “K-H Fonksiyonlarını Hesapla” butonuna basılır ve program otomatik olarak montaj ürünündeki parçaların K-H fonksiyonlarını üretir. Ayrıca program otomatik olarak K-H Fonksiyonları sekmesine geçer. Şekil 3.35’ de K-H fonksiyonlarının hesaplanmasından sonra program arayüzü ve Tablo 3.13 ve Tablo 3.14 de tüm K-H Fonksiyonlarının değerleri gösterilmiştir.

Şekil 3.35 K-H fonksiyonlarının hesaplanmasında program ara yüzü.

Tablo 3.13 Örnek montaj sistemi için kontak fonksiyonu değerleri.

K - Fonksiyonu						
ÇİFTLER	K _{+x}	K _{+y}	K _{+z}	K _{-x}	K _{-y}	K _{-z}
(P ₁ P ₂)	0	0	0	0	0	0
(P ₁ P ₃)	1	1	0	1	1	1
(P ₁ P ₄)	0	0	0	0	0	0
(P ₂ P ₁)	0	0	0	0	0	0
(P ₂ P ₃)	0	1	1	0	1	1
(P ₂ P ₄)	0	1	1	0	1	1
(P ₃ P ₁)	1	1	1	1	1	0
(P ₃ P ₂)	0	1	1	0	1	1
(P ₃ P ₄)	0	0	0	0	0	0
(P ₄ P ₁)	0	0	0	0	0	0
(P ₄ P ₂)	0	1	1	0	1	1
(P ₄ P ₃)	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.14 Örnek montaj sistemi için hareket engelleme fonksiyonu değerleri.

H- Fonksiyonu						
ÇİFTLER	H _{+x}	H _{+y}	H _{+z}	H _{-x}	H _{-y}	H _{-z}
(P ₁ P ₂)	1	1	1	1	1	1
(P ₁ P ₃)	0	0	1	0	0	0
(P ₁ P ₄)	1	1	1	1	1	0
(P ₂ P ₁)	1	1	1	1	1	1
(P ₂ P ₃)	1	0	0	1	0	0
(P ₂ P ₄)	1	0	0	1	0	0
(P ₃ P ₁)	0	0	0	0	0	1
(P ₃ P ₂)	1	0	0	1	0	0
(P ₃ P ₄)	0	1	1	1	1	0
(P ₄ P ₁)	1	1	0	1	1	1
(P ₄ P ₂)	1	0	0	1	0	0
(P ₄ P ₃)	1	1	0	0	1	1

Sonraki adım, uygun montaj sıralarının belirlenmesidir. Bunun için programda “Uygun Montaj Sıraları” butonuna basılarak tüm uygun montaj sıraları bulunur. Bölüm-II’ de verilen matris temelli montaj sırası planlama metodunda anlatıldığı ve bu bölümde de program ile gösterildiği gibi uygun montaj sıraları mevcut 24 ihtimalden, 8 tanesidir. Bunlar Tablo 3.15’ te sıralanmıştır. Aynı değer Şekil 3.36’ de program ara yüzünde gösterilmiştir.

Tablo 3.15 Örnek montaj sistemi için uygun montaj sıraları.

Uygun Montaj

Sıraları
(P ₁ P ₃ P ₂ P ₄)
(P ₂ P ₃ P ₁ P ₄)
(P ₂ P ₃ P ₄ P ₁)
(P ₂ P ₄ P ₃ P ₁)
(P ₃ P ₁ P ₂ P ₄)
(P ₃ P ₂ P ₁ P ₄)
(P ₃ P ₂ P ₄ P ₁)
(P ₄ P ₂ P ₃ P ₁)

Şekil 3.36 Uygun montaj sıralarının bulunması.

Sonraki adım ise parçaların hacim değerlerinin bulunarak büyükten küçüğe sıralanması ve mevcut uygun montaj sıraları içerisinde aranmasıdır. Bunun için “Optimum Montaj Sırası” butonuna basıldıktan sonra program ilk önce parçaların hacim değerlerini belirlemekte ve daha sonra kabarcık algoritmasını kullanarak belirlenen bu hacimleri büyükten küçüğe doğru olacak şekilde sıralamakta ve bir listede bu değerleri kullanıcıya yansıtmaktadır. Burada Şekil 3.37’ de ve Tablo 3.16’ da görüldüğü gibi parçaların AutoCAD çizim uzayındaki hacim değerleri program tarafından sağlanan alfa nümerik isimler sayesinde belirlenmiş ve sıralanmıştır.

Tablo 3.16 Örnek montaj sistemindeki parçaların hacim değerleri

Parçalar	Hacim Değerleri
P4/22C	169673
P3/247	54514
P2/2A0	8364
P1/361	8042

Şekil 3.37 Hacim optimizasyon kriteri sonucu.

Program daha sonra P4/22C parçasını tüm uygun montaj sıralarının birinci sütununda arayacaktır. Sonuç olarak birinci döngüde en büyük hacim değerine sahip parçanın bulunduğu sıra P4-P2-P3-P1 dir. Program ikinci döngüde en büyük hacimli ikinci parçayı (P3) bulmuş olduğu sıralama içerisinde arayacaktır. Burada ikinci sütunda P2 parçası uygun parçayı bulamayacak ve aynı sıralama içerisinde P3 parçasından sonraki en büyük parçayı (P2) mevcut sıranın ikinci sütununda arayacaktır. Bu parçada bulunduktan sonra üçüncü döngüde bulamamış olduğu P3 ve P1 parçalarından hacmi büyük olan parçayı (P3) üçüncü sütunda arayacaktır. Bu parçayı da bulduktan sonra son sütunda son parçayı yani hacmi en küçük olan parçayı (P1) arayacaktır. Bu döngüden sonra program eldeki sekiz sıralamadan en büyük hacimden başlayarak en küçük hacme doğru bir sıralama meydana getirecek şekilde (hacim listesi mevcut olmasa bile) bir sıralamaya indirgemektedir. Hacim listesine göre indirgenen sıralama Tablo 3.17 de gösterilmiştir. Şekil 3.38’ da bu sıralamaya ilişkin parçalar demontaj halinde verilmiştir. Şekil 3.39’ da incelenen örnek montaj sistemin hacim optimizasyon kriterine göre montajı gösterilmiştir. Böylece Bölüm-II’ de teorik olarak bulunan sonuç ile Bölüm-III’de program ile bulunan sonucun aynı değeri verdiği görülmüş ve programın belirlenen algoritmalara göre çalıştığı ispatlanmıştır.

Tablo 3.17 Örnek montaj ürününün hacim optimizasyon kriterine göre sıralanması.

P4	P2	P3	P1
----	----	----	----

Şekil 3.38 Örnek montaj sisteminin demontaj hali.

Programın montaj ağacı sekmesi kısmı incelendiğinde, burada iki ana liste gözükmektedir. İlk listede mevcut tüm uygun montaj sıraları listelenmekte, ikinci listede ise sadece hacim kriterine göre bulunan sıralama gözükmektedir. Bölüm-IV’ de farklı ve daha fazla parça sayısına sahip montaj ürünleri geliştirilen programda detaylı olarak incelenecektir. Şekil 3.39’ da alışveriş arabası tekerleği montaj örneğinin hacim optimizasyon kriterine göre sırasıyla montajlanması gösterilmiştir.

(a)

(b)

(c)

(d)

Şekil 3.39 Alışveriş arabası tekerleği örneğinin hacim optimizasyon kriterine göre montajı; a) 1. adım, b) 2. adım, c) 3. adım, d) 4. adım.

IV. BÖLÜM

MONTAJ SIRASI PLANLAMA SİSTEMİ PROGRAMI

ÖRNEK UYGULAMALARI

Bu bölümde, AutoCAD 2012 programının çizim uzayında üç boyutlu katı modellenen çeşitli montaj sistemleri, tez kapsamında geliştirilen program kullanılarak uygun montaj

sıraları belirlenecek ve hacim kriteri ile optimizasyon metodu uygulanarak mevcut sıralamalardan optimumunun seçimi gösterilecektir.

4.1. Palanga Yük Aparatı Montaj Sistemi Sıralarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu

Şekil 4.1’ de verilen palanga yük aparatı üç boyutlu montaj modeli, Şekil 4.2’ de demontaj görüntüsünde görüldüğü gibi 8 parçadan oluşmaktadır. Parça isimleri geliştirilen yazılım tarafından otomatik olarak verilmiş olup Şekil 4.2’ de belirtilmiştir.

Şekil 4.1 Palanga yük aparatı üç boyutlu montaj modelinin görüntüsü.

Şekil 4.2 Palanga yük aparatı üç boyutlu demontaj görüntüsü.

Programda parçaların tanımlanması için, “Parçaları Belirle” butonuna basıldığında parçalar otomatik olarak isimlendirilmektedir. Şekil 4.3’ te parça ara yüzü ve Tablo 4.1’ de bu parçaların isimleri görülmektedir.

Şekil 4.3 Palanga yük aparatının parça listesi program arayüzü.

Tablo 4.1 Palanga yük parçalarının program tarafından isimlendirilmesi.

Program tarafından atanan parça ismi	AutoCAD tarafından sağlanan parça ismi
P1	305
P2	2C0
P3	286
P4	285
P5	24F
P6	24E

P7	23A
P8	225

Parçaların uygun montaj sıralarının belirlenebilmesi için öncelikle Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının belirlenmesi gerekir. Bunun için program ara yüzünde “K-H Fonksiyonlarını Hesapla” butonuna basılarak, palanga yük aparatı için bu değerler program tarafından bulunur. Şekil 4.4’ te program ara yüzü gösterilmiş ve Tablo 4.2’ de Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının değerleri verilmiştir.

Şekil 4.4 Palanga yük aparatının kontak ve hareket engelleme fonksiyonları program ara yüzü.

Tablo 4.2 Palanga yük aparatı için kontak ve hareket engelleme fonksiyonları değerleri.

PARÇA ÇİFTLERİ	KONTAK FONKSİYONU DEĞERLERİ						HAREKET ENGELLEME FONKSİYONU DEĞERLERİ					
	+X	+Y	+Z	-X	-Y	-Z	+X	+Y	+Z	-X	-Y	-Z
P1/305 - P2/2C0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
P1/305 - P3/286	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/305 - P4/285	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/305 - P5/24F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P1/305 - P6/24E	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/305 - P7/23A	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/305 - P8/225	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P2/2C0 - P1/305	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
P2/2C0 - P3/286	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P2/2C0 - P4/285	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P2/2C0 - P5/24F	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
P2/2C0 - P6/24E	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P2/2C0 - P7/23A	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P2/2C0 - P8/225	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
P3/286 - P1/305	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/286 - P2/2C0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/286 - P4/285	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P3/286 - P5/24F	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P3/286 - P6/24E	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P3/286 - P7/23A	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P3/286 - P8/225	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P4/285 - P1/305	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/285 - P2/2C0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/285 - P3/286	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
P4/285 - P5/24F	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P4/285 - P6/24E	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
P4/285 - P7/23A	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0

P4/285 - P8/225	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P5/24F - P1/305	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P5/24F - P2/2C0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
P5/24F - P3/286	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P5/24F - P4/285	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P5/24F - P6/24E	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P5/24F - P7/23A	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P5/24F - P8/225	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P6/24E - P1/305	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P6/24E - P2/2C0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P6/24E - P3/286	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P6/24E - P4/285	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P6/24E - P5/24F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P6/24E - P7/23A	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P6/24E - P8/225	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P7/23A - P1/305	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P7/23A - P2/2C0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P7/23A - P3/286	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
P7/23A - P4/285	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P7/23A - P5/24F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P7/23A - P6/24E	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
P7/23A - P8/225	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P8/225 - P1/305	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P8/225 - P2/2C0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
P8/225 - P3/286	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P8/225 - P4/285	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P8/225 - P5/24F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P8/225 - P6/24E	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
P8/225 - P7/23A	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1

Kontak ve hareket engelleme fonksiyonları belirlendikten sonra “Uygun Montaj Sıraları” butonuna basarak parçaların mevcut anlamsız 40320 (8!) montaj sıralamalarından, 2516 adet uygun montaj sırası bulunur. Şekil 4.5’ te uygun montaj sıraları için program ara yüzü gösterilmiştir.

Şekil 4.5 Palanga yük montaj sistemi için uygun montaj sıraları program ara yüzü.

2516 adet uygun montaj sırası olmasına rağmen bunlar arasından seçim yapmak oldukça zordur. Tez kapsamında geliştirilen optimizasyon kriterine göre program uygun montaj sıraları içerisinde optimum montaj sırası belirlenmektedir. Bu amaçla programda “Optimum Montaj Sırası” butonuna basılarak mevcut 2516 sıralama arasından bir tanesinin seçilmesi sağlanır. Şekil 4.6’ da program ara yüzü ve Tablo 4.3’te Şekil 4.3’ te gösterildiği gibi parçaların hacim değerleri ve bu değerlere göre büyükten küçüğe doğru sıralanmış şekli gösterilmiştir. Tablo 4.4’ te optimizasyon sonucu elde edilen sıralama gösterilmektedir.

Şekil 4.6 Palanga yük aparatı için uygun montaj sıralarının optimizasyonu.

Tablo 4.3 Palanga yük aparatı için parça hacim değerleri ve bu hacim değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanması.

Parça İsmi	Hacim Değeri
P8/225	163621
P5/24F	163621
P4/285	25132
P3/286	25132
P6/24E	20507
P7/23A	20507
P1/305	16393
P2/2C0	5389

Şekil 4.1’ deki palanga yük aparatı incelendiğinde 3 parçanın simetrik olduğu ve bu simetrik parçaların hacim değerlerinin de aynı olduğu Tablo 4.3’ te görülmektedir. Parça sıralaması ister P8’ den başlasın, ister P5’ ten başlasın simetriklikten dolayı aslında aynı sıralama elde edilmektedir. Tablo 4.4’ te optimizasyon sonucu 2516 sıralama arasından seçilen 1 sıralama görülmektedir.

Tablo 4.4 Palanga yük aparatı için optimizasyona göre elde edilen sıralama.

P8	P4	P3	P6	P7	P2	P5	P1
----	----	----	----	----	----	----	----

Tablo 4.4’ te görüldüğü gibi hacim sıralaması P8-P5-P4-P3-P6-P7-P1-P2 olmasına rağmen uygun sıralar içerisinde P8 parçasından sonra P5 parçası yoktur. Dolayısıyla program sıralamadaki P5 parçasından sonraki en büyük parçayı getirmiş ve son sütuna kadar olabilecek parçaların en büyüğünü aramıştır. Hacim optimizasyon kriterine göre elde edilen sıralamanın montajı Şekil 4.7’ de sırasıyla gösterilmektedir.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

Şekil 4.7 Palanga yük aparatı hacim optimizasyon kriterine göre uygun montaj sırası adımları a) 1. adım, b) 2. adım, c) 3. adım, d) 4. adım, e) 5. adım, f) 6. adım, g) 7. adım, h) 8. adım.

4.2. Bağlantı Kızağı Montaj Sistemi Uygun Montaj Sıralarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu

Uygun montaj sıraları ve optimum montaj sırası araştırılan montaj sistemlerinden bir diğeri de bağlantı kızağı montaj sistemidir. Bu sistemin montaj modeli ve patlatılmış görünüşü sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’ da verilmektedir.

Şekil 4.8 Bağlantı kızıağı üç boyutlu montaj modelinin görüntüsü.

Şekil 4.9 Bağlantı kızıağı üç boyutlu patlatılmış görüntüsü.

Program tarafından parçaların tanımlanması için, “Parçaları Belirle” butonuna basıldığında parçalar otomatik olarak isimlendirilmektedir. Şekil 4.10’ da program ara yüzü ve Tablo 4.5’ de bu parçaların isimleri görülmektedir.

Şekil 4.10 Bağlantı kızıağı monta sistemi parça listesi program ara yüzü.

Tablo 4.5 Bağlantı kızıağı montaj sistemi parçalarının program tarafından isimlendirilmesi.

Program tarafından sağlanan parça ismi	AutoCAD tarafından sağlanan parça ismi
P1	C76
P2	497
P3	469
P4	42F
P5	426
P6	3FF
P7	3E9
P8	3B2
P9	2E0

Bir önceki örnekte olduğu gibi parçaların uygun montaj sıralarının belirlenebilmesi için ilk önce Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının bulunması gerekmektedir. Bu amaçla program ara yüzünde “K-H Fonksiyonlarını Hesapla” butonuna basılarak, bağlantı kızıağı için bu değerler program tarafından bulunur. Şekil 4.11’ de program ara

yüzü gösterilmiş ve Tablo 4.6’ da Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının değerleri verilmiştir.

Şekil 4.11 Bağlantı kızıağı montaj sistemi kontak ve hareket engelleme fonksiyonları program ara yüzü.

Tablo 4.6 Bağlantı kızıağı montaj sistemi için kontak ve hareket engelleme fonksiyonları değerleri.

PARÇA ÇİFTLERİ	KONTAK FONKSİYONU DEĞERLERİ						HAREKET ENGELLEME FONKSİYONU DEĞERLERİ					
	+X	+Y	+Z	-X	-Y	-Z	+X	+Y	+Z	-X	-Y	-Z
P1/C76 - P2/497	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
P1/C76 - P3/469	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P1/C76 - P4/42F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/C76 - P5/426	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/C76 - P6/3FF	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/C76 - P7/3E9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/C76 - P8/3B2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P1/C76 - P9/2E0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
P2/497 - P1/C76	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
P2/497 - P3/469	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
P2/497 - P4/42F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P2/497 - P5/426	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P2/497 - P6/3FF	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P2/497 - P7/3E9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P2/497 - P8/3B2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
P2/497 - P9/2E0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
P3/469 - P1/C76	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
P3/469 - P2/497	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
P3/469 - P4/42F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/469 - P5/426	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/469 - P6/3FF	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/469 - P7/3E9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/469 - P8/3B2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P3/469 - P9/2E0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1

P4/42F - P1/C76	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/42F - P2/497	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/42F - P3/469	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/42F - P5/426	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1
P4/42F - P6/3FF	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
P4/42F - P7/3E9	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
P4/42F - P8/3B2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
P4/42F - P9/2E0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P5/426 - P1/C76	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P5/426 - P2/497	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P5/426 - P3/469	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P5/426 - P4/42F	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P5/426 - P6/3FF	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
P5/426 - P7/3E9	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
P5/426 - P8/3B2	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1
P5/426 - P9/2E0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P6/3FF - P1/C76	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P6/3FF - P2/497	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P6/3FF - P3/469	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P6/3FF - P4/42F	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P6/3FF - P5/426	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P6/3FF - P7/3E9	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
P6/3FF - P8/3B2	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
P6/3FF - P9/2E0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P7/3E9 - P1/C76	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P7/3E9 - P2/497	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P7/3E9 - P3/469	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P7/3E9 - P4/42F	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
P7/3E9 - P5/426	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
P7/3E9 - P6/3FF	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
P7/3E9 - P8/3B2	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
P7/3E9 - P9/2E0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P8/3B2 - P1/C76	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0

P8/3B2 - P2/497	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
P8/3B2 - P3/469	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P8/3B2 - P4/42F	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P8/3B2 - P5/426	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P8/3B2 - P6/3FF	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
P8/3B2 - P7/3E9	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
P8/3B2 - P9/2E0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
P9/2E0 - P1/C76	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
P9/2E0 - P2/497	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
P9/2E0 - P3/469	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
P9/2E0 - P4/42F	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P9/2E0 - P5/426	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P9/2E0 - P6/3FF	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P9/2E0 - P7/3E9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P9/2E0 - P8/3B2	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0

Daha sonra “Uygun Montaj Sıraları” butonuna basarak parçaların mevcut anlamsız 362880 (9!) montaj sıralamalarından, 3090 adet uygun montaj sırası bulunur. Şekil 4.12’ de uygun montaj sıraları için program ara yüzü gösterilmiştir.

Şekil 4.12 Bağlantı kızıağı montaj sistemi için uygun montaj sıraları program ara yüzü.

Tasarımcının 3090 adet uygun montaj sırasını ayrı ayrı değerlendirmesi zordur. Bu amaçla programda “Optimum Montaj Sırası” butonuna basılarak mevcut 3090 sıralama arasından en uygun bir tanesinin seçilmesi sağlanır. Şekil 4.13’ de program ara yüzü gösterilmiştir.

Şekil 4.13 Bağlantı kızıağı montaj sistemi için uygun montaj sıralarının optimizasyonu.

Tablo 4.7 Bağlantı kızıağı montaj sistemi için parça hacimleri ve bu hacimleri büyükten küçüğe doğru sıralanması.

Parça İsmi	Hacim Değeri
P9/2E0	119079

P8/3B2	85432
P6/3FF	17418
P2/3E9	5072
P7/497	4884
P1/C76	906
P4/42F	237
P3/469	209
P5/426	47

Tablo 4.8’ de belirli optimizasyon sonucu 3090 sıralama arasından seçilen 1 sıralama görülmektedir.

Tablo 4.8 Bağlantı kızıağı montaj sistemi optimum montaj sıralaması.

P9	P8	P6	P2	P7	P3	P1	P5	P4
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Tablo 5.8’ de görüldüğü gibi hacim sıralaması P9-P8-P6-P2-P7-P1-P4-P3-P5 olmasına rağmen uygun sıralar içerisinde P7 parçasından sonra P1 parçası yoktur. Dolayısıyla program hacim sıralamasındaki P1 parçasından sonraki uygun montaj sıralar içerisinde en büyük parçayı seçmiştir ve son sütuna kadar olabilecek parçalarından en büyüğünü aramıştır. Hacim optimizasyon kriterine göre belirlenen optimum montaj sırası sonucu Şekil 4.14’ de sırasıyla gösterilmektedir.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

(i)

Şekil 4.14 Bağlantı kızıağı montaj sisteminin hacim optimizasyon kriterine göre montajı.
a)1. adım, b) 2. adım, c) 3. adım, d) 4. adım, e) 5. adım, f) 6. adım, g) 7. adım, h) 8. adım, i) 9. adım.

4.3. Mafsal Sistemi Montaj Sıralarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu

Şekil 4.15’ de verilen mafsal üç boyutlu montaj modelin Şekil 4.16’ daki demontaj görünüşünden anlaşılacağı üzere 9 parçadan oluşmaktadır. Parça isimleri geliştirilen program tarafından otomatik olarak verilmiş olup Şekil 4.17’ de belirtilmiştir.

Şekil 4.15 Mafsal üç boyutlu montaj modeli görüntüsü.

Şekil 4.16 Mafsal parçalarının üç boyutlu demontaj modeli görüntüsü.

Programda parçaların tanımlanması için, “Parçaları Belirle” butonuna basıldığında parçalar otomatik olarak isimlendirilmektedir. Şekil 4.17’ de program ara yüzü ve Tablo 4.9’ da bu parçaların isimleri görülmektedir.

Şekil 4.17 Mafsal parçalarının parça listesi program ara yüzü.

Tablo 4.9 Mafsal montaj sistemi parçalarının program tarafından isimlendirilmesi.

Program tarafından sağlanan parça ismi	AutoCAD tarafından sağlanan parça ismi
P1	5F7
P2	539
P3	473
P4	45B
P5	417
P6	398
P7	38F
P8	2BB
P9	271

Parçaların uygun montaj sıralarının belirlenebilmesi için öncelikle Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için program ara yüzünde “K-H Fonksiyonlarını Hesapla” butonuna basılarak, mafsal için bu değerler program tarafından bulunur. Şekil 4.18’ de program ara yüzü gösterilmiş ve Tablo 4.10’ da Kontak ve Hareket Engelleme Fonksiyonlarının değerleri verilmiştir.

Şekil 4.18 Mafsal kontak ve hareket engelleme fonksiyonları program ara yüzü.

Tablo 4.10 Mafsal için kontak ve hareket engelleme fonksiyonları değerleri.

PARÇA ÇİFTLERİ	KONTAK FONKSİYONU DEĞERLERİ						HAREKET ENGELLEME FONKSİYONU DEĞERLERİ					
	+X	+Y	+Z	-X	-Y	-Z	+X	+Y	+Z	-X	-Y	-Z
P1/5F7 - P2/539	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P1/5F7 - P3/473	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/5F7 - P4/45B	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/5F7 - P5/417	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P1/5F7 - P6/398	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P1/5F7 - P7/38F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P1/5F7 - P8/2BB	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P1/5F7 - P9/271	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P2/539 - P1/5F7	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P2/539 - P3/473	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
P2/539 - P4/45B	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
P2/539 - P5/417	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
P2/539 - P6/398	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P2/539 - P7/38F	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
P2/539 - P8/2BB	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
P2/539 - P9/271	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
P3/473 - P1/5F7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/473 - P2/539	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
P3/473 - P4/45B	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
P3/473 - P5/417	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P3/473 - P6/398	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/473 - P7/38F	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P3/473 - P8/2BB	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P3/473 - P9/271	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
P4/45B - P1/5F7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/45B - P2/539	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
P4/45B - P3/473	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0

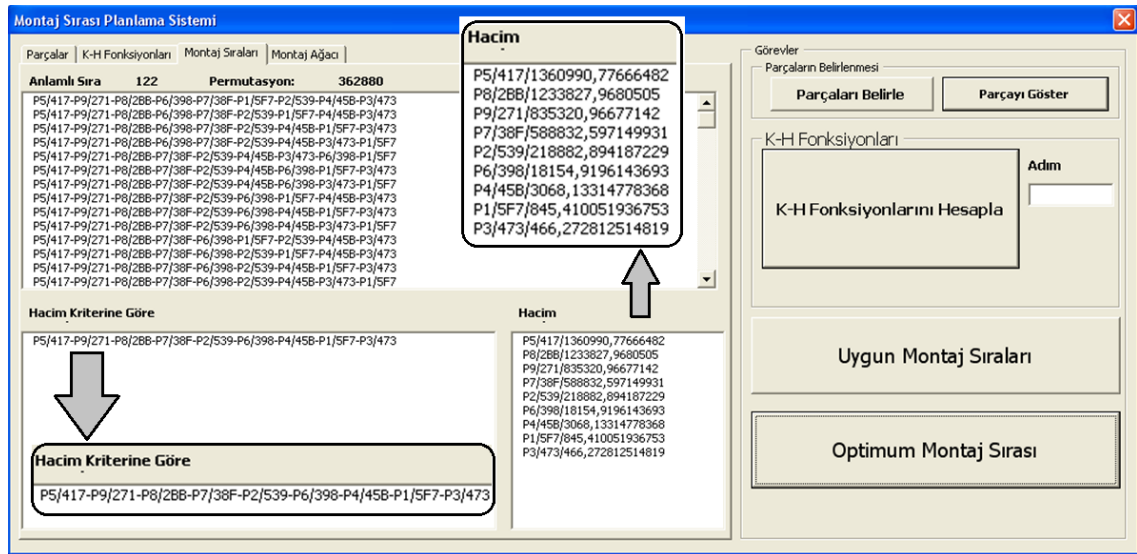
P4/45B - P5/417	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/45B - P6/398	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/45B - P7/38F	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/45B - P8/2BB	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P4/45B - P9/271	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P5/417 - P1/5F7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P5/417 - P2/539	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
P5/417 - P3/473	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P5/417 - P4/45B	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P5/417 - P6/398	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P5/417 - P7/38F	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
P5/417 - P8/2BB	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
P5/417 - P9/271	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1
P6/398 - P1/5F7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
P6/398 - P2/539	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P6/398 - P3/473	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P6/398 - P4/45B	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P6/398 - P5/417	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P6/398 - P7/38F	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
P6/398 - P8/2BB	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
P6/398 - P9/271	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
P7/38F - P1/5F7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P7/38F - P2/539	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
P7/38F - P3/473	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P7/38F - P4/45B	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P7/38F - P5/417	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
P7/38F - P6/398	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
P7/38F - P8/2BB	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
P7/38F - P9/271	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
P8/2BB - P1/5F7	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P8/2BB - P2/539	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0

P8/2BB - P3/473	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P8/2BB - P4/45B	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P8/2BB - P5/417	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
P8/2BB - P6/398	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P8/2BB - P7/38F	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
P8/2BB - P9/271	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0
P9/271 - P1/5F7	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P9/271 - P2/539	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
P9/271 - P3/473	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P9/271 - P4/45B	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
P9/271 - P5/417	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
P9/271 - P6/398	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
P9/271 - P7/38F	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
P9/271 - P8/2BB	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

Daha sonra “Uygun Montaj Sıraları” butonuna basılarak parçaların mevcut anlamsız 362880 (9!) montaj sıralamalarından, 122 adet uygun montaj sırası bulunur. Şekil 4.19’ de uygun montaj sıraları için program ara yüzü gösterilmiştir.

Şekil 4.19 Mafsal montaj sistemi uygun montaj sıraları program ara yüzü.

Program 122 adet sıralama arasından hacim optimizasyon kriterine göre en uygun sıralamayı aramaktadır. Bunun için programda “Optimum Montaj Sırası” butonuna basılarak mevcut 122 sıralama arasından bir tanesinin seçilmesi sağlanır. Şekil 4.20’ de program ara yüzü gösterilmiştir. Tablo 4.11 mafsal parçalarının hacim değerleri ve bunların büyükten küçüğe doğru sıralanışı verilmiştir.



Şekil 4.20 Mafsal montaj sistemi uygun montaj sıralarının optimizasyonu.

Tablo 4.11 Mafsal için parça hacimleri ve bu hacim değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanması.

Parça İsmi	Hacim Değeri
P5/417	1360990
P8/2BB	1233827
P9/271	835320
P7/38F	588832
P2/539	218882
P6/398	18154
P4/45B	3068
P1/5F7	845
P3/473	466

Tablo 4.12' de optimizasyon sonucu 122 sıralama arasından seçilen 1 optimum sıralama görülmektedir.

Tablo 4.12 Mafsal için optimizasyona göre elde edilen sıralama.

P5	P9	P8	P7	P2	P6	P4	P1	P3
----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tablo 4.12’ de görüldüğü gibi hacim sıralaması P5-P8-P9-P7-P2-P6-P4-P1-P3 olmasına rağmen uygun sıralar içerisinde P5 parçasından sonra P8 parçası bulunmamaktadır. Dolayısıyla program hacim sıralamasındaki P5 parçasından sonraki uygun montaj sıralar içerisinde en büyük parçayı getirmiştir ve son sütuna kadar olabilecek parçalarından en büyüğüne araştırmıştır. Hacim kriterine göre belirli optimizasyon sonuçların montajı Şekil 4.21’ de sırasıyla gösterilmektedir.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

(i)

Şekil 4.21 Mafsal montaj sisteminin hacim optimizasyon kriterine göre optimum montaj sırası. a) 1. adım, b) 2. adım, c) 3. adım, d) 4. adım, e) 5. adım, f) 6. adım, g) 7. adım, h) 8. adım, i) 9. adım.

V. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, BDT ortamında üç boyutlu katı obje olarak tasarlanan montaj sisteminin uygun montaj sıraları üretilmekte ve bu sıralar hacim optimizasyon kriterine göre değerlendirilerek uygun montaj sıralarından optimumunun seçilmesini sağlamaktadır.

Geliştirilen program AutoCAD 2012 tasarım programıyla entegre olarak çalışmakta ve gerekli Cad verisini AutoCAD çizim uzayından sağlamaktadır. Ayrıca programda,

kullanışı etkileşimi minimize edilerek, her adım belirlenen algoritmalar çerçevesinde program arka planında otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yüzlerce uygun montaj sıralarından optimumunun seçimi gerçekleştirilerek programın başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Farklı sayı ve şekilde parça içeren montaj sistemlerinde test edilmiştir.

Geliştirilen montaj sırası planlama yazılımının temel avantajları şu şekilde sıralanmıştır.

1. Geliştirilen yazılım kullanıcı etkileşimini en aza indirmektedir.
2. AutoCAD çizim uzayında üç boyutlu katı olarak modellenen montaj sisteminin olası tüm uygun montaj sıraları otomatik olarak üretilebilmiştir.
3. Üretilen yüzlerce uygun montaj sıraları arasından optimumunu, belirlenen hacim optimizasyon kriterine göre mevcut sıralar arasından otomatik olarak seçebilmektedir.
4. Program test edildiğinde geliştirilen yazılımın tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Montaj sistemlerindeki parçalarda Kontak ve Hareket Engelleme fonksiyonlarının değerlerinin belirlenmesinde montaj sistem parça sayısına bağlı olarak süre uzayabilmektedir. Ayrıca olasılık sayısının parça sayısı ile ilişkili olmasından dolayı işlem sayısının montaj sistem parça sayısının faktöriyeline bağlı olarak artabilmektedir. Bu özellikler bir dezavantaj olarak değerlendirilebilir.

Geliştirilen yazılımın etkiliğinin artırılmasına yönelik olarak yapılabilecek çalışmalar şu şekilde sıralanabilir:

1. Geliştirilen montaj sırası planlama yazılımı sadece AutoCAD programı ile entegre çalışmaktadır. Bu yazılımın Unigraphics, Solidworks, Solid Edge...v.b. endüstride yaygın olarak kullanılan programlarla entegre çalışma imkanı sağlanabilir.
2. Program için bir veri tabanı oluşturularak sadece hafıza ram hafıza üzerinden değil bilgisayarın yerel sürücülerini de kullanılarak işlem hızı artırılabilir.

3. Uygun montaj sıralarını bulmada kullanılan özyinelemeli programla tekniğindeki algoritma geliştirilerek yüksek sayıdaki montaj sistemlerinde de programın rahatça çalışması sağlanabilir.
4. Yazılımda montaj sistemini oluşturan parçaların kartezyen koordinat sistemi eksenleri boyunca ötelenmesi dikkate alınmıştır, dönme hareketleri programa entegre edilerek vida, cıvata gibi dönme hareketleriyle montaj olabilecek parçaların program tarafından tanınması sağlanarak uygun montaj sıralarının belirlenmesidir.

Montaj sistemlerinde parça sayısının az olduğu durumlarda bile yüzlerce uygun montaj sırası elde edilebilmektedir. Tasarımcının her bir sırayı tek tek değerlendirmesi oldukça zordur. Geliştirilen yazılımda uygun sıralar arasından belirlenen kritere göre seçim yapılması sağlanmıştır. Yukarda bahsedilen ileriye dönük çalışmaların haricinde mevcut montaj sistemleri değerlendirilerek ağırlık, alt montaj serbestlik derecesi gibi mekanik, maliyet ve işlem süresi gibi ekonomik bazı kriterlerde dikkate alınarak optimizasyon genişletilebilir. Daha sonraki çalışmalarda ise elde edilen uygun montaj sıralarından veya optimizasyon sonucu elde edilen montaj sırası kullanılarak montaj hattı dengeleme konusu üzerinde çalışılarak, yazılım sanayi ihtiyaçlarına cevap verecek duruma getirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Börklü, H. R., Sinanoğlu, C., 2001. Bilgisayar destekli montaj sırası planlamada yön graf temsili ve bir örnek çalışma. **Politeknik Dergisi**, 4 (1): 1-11.
2. Dilipak, H., Özdemir, A., 2001. Bilgisayar destekli montaj: bölüm 2 – montaj sıralarının otomatik belirlenmesi. **Politeknik Dergisi**, 4 (1): 13-22.
3. Heemskerk, C., J., M. 1990. A concept for computer aided process planning for flexible assembly. Delft Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Delft, 292 s.
4. Seow, T. K., Devanathan, R., 1994. A temporal framework for assembly sequence representation and analysis. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, 10 (2): 220-229.

5. Sinanoğlu, C., Börklü, H. R., 2001. Montaj sırası planlama yaklaşımları-I: graf temelli, algoritmik ve elle yapılan montaj metotları. **Politeknik Dergisi** 4 (1):63-77.
6. Ong, N., S., Wong, Y., C., 1999. Automatic subassembly detection from a product model for disassembly sequence generation. **International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, 15 (6): 425-431.
7. Hyoung-Ro, L., Douglas D., G., 2001. Theory and methodology: improved methods of assembly sequence determination for automatic assembly systems. **European Journal Of Operational Research**, 131 (3): 611-621.
8. Gottipolu R. B., Ghosh, K, 1997. Representation and selection of assembly sequences in computer-aided assembly process planning. **International Journal Of Production Research** 35 (12): 3447-3465
9. Çiçek, A., Gülesin, M., 2007. Montaj planlama yaklaşımları üzerine bir araştırma. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi** 22 (2): 255-268.
10. Arie, D. B., Kramer, B., 1994. Computer-aided process planning for assembly: generation of assembly operations sequence. **International Journal of Production Research** 32 (3): 643-656.
11. Baldwin, D. F., Abell, T. E., Lui, M. C. M., Fazio, T. L., Whitney, D. E., 1991. An integrated computer aid for generating and evaluating assembly sequences for mechanical products. **IEEE Transactions On Robotics and Automation** 7 (1): 78-94.
12. Chakrabarty, S., Wolter, J., 1997. A structure-oriented approach to assembly sequence planning. **IEEE Transactions on Robotics and Automation** 13 (1): 14-29.
13. Zorc, S., Noe, D., Kononenko, I., 1998. Efficient derivation of the optimal assembly sequence from product description. **Cybernetics and Systems** 29 (2): 159-179.
14. Ko, H., Lee, K., 1987. Automatic assembling procedure generation from mating conditions. **Computer-Aided Design** 19 (1): 3-10.

15. Demello, L. S. H., Sanderson, A. C., 1990. And/or graph representation of assembly plans. **IEEE Transactions on Robotics and Automation** 6 (2): 188-199.
16. Niu, X., Ding, H., Xiong, Y., 2003. A hierarchical approach to generating precedence graphs for assembly planning. **International Journal of Machine Tools & Manufacture** 43: 1473-1486.
17. Gu, T., Xu, Z., Yang, Z., 2008. Symbolic obdd representations for mechanical assembly sequences. **Computer-Aided Design** 40: 411-421.
18. Chao, P. Y., Chen, T. T., 2001. Analysis of assembly through product configuration. **Computers in Industry** 44: 189-203.
19. Werling, G., Wild, H., 1994. Hom – a hybrid object model for automatic assembly planning. **Journal of Intelligent Manufacturing** 5: 153-163.
20. Eng, T. H., Ling, Z. K., Olson, W., Mclean, C., 1999. Feature-based assembly modeling and sequence generation. **Computers & Industrial Engineering** 36 (1): 17-33.
21. Mascle, C., 2002. Feature-based assembly model for integration in computer-aided assembly. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing** 18: 373-378.
22. Xiaoming A., Pingan, D., 2008. A model-based approach to assembly sequence planning. **International Journal Of Advanced Manufacturing Technology** 39 (9-10): 983-994.
23. Martinez, M., Pham, V. H., Favrel, J., 2009. Optimal assembly plan generation: a simplifying approach. **Journal Of Intelligent Manufacturing** 20 (1): 15-27.
24. Lee, Y. Q., Kumara, S. R. T., 1994. A scheme for mechanical assembly design and assembly line layout conceptualization. **Computer & Industrial Engineering** 27 (1-4): 261-264.
25. Dini, D., Santochi, M., 1992. Automated sequencing and subassembly detection in assembly planning. **CIRP Annals – Manufacturing Technology** 41 (1): 1-4.
26. Zhang, Y. Z., Ni, J., Lin, Z. Q., Lai, X. M., 2002. Automated sequencing and sub-assembly detection in automobile body assembly planning. **Journal of Materials Processing Technology** 129: 490-494.

27. Ciszak, O., 2012. Computer aided determination of the assembly sequence of machine parts and sets. **Advances in Engineering Software** **48**: 17-26.
28. Lazzerini, B., Marcelloni, F., 2000. A genetic algorithm for generating optimal assembly plans. **Artificial Intelligence in Engineering** **14**: 319-329.
29. Hong, D. S., Cho, H. S., 1999. A genetic-algorithm-based approach to the generation of robotic assembly sequences. **Control Engineering Practice** **7**: 151-159.
30. Smith, G. C., Smith, S. S. F., 2002. An enhanced genetic algorithm for automated assembly planning. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing** **18**: 355-364.
31. Smith, S. S. F., 2004. Using multiple genetic operators to reduce premature convergence in genetic assembly planning. **Computers in Industry** **54**: 35-49.
32. Chang, C. C., Tseng, H. E., Meng, L. P., 2009. Artificial immune systems for assembly sequence planning exploration. **Engineering Applications of Artificial Intelligence** **22**: 1218-1232.
33. Zhou, W., Zheng, J. R., Yan, J. J., Wang, J. F., 2011. A novel hybrid algorithm for assembly sequence planning combining bacterial chemotaxis with genetic algorithm. **International Journal Of Advanced Manufacturing Technology** **52**: 715-724.
34. Steven, H., Lai, Y., 1993. Kbda- a knowledge based design system for assembly. **Computers and Industrial Engineering** **25** (1-4): 585-588.
35. Demonly, F., Yan, X. T., Eynard, B., Rivest, L., Gomes, S., 2011. As assembly oriented design framework for product structure engineering and assembly sequence planning. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing** **27**: 33-46.
36. Yi, J., Yu, B., Du, L., Li, C., Hu, D., 2008. Research on the selectable disassembly strategy of mechanical parts based on the generalized cad model. **International Journal Of Advanced Manufacturing Technology** **37** (5-6): 599-604.
37. Su, Q., Lai, S. J., 2010. 3D geometric constraint analysis and its application on the spatial assembly sequence planning. **International Journal of Production Research** **48** (5): 1395-1414.

38. Sinanoğlu, C., Börklü, H. R., 2001. Montaj sırası planlama yaklaşımları-II: bdt verisi kullanan, yapay zeka, unsur tabanlı, özel veri yapıları kullanan, dil temsil ve sıralı liste metotları. **Politeknik Dergisi 4** (2): 1-13.
39. Özen, T., 2009. Bilgisayar destekli montaj sırası planlama sistemi tasarımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 161 s.
40. <http://tr.wikipedia.org/wiki/AutoCAD> (Erişim tarihi: 31.10.2012)
41. Başak, H., 2005. VBA ve AutoCad Uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 495 s.
42. Taşbaşı, G. M., 2003. Visual Basic 6. Altaş Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 320 s.
43. http://tr.wikipedia.org/wiki/Kabarcık_sıralaması (Erişim tarihi: 31.10.2012)

EKLER

EK-1

PARÇALARIN BELİRLENMESİ İÇİN GEREKEN KODLAR

Private Sub btnParBelirle_Click()

MultiPage1.Value = 0

Dim grpCode(0) As Integer

Dim dataVal(0) As Variant

```
Dim dblViewDirection(2) As Double
```

```
Dim objLayer As AcadLayer
```

```
Dim objLayers As AcadLayers
```

```
Dim xp As Integer
```

```
Dim Tittle As String
```

```
Dim Message As String
```

```
Dim myValue As String
```

```
mainForm.Hide
```

```
If TumPar.Count <> 0 Then
```

```
    With TumPar
```

```
        For xp = 1 To .Count
```

```
            .Remove (1)
```

```
        Next xp
```

```
    End With
```

```
End If
```

```
If mainForm.ListBox1.ListCount > 0 Then
```

```
    mainForm.ListBox1.Clear
```

```
End If
```

```
mainForm.ComboBox2.Clear
```

```
mainForm.ComboBox3.Clear
```

```
dblViewDirection(0) = -1
```

```
dblViewDirection(1) = -1
```

```
dblViewDirection(2) = 1
```

```
ThisDrawing.ActiveViewport.Direction = dblViewDirection
```

```
ThisDrawing.ActiveViewport = ThisDrawing.ActiveViewport
```

```
ZoomExtents
```

```
On Error Resume Next
```

```
ThisDrawing.SelectionSets("SS01").Delete
```

```
Set SolidSelection = ThisDrawing.SelectionSets.Add("SS01")
```

```
grpCode(0) = 0
```

```
dataVal(0) = "3DSOLID"
```

```
SolidSelection.Select acSelectionSetAll, , , grpCode, dataVal
```

```
n = SolidSelection.Count
```

```
mainForm.lblParcaSayisi.Caption = "Parça Sayısı: " & n
```

```
For xp = 0 To n - 1
```

```
    SolidSelection.Item(xp).Layer = "0"
```

```
    SolidSelection.Item(xp).Update
```

```
Next xp
```

```
Set objLayers = ThisDrawing.Layers
```

```
For Each objLayer In objLayers
```

```
    objLayer.Delete
```

```
Next objLayer
```

```
NLayer = objLayers.Count
```

```
For i = 1 To n
```

```
    Set objLayer = objLayers.Add("P" & i)
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To n - 1
```

```
    objLayers.Item(i + NLayer).color = i + 1
```

```
    If objLayers.Item(i + NLayer).color = 8 Then
```

```
        objLayers.Item(i + NLayer).color = 9
```

```
    End If
```

```
Next i
```

```
For xp = 0 To n - 1
```

```
    SolidSelection.Item(xp).color = acByLayer
```

```
    SolidSelection.Item(xp).Layer = "P" & xp + 1
```

```
    SolidSelection.Item(xp).Update
```

```
Next xp
```

```
For i = 0 To n - 1
```

```
    mainForm.ListBox1.AddItem ("P" & i + 1 & "/" & SolidSelection.Item(i).Handle)
```

```
    mainForm.ComboBox2.AddItem ("P" & i + 1)
```

```
    mainForm.ComboBox3.AddItem ("P" & i + 1)
```

```
Next i
```

```
For xp = 0 To objLayers.Count - 1
```

```
    objLayers.Item(xp).Freeze = False
```

```
Next xp
```

```

For i = 0 To n - 1

    TumPar.Add (mainForm.ListBox1.List(i))

    AllItemsVolumes.Add (mainForm.ListBox1.List(i))

Next i

    ReDim Key(1 To TumPar.Count): mainForm.Show

End Sub

```

EK-2

KONTAK VE HAREKET ENGELLEME FONKSİYONLARININ DEĞERLERİNİN BULUNDUĞUNA İLİŞKİN VBA KODLARI

```

Private Sub btnHesapla_Click()
    MultiPage1.Value = 1
    Dim StartTime As Double
    Dim LastTime As Double
    Dim TimeDiff As Double
    Dim SolidObj As Acad3DSolid

```

```
Dim grpCode(0) As Integer
Dim dataVal(0) As Variant
```

```
StartTime = Timer
lstTemaslar.Clear
lstHareketler.Clear
```

```
ReDim Temas(1 To n, 1 To n, 1 To 6)
ReDim Hareket(1 To n, 1 To n, 1 To 6)
```

```
Dim Orig(0 To 2) As Double
Orig(0) = 0: Orig(1) = 0: Orig(2) = 0
```

```
Dim V1(0 To 2) As Double
Dim V2(0 To 2) As Double
Dim DumObj As Acad3DSolid
Dim Str, Blnk As String
Dim T(1 To 6), H(1 To 6) As Integer
Dim NewVector(0 To 2) As Double
Dim LastVector(0 To 2) As Double
Dim ReturnVector(0 To 2) As Double
Dim Af As Double
Dim Eksenf(1 To 6) As Integer
Dim tmpTemasSonuclari As String
```

```
Eksenf(1) = 1: Eksenf(4) = 1
Eksenf(2) = 2: Eksenf(5) = 2
Eksenf(3) = 3: Eksenf(6) = 3
```

```
Dim cor As Integer
```

```
If mainForm.TextBox2.Text = "" Then
    Af = 1
Else
    Af = mainForm.TextBox2.Value
End If
```

```
Dim C1, C2, C3 As Integer
Dim Strlen() As Long
ReDim Strlen(0 To mainForm.ListBox1.ListCount - 1)
Dim Yummy As Integer
```

```
For C1 = 0 To mainForm.ListBox1.ListCount - 1
    Strlen(C1) = Len(mainForm.ListBox1.List(C1))
Next C1
```

```
For C2 = 0 To mainForm.ListBox1.ListCount - 2
    For C3 = C2 + 1 To mainForm.ListBox1.ListCount - 1
        If Strlen(C2) < Strlen(C3) Then
```



```

V2(0) = 0: V2(1) = 0.1: V2(2) = 0
NewVector(0) = 0: NewVector(1) = -Af: NewVector(2) = 0
Case 6 '-z
V1(0) = 0: V1(1) = 0: V1(2) = -0.1
V2(0) = 0: V2(1) = 0: V2(2) = 0.1
NewVector(0) = 0: NewVector(1) = 0: NewVector(2) = -Af
End Select

' *****
' * ***** *
' * *Kontak Fonksiyonunun Belirlenmesi* *
' * ***** *
' *****

SolidSelection.Item(i).Move Orig, V1
SolidSelection.Item(i).Update

Set DumObj =
SolidSelection.Item(i).CheckInterference(SolidSelection.Item(z), True)
If DumObj Is Nothing Then
    T(Yön) = 0
Else
    T(Yön) = 1
    DumObj.Delete
End If

SolidSelection.Item(i).Move Orig, V2
SolidSelection.Item(i).Update

' *****
' * ***** *
' * * Hareket Engelleme Fonksiyonunun Belirlenmesi* *
' * ***** *
' *****

If T(Yön) = 1 Then
    H(Yön) = 0
Else
    Select Case Yön
    Case 1, 2, 3
    Do
        SolidSelection.Item(i).Move Orig, NewVector
        SolidSelection.Item(i).Update
        Set DumObj =
        SolidSelection.Item(i).CheckInterference(SolidSelection.Item(z), True)
        If DumObj Is Nothing Then
            H(Yön) = 1
            SolidSelection.Item(i).GetBoundingBox NewFirstMin,
NewFirstMax

```

```

End If
If Not DumObj Is Nothing Then
    H(Yön) = 0
    DumObj.Delete
    SolidSelection.Item(i).GetBoundingBox LastMin, LastMax
    If Yön = 1 Then LastVector(0) = -LastMin(0) + FirstMin(0):
LastVector(1) = 0: LastVector(2) = 0
        If Yön = 2 Then LastVector(0) = 0: LastVector(1) = -
LastMin(1) + FirstMin(1): LastVector(2) = 0
        If Yön = 3 Then LastVector(0) = 0: LastVector(1) = 0:
LastVector(2) = -LastMin(2) + FirstMin(2)
        SolidSelection.Item(i).Move Orig, LastVector
        SolidSelection.Item(i).Update
        Exit Do
    End If
    Loop Until NewFirstMin(Eksenf(Yön) - 1) >
SecondMax(Eksenf(Yön) - 1)
    SolidSelection.Item(i).GetBoundingBox NewFirstMin,
NewFirstMax
    If Yön = 1 Then ReturnVector(0) = -NewFirstMin(0) + FirstMin(0):
ReturnVector(1) = 0: ReturnVector(2) = 0
        If Yön = 2 Then ReturnVector(0) = 0: ReturnVector(1) = -
NewFirstMin(1) + FirstMin(1): ReturnVector(2) = 0
        If Yön = 3 Then ReturnVector(0) = 0: ReturnVector(1) = 0:
ReturnVector(2) = -NewFirstMin(2) + FirstMin(2)
        SolidSelection.Item(i).Move Orig, ReturnVector

Case 4, 5, 6
Do
    SolidSelection.Item(i).Move Orig, NewVector
    SolidSelection.Item(i).Update
    Set DumObj =
SolidSelection.Item(i).CheckInterference(SolidSelection.Item(z), True)
    If DumObj Is Nothing Then
        H(Yön) = 1
        SolidSelection.Item(i).GetBoundingBox NewFirstMin,
NewFirstMax
    End If
    If Not DumObj Is Nothing Then
        H(Yön) = 0
        DumObj.Delete
        SolidSelection.Item(i).GetBoundingBox LastMin, LastMax
        If Yön = 4 Then LastVector(0) = -LastMin(0) + FirstMin(0):
LastVector(1) = 0: LastVector(2) = 0
            If Yön = 5 Then LastVector(0) = 0: LastVector(1) = -
LastMin(1) + FirstMin(1): LastVector(2) = 0
            If Yön = 6 Then LastVector(0) = 0: LastVector(1) = 0:
LastVector(2) = -LastMin(2) + FirstMin(2)
            SolidSelection.Item(i).Move Orig, LastVector

```

```

SolidSelection.Item(i).Update
Exit Do
End If
Loop Until NewFirstMax(Eksenf(Yön) - 1) <
SecondMin(Eksenf(Yön) - 1)
SolidSelection.Item(i).GetBoundingBox NewFirstMin,
NewFirstMax
If Yön = 4 Then ReturnVector(0) = -NewFirstMin(0) + FirstMin(0):
ReturnVector(1) = 0: ReturnVector(2) = 0
If Yön = 5 Then ReturnVector(0) = 0: ReturnVector(1) = -
NewFirstMin(1) + FirstMin(1): ReturnVector(2) = 0
If Yön = 6 Then ReturnVector(0) = 0: ReturnVector(1) = 0:
ReturnVector(2) = -NewFirstMin(2) + FirstMin(2)
SolidSelection.Item(i).Move Orig, ReturnVector
End Select
End If
Next Yön

For cor = 1 To 6
Temas(i + 1, z + 1, cor) = T(cor)
Hareket(i + 1, z + 1, cor) = H(cor)
Next cor

Dim Text1 As String
Dim Text2 As String

Text1 = " " & mainForm.ListBox1.List(i) & " - " &
mainForm.ListBox1.List(z) & " " & Temas(i + 1, z + 1, 1) & " " & Temas(i + 1, z +
1, 2) & " " & Temas(i + 1, z + 1, 3) & " " & Temas(i + 1, z + 1, 4) & " " &
Temas(i + 1, z + 1, 5) & " " & Temas(i + 1, z + 1, 6)
Text2 = " " & mainForm.ListBox1.List(i) & " - " &
mainForm.ListBox1.List(z) & " " & Hareket(i + 1, z + 1, 1) & " " & Hareket(i + 1, z
+ 1, 2) & " " & Hareket(i + 1, z + 1, 3) & " " & Hareket(i + 1, z + 1, 4) & " " &
Hareket(i + 1, z + 1, 5) & " " & Hareket(i + 1, z + 1, 6)

lstTemaslar.AddItem (Text1)
lstHareketler.AddItem (Text2)
mainForm.Repaint
End If
Next z
Next i

i2 = FreeFile
Open "C:\Functions.txt" For Output As #i2

Print #i2, Space$(MU + 11); "Kontak Ve Hareket Engelleme Fonksiyonları"
Print #i2, Space$(MU + 4); "-----"
Print #i2, Space$(MU + 4) & "(T) +X +Y +Z -X -Y -Z (H) +X +Y +Z -X -Y -Z"

```

```

Print #i2, Space$(MU + 4) & " -----"
For i = 0 To n - 1
    For z = 0 To n - 1
        If i <> z Then
            GPU = Len(mainForm.ListBox1.List(i)) + Len(mainForm.ListBox1.List(z))
            Print #i2, mainForm.ListBox1.List(i) & " - " & mainForm.ListBox1.List(z) &
Space$(MU - GPU) & " =>  " & Temas(i + 1, z + 1, 1) & Space$(2) & Temas(i + 1, z +
1, 2) & Space$(2) & Temas(i + 1, z + 1, 3) & Space$(2) & Temas(i + 1, z + 1, 4) &
Space$(2) & Temas(i + 1, z + 1, 5) & Space$(2) & Temas(i + 1, z + 1, 6) _
& Space$(7) & Hareket(i + 1, z + 1, 1) & Space$(2) & Hareket(i + 1, z + 1, 2)
& Space$(2) & Hareket(i + 1, z + 1, 3) & Space$(2) & Hareket(i + 1, z + 1, 4) &
Space$(2) & Hareket(i + 1, z + 1, 5) & Space$(2) & Hareket(i + 1, z + 1, 6)
        End If
    Next z
Next i
Close #i2

LastTime = Timer
TimeDiff = LastTime - StartTime
MsgBox "İşleminiz " & TimeDiff & " saniyede tamamlanmıştır."
LabelP1.Visible = False
LabelP2.Visible = False
Label14.Visible = False

End Sub

```

EK-3

HACİM OPTİMİZASYON KRİTERİNDE KULLANILAN KODLAR

```
Private Sub btnFilterFromWeight_Click()
```

```

    Dim tEnt As AcadEntity
    Dim tmpVol As Double
    Dim tmpVolH, tVolp1 As String
    Dim prgItemName As String
    Dim sItemHandle As String
    Dim toItemHandle As String

```

```

Dim sList As New Collection
Dim sList2() As String

If Not (lstResults.ListCount > 0) Then

    btnMonSirUret_Click

End If

Dim k As Integer

For Each tEnt In ThisDrawing.ModelSpace

    If (TypeOf tEnt Is Acad3DSolid) Then

        Dim tEnt3D As Acad3DSolid

        Set tEnt3D = tEnt

        sList.Add (tEnt3D.Handle & "/" & tEnt3D.Volume)

    End If

Next

ReDim sList2(1 To sList.Count)

For k = 1 To sList.Count

    sList2(k) = sList(k)

Next

Dim p1 As String

Dim i, j As Long

For i = 1 To UBound(sList2)

    For j = i + 1 To UBound(sList2)

        If (Round(Split(sList2(i), "/")(1)) < Round(Split(sList2(j), "/")(1))) Then

```

```

        tVolp1 = sList2(j)

        sList2(j) = sList2(i)

        sList2(i) = tVolp1

    End If

Next

Next

Dim m, n, LnNum As Integer

Dim sTmp1 As String

For m = 1 To UBound(sList2)

    For n = 1 To UBound(sList2)

        If (Split(sList2(m), "/")(0) = Split(AllItemsVolumes(n), "/")(1)) Then

            sList2(m) = Split(AllItemsVolumes(n), "/")(0) & "/" & sList2(m)

        Exit For

    End If

Next

n = 0

Next

For m = 0 To UBound(sList2) - 1

    lstSorts.AddItem (sList2(m + 1))

Next

Dim i1, j1, DonguSayisi, BaslangicSayisi, EslesmeBulundumu, HacimParcasi As
Long

m = 0: j = 0: LnNum = 0: DonguSayisi = 0: BaslangicSayisi = 0: EslesmeBulundumu
= 0

```

HacimParcasi = 1

For i = 0 To (lstResults.ListCount - 1)

 If (LnNum > 0) Then

 DonguSayisi = (lstResWithWeight.ListCount - 1)

 Else

 DonguSayisi = (lstResults.ListCount - 1)

 End If

 BaslangicSayisi = 0

 For j = 0 To DonguSayisi

 If (BaslangicSayisi < 0) Then BaslangicSayisi = 0

 If (LnNum > 0) Then

 If (Split(sList2(HacimParcasi), "/")(0) =
Split(Split(lstResWithWeight.List(BaslangicSayisi), "-")(m), "/")(0)) Then

 BaslangicSayisi = (BaslangicSayisi + 1)

 EslesmeBulundumu = 1

 Else

 lstResWithWeight.RemoveItem (BaslangicSayisi)

 If (BaslangicSayisi = 0) Then

 BaslangicSayisi = (BaslangicSayisi - 1)

 ElseIf (BaslangicSayisi <> 0) Then

 BaslangicSayisi = BaslangicSayisi

 End If

 EslesmeBulundumu = 0

 End If

Else

If (Split(lstSorts.List(0), "/")(0) = Split(Split(lstResults.List(j), "-")(m),
"/")(0)) Then

lstResWithWeight.AddItem (lstResults.List(j))

lstTemp.AddItem (lstResults.List(j))

EslesmeBulundumu = 1

End If

End If

If (j = DonguSayisi) Then ' eğer son satır kontrol edilmiş ve sütun sonuna
gelinmişse

If (lstResWithWeight.ListCount > 0) Then

lstTemp.Clear

Dim xy As Long

For xy = 0 To lstResWithWeight.ListCount - 1

lstTemp.AddItem (lstResWithWeight.List(xy))

EslesmeBulundumu = 1

Next

End If

If (LnNum > 0) Then

If Not (lstResWithWeight.ListCount > 0) Then

Dim Sy As Integer

For Sy = 0 To lstTemp.ListCount - 1

lstResWithWeight.AddItem (lstTemp.List(Sy))

Next

End If

```

End If

If (EslesmeBulundumu = 1) Then

    If (lstSorts.ListCount > m) Then

        m = m + 1

    End If

    sList2(HacimParcasi) = "asd/asd2/0"

    For i1 = 1 To UBound(sList2)

        For j1 = i1 + 1 To UBound(sList2)

            If (Round(Split(sList2(i1), "/")(2)) < Round(Split(sList2(j1),
"/")(2))) Then

                tVolp1 = sList2(j1)

                sList2(j1) = sList2(i1)

                sList2(i1) = tVolp1

            End If

        Next

    Next

    HacimParcasi = 1

End If

If (EslesmeBulundumu = 0) Then

    If Not (UBound(sList2) <= HacimParcasi) Then

        HacimParcasi = HacimParcasi + 1

    End If

End If

EslesmeBulundumu = 0

```

```

        LnNum = LnNum + 1

        If (m = lstSorts.ListCount) Then

            Call toTreeview

            Exit Sub

        End If

    End If

Next

Next

If Not (ListBox2.ListCount > 0) Then

    Call toTreeview

End If

End Sub

Private Sub toTreeview()

    Dim tmpLine, tmpItems() As String
    Dim spt As String

    spt = "-"

    For i = 0 To (lstResWithWeight.ListCount - 1)

        tmpLine = lstResWithWeight.List(i)

        If (tmpLine <> "") Then

            tmpItems = Split(tmpLine, "-")

            For j = 0 To UBound(tmpItems)

                If (j = 0) Then

                    ListBox2.AddItem (tmpItems(j))

                ElseIf (j > 0) Then

```

```
        For k = 0 To j
            spt = spt & "-"
        Next

        ListBox2.AddItem (spt & tmpItems(j))

    End If

Next

End If

tmpLine = ""

Next

End Sub
```

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğrenimini 1990-1995 yılları arasında 60. Yıl Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır. Orta öğretimini 1995-1998 yılları arasında Sümer Ortaöğretim Okulu'nda daha sonra Lise Eğitimi' nide Kocasinan Süper Lisesi'nde 1999-2003 yılları arasında tamamlamıştır. 2005 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü' nden 2010 yılında bölüm birinciliği ve fakülte dördüncülüğü derecesi ile

tamamlamıştır. 2007 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü' nde yandal eğitimine başlamış ve 2010 yılında Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü' nden yandal derecesini almıştır. 2010-2011 yılları arasında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü' nde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2011 yılından itibaren ise Erciyes Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü' nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

İletişim Bilgileri:

Adres : Talas – TOKİ C3/13 NO:36

Telefon : +905062377157 (GSM) - +903523389597 (Ev)

E-posta : ozkan_0712@hotmail.com