

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TİPİK BİR KORVET SAVAŞ GEMİSİ GÖVDE KAPAĞININ EŞ  
ZAMANLI MÜHENDİSLİK YÖNTEMİYLE MONTAJA VE  
BAKIMA UYGUN TASARIMI**

**SEDAT CAN TİNİ**

**KOCAELİ 2019**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TİPİK BİR KORVET SAVAŞ GEMİSİ GÖVDE KAPAĞININ EŞ**  
**ZAMANLI MÜHENDİSLİK YÖNTEMİYLE MONTAJA VE**  
**BAKIMA UYGUN TASARIMI**

**SEDAT CAN TİNİ**

**Prof.Dr. Adalet ZEREN**  
Danışman, Kocaeli Üniv.

**Prof.Dr. Tamer SINMAZÇELİK**  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

**Dr.Öğr.Üyesi İlknur KOCAŞ KOZBE**  
Jüri Üyesi, T.C. İstanbul Gedik Üniv.

*S. Zeren*  
*T. Sinmazçelik*  
*i. kocaskozbe*

Tezin Savunulduğu Tarih: 14.06.2019

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması tipik bir korvet savaş gemisi füze rampasına ait gövde kapağının, eş zamanlı mühendislik yöntemi ve tekniklerinden Boothroyd & Dewhurst DFA analizi yöntemi kullanılarak montaja ve bakıma en uygun tasarım uygulaması yapmak için gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans tezimin danışmanlığını üstlenen, her türlü desteğini, yardımını esirgemeyerek fikir ve önerileri ile çalışmalarına katkıda bulunan değerli hocam Prof. Dr. Adalet ZEREN'e,

Çalışmalarına katkıda bulunan emekli ustabaşımız Sn. Zarif RAKOP'a, fikirleriyle destek veren Mot. Asb. Kd. Bçvş. Bahri Kocabıyık'a, yardımlarını esirgemeyen Makine Grup Müdürümüz Dz. Yb. Nihat SÜER'e ve MSB İstanbul Tersanesi Komutanlığı personeline,

Hayatımın her anında hep yanımda olan, benden sevgi, destek ve anlayışlarını esirgemeyerek beni bu günlere getiren ablam, babam ve anneme, bana aşkı öğreten eşim Betül YÜCEL TİNİ'ye ve dünyaya gözlerini yeni açan minik oğlum Deniz Cemil TİNİ'ye,

Sonsuz sevgi, teşekkür ve saygılarımla...

Haziran – 2019

Sedat Can TİNİ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT .....	ix
GİRİŞ .....	1
1. TASARIM YÖNTEMLERİ .....	4
1.1. Sıralı (Ardışık) Mühendislik .....	4
1.2. Eş Zamanlı Mühendislik .....	6
1.2.1. Eş zamanlı mühendisliğin tanımları.....	8
1.2.2. Eş zamanlı mühendislikte faktörlerin etkisi.....	10
1.2.3. Eş zamanlı mühendislikte temel ilkeler .....	12
1.2.4. Eş zamanlı mühendislik yönteminin uygulanmasının faydaları .....	13
1.2.5. Eş zamanlı mühendislik yönteminin uygulanmasının zorlukları.....	18
1.2.6. Eş zamanlı mühendisliğin yapısı.....	18
1.2.7. Eş zamanlı mühendislikte ürün geliştirme süreci.....	19
1.2.8. Eş zamanlı mühendislikte başarı .....	20
1.2.8.1. Yönetim yapısı .....	22
1.2.8.2. Organizasyon yapısı.....	22
1.2.8.3. Çapraz fonksiyonlu ekipler .....	24
1.2.8.4. Geri bildirim ve kontrol mekanizması .....	24
1.2.8.5. Kullanılan teknikler .....	24
2. EŞ ZAMANLI MÜHENDİSLİKTE UYGULAMA TEKNİKLERİ .....	26
2.1. Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) .....	26
2.1.1. Kalite fonksiyon yayılım süreci .....	29
2.1.1.1. Ürün planlaması (kalite evi).....	29
2.1.1.2. Ürün tasarımı .....	30
2.1.1.3. Süreç planlaması .....	30
2.1.1.4. Üretim planlaması.....	30
2.1.2. Kalite fonksiyon yayılımının faydaları .....	30
2.2. Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (OHTEA).....	31
2.2.1. Olası hata türleri ve etkileri analizi türleri .....	32
2.2.2. Olası hata türleri ve etkileri analizi uygulama adımları .....	33
2.3. Taguchi Yöntemi (TY) .....	36
2.4. Grup Teknolojisi (GT) .....	38
2.5. Kaliteye Uygun Tasarım (KUT) .....	39
2.6. Güvenilirliğe Uygun Tasarım (GUT) .....	40
2.7. Sürdürülebilirliğe Uygun Tasarım (SUT).....	41
2.8. Çevreye Uygun Tasarım (ÇUT).....	42
2.9. Demontaja Uygun Tasarım (DUT) .....	42

3. MONTAJA UYGUN TASARIM YÖNTEMİ .....	44
3.1. Montaj Teknolojisi.....	44
3.2. Montaja Uygun Tasarım (MUT).....	47
3.3. DFMA Uygulamasının Avantajları.....	50
3.4. Montaja Uygun Tasarımlarda Montaj Edilebilirlik Kriterleri .....	50
3.4.1. IPA Stuttgart DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi.....	51
3.4.2. Hitachi DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi .....	52
3.4.3. Lucas DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi .....	56
3.4.4. Boothroyd&Dewhurst DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi .....	60
3.4.4.1. Manuel montaj için genel tasarım kuralları .....	72
4. BAKIMA UYGUN TASARIM YÖNTEMİ.....	78
4.1. Bakım Kavramı ve Yönetimi .....	78
4.2. Bakıma Uygun Tasarım (BUT) .....	80
5. MONTAJA VE BAKIMA UYGUN TASARIM UYGULAMASI.....	83
5.1. Sistem Hakkında Genel Bilgiler .....	83
5.1.1. Tasarım 1 için oluşturulan Boothroyd & Dewhurst analizi .....	85
5.1.2. Tasarım 2 için oluşturulan Boothroyd & Dewhurst analizi .....	94
5.1.3. Tasarım 3 için oluşturulan Boothroyd & Dewhurst analizi .....	99
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	103
KAYNAKLAR .....	107
EKLER.....	110
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	113
ÖZGEÇMİŞ .....	114

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Sıralı Mühendislik Akış Şeması .....	4
Şekil 1.2.	Over the wall etkisi .....	5
Şekil 1.3.	Yeni bir ürün tasarımı ve üretiminde, sıralı (ardışık) mühendislik ve eş zamanlı mühendislik yaklaşımlarının kıyaslanması .....	5
Şekil 1.4.	Eş zamanlı mühendislik akış şeması .....	7
Şekil 1.5.	Disiplinler arası çalışmalar .....	10
Şekil 1.6.	Eş zamanlı mühendislik uygulamasını etkileyen faktörler .....	12
Şekil 1.7.	Ürün geliştirme sürecindeki maliyet eğrileri .....	14
Şekil 1.8.	Ürün geliştirme sürecinde görülen zamandan tasarruf .....	14
Şekil 1.9.	Eş zamanlı mühendislik uygulamasının getirdiği sonuçlar .....	15
Şekil 1.10.	Tasarım olgunluk seviyesi ve mühendislik değişiklik sayılarının kullanılan yönteme göre değişimi .....	16
Şekil 1.11.	Tasarım değişiklik sayısının eş zamanlı mühendislik ve geleneksel mühendislik yöntemlerinde zamana bağlı değişimi .....	16
Şekil 1.12.	Eş zamanlı mühendislik kavramının geleneksel yöntemler ile karşılaştırılması .....	17
Şekil 1.13.	Eş zamanlı mühendislik kavramı için oluşturulan yapı .....	19
Şekil 1.14.	Eş zamanlı mühendislik ürün geliştirme süreci .....	20
Şekil 1.15.	Ürün geliştirme sürecindeki ekip anlayışı .....	21
Şekil 1.16.	Matris organizasyon şeması .....	23
Şekil 2.1.	Kalite fonksiyon yayılımı matris analiz modeli gösterimi .....	27
Şekil 2.2.	Kalite evini oluşturan matrisler .....	28
Şekil 2.3.	Kalite fonksiyon yayılım süreci .....	29
Şekil 2.4.	Sistem tasarım ve süreç ilişkisi .....	32
Şekil 2.5.	Tasarım OHTEA yöntemi .....	33
Şekil 2.6.	OHTEA örnek formu .....	35
Şekil 2.7.	Taguchi kalite kaybı fonksiyonu .....	37
Şekil 2.8.	Geleneksel yöntemlerde kalite kaybı .....	38
Şekil 3.1.	Montaj prosesleri ve parça sayısına göre montaj maliyetleri .....	45
Şekil 3.2.	Montaj yöntemlerinin üretim hacmine göre relatif üretim maliyeti .....	46
Şekil 3.3.	Montaj teknolojisi diyagramı .....	46
Şekil 3.4.	Motor tahrik tertibatının özgün tasarımı .....	48
Şekil 3.5.	DFA analizinden sonra motor tahrik grubunun yeniden tasarımı .....	48
Şekil 3.6.	DFMA yazılımını kullanarak DFMA çalışmasında atılan tipik adımlar .....	49
Şekil 3.7.	Ürün üretim sürecinde maliyetin etkileri .....	50
Şekil 3.8.	Hitachi montaj değerlendirme akış şeması .....	53
Şekil 3.9.	Hitachi değerlendirme yönteminde örnek ceza faktörleri .....	54
Şekil 3.10.	Lucas DFA montaj değerlendirme yöntemi genel yapısı .....	56
Şekil 3.11.	Boothroyd & Dewhurst ile kontrolör montaj uygulaması .....	61

Şekil 3.12.	Parça boyutlarının elle taşıma ceza puanına etkisi .....	64
Şekil 3.13.	Parça kalınlığının elle taşıma ceza puanına etkisi .....	65
Şekil 3.14.	Bazı parçalar için alfa ve beta simetri açıları .....	66
Şekil 3.15.	Manuel elle taşıma zamanının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1' den seçimi .....	67
Şekil 3.16.	Manuel elle ekleme zamanının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-2' den seçimi .....	68
Şekil 3.17.	Kontrolör montaj uygulamasının yeni tasarımı .....	70
Şekil 3.18.	Bazı geometrik şekillerin parça taşınmasına etkisi .....	72
Şekil 3.19.	Geometrik özelliklerin parça taşınmasına etkisi .....	73
Şekil 3.20.	Parça geometrisinin montaj işlemine etkisi .....	73
Şekil 3.21.	Kör delik montaj işlerinde hava deliklerinin etkisi .....	74
Şekil 3.22.	Delik montajlarında pah kırılmasının montaja etkisi .....	74
Şekil 3.23.	Standart işlemler kullanılarak montajın gerçekleştirilmesi .....	75
Şekil 3.24.	Tek eksenli piramit montaj .....	75
Şekil 3.25.	Parça montajlarında konumlandırmanın etkisi .....	76
Şekil 3.26.	Montaj işlemlerinde eklemeye yardımcı olan tasarımlar .....	76
Şekil 3.27.	Sık kullanılan bağlama yöntemleri .....	77
Şekil 5.1.	Güdümlü füze atışı sonrasında oluşabilen ısı .....	83
Şekil 5.2.	Güdümlü füze atışı sonrasında oluşabilen egzoz gazı .....	84
Şekil 5.3.	Tasarım 1'e ait tasarlanmış prototip kapak tasarımları .....	85
Şekil 5.4.	Tasarım 1'e ait CAD kapak tasarımı .....	86
Şekil 5.5.	Tasarım 1'e ait patlatılmış montaj görüntüsü .....	87
Şekil 5.6.	Tek elle kavrama elamanlarına ihtiyaç olmadan yapılan montaj uygulamasının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1' den seçimi .....	90
Şekil 5.7.	Tek elle yardımcı kavrama elamanlarına ihtiyaç duyularak yapılan montaj uygulamasının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1' den seçimi .....	90
Şekil 5.8.	Çift elle yönlendirilebilen montaj uygulamasının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1' den seçimi .....	91
Şekil 5.9.	Çift el ve büyük boyutlar için yönlendirilebilen montaj uygulamasının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1' den seçimi .....	91
Şekil 5.10.	Elle ekleme zamanının montaj konumuna göre eklenme durumlarının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-2' den seçimi .....	92
Şekil 5.11.	Montaj işlemlerinden sonra parçaların emniyete alınması gereken durumlarının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-2' den seçimi .....	93
Şekil 5.12.	Tüm katı parçaların montaj işlemlerinin bulunduğu montaj durumlarının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-2' den seçimi .....	93
Şekil 5.13.	Tasarım 2'ye ait tasarlanmış prototip kapak tasarımları .....	94
Şekil 5.14.	Tasarım 2'ye ait CAD kapak tasarımı .....	95
Şekil 5.15.	Tasarım 2'ye ait patlatılmış montaj görüntüsü .....	96
Şekil 5.16.	Tasarım 3'e ait tasarlanmış prototip kapak tasarımları .....	99
Şekil 5.17.	Tasarım 3'e ait CAD kapak tasarımı .....	100
Şekil 5.18.	Tasarım 3'e ait patlatılmış montaj görüntüsü .....	101

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1.	IPA Stuttgart yönteminde ceza faktörleri .....	52
Tablo 3.2.	Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme örneği.....	55
Tablo 3.3.	Lucas montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemine ait örnek akış diyagramı .....	58
Tablo 3.4.	Lucas montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi uygulanmış tasarım örneği.....	59
Tablo 3.5.	Kontrolör montajı için oluşturulmuş DFA analizi.....	62
Tablo 3.6.	Tasarım değişiklikleri ve elde edilen kazanımlar .....	69
Tablo 3.7.	Yeniden tasarlanan kontrolör montajı için DFA analizi.....	71
Tablo 5.1.	Tasarım 1'e ait parça listesi .....	87
Tablo 5.2.	Tasarım 1 için Boothroyd & Dewhurst DFA analiz tablosu .....	89
Tablo 5.3.	Tasarım 2'ye ait parça listesi.....	97
Tablo 5.4.	Tasarım 2 için Boothroyd & Dewhurst DFA analiz tablosu .....	98
Tablo 5.5.	Tasarım 3'e ait parça listesi.....	101
Tablo 5.6.	Tasarım 3 için Boothroyd & Dewhurst DFA analiz tablosu .....	102
Tablo 6.1.	DFA analiz tablolarının sonuçlarının değerlendirilmesi.....	104
Tablo A.1.	Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yöntemi elle taşıma zaman kodları .....	111
Tablo A.2.	Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yöntemi elle ekleme zaman kodları.....	112



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

AEM	: Assembly Evaluation Method (Montaj Değerlendirilmesi Metodu)
ASF	: Assembly Sequence Flowchart (Montaj Akış Şeması)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAE	: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
CERC	: Concurrent Engineering Research Center (Eş Zamanlı Mühendislik Araştırma Merkezi)
ÇUT	: Çevreye Uygun Tasarım
DARPA	: Defence Advance Research Project Agency (Savunma İleri Araştırma Projeleri Dairesi)
DFA	: Design for Assembly (Montaj için Tasarım)
DFM	: Design for Manufacturing (Üretim için Tasarım)
DFMA	: Design for Manufacturing and Assembly (Üretim ve Montaj için Tasarım)
DUT	: Demontaja Uygun Tasarım
EM	: Eş Zamanlı Mühendislik
FEA	: Finite Element Analys (Sonlu Elamanlar Yöntemi)
GT	: Grup Teknolojisi
GUT	: Güvenilirliğe Uygun Tasarım
HAOZ	: Hatalar Arası Ortalama Zaman
IPA	: Institute Production and Automation (Üretim ve Otomasyon Entitüsü)
KFY	: Kalite Fonksiyon Yayılımı
KUT	: Kaliteye Uygun Tasarım
MIL-STD	: Military Standarts (Askeri Standartlar)
MSB	: Milli Savunma Bakanlığı
MTBF	: Mean Time Between Failures (Arızalar Arasındaki Zaman Aralığı)
MTTF	: Mean Time to Failure (Ortalama Arıza Süresi)
MUT	: Montaja Uygun Tasarım
OHTEA	: Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi
ÜOOZ	: Ürün Onarmanın Ortalama Zamanı
RÖS	: Risk Öncelik Sayısı
SM	: Sıralı Mühendislik
SUT	: Sürdürülebilirliğe Uygun Tasarım
SUT	: Sürdürülebilirliğe Uygun Tasarım
TY	: Taguchi Yöntemi

# **TİPİK BİR KORVET SAVAŞ GEMİSİ GÖVDE KAPAĞININ EŞ ZAMANLI MÜHENDİSLİK YÖNTEMİYLE MONTAJA VE BAKIMA UYGUN TASARIMI**

## **ÖZET**

Bu çalışmada, eş zamanlı mühendislik yöntemi tekniklerinden montaja ve bakıma uygun tasarım yöntemlerinin kuralları uygulanmış tasarım uygulamaları yer almıştır. Çalışmanın amacını yeni bir ürünün tasarım sürecinde eş zamanlı mühendislik felsefesini etkili bir şekilde kullanmak ve yöntemin tekniklerinden Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yönteminin gerektirdiği kuralları kullanarak tipik bir korvet savaş gemisi füze rampasına ait gövde kapağından çıkan egzoz gazının ve ısısının kolayca atılmasına yardımcı olacak en uygun tasarımın bulunmasına imkan sağlayan tasarımın gerçekleştirilmesini sağlamak oluşturmuştur. Bu kapsamda eş zamanlı mühendislik ile geleneksel mühendislik anlayışındaki farklar ele alınmış; detaylı bir şekilde eş zamanlı mühendisliğin tanımı, önemi, ilkeleri, yapısı, avantaj ve dezavantajları anlatılarak bu mühendislik anlayışında başarının nasıl elde edilebileceği üzerine durulmuştur. Bunun yanı sıra montaj teknolojisine giriş yapılmış, montaja uygun tasarım yöntemleri ve tekniklerinden IPA Stuttgart, Hitachi, Lucas ve Boothroyd & Dewhurst DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemleri üzerine genel bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca diğer uygulama tekniğinden bakıma uygun tasarım yönteminin de kavramı ve uygulaması hakkında bilgi verilerek tasarım kurallarından bahsedilmiştir. Yöntemin uygulaması olarak tipik bir korvet savaş gemisi gövde kapağının Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) programı kullanılarak farklı tasarımları yapılmış ve prototipleri oluşturulmuştur. Daha sonra montaj grupları üzerinde Boothroyd & Dewhurst DFA analizi uygulanarak montaj verimliliği hakkında oluşturulan tabloların değerlendirilmesi ile montaja ve bakıma en uygun tasarım gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak eş zamanlı mühendislik yöntemi tekniklerinden montaja ve bakıma dayalı tasarım yöntemlerinin uygulanması ile yapılan uygulamalarda tasarım süreçlerindeki verimliliğin arttığı; montaj zamanları, üretim ve işçilik maliyetleri ile bakım için gerekli uygulamaların ve faaliyetlerin azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayar Destekli Tasarım, Boothroyd & Dewhurst Yöntemi, Eş Zamanlı Mühendislik.

## **DESIGNS FOR ASSEMBLY AND MAINTENANCE IN CONCURRENT ENGINEERING FOR TYPE OF CORVETTE WARSHIP BODY COVER**

### **ABSTRACT**

In this study, the design applications which are applied the rules of design methods suitable design for assembly (DFA) and design for maintainability (DFMt) from concurrent engineering method techniques have been included. The purpose of the study is to use the concurrent engineering philosophy effectively in the design process of a new product and using the rules of the method required by Boothroyd & Dewhurst DFA analysis method enabling the design of the design to help the exhaust gas and heat from the body cover of typical corvette warship missile ramp, so find the most suitable design. The definition, importance and different methods of the concurrent engineering philosophy methods are discussed and results are evaluated. General information about design methods IPA Stuttgart, Hitachi, Lucas, Boothroyd & Dewhurst DFA and assembly criteria explained. Another important tool of concurrent engineering philosophy, DFMt has been studied. Finally, the different designs manufactured prototypes of the cover of a typical corvette warship were drawn CAD software, and tables were created to find the assembly efficiency by using the Boothroyd & Dewhurst DFA method. The results of the comparison of the tables created with the examines DFA method, and emphasizes the effect of design methods for validity of DFA and DFMt on the design process. As result of the implementation of the concurrent engineering applied in the design applications and it has been observed that the developments in design processes have increased, production and labor costs have decreased, assembly times and maintenance and applications have decreased.

**Keywords:** Computer Aided Design, Boothroyd & Dewhurst DFA Method, Concurrent Engineering.

## **GİRİŞ**

Ürünün son kullanıcıya ulaşmaya kadar ürün geliştirme süreçlerindeki değişimler, mühendislik faaliyetlerinin gelişmesi, teknolojiye hızlı değişimler, tasarım ve üretim tekniklerinin gelişmesi, ürün çeşitliliği, rekabetçi ortamların oluşması artan kalite istekleri ve maliyetler firmaların faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için mühendislik anlayışlarını değiştirmelerini gerektirmiştir. Böyle bir ortamda etkinliğini arttırabilmek için mühendislik anlayışını değiştirebilen, Ar-Ge çalışmalarına önem verebilen ve tüm bu süreçleri eş zamanlı olarak uygulayabilen firmalar bu rekabet ortamından başarı ile çıkabilmişlerdir. Tam da bu noktada sistematik bir anlayış olan eş zamanlı mühendislik kavramının yerleşmesi hiyerarşik organizasyon yapısıyla yönetilen firmaların anlayışlarını değiştirmelerini gerektirmiştir. Bu anlayışla beraber ürün tasarlanıp, planlanarak üretim aşamasından satış departmanına oradan da son kullanıcıya ulaşmaya kadar geçen sürelerde fikir alış verişleri eş zamanlı olarak devam ettirilmiştir. Böylece temel amaç olan üretimde kalitenin artırılması, maliyetlerin azaltılması ve müşteri memnuniyetinin artırılması bu yöntemle sağlanabilecektir [1].

Tam tersine geleneksel yöntemler ile mühendislik anlayışını devam ettiren firmalardaki sıralı (ardışık) mühendislik anlayışında ise her departman yapması gereken görevi veya değişikliği yerine getirdikten sonra görevi bir sonraki departmana devrederek birbirlerinden bağımsız çalışmalarına devam ettirmektedirler. Bu da artan iş gücü ve maliyet olarak işletmelerin üzerine geri dönmektedir. Ancak bu durum eş zamanlı mühendislik kavramının ortaya çıkmasıyla değişmiş, ekip ruhu geliştirilmiş ve herkesin görüşlerine önem verilerek her bölümün birbirinden haberi olarak yapılabilirlikleri ön planda tutup sorumluluklarını yerine getirmeleri sağlanmıştır. Böylece eş zamanlı mühendislik uygulamalarına geçiş ile ürünün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkabilecek değişiklikler ve düzeltilmeler önlenerek işçilik ve maliyetten büyük oranda tasarruf sağlanmış olabilecektir [1].

Öyle ki yurt dışında eş zamanlı mühendislik yönteminin önemi için araştırma ve yaygınlaştırma amacını güden kurumlar oluşturulmuştur. Bu kurumlardan bazıları [1]:

- Eş Zamanlı Ürün Geliştirme Kurumu (Society of Concurrent Product Development-2004)
- Avrupa Eş Zamanlı Mühendislik Kurumu (European Society Concurrent Engineering-2003)
- Meksika Eş Zamanlı Mühendislik Kurumu (Sociedad Mexicana de Ingenieria Concurrente-2003)
- West Virginia Üniversitesi Eş Zamanlı Mühendislik Araştırma Merkezi (West Virginia University Concurrent Engineering Research Center CERC-2002)' dir.

Tasarım ve üretim alanlarındaki gelişmeler sonucu eş zamanlı mühendislik yönteminin uygulama tekniklerine daha fazla önem verilmesine neden olmuştur. Uygulanmak istenen tasarımların kontrolü arttırılmış ve üzerinde bilimsel hesaplar yapılarak yöntem ve prosedürler geliştirilmiştir. Bu nedenlerden dolayı bu tezin ana konusunu eş zamanlı mühendislik ve onun uygulama tekniği olan montaja ve bakıma uygun tasarımların yapılabilirliği, işlevselliği ve uygulanabilirliği oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı ise yeni bir ürünün tasarım süreci boyunca eş zamanlı mühendislik kavramını etkili bir şekilde kullanmak, bu yöntemin gerektirdiği teknikleri uygulayarak tipik bir korvet savaş gemisi füze rampasına ait gövde kapağından egzoz gazının ve ısısının kolayca atılmasına yardımcı olacak en uygun tasarımın bulunmasını sağlamaktır.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde eş zamanlı mühendislik ile sıralı mühendislik arasındaki farklar ele alınarak teorik olarak detaylı bir şekilde eş zamanlı mühendisliğin tanımı, etkilendiği faktörler, temel ilkeleri, yapısı, yöntemin faydaları ve zorlukları, ürün geliştirme süreçleri anlatılmıştır. Ayrıca bu mühendislik anlayışında başarının elde edilebilmesi için yönetim-organizasyon yapısı, ekip çalışması ile geri bildirim ve kontrol mekanizması tekniklerinin üzerine durulmuştur.

İkinci bölümde eş zamanlı mühendislik yönteminin uygulama teknikleri olan Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY), Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (OHTEA), Taguchi Yöntemi (TY), Grup Teknolojisi (GT), Kaliteye Uygun Tasarım (KUT),

Güvenilirliğe Uygun Tasarım (GUT), Sürdürülebilirliğe Uygun Tasarım (SUT), Çevreye Uygun Tasarım (ÇUT) ve Demontaja Uygun Tasarım (DUT) yöntemleri ve bu yöntemler hakkında bilgiler verilerek temel amaçları ortaya çıkarılmıştır.

Üçüncü bölümde montaj teknolojisine giriş yapılarak montaja uygun tasarım yöntemleri, avantajları ve montaj edilebilirlik kriterleri üzerine genel bilgiler ile tasarım kuralları anlatılacaktır. Bu kapsamda uygulama tipleri olan IPA Stuttgart DFA Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi, Hitachi DFA Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi, Lucas DFA Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi ve Boothroyd & Dewhurst DFA Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemleri ayrıntılarıyla açıklanacak olup yöntem sonlarında uygulama çeşitleri verilerek bu yöntemlerin kullandığı kriterlere yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde eş zamanlı mühendislik yönteminde bir diğer uygulama tekniği olan bakıma uygun tasarım yönteminin kavramı ve uygulaması hakkında bilgi verilerek tasarım kurallarından bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde tipik bir korvet savaş gemisi füze rampasına ait gövde kapağının farklı tasarımları üç boyutlu Bilgisayar Destekli Tasarım programı ile tasarlanıp prototipleri oluşturularak Boothroyd & Dewhurst DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi sayesinde montaj verimliliği indeksi hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Son bölümde ise Boothroyd & Dewhurst DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi ile oluşturulan tabloların karşılaştırılmasının sonuçları irdelenerek montaja ve bakıma uygun tasarım yöntemlerinin tasarım sürecine etkisi öne çıkarılıp sonuçlar tartışılmıştır.

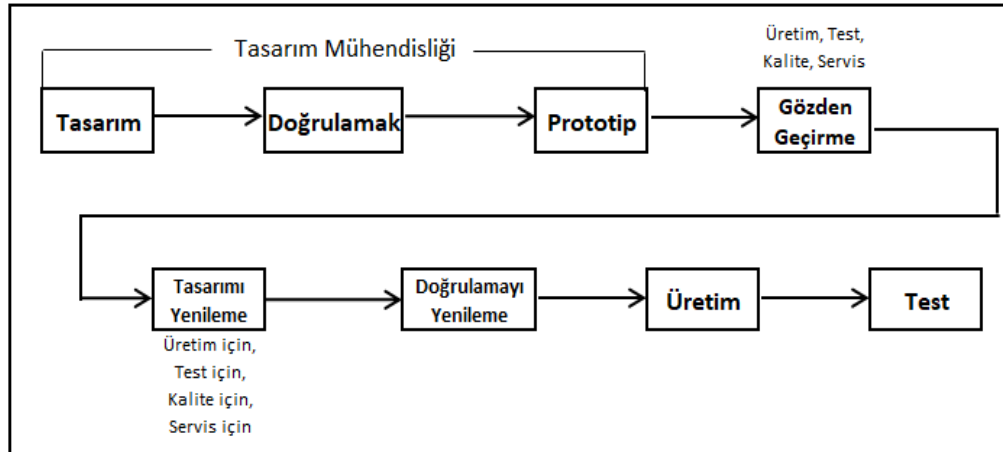
## 1. TASARIM YÖNTEMLERİ

Ürün; mevcut ihtiyacı gidermek maksadıyla piyasaya sürülen, tüketim ve kullanım gibi özellikleri yerine getiren fiziksel bir nesne, hizmet, mekan, insan, organizasyon, fikir ya da tümünün kombinasyonundan oluşan yapıdır [1]. Mühendislik tasarımında ürün geliştirme yöntemlerinde başlıca iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin birbirleriyle benzerlikleri ve farklılıkları bulunmaktadır. Yöntemlerden ilki sıralı (ardışık) mühendislik diğeri eş zamanlı mühendislik yöntemidir.

### 1.1. Sıralı (Ardışık) Mühendislik

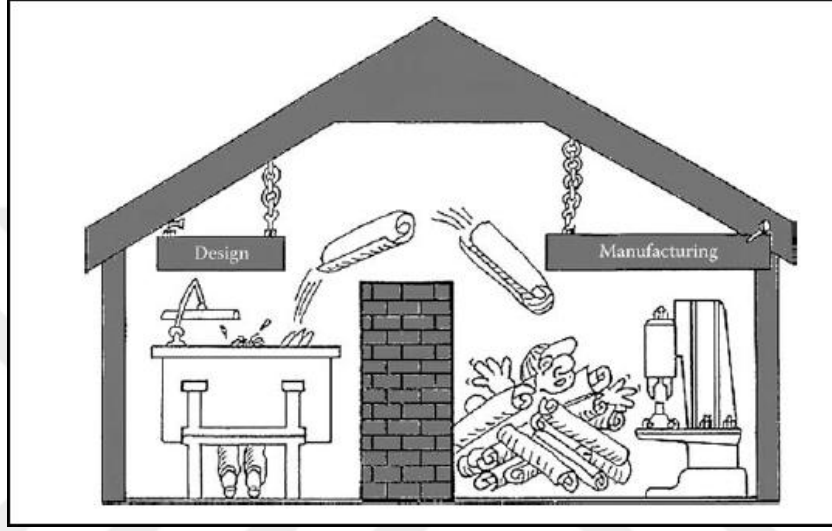
Sıralı Mühendislik (SM), sıfırdan bir ürün oluşturmak için mühendislik anlayışına geleneksel yaklaşan bir kavramdır. Eş zamanlı mühendislik kavramından önce sıralı mühendisliği doğru bir şekilde tanımlamak gerekmektedir. Yöntemde her tasarım aşaması çoğunlukla bir önceki tasarım tamamlandığında başlar ve ardı ardına devam eder. Bu işlem sırasında herhangi bir eksik veri, bir işlevden veya fazdan geçirilerek sadece bir sonraki aşamaya geçirilmek üzere yeni verilerle artırılır [2].

Sıralı Mühendislik, ürün fikir aşamasından geçip tasarlanıp doğruluğu denetlendikten sonra ilk prototip haline gelmesiyle tasarım aşamalarının; sadece girdileri kontrol eden bölümler tarafından değişikliğe uğratılıp kontrol edilmesiyle ele alınan bir kavramdır [3]. Sıralı mühendisliğin akış şeması Şekil 1.1’de gösterildiği gibidir.

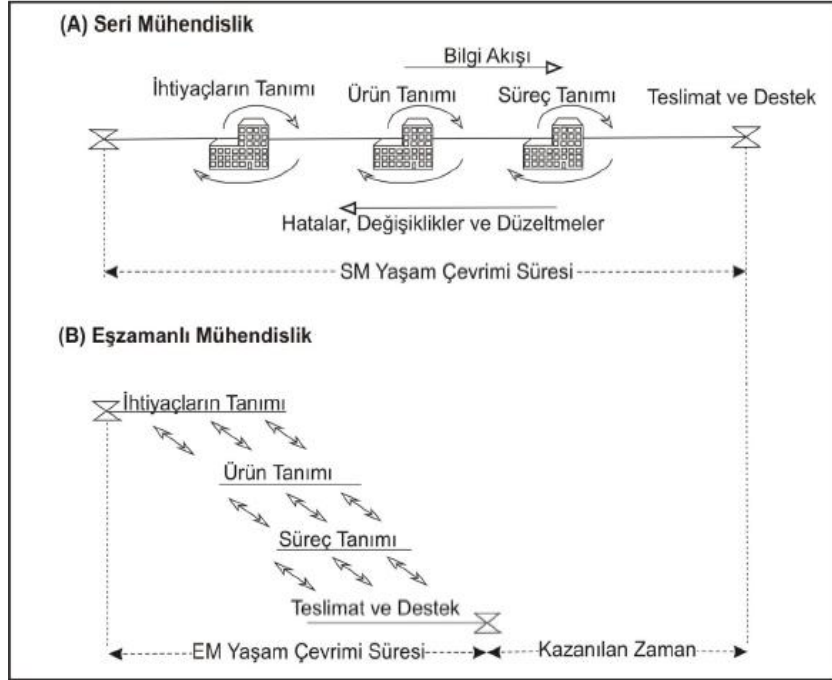


Şekil 1.1. Sıralı Mühendislik Akış Şeması [3]

Şekil 1.2'deki bir diğer akış şemasında ise ürün geliştirme aşamasında tasarım aşamalarının ardışık olarak birbirlerinden bir duvar gibi net bir biçimde ayrıldığı görülmektedir. Tasarımın bütününde bu şekilde birbirini takip eden (ardışık) faaliyetlere bölünmesi, kurumsal duvarların örülmesine “Duvarın Üstünden Sendromu = Over the Wall Sendrome” sebep olmakta ve tasarım süreçlerinde verimsiz bir döngü oluşturmaktadır. [2]



Şekil 1.2. Over the wall etkisi [2]



Şekil 1.3. Yeni bir ürün tasarımı ve üretiminde, sıralı (ardışık) mühendislik ve eş zamanlı mühendislik yaklaşımlarının kıyaslanması [2]



Sıralı mühendislik uygulamasında tasarım süreçlerinin birbirinden sırasıyla ayrılması, karar verildikten sonra değiştirilmesinin zor olması ve tüm sürecin tekrar ele alınarak değerlendirilmesinin gerekmesinden dolayı ürünün pazara çıkışı gecikmektedir. Bu durumu dikkate alması gereken tasarımcı süreçleri dikkatle inceleyip imalat ile ilgili konuları önceden olabildiğince ele almalıdır.

Fonksiyonlar arası hataların tasarımın son aşamasında ortaya çıkması ve birbiri arasında geçişlerinin zor olması nedeniyle maliyetler artmakta ve düşük kalite ile oluşan ürünler, müşteri şikâyet ve tatminsizliklerini peşi sıra getirmektedir. Ayrıca geliştirilen yeni ürünün pazara ve müşteri beklentilerine cevap verememesinden dolayı da tasarımcının sektörde yer alabilmeyi sağlayabilmek için ürün geliştirme süreçlerini tekrar gözden geçirerek büyük değişiklikler yapmasına neden olmaktadır [1].

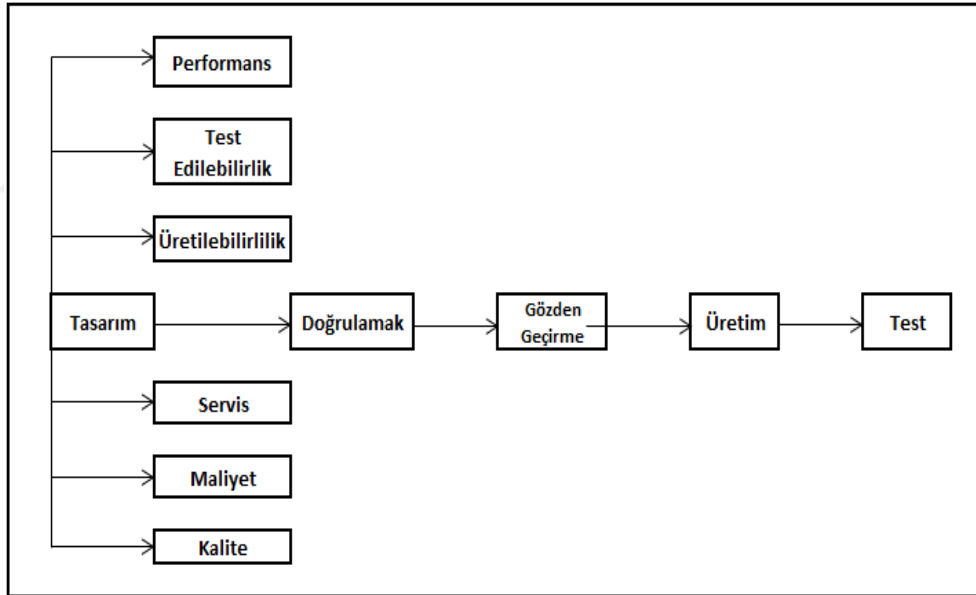
## **1.2. Eş Zamanlı Mühendislik**

Ürün geliştirme süreci, bir ürün veya sistem için istenilen ihtiyaç ve isteği karşılama işlemlerinden oluşmaktadır. Sıralı (ardışık) mühendislikte tasarım sadece ürünün fonksiyonelliğini dikkate alarak tamamlanmaktadır. Ayrıca bu mühendislik uygulamasında tasarım süreci devam ederken departmanlar arasındaki bilgi alışverişi eksikliği ve farklı yaklaşımlardan dolayı tasarımı yapılan ürünün üretilmesi zorlaşmakta ve ürün maliyetleri oldukça arttırmaktadır. Tüm bu etkenlerin ve sorunların bir araya gelmesi tasarım sürecinde yeni bir ihtiyacın ortaya çıkmasına neden olmuş ve “Eş Zamanlı Mühendislik” kavramı ortaya çıkarılmıştır [4].

Rekabet koşullarının artmasıyla tasarım zamanlarının önem kazanması “yaşam çevrimi yönetimi” yaklaşımını ortaya çıkarmıştır. Bu kavram ile sonlanmış tasarımın veya hizmetin değerinde eksiklik olmadan görev sürelerini azaltarak bütün sistem içinde analiz kabiliyetini artırılması amaçlanır. Eş zamanlı mühendislik yönteminin anlaşılmasını sağlayan Şekil 1.3B’de görüldüğü gibi bu süreçte gerektiği zaman geri beslemeler ile bilgi alış verişi yapılabilir [2].

Eş zamanlı mühendislik (EM) uygulamasında, ürün geliştirme süreçleri ile üretim maliyetlerini azaltma ve kaliteyi arttırmak için tasarım gereklilikleri ile birlikte montaj ve üretim de eş zamanlı olarak sistematik şekilde dikkate alınmaktadır [3].

Böylece eş zamanlı mühendislik yönteminde; bir ürünün tasarım sürecinden, üretim prosesine ve pazarlanıp, bakım sürecine kadar her işleminin eş zamanlı olarak ele alındığını gösterir. Şekil 1.3A'da gösterildiği gibi ürün müşterinin eline ulaşmaya kadar disiplinler arası bir bütünlük sağlanamadığından eş zamanlı mühendisliğin temelini oluşturan üretilebilirlik, test, servis edilebilirlik kavramlarından söz edilememektedir. Eş zamanlı mühendislik ile disiplinler arası ilişkilere müdahale edilebilmesi kolaylaştığından toplam maliyetlerde de azalmalar görülecektir. Tasarım süreçlerindeki değişiklikler ürün gelişimi süreçlerinde ele alınmasıyla iş akışının sonraki aşamalarında çıkabilecek problemler azaltılabilmektedir. Bu yöntem ile tasarım ile ilgili yeni düşüncelerin ürün geliştirme sürecinin erken safhasında ortaya konulmasıyla revize işlerin çevrimin son aşamalarında ortaya çıkaracağı olumsuz yanları ortadan kaldırılmıştır. Böylece ürün kalitesi, üretilebilirlik, maliyet ve zaman ile ürünün pazar başarısının önemli derece artırılması sağlanabilmektedir [2].



Şekil 1.4. Eş zamanlı mühendislik akış şeması [3]

Bir tasarımın ortaya çıkarılma aşamalarında seri mühendislik anlayışının geleneksel, doğrusal, tekrarlı, ardışık, yönetilemeyen ve fonksiyonel bölümlere ait uygulamalarının aksine; eş zamanlı mühendislik yaklaşımı paralel, yönetilebilir, etkileşimli ve işbirliğine dayalı disiplinli çalışmalara olanak verebilmektedir. Bu nedenle eş zamanlı mühendislik yöntemi ile daha yüksek kalitede hizmet ya da ürün daha az maliyetle daha kısa sürede ortaya koyulabilmektedir [1].

### 1.2.1. Eş zamanlı mühendisliğin tanımları

Eş zamanlı mühendislik kavramı literatürde farklı isimler ile anılmaktadır ve bu isimler aynı anlamda kullanılmaktadır:

- Simültane Mühendislik
- Paralel Mühendislik
- Yaşam Çevrim Mühendisliği
- Multidisipliner Takım Anlayışı
- Bütünleşik Ürün ve Süreç Geliştirme

Eş zamanlı mühendisliğin zaman içerisinde kavram olarak adı ilk olarak 1982 yılında Defence Advance Research Project Agency (DARPA) araştırma kuruluşunda yer almıştır. Bu kuruluşta tasarım proseslerinde eş zamanlılığın nasıl kullanılabilceği araştırılmaya çalışılmıştır.

Winner ve Pennell (1988)'e göre eş zamanlı mühendislik yöntemi, tasarlanacak ürünlerin imalat ve teknik isteklerinin bütün süreçlerinde eş zamanlı ve bütünleşmeyle tasarlanmasına yönelik sistemler arası disiplindir. Bu yöntemin amacı tasarımı gerçekleştirenlerin ürünün konsept olarak oluşturulmasından son yaşamına kadar bütün yaşam çemberi aşamalarında; maliyet, kalite, süre ve kullanıcı istekleri dahil tüm yönlerini ele almasıdır [5].

Shiuna (1991) ise eş zamanlı mühendisliği; firmanın olanakları ile tasarım, pazarlama, servis ve satışıdaki tecrübesini ürün tasarımı çevriminde mümkün olabildiğince erken bir araya getirerek başarılı, müşteri ihtiyacını yerine getirecek yeni ürünler ortaya çıkarma işlemi olarak tanımlamıştır [6].

Cleetus (1992) eş zamanlı mühendisliği; müşterinin taleplerini karşılayan, disiplinler arası ortak çalışma, güven ve paylaşma gibi grup çalışmasını beraberinde bulunduran, karar verme sürecinin sistemin en başından itibaren paralel olacak şekilde ele alınmasıyla bilgi alışverişinin senkronize edildiği sistematik ürün geliştirme süreci olduğunu dile getirmiştir [7].

Turino (1992); tasarım ekibinin tasarımın belli bölümünden sorumlu olmadığını genelinden sorumlu olup önemli kararların verilmesinde etkin rolünün bulunması

gerektiğini ve bu rollerin eş zamanlı mühendislik yönteminin önemli bir amacı olması gerektiğini vurgulamıştır [7].

Kannapan ve Marshek (1992) eş zamanlı mühendislik yönteminin ideal durumunda ürünün tasarım süreçlerinden pazara sunuluncaya kadar tüm faktörlerin eş zamanlı olarak ele alınmasını gerektiğini bildirmişlerdir. Bu yöntem stratejisinin; farklı mühendislik disiplinleri arasında işlevsellik, tasarlanabilirlik, üretilebilirlik vb. durumlarında meydana gelen problemlerin erken bir aşamada çözümlenmesini sağlayabilmek olduğunu belirtmişlerdir [7].

Ellies (1992); eş zamanlı mühendislikte ortaya çıkan parçanın kalitesinin sadece tasarım aşamasında değil tüm yaşamı boyunca disiplinler arası çalışmalar sonucunda oluştuğu ve bu çalışmalarda bilgisayar destekli tasarım yöntemlerinin uygulanabildiği mühendislik anlayışını benimseyen uygulama olduğunu savunmuştur.

Cartin (1993) eş zamanlı mühendisliğin tanımını piyasa veya müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde düşük maliyetli yüksek kaliteli ürünlerin tasarımı, üretimi için kullanılacak bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik gibi günümüz mühendislik uygulamalarını içeren kavram olarak ortaya çıkarmıştır [6].

Bu tanımlamalardan görüldüğü gibi eş zamanlı mühendislik yönteminin literatürde birçok anlamının olduğu görülmüştür. Son olarak ise Brookes ve Backhouse (1998) eş zamanlı mühendislik yöntemini taktiksel, stratejik ve nesnel olarak üç kategoriye ayırmıştır.

Farklı teknikler ve araçlar ile organizasyonel yapıların beraber uygulanmasıyla oluşturulan eş zamanlı mühendislik kavramını birçok araştırmacı taktiksel seviyede görmüştür. Brookes ve Backhouse (1998) tarafından bildirilen bu araştırmacılardan bazıları Meyer (1990), Shina (1991) ve Lepitt (1993) olup ve bu bilim insanlarına göre eş zamanlı mühendisliği oluşturan unsurların başında [1]:

- Çapraz fonksiyonlu ekipler
- Paralel görevler
- Karşılıklı disiplinler arası çalışma grupları
- Kalite teknikleri kullanımı

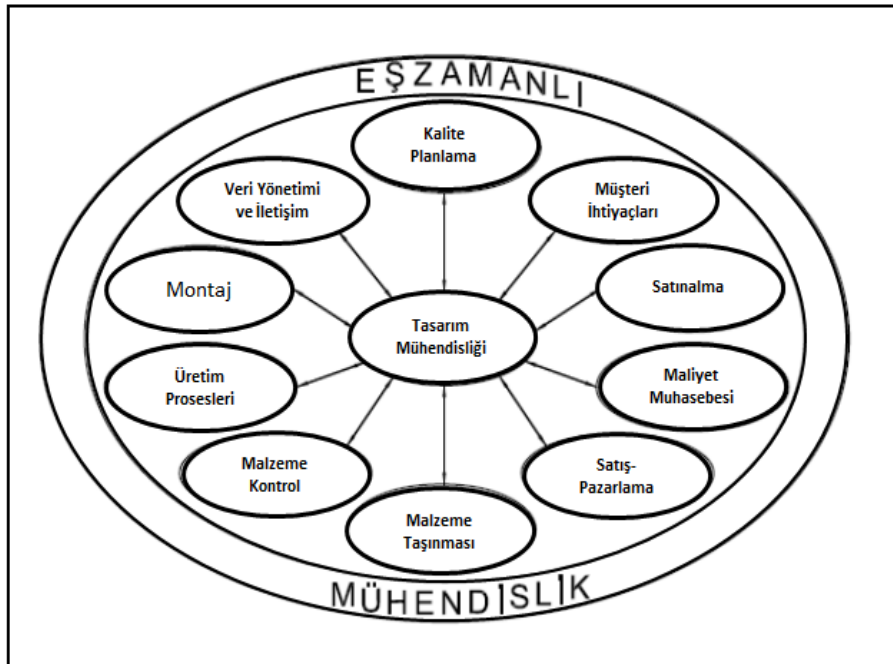
- Entegre olmuş CAE yöntemleri gelmektedir.

Eş zamanlı mühendislik kavramını stratejik düzeyde tanımlayan araştırmacıların başında gelen Bebb (1993), Kusiak (1993), Schrage ve ark.(1990), Shena ve Derakshan (1992), Sprague ve ark. (1991) ile Giordano ve Nolan (1990) ise ürünün; tasarımın en başından beri (malzeme, planlama, üretim, imalat, kalite kontrol, müşteri, satış, güvenlik) geleneksel olarak uygulanan sıralı yaklaşımın tersine paralel olarak ele alınmasını savunmuşlardır [1].

Eş zamanlı mühendisliğin nesnel yanını gösteren tanımlamaya göre ise tüm iş performansının iyileştirilmesiyle ürün ve hizmet performansları geliştirilmiştir. Bu bakışla eş zamanlı mühendisliği tanımlayan araştırmacıların başında Goldence (1992), Sohlenius (1992), Creese ve Moore (1990), Kannapan ve Marshek (1992), Brooks (1993), Harkins ve Dubreil (1988) ile Jacob (1993) gelmektedir [1].

### 1.2.2. Eş zamanlı mühendislikte faktörlerin etkisi

Eş zamanlı mühendislik tasarım konusunda en iyiye ulaşabilmek için disiplinler arası geri beslemesi yüksek bilgi alışverişi içinde çalışmalarını sürdürmektedir. Şekil 1.5’ de görüldüğü gibi tüm birimler birbiri ile ilişki içinde çalışmalarını sürdürmektedir.



Şekil 1.5. Disiplinler arası çalışmalar [3]

Disiplinler arası bu etkileşimde eş zamanlı mühendislik kavramını etkileyen bu alanlar yediye (7T) ayrılmıştır. Bunlar [2]:

- Yetenekler (Talents): Firmaların yeteneklerini geliştirmek ve ürün geliştirme gibi sorumlulukları bulunmaktadır. Hali hazırda ise teknoloji geliştikçe yetenek seviyeleri yükselmektedir. Üretim ve tasarım çalışanları ile pazarlama ve üst düzey yöneticiler birlikte çalışıp ve yeteneklerini beraber kullanarak mühendislik çalışmalarının etkinliğinin daha verimli olmasını sağlarlar [6].

- Görevler (Tasks): Teknolojinin artması ve tasarım çalışmalarının gelişmesiyle çalışanların iş sorumluluklarındaki görev tanımları değişmiştir. Tasarım çalışmalarındaki problemlerin erkenden bulunamaması, bu problemlerin etkisinin en aza indirilmesi için yapılması gereken görevlerin yerine getirilmemesi ve ürün geliştirme süreci ile bağlantısının iyi kurulamaması disiplinler arası çalışmaların iyi yönetilmemesine neden olmaktadır [6].

- Teknoloji (Technology): Son zamanlarda artan teknolojik gelişmeler nedeniyle üreticilerin sorumlulukları artmaktadır. Özellikle gelişmiş uygulamalar ve ürünlerin üretilmesini sağlayan bu teknolojileri ve bilgiyi kullanabilmek için çaba sarf etmeleri gerekmektedir. Teknolojideki bu gelişmeleri yakalamak ve başarılarını sürdürebilmek için ise araştırma geliştirme yöntemlerini geliştirip çalışmalarını hızlandırmalıdır [6].

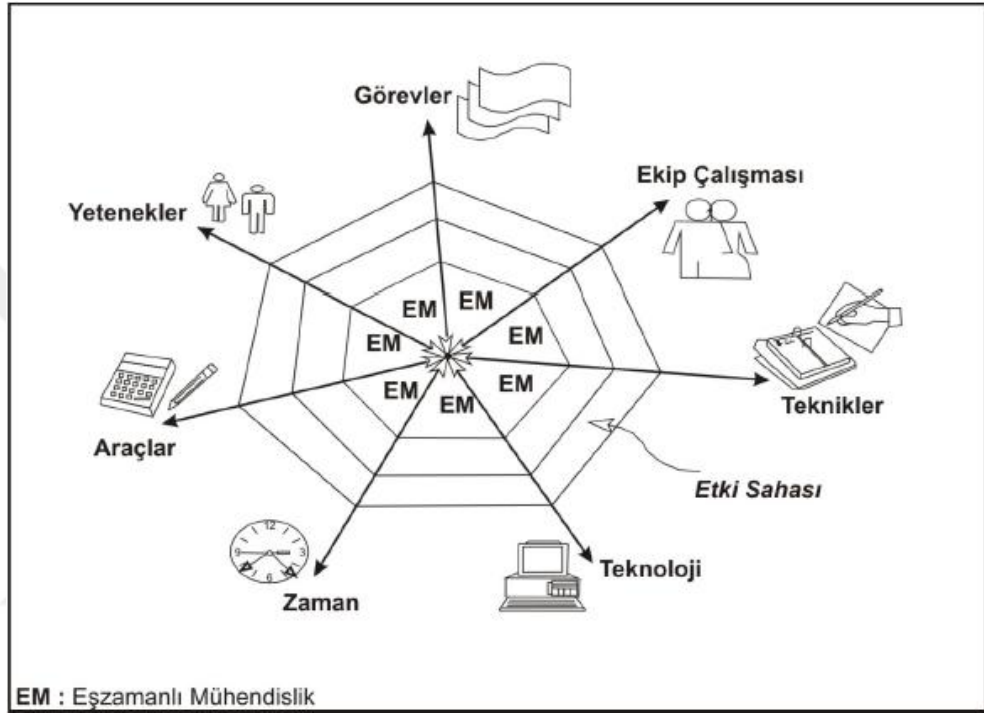
- Zaman (Time): Üreticilerin başarısı olarak görülen “en az maliyet ile en fazla faydanın sağlanması” yerine günümüzde “en kısa zamanda en düşük maliyet ile en fazla faydanın sağlanması” görüşü yer almıştır. Disiplinler arası bu çevrim zamanının en verimli şekilde kullanımı maliyette, kalitede ve üretkenlikte iyileşmelerin artmasını sağlayabilecektir. Ürün geliştirme süreçlerindeki artan verimlilikle firmaların rekabet edebilme özellikleri de gelişmektedir [6].

- Araçlar (Tools): Teknolojinin ilerlemesi ve tasarım için kullanılan araçların gelişimi; ürünlerin daha hızlı pazara çıkarılması ve talepleri karşılayabilmesine bağlıdır. Tasarım için kullanılan bu araçların daha etkin kullanımı ve standardize edilebilmesi tasarımcının işlerini daha kolay tamamlayabilmesine olanak sağlamaktadır [6].

- Teknikler (Techniques): Eş zamanlı mühendislik kavramının daha etkili olmak ve uygulamalarını kolaylaştırmak için kullanılan teknikleri açıklamaktadır [6].

- Ekipler (Teams): Ekiplerin (takımların) oluşturulması ile var olan sorunların çözülmesi ve beraberce alınabilen kararlar ile eş zamanlı mühendisliğin etkinliği artırılarak çıkabilecek sorunların da önüne geçilmiş olmaktadır [6].

Şekil 1.6'da yukarıda anlatılan eş zamanlı mühendislik uygulamasını etkileyen faktörler yer almaktadır.



Şekil 1.6. Eş zamanlı mühendislik uygulamasını etkileyen faktörler [6]

### 1.2.3. Eş zamanlı mühendislikte temel ilkeler

Eş zamanlı mühendislik sekiz temel üzerine kurulmuştur [2].

Sorunun erken keşfedilmesi; ürün geliştirme süreçlerinde problemlerin erkenden tespit edilmesi ve çözüme kavuşturulması daha sonra çıkabilecek sorunların çözümünü kolaylaştırmaktadır.

Erken karar alma; erken aşamalarda alınacak kararların kesinleştirilmesi ve tasarımın geliştirilmesi ortaya çıkacak ürünün daha fazla etkilenmesine neden olacaktır.

İşin yapılandırılması; iş ortamının veya işin fonksiyonel olarak yapılandırılmasıyla her görev bağımsız olarak gerçekleştirilebilir.

Ekip çalışması ruhu; gruplar halinde ekiplerin kendi alanlarıyla ilgili çalışmalarında verimli çalışmalar ortaya koyulabilirken kendi alanları dışında yapılan çalışmalardan nadiren verimli sonuçlar alınabilmektedir. Ekip içinde sorumluluklarını kabul ederek güven esasına uygun çalışmalar yapılması alan dışı yapılan çalışmalar yerine tercih edilir.

Bilgi teknolojilerinden faydalanma; destek araçlarının kullanılması ve insanların bilgi birikiminin birleştirilmesiyle karmaşık sorunların çözülebilmesi kolaylaşmaktadır.

Ortak anlayış; ekiplerin birbirinden haberdar şekilde çalışması çalışma etkinliğinin artırılmasını sağlayabilecektir.

Sahiplenme duygusu; tasarımın verimliliğini artırmak için çalışanlar görevlerini benimserse daha iyi bir ürünün çıkması kaçınılmazdır.

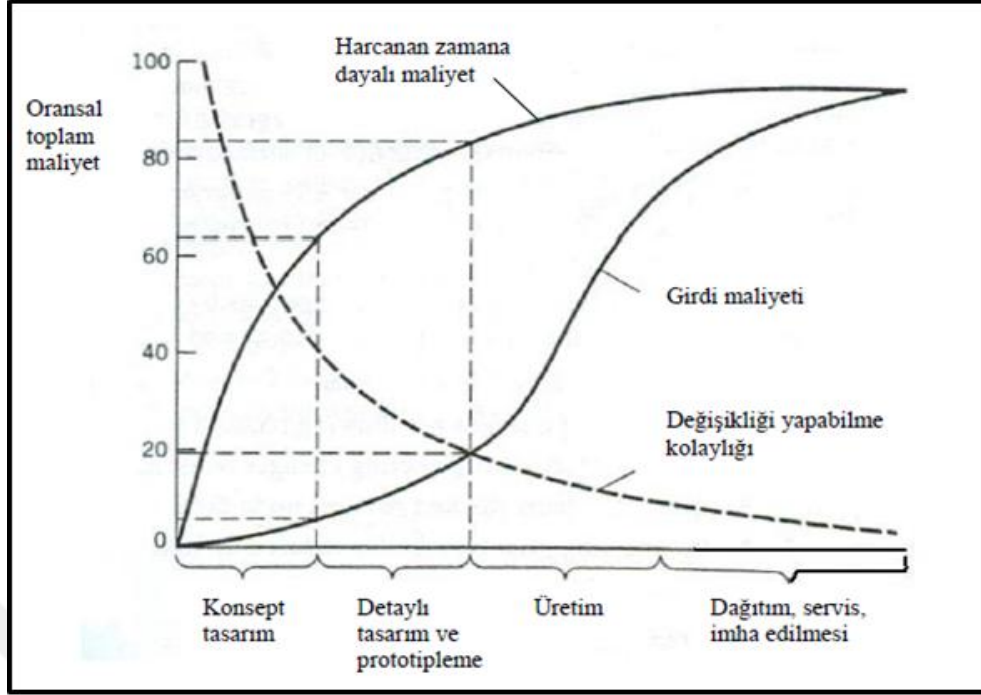
Amacın sürekliliği; tutarlı ve kararların değiştirilmeden belli disiplinle çalışmak amacın sürekliliği için önem arz etmektedir.

#### **1.2.4. Eş zamanlı mühendislik yönteminin uygulanmasının faydaları**

Teknolojinin gelişmesi, üretim yöntemleriyle farklılaşan ürün çeşitliliği, firmalar arasındaki rekabet, kârlılıktaki azalmalar ve teknik olarak gelişmeler günümüz piyasasını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu karmaşık ortamda üretimlerini gerçekleştirmeye çalışan firmalar eş zamanlı mühendislik yöntemlerini kullanarak kalitesini ve verimliliğini artırmaya çalışmaktadır. Ürün geliştirme sürecinde kullanılan mühendislik yöntemleriyle tasarım, analiz ve proseslerin tam anlamıyla bütünleşmesi sağlanarak maliyetlerde azalma, süreçlerde zamanın kısaltılması ve kalitede artışın sağlanması hedeflenir [3].

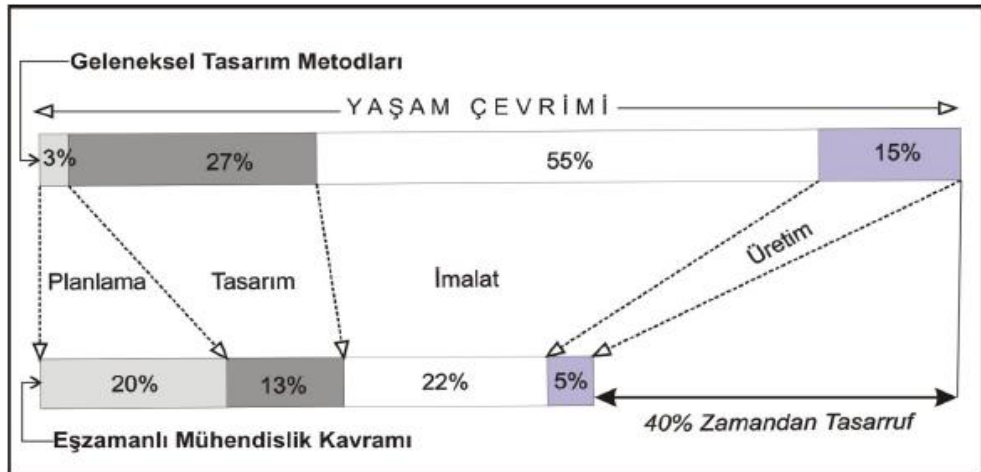
Harcanan zamana dayalı maliyeti, girdi maliyetini ve değişiklik yapabilme kolaylığını karakterize eden Şekil 1.7'de ürün maliyetinin bir kısmının tasarımın ilk aşamalarında (konsept aşamasında) olduğu görülmektedir. Maliyet oranlarındaki artışa neden olan etkilerin, tasarım aşamalarında fazla olmasından dolayı ürün geliştirme süreçlerinde en fazla önem verilen süreç, tasarım süreçleridir [3].





Şekil 1.7. Ürün geliştirme sürecindeki maliyet eğrileri [3]

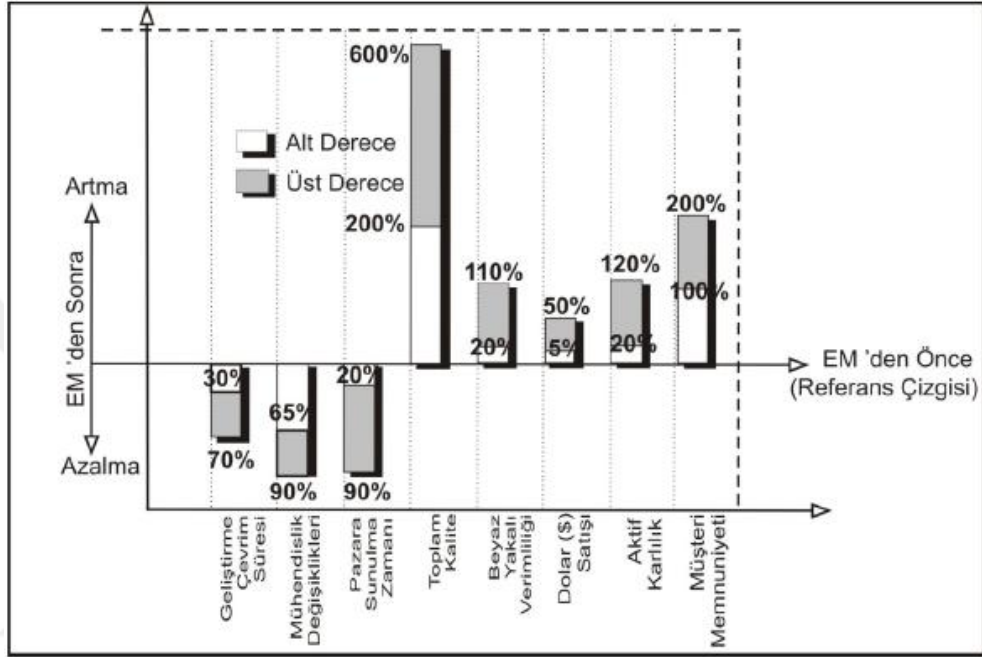
Eş zamanlı mühendislik ile planlama, tasarım, imalat ve üretim gibi ürün geliştirme süreçlerinde elde edilen kazanımlar Şekil 1.8’de belirtilmiş olup görüldüğü gibi bu süreçte işin planlama zamanı artarken; tasarım, imalat ve üretim için gerekli olan zamanlarda azalma görülmektedir. Böylece ürünün yaşam çevrimi boyunca toplam olarak %40 tasarruf sağlandığı anlaşılmaktadır [2].



Şekil 1.8. Ürün geliştirme sürecinde görülen zamandan tasarruf [2]

Eş zamanlı mühendisliğin faydalarını Şekil 1.9’da daha net anlatan grafikte, referans çizgisinin alt ve üst kısımlarında yüzde olarak EM’den önce ve EM’den sonra olarak

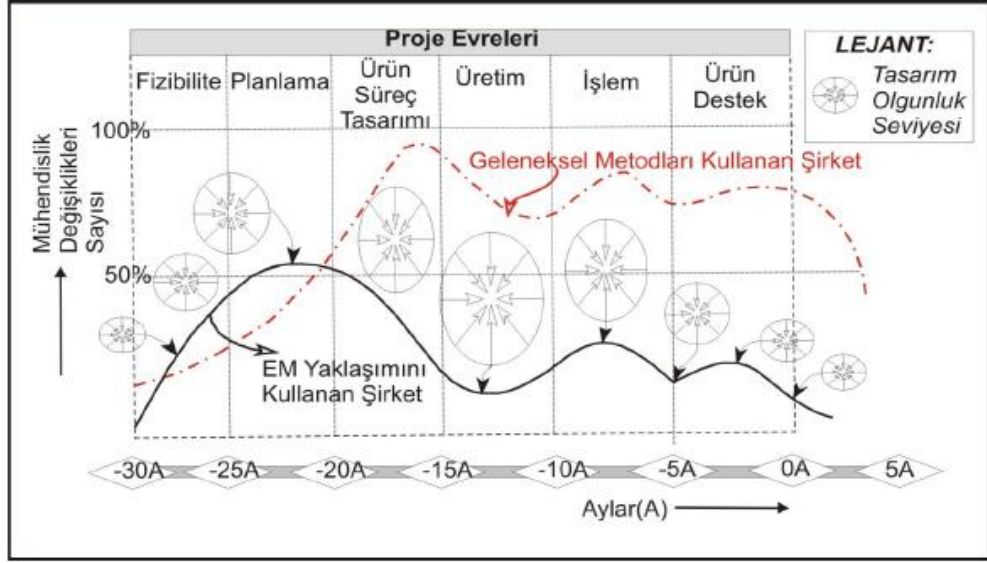
gölgeli ve gölgesiz olacak şekilde eş zamanlı mühendislik uygulamasının getirdiği sonuçlar gösterilmiştir. Geliştirme çevrim süresi, mühendislik değişiklikleri ve pazara sunma zamanlarında azalma görülürken; toplam kalite, beyaz yakalı çalışan verimliliği, aktif kârlılık ve müşteri memnuniyeti oranlarının arttığı görülmektedir [2].



Şekil 1.9. Eş zamanlı mühendislik uygulamasının getirdiği sonuçlar [2]

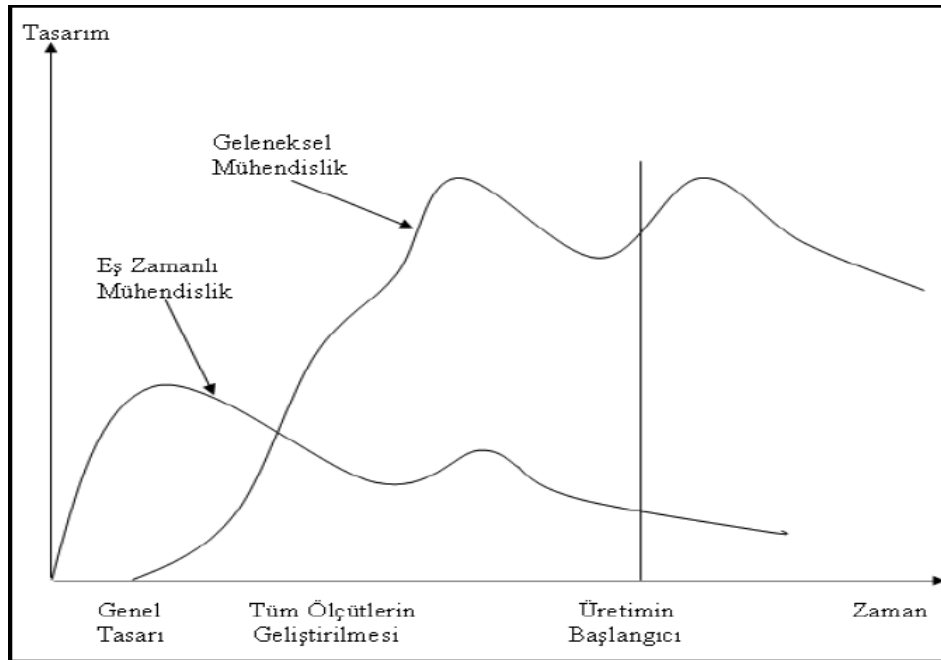
Eş zamanlı mühendislik yönteminin faydalarından olan bir diğer önemli özellik ise mühendislik değişim isteklerinin azaltılmasıdır. Ürün geliştirme süreçlerinde kullanılan yöntemlere göre mühendislik değişim isteklerinin sayısı değişmektedir. Şekil 1.10'da kesiksiz çizgi ile gösterilen ve eş zamanlı mühendislik yöntemini kullanarak yaşam çevrimini sürdüren firmada; başlangıç aylarında değişim istek sayısının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak ise ilk zamanlarda firma içi kararların geçici ve kesin olmamakla beraber alınan tekliflerin değerlendirme aşamasında olmasından dolayı fizibilite ve planlama evrelerinde değişikliklerin yaşanmasıdır. Ancak artan zaman ve elde edilen bilginin kesinleşmesiyle beraber kesiksiz çizgi eğrisinde azalmanın ortaya çıktığı görülmektedir [2].

Geleneksel yöntemleri kullanarak gösterilen kesikli çizgiler ile proje evrelerini gerçekleştiren firmalarda ise ürünün üretim aşamasına gelmesine kadar mühendislik değişim sayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir [2].



Şekil 1.10. Tasarım olgunluk seviyesi ve mühendislik değişiklik sayılarının kullanılan yönteme göre değişimi [2]

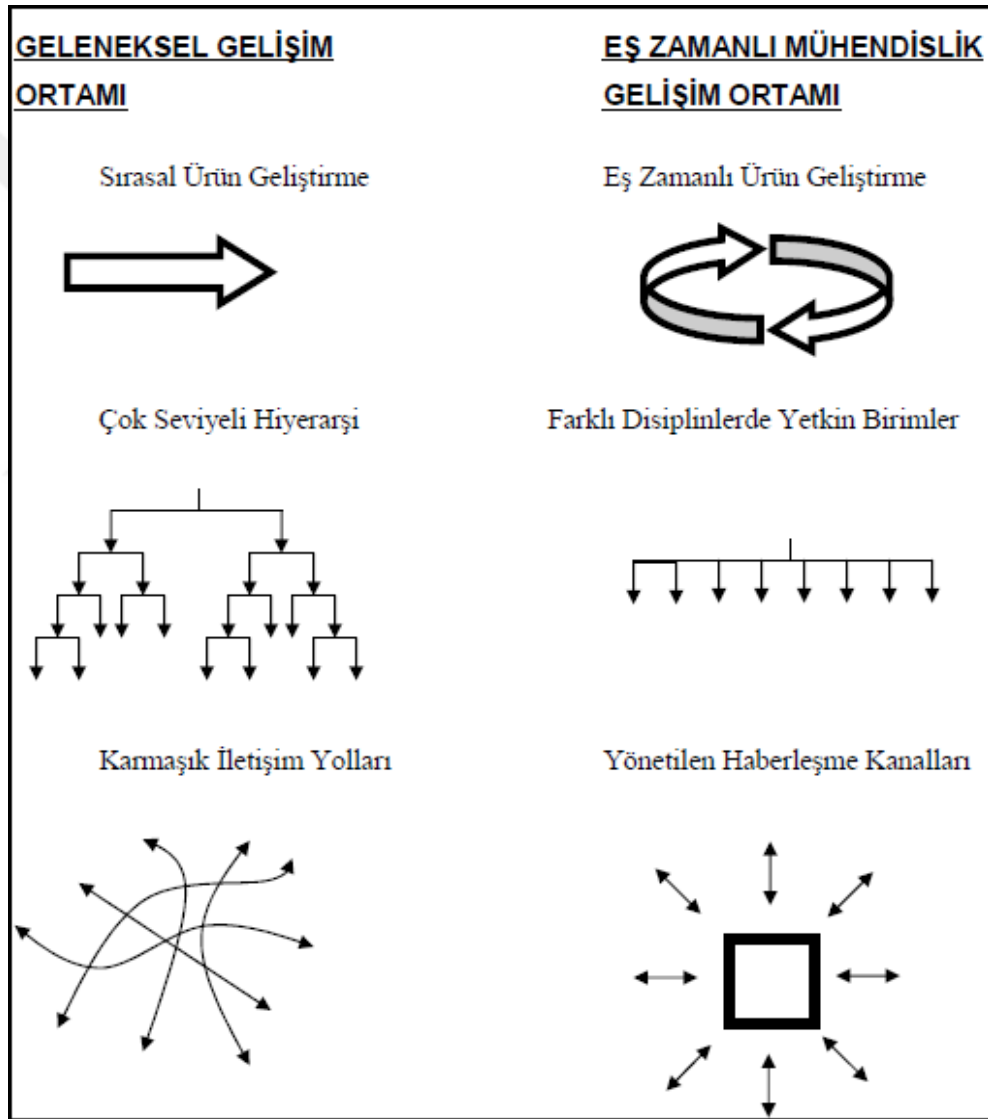
Geleneksel mühendislik ve eş zamanlı mühendisliğin zamana bağlı değişimini daha iyi anlaşılabilmesi için verilen bir diğer gösterim ise Şekil 1.11'deki gibi gösterilmiştir. Eş zamanlı mühendislik yönteminde değişikliklerin büyük bölümü üretim başlamadan önce yapılacağından değişiklik nedeniyle ürüne yansıtacak maliyette büyük oranda azalma görülecektir. Aynı zamanda hatalı ürünün müşteriye satılması da engellenmiş olacaktır.



Şekil 1.11. Tasarım değişiklik sayısının eş zamanlı mühendislik ve geleneksel mühendislik yöntemlerinde zamana bağlı değişimi [8]

Ürün geliştirme sürecinde eş zamanlı mühendislik kavramının geleneksel yöntemler ile karşılaştırılması ise Şekil 1.12’de gösterilmiştir. Geleneksel yöntemler ile yaşanan problemlerin başında:

- Ürün geliştirme sürecinde hiyerarşi ve karmaşıklıktan dolayı artan süreler,
- Üretim daha gerçekleşmeden önce tasarım aşamasında proje maliyetlerinin başlaması,
- Ürün ortaya çıktıktan sonra istenilen talepleri karşılamada yaşanan problemler olarak görülebilir. [9]



Şekil 1.12. Eş zamanlı mühendislik kavramının geleneksel yöntemler ile karşılaştırılması [9]

### **1.2.5. Eş zamanlı mühendislik yönteminin uygulanmasının zorlukları**

Eş zamanlı mühendislikte karşılaşılan bazı zorluklar şunlardır [2].

Eş zamanlı karmaşa, ürün oluşum aşamasında bilgilerin netleşmemesi veya eksik olması yaşam döngüsü alanlarının artmasına neden olmaktadır. Bu alanların kontrol edilmemesi eş zamanlı karmaşa ortamının oluşmasına yol açmaktadır.

Hataların artma olasılığı, süreç içerisinde ana faaliyetlerin eş zamanda tamamlanması zamanın iyi kullanılmasıyla doğru orantılıdır. Ancak bu eş zamanlı çalışmalar hata yapma olasılığının artmasına neden olmaktadır.

Dönüş süresinde bozulma, ürün çevrim zamanında büyük çaptaki bilgilerin firmalar tarafından dönüştürülmesi veya işlenmesini sağlayacak nitelikte ekiplerin bulunmaması dönüş sürelerinde bilgide tutarsızlıkların görülmesine neden olabilmektedir.

Ani bilgi bombardımanı, eş zamanlı çalışma şekillerinde bilgilerin ardı ardına gelmesi uygun bir çalışma ortamı oluşturmamaktadır.

Boşuna emek riski, ekip içinde çalışan kişilerin çalışma için gerekli olmayan aynı iş üzerinde çalışması karmaşıklığa neden olacak şekilde düşünsel envanter riski oluşturmaktadır.

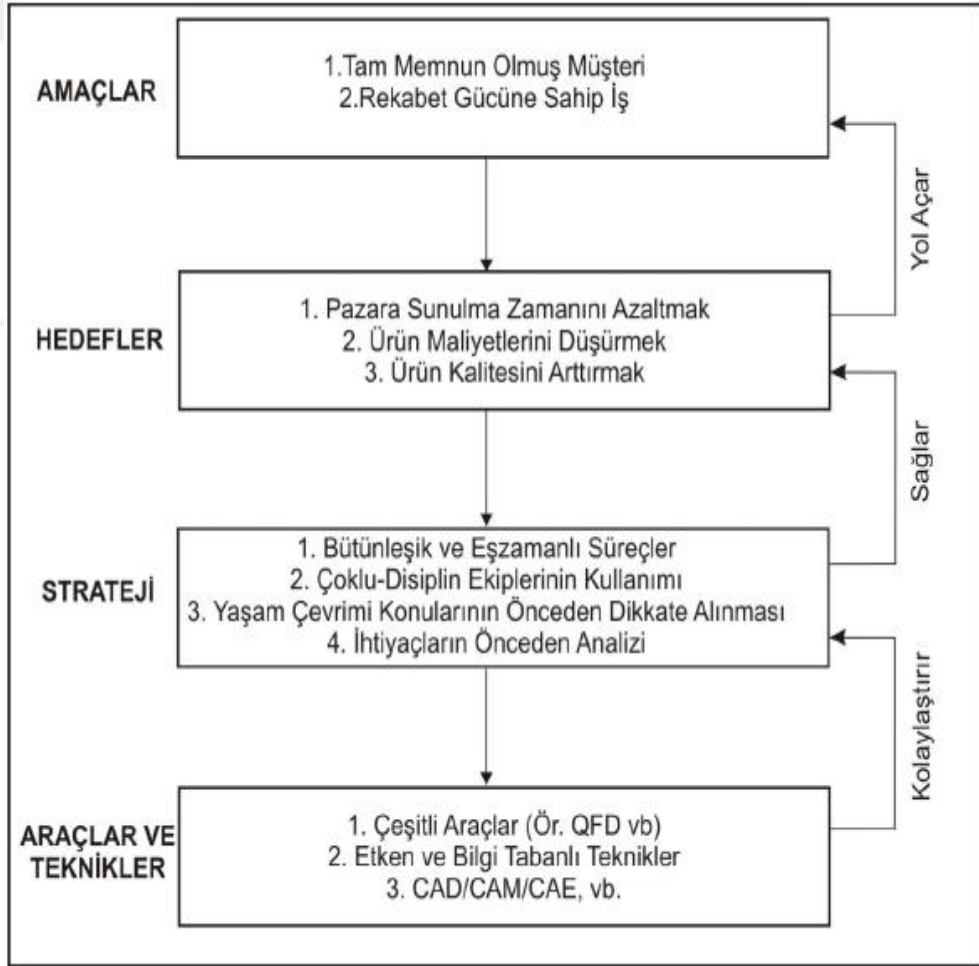
Yineleme faaliyetindeki artış olasılığı, eş zamanlı mühendislik; ardışık, yinelemeli olarak yapılan çalışmalardan oluştuğu için bazı durumlarda tasarım fiyatlarının artmasına neden olmaktadır.

### **1.2.6. Eş zamanlı mühendisliğin yapısı**

Eş zamanlı mühendislik yöntemini anlayabilmek için Şekil 1.13'de verilen yapıyı iyi özümseyip; yöntemin amaçlarını, hedeflerini, taktiklerini ve stratejilerini iyi anlamak gerekmektedir. Kullanılan araç ve teknikler, eş zamanlı olarak stratejilerin uygulamalarını kolaylaştırarak eş zamanlı mühendisliğin amaç ve hedeflerine ulaşılmasını sağlamaktadır [10].

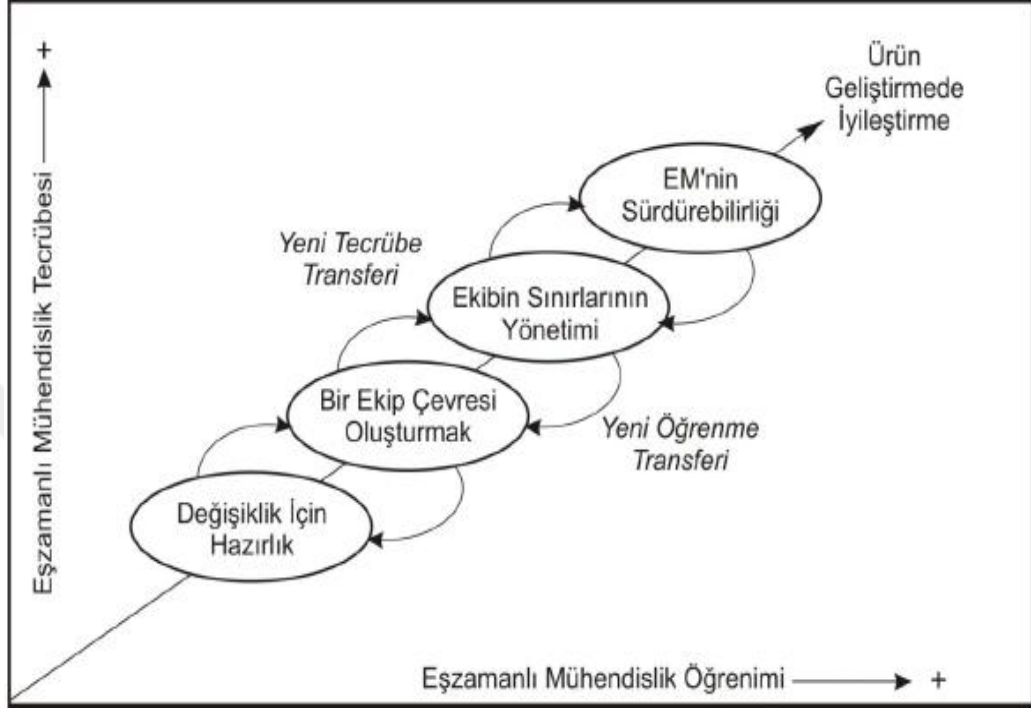
### 1.2.7. Eş zamanlı mühendislikte ürün geliştirme süreci

Eş zamanlı mühendislik yönteminin gerçekleşmesi için zamana ihtiyaç vardır ve aşılması gereken zorlukların üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Bu yöntemin işletilmesini sağlamak ve faydalarından yararlanmak için firmaların organizasyon yapılarını değiştirerek yeniden yapılanması gerekmektedir [1]. Bu amaçla birçok çalışmalar yapılmış olup bunlar arasında 1997 yılında Deasley ve Lettice tarafından yirmi firma üzerinde yapılan araştırmalarda EM sürecini kalıcılaştırma ve mevcut durumda etkinliğini koruyabilme süreçlerini inceleyen çalışmalar gerçekleştirilmiştir [11]. Ürün geliştirme sürecinde eş zamanlı mühendislik kavramını anlamak için oluşturulan diğer bir yapı Şekil 1.13’de gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Eş Zamanlı Mühendislik kavramı için oluşturulan yapı [10]

Ürün geliştirme süreci ile ilgili bir diğer kapsamlı önerme ise West Wirginia Üniversitesi'nde kurulu Eş Zamanlı Mühendislik Araştırma Merkezi tarafından yapılmıştır.



Şekil 1.14. Eş zamanlı mühendislik ürün geliştirme süreci [11]

Eş zamanlı mühendislik yönteminde ürün geliştirme süreçlerini gösteren Şekil 1.14'e göre ilk aşama her uygulama ve organizasyonda yer alan hazırlık aşamasıdır. Bu aşamada fikirler ve değişiklikler daha iyi anlaşılabilirken gelecek aşamaların başarılı olması sağlanır. Bu aşamayı multidisipliner bir ekip çalışması izlemektedir. Üçüncü aşamada ekibin görev sınırlarının belirlendiği evredir. Bir sonraki aşama ise süreç boyunca elde edinilen tecrübe, bilgi ve birikimin sürdürülebilirliğini ve kurumsallaşmasını sağlayabilmektir.

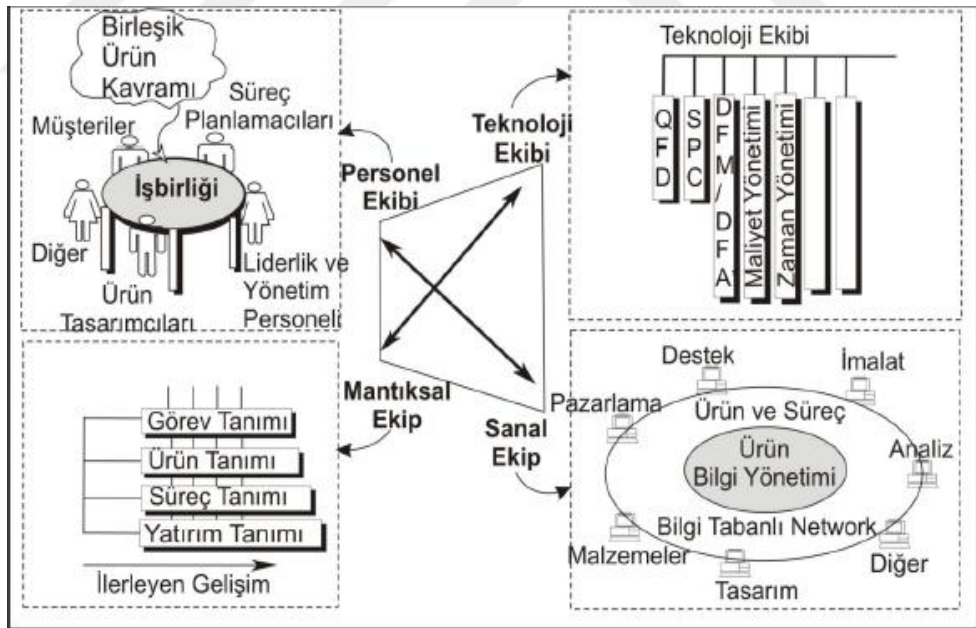
#### 1.2.8. Eş zamanlı mühendislikte başarı

Yöntem olarak eş zamanlı mühendislik yöntemini seçen firmaların sistem, politika ve altyapılarını, ürün ve süreç iyileştirme yöntemlerini, organizasyon yapı ve politikaları ile müşteri ve tedarikçi ilişkilerini yeniden ele alarak geliştirmelerine gerek duyulmaktadır. Bu amaçla yöntemin etkinliğini devam ettirmek ve gelişmesini sağlayabilmek için [1]:



- Üst yöneticilerin desteği alınarak bilgilendirilmeleri yapılmalıdır.
- Yol haritaları net olmalı ve stratejik uygulama programları olmalıdır.
- Benchmarking yöntemlerine önem verilmelidir.
- Müşteri ihtiyaçları dikkate alınarak müşteri odaklı çalışmalara öncelik verilmelidir.
- Ekip çalışmalarının etkinliği artırılmalı ve uyumlu şekilde çalışılması sağlanmalı.
- Ürün geliştirme sürecine katkısı olmayan çalışmaların ayrıştırılması sağlanmalıdır.
- Bilgiyi kullanabilme ve bilgi akışının sağlanabilmesi için gerekli çalışmalara önem verilmelidir.
- CAD/CAM/CAE vb. bilgisayar destekli ürün geliştirme süreçlerinin kullanım kapasitelerinin artırılması sağlanmalıdır.
- Ürün geliştirme süreçleri kayıt altına alınarak süreç sürekli olarak kontrol edilerek sürekliliği sağlanmalıdır.

Eş zamanlı mühendislik yöntemi ile ekip çalışmasında; bir ürünün geliştirilmesi işbirliğine ve çalışma ortamına bağlılığını gösteren dört boyutlu ekip çalışması Şekil 1.15’de gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Ürün geliştirme sürecindeki ekip anlayışı [2]

Ürün geliştirme sürecindeki ekip anlayışına göre personel verilen işleri etkin bir şekilde yerine getirir. Teknoloji ekibi, tasarım konusundaki gelişmeleri inceleyerek gerekli düzenlemeleri yapmaya yardımcı olur. Mantıksal ekip, verilen görevlerin



kontrolü ve izlenmesini sağlar. Son olarak sanal ekip ise bilgisayar teknolojilerini kullanarak ürün geliştirme sürecine katkıda bulunur [2].

Uygulamada başarıyı etkileyen faktörlerin başında ise yönetim yapısı, organizasyon yapısı, çapraz fonksiyonlu ekipler, geribildirim ve kontrol mekanizması ile kullanılan teknikler gelmektedir.

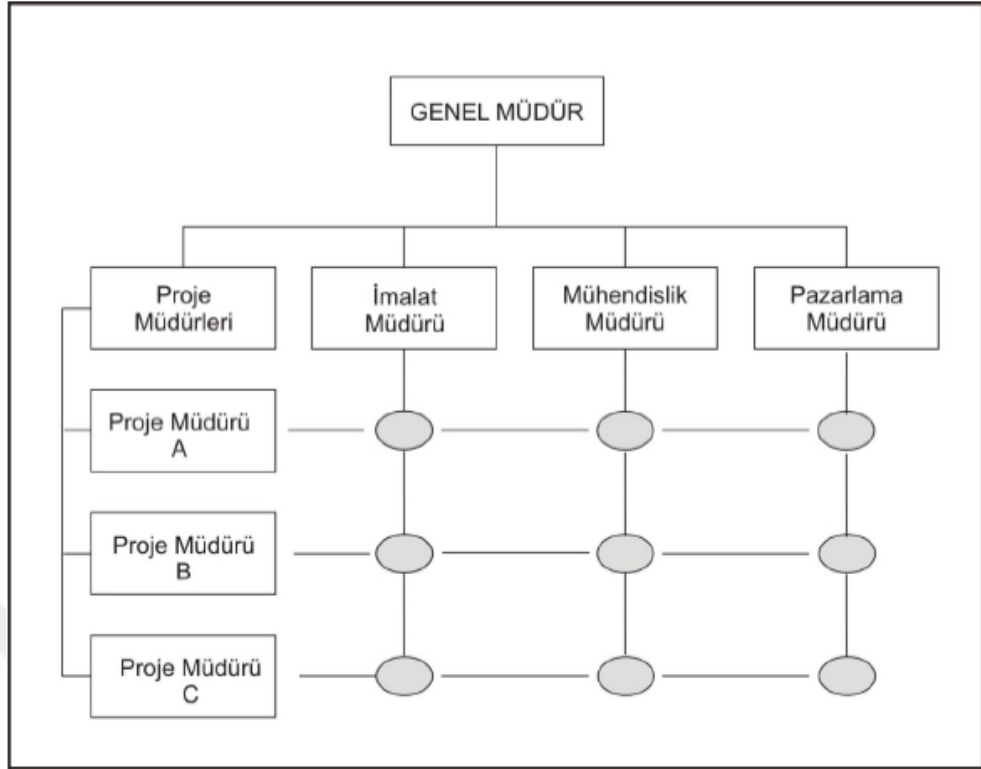
#### **1.2.8.1. Yönetim yapısı**

Yöntemde başarının ilk koşulu özellikle yönetimin her kademesi tarafından kabul edilmesi ve desteğinin alınmasının sağlanmasıdır. Üst yönetim uygulamanın neden önemli olduğunu, değişiklikler yapılarak başarının nasıl sağlanabileceğini, yapılan değişikliklerle beraber çalışanlarını ödüllendirebileceğini çok iyi kavrayabilmeli ve açıklayabilmelidir [1].

Bununla birlikte üst yönetim personeline yetki vererek; toplam kalite yönetimini uygulayıp, kıyaslama (benchmarking) yaparak süreçte sürekli iyileştirme ve yenileştirmeyi amaç edinen ve yöntemlerin benimsenmesini sağlamalıdır. Ayrıca anlayışla gelen yenilikler ve başarının her kademedeki çalışan kişiler tarafından benimsenmesi ve şirket içi kültür haline getirilmesinin sağlanması üst yönetimin en önemli görevleri arasında olmalıdır. Üst yönetimin bir diğer sorumluluğu ise ödüllendirme sistemlerini geliştirmesi ile çalışanlarının motive edilmesini sağlamasıdır. Bu aşamada personelin değişime karşı direnci varsa önlem olarak ve gerekli eğitim, teknik ve teknolojiyi sağlayarak sürece katkıda bulunmalıdır [1].

#### **1.2.8.2. Organizasyon yapısı**

Organizasyon yapıları değişime açık olup eş zamanlı mühendislik uygulamalarında tüm birimlerin birlikte ve iç içe olduğu yapılardır. Bundan dolayıdır ki yöntem anlayışı olarak klasik, fonksiyonel ve hiyerarşik tipte organizasyon şemaları yerine proje yönetimi esasına dayanan matris organizasyon yapısı benimsenmelidir [1].



Şekil 1.16. Matris organizasyon şeması [12]

Geleneksel organizasyon şemalarına göre matris organizasyon şeması çalışanlar arasında koordinasyonu daha iyi sağlayabilmektedir. Bu organizasyon modelinde yatay ve dikey ilişkiler yer almaktadır. Projenin tamamlanmasını sağlayan ve kontrol eden “Proje Yöneticileri” uzmanlık birimleri ile yatay ilişki içinde olup bu birimlerin projeye katkılarını kontrol etmektedirler. Kontrol işlemlerini eş zamanlı mühendisliğin felsefesini kullanarak gerçekleştiren yöneticiler matris organizasyon şemasının isterlerini yerini getirmiş olurlar. Matris yapının genel özellikleri başında [2]:

- Proje yöneticileri hiyerarşik yapılardaki gibi emir-komuta yetkisinde değil, proje yetkisine sahiptirler. Astlık - üstlük ilişkisi yerine projenin gelişmesi için birlikte çalışma modeli mevcuttur.
- Proje ekibi başında proje yöneticisi ve uzmanlık birim yöneticisi yer almakta ve proje ekip çalışanları bu yöneticilere karşı sorumlu olmaktadır.
- Ekip içindeki organizasyon haberleşmeleri çok önemlidir.
- Planlama ve koordinasyon projenin gerçekleşmesi için olmazsa olmazdır.
- Bu tip organizasyonda yetki; mevki ve pozisyona bağlı olmayıp bilgi ve yetenek ile ölçülmektedir.

### **1.2.8.3. Çapraz fonksiyonlu ekipler**

Firmanın çeşitli birimlerinde (retim, pazarlama, muhasebe, finansman vb.) alışmakta olan bireyleri bir araya getiren; hedefleri problemleri ozmek ve projenin yürütülmesine katkı sağlamak olan fonksiyon ekipleri bulunmaktadır. Bu ekipler, firmanın farklı departmanlarından gelen uzman kişilerce oluşmaktadır ve işletme içinde iş birliğini sağlayarak bölümler arası çalışmaların etkinliğini sorunlara değişik açılardan bakarak arttırmaktadırlar. Bu nedenle çapraz fonksiyonlu ekiplerin (cross functional teams) alışma etkinliği arttırılarak, mühendislik projelerinin eş zamanlı olarak yönetilmesi, planlanması, organizasyonda ve iletişimde iş birliğinin kurulmasıyla bölümler arası duvarların yok edilmesi sağlanabilmektedir [1].

### **1.2.8.4. Geri bildirim ve kontrol mekanizması**

rn geliştirme sürecinde hedeflere ulaşabilmek için etkin bir kontrol ve geri bildirim mekanizmasının işlevselliğini koruması gerekmektedir. Hızlı ve yerinde alınan kararlar ile geri bildirim mekanizmasının analizinin yapılması gerekmektedir. Ayrıca sürekli gelişim ilkesi hedeflenerek kontrol mekanizmasının çalıştığına emin olunmalıdır [1].

### **1.2.8.5. Kullanılan teknikler**

Eş zamanlı mühendislik yönteminde kullanılan tekniklerin başında:

- Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment)
- Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis)
- Deney Tasarımı ve Taguchi Yöntemi (Taguchi Methods)
- Grup Teknolojisi (Group Technology)
- Kalite için Tasarım (Design for Quality)
- Güvenirlilik için Tasarım (Design for Reliability)
- Sürdürülebilirlik için Tasarım (Design for Maintainability )
- Çevreye Uygun Tasarım (Design for Enviromental)
- Demontaja Uygun Tasarım (Design for Disassembly)
- Maliyet için Tasarım (Design for Cost)
- Aksiyometrik Tasarım
- Bilimsel Tasarım

- Yasal Sorumluluk için Tasarım
- Müşteri Odaklı Tasarım
- Benchmarking ve Rekabet Analizi
- Değer Analizi
- İmalat için Tasarım
- Montaj için Tasarım
- Bakım için Tasarım gelmektedir.



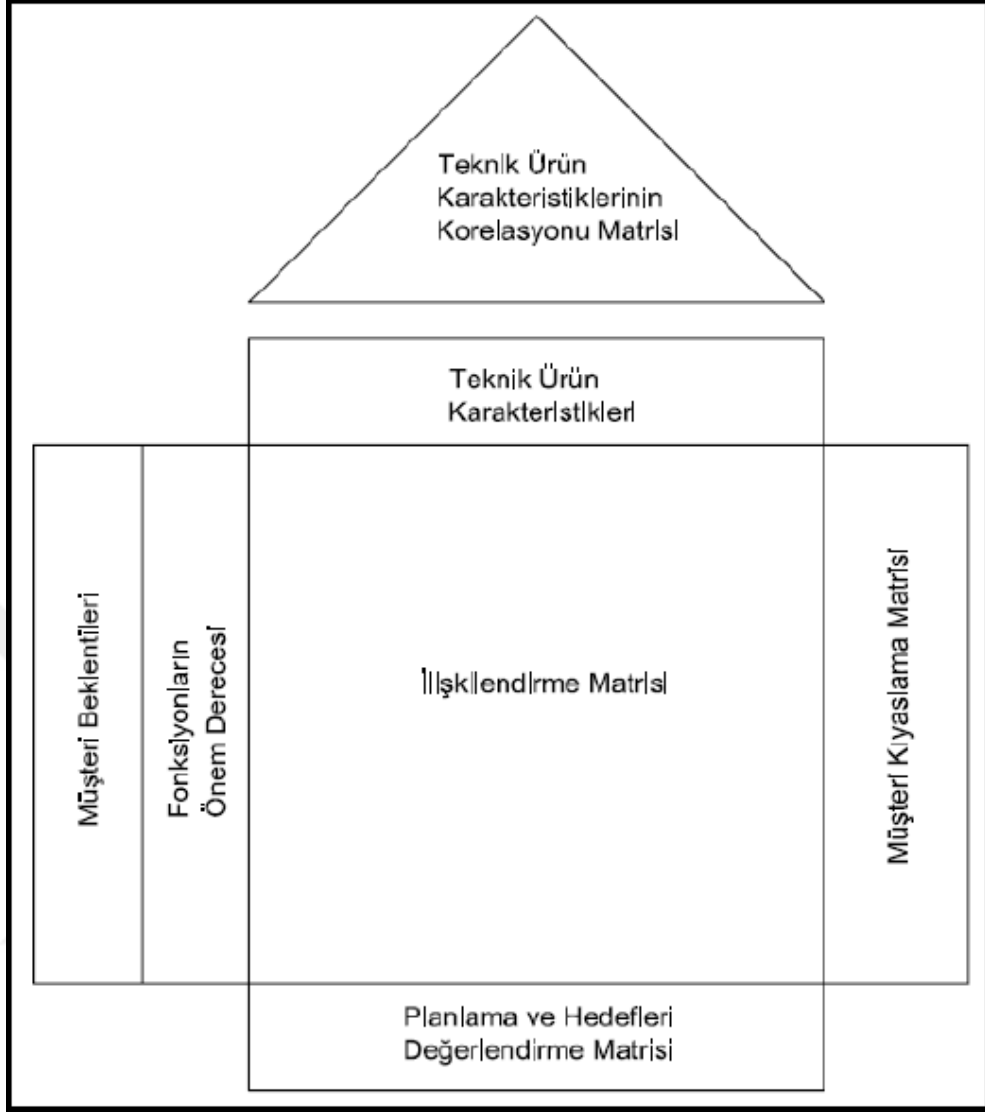
## 2. EŞ ZAMANLI MÜHENDİSLİKTE UYGULAMA TEKNİKLERİ

Teknolojinin gelişmesiyle ve bilgisayar tabanlı yazılım-donanım altyapısı ile beraber veri paylaşımı ve iletişimi arttırılmıştır. Bu sayede tasarım çalışma becerisi kazandırılmış bilgi alışverişi, verimli bir hale getirilmiştir. Ayrıca bazı teknikler kullanılarak tasarım verilerinin değerlendirilmesi ve bu verilerden yararlanılarak mühendislik analizlerinin yapılmasının kolaylaştırılması sağlanmıştır. Eş zamanlı mühendislikte kullanılan bu teknikler ile tasarım prosesi kolaylaşmış, tasarımdaki gereksiz uygulamalar ayıklanarak daha güvenilir kararlar alınabilmektedir [1].

### 2.1. Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY)

Kalite fonksiyon yayılımı ürünün geliştirilme aşamasında müşteri veya pazar ihtiyaçlarının, istenen teknik ihtiyaçlara ve tasarım isteklerine en etkin biçimde cevap vermesini sağlayan yöntemdir. Diğer yöntemler arasındaki en önemli farkı, firma ile son kullanıcı arasında temeli sağlam bir köprü oluşumu sağlayarak müşteri isteklerini tasarımın ilk aşamasından itibaren ön planda tutulmasını sağlamaktır [13].

Kalite fonksiyon yayılımı bir Japon felsefesi olup altı Japon Kanji karakteri olan Hin- Shits Ki- No- Ten- Kai terimlerinin tercümesinden gelmektedir. Bu karakterlerden Hin- Shitsu kalite, özellik, nicelik ve nitelik; Ki- No yapı, fonksiyon; Ten- Kai ise yayılım anlamına gelmektedir [14]. Bu felsefenin geçmişinde son kullanıcı şikâyetlerinin dikkatle ele alındığı ve bunlara yönelik neden sonuç ilişkileri kurularak sonuçlarının analiz edildiği görülmektedir. Teknik olarak çeşitli tablolar ve matrisler tarafından desteklenen analizlerden oluşur. Yöntemdeki temel fikir müşterilerin gereksinimlerini; ürün geliştirme ve üretimin her aşaması için uygun teknik gereksinimlere çevirmektir. KFY' nin temel bileşenleri, çapraz fonksiyonel ekipler olarak tabir edilen KFY takımı ve şeklinden ötürü kalite evi olarak geçen KFY matrisinden oluşur. Bu bileşenlerden kalite evi iki bölümden oluşmaktadır. Yatay bölümde müşterilere ait bilgiler yer alırken; dikey bölümde müşteri girdilerine cevap veren teknik bilgiler yer almaktadır. Şekil 2.1'de yer alan matris analiz modelin genel özellikleri aşağıdaki gibidir [15].



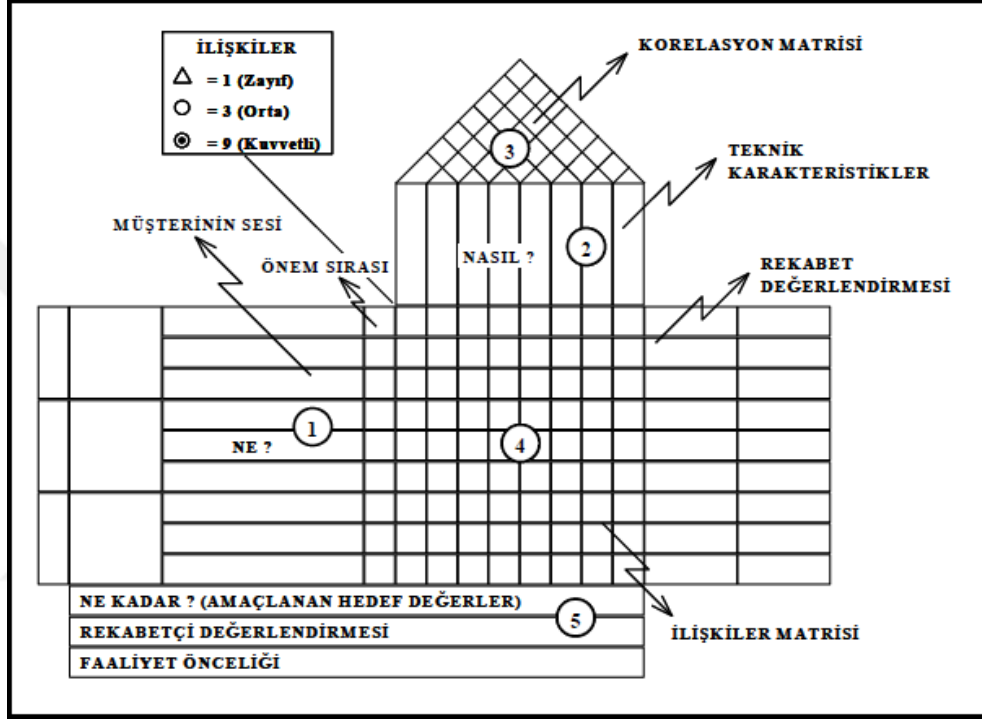
Şekil 2.1. Kalite fonksiyon yayılımı matris analiz modeli gösterimi [15]

Müşteri beklentileri listesi; ilk adım olarak belirtilen bu süreçte amaç son kullanıcıları tanımlamaktır. Anket çalışmaları yapılarak müşteri ihtiyaçları belirlenir. Müşterilerin kendileri tarafından oluşturulan bu ihtiyaçlar istedikleri ürün ya da ürün özelliklerine ilişkin beklentileri oluşturmaktadır.

Önem derecesi; son kullanıcı ile yapılan toplantılar, daha önce yapılmış anketler ve isteklerin önem derecesi bu aşamada sıralanır. Bu sayede oluşturulan tablolar ile isteklerin önem seviyesi oluşturulur.

Teknik ürün karakteristiği matrisi; bu aşamada teknik hesaplamalar, deneysel ve bilgisayar destekli simülasyon programlarıyla yapılan mühendislik çalışmaları ile müşterilerin ihtiyaçları teknik verilere dönüştürülür.

İlişkilendirme matrisi; müşteri ihtiyaçları ile teknik veriler arasındaki ilişkiler belirlenirken “neyi- nasıl” soruları sorulur. Bu soruların cevabı hayır ise ilişki boş bırakılır. Evet, ise ilişki derecesi derecelendirilir. Doldurulan bu matrisler ile müşteri düşünceleri ile ilişkili teknik ihtiyaçlar belirlenir. Şekil 2.2’de yer alan matrisler listesinde öncelikli müşteri ihtiyaçları ele alınmasına dair örnek bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.2. Kalite evini oluşturan matrisler [13]

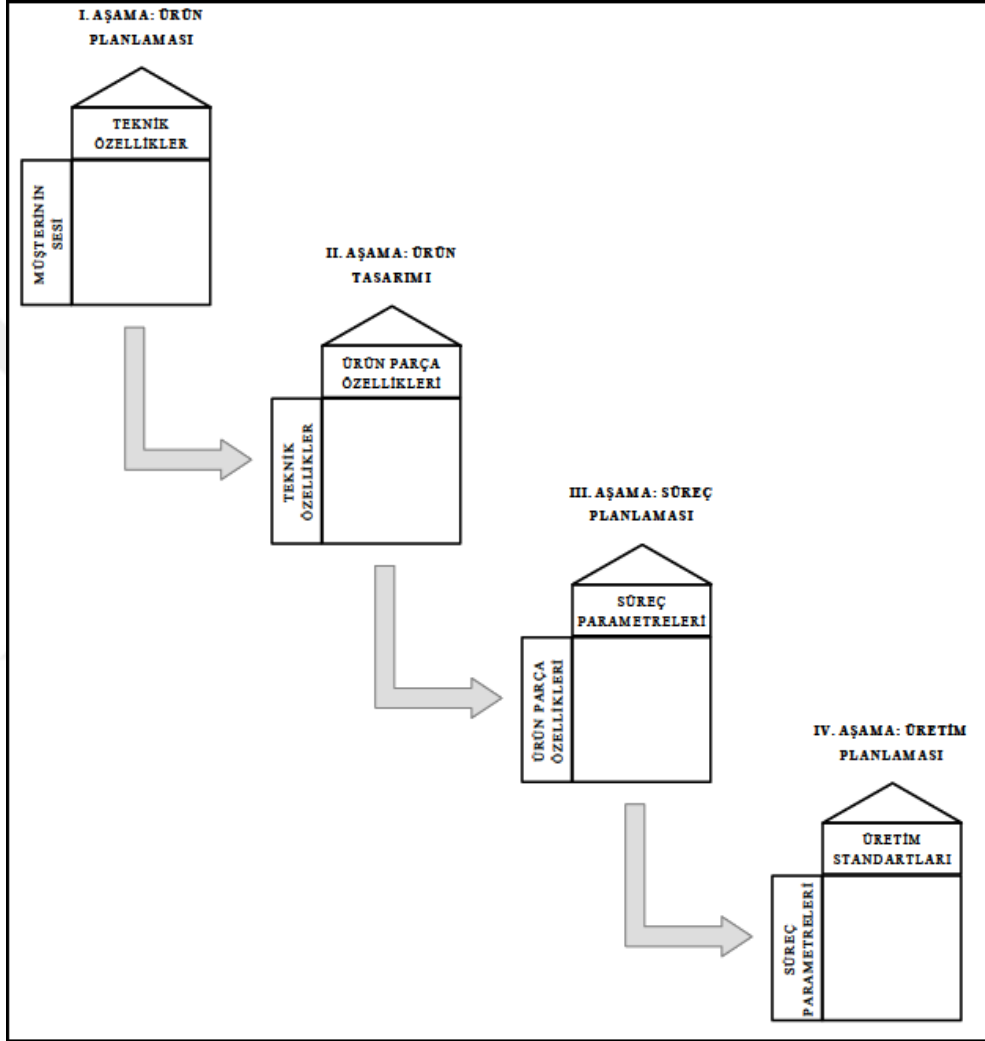
Korelasyon matrisi; belirlenen teknik ihtiyaçların oluşturduğu ilişkinin olumlu veya olumsuz olmasına göre şekilsel değerlendirme biçimi kullanılır. Korelasyon matrisinde bu ilişkiler belirlenerek kalite evinin çatısı oluşturulur.

Müşteri kıyaslama matrisi; mukayese için rakip olarak görülen firmalardan numune olarak alınan ürünler incelemeye alınır. Son kullanıcı tarafından elde edilen beklentiler mukayese olarak alınan numuneler ile karşılaştırılır ve ürünlerden beklentilere göre puanlandırma yapılması sağlanır.

Planlama matrisi ve hedef değerler listesi; teknik özellikler listesi belirlenerek her bir teknik ihtiyacın müşteri beklentilerini karşılamadaki önem dereceleri formüle edilerek hesaplanır.

### 2.1.1. Kalite fonksiyon yayılım süreci

Kalite fonksiyon yayılım süreci dört ana süreçten oluşmaktadır. Müşteri ihtiyaç ve isteklerini; teknik verilere, tasarım ve ürün isteklerine dönüştüren bu süreçler Şekil 2.3'de gösterilmiştir [16].



Şekil 2.3. Kalite fonksiyon yayılım süreci [16]

#### 2.1.1.1. Ürün planlaması (kalite evi)

Sürecin ilk aşaması olup son kullanıcının isteklerinin teknik verilere dönüştürüldüğü aşamadır. Bu aşamada müşteri istekleri önem arz edip olup doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde aşamanın başarısı sekteye uğrayıp tasarım parametrelerinin bu aşamada sisteme entegre edilememesine neden olabilmektedir [13].



### **2.1.1.2. Ürün tasarımı**

Kullanıcı isteklerine göre belirlenmiş teknik verilerin ürüne dönüştürüldüğü süreçtir. Bu aşamada tasarım parametrelerini belirleyecek bileşen karakteristikleri (nasıllar) belirlenir. Teknik verilerin ürüne dönüştürme işleminde, verilerin ürün üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesi ve kontrollerine önem verilerek gerekiyorsa değişikliklerinin yapılması sağlanmalıdır [13].

### **2.1.1.3. Süreç planlaması**

Ürün tasarım sürecinde ortaya çıkan bileşen karakteristikleri (nasıllar) bu aşamada ne'ler olarak işleme tabi tutulur. Üretim için gerekli olan süreç parametreleri bu süreçte belirlenmeye çalışılır ve planlanır [13].

### **2.1.1.4. Üretim planlaması**

Kalite fonksiyon yayılımının son aşaması olup üretim süreci, üretim yöntemlerine dönüştürülür. Önceki aşamada ortaya konan süreç karakteristikleri bu aşamada üretim ihtiyaçları olarak belirlenir.

## **2.1.2. Kalite fonksiyon yayılımının faydaları**

Kalite fonksiyon yayılımının temel faydalarından bazıları [13, 15]

- Yeni bir ürün geliştirme süresinin kısaltılması,
- Tasarım değişikliklerinin sayısı ve sürelerinin azalması,
- Tasarım sorununun belirsizliğinin azalması,
- Ortaya çıkan son ürünlerdeki kalite artışı,
- Kullanıcı kullanım tatmininin de görülen artışlar,
- Piyasada var olan diğer firmalar ile artan rekabet gücü,
- Üretim sürelerinin azalması,
- Müşteri şikâyetlerinde görülen azalma,
- Ekip çalışmasının etkinliğinin artması,
- Organizasyonlar arası artan iş birliği iletişim gücü,
- Tasarlanan ürünün müşteri ihtiyaçlarına göre daha uygun olması KFY'nin faydalarından bazılarıdır.

## 2.2. Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (OHTEA)

Günümüz rekabet ortamında oldukça yaygın olarak kullanılan olası hata türleri ve etkileri analizi, bir sisteme etki edebilecek hata türlerinin ve etkilerinin analiz edilmesi yöntemidir. Yöntemde güvenilirlik tasarım çalışmalarına önem verilmektedir. Kalite güvence sistemi kapsamında hata önleminin yanı sıra kaliteyi arttırmaya yönelik bir teknik olarak tasarım doğrulama görevini de üstlenir. İyi bir analiz yöntemi olması nedeniyle mekanik sistemlerde tasarım geliştirme ve kontrol faaliyetleri kapsamında tasarım aracı olarak kullanılır [4].

Olası hata türleri ve etkileri analizi ilk olarak 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından aya insan indirilmesi projesi olan APOLLO projesinde hiçbir parça ve sistemin arıza çıkarmaması için kullanılan analiz yöntemi olarak adından söz ettirmiştir. Daha sonra ABD Silahlı kuvvetlerinde MIL-STD (Askeri Standart) olarak problem çözme amacıyla kullanılmıştır. İlk endüstriyel uygulamalar olarak Ford, Chrysler ve General Motors tarafından otomotiv sanayinde kullanılmaya başlanmıştır [17].

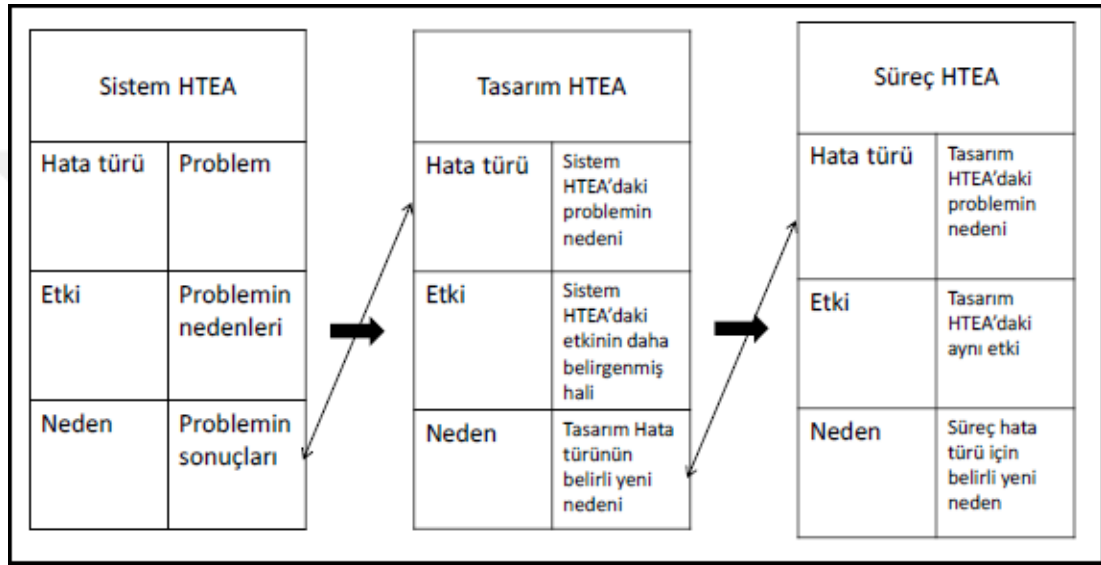
Yöntem genel olarak sisteme ait hata türlerinin her birinin sistemin ana fonksiyonunu etkileyebileceği temeline dayanır. Ayrıca sistemdeki hata türlerinin güvenilirlik, emniyet özellikleri, elverişlilik üzerindeki etkisi büyüktür. Uygulama sonucu elde edilen sonuçlar ile hataların ortaya çıkmasının engellenmesi, ortaya çıkış nedenlerinin kaldırılması ile ürün kalite düzeyinin yükseltilerek güvenilirlik değerlerinin artırılması sağlanır. OHTEA yönteminin amaçları [14]:

- Sistemde var olan hataların önlenmesini sağlamak,
- Hataların teşhis edilmesini sağlamak,
- Emniyet ve güvenilirliği sağlamak,
- Sistem üzerinde olumsuz etki yaratan hataları tanımlamak,
- Sistemin onarım, tamir gibi olanaklarının iyileştirilmesini sağlamak,
- Tasarımın genel itibari ile doğrulanarak kontrol edilmesini sağlamak,
- Son kullanıcı hatalarını azaltmak,
- Hataların etkilerinin en aza indirgenmesini sağlamak,
- Potansiyel hata çeşitleri oluştuğunda ortadan kaldırmak için düzeltici önlemleri alarak ve sürekli oluşma potansiyellerini azaltmak,

- Arıza, hata ve kritikleri ortadan kaldırarak veya en aza indirmek için gerekli yöntemleri ve testleri kararlaştırarak ürünün geliştirmesini sağlamaktır.

### 2.2.1. Olası hata türleri ve etkileri analizi türleri

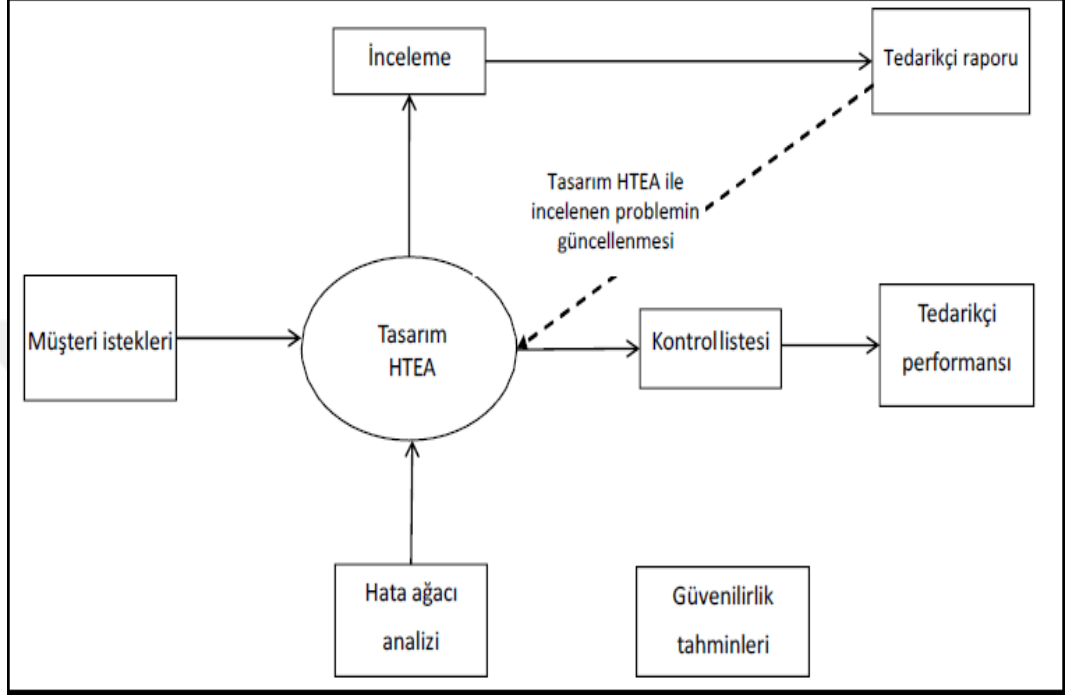
OHTEA çalışmalarını endüstride bir çok uygulamada görmek mümkündür. Uygulamalar temel alınarak dört ana başlık altında toplanmaktadır. Bu uygulamaların özellikleri [18]:



Şekil 2.4. Sistem tasarım ve süreç ilişkisi [19]

- Sistem OHTEA: Fonksiyonlar arasındaki sistem kusurlarındaki hatalara odaklanır. Diğer sistemler ve aralarındaki etkileşimi inceler. Potansiyel problemlerin göz önüne alınıp önlenmesi, gereksiz sistemlerin açığa çıkartılabilmesi, uygun sistem tasarım alternatifinin seçilebilmesi sistem OHTEA'nın başlıca avantajlarını öne çıkarmaktadır.
- Süreç OHTEA: Tasarımı yapılmış ürünün en az kusur ile son kullanıcıya ulaşması için istenilen özelliklere uyulmadığında üretim veya imalat esnasında ortaya çıkabilecek sorunları inceler. Üretim ve montaj anlarındaki hata türlerini ortadan kaldırarak sürecin analiz edilmesi sağlanır. Ayrıca süreç OHTEA ile hatasız ürünler ortaya çıkarabilmek için tasarımcılara montaj ve üretim proseslerinde kullanılan yöntemlerin zayıf yönlerinin analiz edilebilmesine olanak sağlanabilir.

- Tasarım OHTEA: Hataların ürünün daha tasarım aşamasındayken engellenmesini sağlayan ve hataların engellenebilmesi için yapılan bir süreç değerlendirme yöntemidir. Şekil 2.5’de OHTEA yönteminin tasarım iyileştirme çalışmaları için önceliklerin belirlenmesini sağlayan gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.5. Tasarım OHTEA yöntemi [18]

- Servis OHTEA: Son kullanıcıya ürünün ulaştırılmasından önce servis ile ilgili yapılan analiz çalışmalarıdır. Bu yöntem ile servise ait sistem ya da işlem hatalarının üzerine yoğunlaşarak iş akışının analiz edilmesi sağlanır.

### 2.2.2. Olası hata türleri ve etkileri analizi uygulama adımları

OHTEA yönteminin etkinliğinin iyileştirilebilmesi için sistematik bir biçimde ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda ele alınması ve incelenmesi gereken sekiz adım bulunmaktadır [20].

- Grup oluşturma ve beyin fırtınası: Gönüllü ve işlerinde başarılı kişilerin oluşturduğu kişiler ile grup kurulur. Seçilecek OHTEA tipine göre hataların listesi belirlenir.

- Proses akış veya fonksiyonel blok diyagramı: Sistem ve tasarım OHTEA için fonksiyonel akış diyagramı; süreç ve servis OHTEA için ise proses akış diyagramı

kullanılır. Oluşturulan bu diyagramlar ile sistemin daha iyi anlaşılabilir olması sağlanır.

- Öncelik tespiti: Değerlendirme yönetim ve müşteri tarafından yapılır. Bu sebeple bu adım göz ardı edilebilir.
- Veri toplama: Hatalar için Şekil 2.6'da yer alan örnek bir OHTEA formları ile datalar toplanarak değerlendirilir.
- Analiz: Ekip üyeleri tarafından seçilen beyin fırtınası, balık kılıcı diyagramı, matematik modelleme, deneysel tasarım vb. gibi seçilen yöntemler ile OHTEA formunun ilgili hata etkileri kolonu doldurulur.
- Sonuç: Bu adımda şiddet, oluşma, keşfedilme kolonları sayısal veri olarak doldurulur.
- Değerlendirme, ölçme, doğrulama: Analizin tamamlanması ile doğrulama ve değerlendirme yapılır. Durumun analiz öncesi değişiklikleri (iyi, kötü, aynı mı) değerlendirmesi yapılır.

OHTEA için hatanın değerlendirilmesinde kullanılan Denklem (2.1)'deki eşitliğe göre:

$$\text{Risk Öncelik Sayısı (RÖS)} = \text{Oluşma} \times \text{Şiddet} \times \text{Keşfedilme} \quad (2.1)$$

Oluşma (Occurance): Hatanın frekansı

Şiddet (Severity): Hatanın ciddiyeti

Keşfedilme (Detection): Ürünün son kullanıcıya ulaşmadan önce hata tespit edilebilmesidir. Bu üç kavram 1 ile 10 arasında sayısal değerler verilerek ifade edilir. Hatanın önceliğinin tespit edilmesinde ise bu üç kavramın sayısal değerlerinin çarpımı ile sağlanır.

- Tekrarlama: Yapılan analizler sonucu ortaya çıkan değerler ile aynı adımların tekrarlanmasıyla tasarımcıya önemli verilen sunan süreçlerdir. Tekrarlama adımlarına göre verilerin analizi ortaya çıkarılmış olmaktadır.



### 2.3. Taguchi Yöntemi (TY)

Endüstriyel anlamda optimum maliyete dayalı ürün ortaya koymaya çalışan bu yöntem; Japon bilim adamı ve mühendis Genichi Taguchi'nin 1940'lı yıllarda ortaya koyduğu istatistiksel, teknik, deneysel ve mühendislik bilgileri kullandığı kaliteyi geliştirme metodudur. Taguchi felsefesinin temel prensiplerine bakıldığında; ürünün daha tasarım aşamasında kalite faktörünün dikkate alınması gerektiği, sonradan ürüne katılmasının bu yöntemle bağdaşmadığı kabul edilir. Ayrıca kalitenin en mükemmel haline hedef değerlerden en az sapma olduğunda ulaşılabileceği değerlendirilir. Bunun yanında kalitenin maliyetinin, kayıpların ve standart değerlerin bir fonksiyonu olarak ele alınan bir işlem olarak ölçülmesi istenir [21].

Taguchi yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliği; ürünün daha tasarım aşamasındayken son kullanıcının istek ve önerilerine önem verip o doğrultuda istatistiksel mühendislik verilerini kullanarak en az maliyette, en kısa zamanda, hatasız, yüksek kalitede ürün üretebilmek için yapılan çalışmalarını hedeflemesidir [14].

Taguchi kalite felsefesinin bir diğer önemli kavramı kayıp fonksiyonudur. Kalitenin değerlendirilmesine yardımcı olmak, müşteri istek ve beklentilerini karşılayabilmek için kayıp fonksiyonu kavramı kullanılır. Bu kavram için Taguchi, son kullanıcıdan gelen her şikâyetin, geri dönüşün kaliteye kayıp olarak yansıdığını ve kalite kayıp fonksiyonunda hedeflenen değerden sapmaların ölçülebilmesine yardım ettiğini belirtmiştir [14].

Geleneksel kalite kontrolünde üretilecek parçalar, hedeflenen değerlerinden sapmalarına bakılmaksızın teknik sınırlarının içinde olup olmamasına göre değerlendirilir. Üretici firma, takibini yapacağı ürünü teknik sınırlarının içinde olup olmamasına göre işleme ya da ıskartaya ayırabilir. Taguchi yönteminde ise mevcut geleneksel yöntemlerin dışında karesel kayıp fonksiyonu olarak adlandırılan kayıp fonksiyonu ile kayıplar azaltılmaya çalışılmıştır. Kayıp, ürünün fabrikadan çıktıktan sonra son kullanıcının şikâyet, tamir, iade vb. tüm işlemlerinin toplamını ifade etmektedir. Sapmanın hedef değerlerden artmasıyla karesi oranında kaybın artacağı görülecektir. Şekil 2.7'de gösterilen yatay eksen hedeften sapmanın değerini, dikey

eksen ise parasal kaybı göstermektedir. Bu şekilde oluşan kayıp fonksiyonun Denklem (2.2)'deki eşitliği [22];

$$L = k (y-T)^2 \quad (2.2)$$

T : Hedef değer

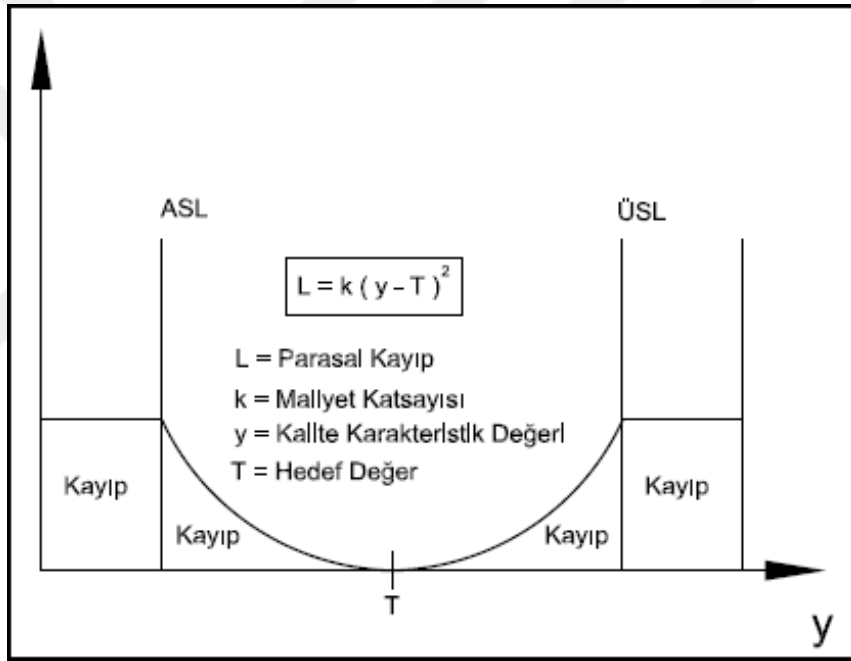
L : Parasal kayıp

y : Değişkenin ölçülen değeri

k : Sapmayı para birimine çeviren katsayı

ASL: Alt spesifikasyon limiti

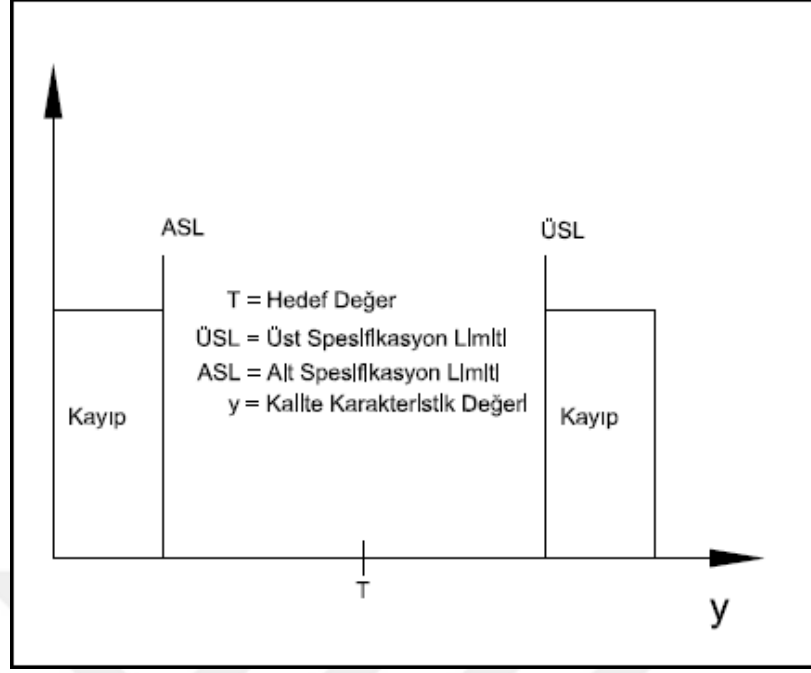
ÜSL: Üst spesifikasyon limiti



Şekil 2.7. Taguchi kalite kaybı fonksiyonu [3]

Geleneksel yöntemler ile elde edilen kalite anlayışına bakıldığında teknik sınırlar içindeki ürünlerin kaliteli sayıldığı; kalite kayıplarının sadece teknik sınırların dışına çıktığında Şekil 2.8'de görüldüğü gibi anlaşılacaktır. Yenilikçi kalite yöntemi olan Taguchi kayıp fonksiyonunda ise hedef değerlerden sapma oldukça kalite kaybının başlayacağı gösterilmektedir. Bir başka deyişle ürünün kalite özellikleri hedef değerde olduğu sürece zaman kayıplarının azaldığı görülmektedir. [3].





Şekil 2.8. Geleneksel yöntemlerde kalite kaybı [3]

#### 2.4. Grup Teknolojisi (GT)

Artan rekabet ve sürekli gelişim, müşterilerin istek ve ihtiyaçlarını karşılayabilecek imalat ortamlarının etkinliğini arttırmıştır. Bu bağlamda grup teknolojisi durağanlıktan uzak, müşteri istek ve ihtiyaçlarını karşılayabilmek için elde edilecek ürün değişikliklerine en iyi cevap verebilecek üretim sistemlerine, verimlilik ve çok yönlülük kazandıracak felsefe anlayışı olarak ortaya çıkarılmıştır. Bir başka tanımda ise çoğu problemin benzer olduğu tespit edilmiş ve bu problemler tek bir grup altında toplanıp tek bir çözümün bulunmasının sağlanmasıyla zamandan ve çabadan tasarruf edilmesi olarak ifade edilmiştir [23].

Grup teknolojinin felsefesinin özüne bakıldığında;

- Benzer çalışmaları aynı çatı altında toplayarak bağımsız faaliyetler arasındaki zaman kaybının önlenmesi,
- Yapılan çalışmalara standartlaştırma işlemlerini uygulayarak gereksiz tekrarlardan kaçınmak,
- Karşılaşılan tekrarlı problemlerin verimli bir şekilde toplanmasıyla bilgi arama zamanının azaltılması gelmektedir.

Grup teknolojisi felsefesinin bir diğer amacı ise akış hattı üretim sisteminin sağladığı yüksek verim ile atölye tipi üretim sisteminin sahip olduğu esnekliği yan yana

getirmektir. Öte yandan çeşitli ürünlerin üretilebilme esnekliklerinin yanında üretim sürelerinin, proses içi stok sayılarının ve üretim maliyetlerinin fazla olması atölye tipi üretim sistemlerinin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Bunun yanında atölye tipi üretim sistemi, üretim maliyetlerinin makul seviyede olduğu ve üretim hacminin iyi seviyede olduğu akış hattı üretim sisteminin farklı tipte ürün üretebilme özelliğine de sahip değildir [23].

Günümüzde grup teknolojisi felsefesinden en iyi şekilde yararlanabilmek için kullanılan kodlama ve sınıflandırma sistemleri için bilgisayar teknolojilerinden yararlanır. Bu kapsamda grup teknolojisi yöntemi sayesinde üretime konu olacak sisteme ait tasarım, üretim vb. verilerin ortak bir veri tabanında toplanmasına yardımcı olacak bilgisayar destekli tasarım-üretim (CAD/CAM) sistemlerin desteğinin alınmasıyla işletmelerin planlama, üretim, tasarım, satın alma bölümlerine üstün avantajlar sağlanabilmektedir [23].

## **2.5. Kaliteye Uygun Tasarım (KUT)**

Kalite kavramı üretim aşamasında veya müşteriye ürün tesliminde kalite problemlerini ifade eden bir kavramken; “güvenilirlik” kavramı kullanımda gelişen kalite sorunlarına işaret etmek için kullanılan bir terimdir. Japon mühendis Genichi Taguchi, deney teorisi tasarımına büyük ölçüde bağlı olan çeşitli istatistiksel araçlar ve kalite geliştirme yöntemlerini geliştirerek “Kalitenin ürün içinde tasarlanması” düşüncesini savunmuştur. Çünkü denetim ve istatistiksel kalite kontrolü, kötü tasarımı hiçbir zaman tam olarak telafi etmemekteydi. Bu amaçla ilerleyen dönemlerde tasarımcının ürün kalitesine olan katkıları incelenerek, ürün tasarım kalitesinin değerlendirilmesinde sistematik tasarım yöntemlerinin uygulanmasına yönelik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Kalite için tasarımın genel amacının [24]:

- Müşterinin isteklerini karşılamak için gerekli ihtiyaçlarının belirlenmesini sağlamak,
- Ürünün üretimindeki potansiyel değişkenlerin etkilerini ve kullanımının kötüye kullanılmasını engelleyen veya en aza indirgeyen sağlam ürün seçimi gerçekleştirmek,
- Müşteri beklentilerini sağlayarak ürün güvenilirliğini, performansını ve teknolojisini sürekli geliştirmek olduğu görülmektedir.

Kaliteye uygun tasarım için kalite hedeflerinin sağlanmasına yardımcı olabilecek üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY), Taguchi Kalite Mühendisliği ve Benchmarking (Kıyaslama) yöntemidir. Bu yöntemlerden KFY; son kullanıcının ürün özelliklerini, performanslarını ve hizmetleri hakkında geri bildirimlerini elde etmek için pazar araştırmasına başlarken “Müşterinin sesi” olarak bir mühendisin hareket edebileceği parça özelliklerine ve üretim parametrelerine girmesine olanak sağlayan yöntemken: Benchmarking (Kıyaslama), iş stratejileri, iş operasyonları ve iş süreçleri açısından en iyi öğrenme süreci olarak kalitenin önemli bir kavramı olarak tanımlanan bir yöntemdir [24].

## **2.6. Güvenilirliğe Uygun Tasarım (GUT)**

Güvenilirlik teorisi, 1950'li yıllarda füze silah sistemlerin gelişmesiyle askeri özel gereksinimler için ortaya çıkarılmıştır. Güvenilirlik, bir sistemin belirli bir süre için belirli bir görevi tatmin edici bir şekilde yerine getirme olasılığı olarak tanımlanmıştır. Güvenilirlik çalışmaları, parçanın arıza tekrarlarını hesaplar ve parça seçiminde kriter olarak kullanılır. Kavramın dört ana unsur üzerine kurulduğu görülmektedir. Bunlar olasılık, performans, zaman ve özel olarak belirtilen bir fonksiyon olarak sıralanır. Her bir fonksiyon arasındaki farkı bilmek güvenilirliğe uygun tasarımlar için bilinmesi gereken önemli kavramlardandır. [24].

Güvenilirlik analizi ile dört önemli ölçüm yapılmaktadır. Bunlar güvenilir ömür ölçümü, ortalama arıza süresi ölçümü (Mean Time to Failure: MTTF), arızalar arasındaki ortalama zaman aralığı ölçümü (Mean Time Between Failures: MTBF) ve hata oranı ölçümleridir. Bunlardan güvenilir ömür, bir sistemin gösterdiği performansın yıllar cinsinden ifade edilmesidir. Ortalama arıza süresi ölçümü, tamir edilemeyen veya mekanik aşınmaya maruz kalan ürünler için ortak bir güvenilirlik parametresidir. Arızalar arasındaki ortalama süre, mekanik aşınmadan önce tamir edilmeyen, onarılamayan arızaların düzeltilmesini ifade eden süredir. Hata oranı ölçümü ise, belli bir süre içinde beklenen bir grup üründen elde edilen ortalama hata sayısıdır. Genel anlamda bir ürünün güvenilirliği Denklem (2.3)'deki fonksiyon ile ifade edilir [24];

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

$\lambda$ : Parçanın ömrü boyunca hata oranıdır;

t: Parça görev zamanı

e: logaritmik taban

Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) analizi ve simülasyon araçlarının erken tasarım aşamasında kullanılması ürün güvenilirliğinin derecesini daha kapsamlı şekilde arttırmıştır. Bu analizlerin başında yer alan sonlu elemanlar analizi (FEA), akışkan analizi, termal analiz ve entegre güvenilirlik tahmin modelleri gibi araçlar, ürünün daha tasarım aşamasındayken gerekli güvenilirlik önlemlerinin alınması için yapılmak istenen çalışmalara olanak sağlamıştır [24].

### 2.7. Sürdürülebilirliğe Uygun Tasarım (SUT)

Sürdürülebilirlik için tasarım, ürünün istenen bir şekilde görevini yerine getirilebilmesi için ürün tasarımının asgari olarak gerekli maliyet ve performans ile öngörülen faydalı ömrü boyunca fonksiyonunu devam ettirilebilmesi olarak tanımlanmıştır [24].

Sürdürülebilirlik için tasarım; bakım maliyetlerinin nasıl en aza indirileceği ve sürdürülebilirliğin nasıl ölçüleceğini inceleyen mühendislik yöntemlerini kullanmaktadır. Üretim teknikleri yaygınlaştıkça tasarımcı sürdürülebilirlik üzerine daha fazla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Standartlaştırma işlemleri gibi tasarım amacını elde etmek için bazı sürdürülebilirlik prensipleri geliştirilerek toplam bakım zamanı ve bakım maliyetini en aza indirecek bir sistem analizi modellenmiştir. Bu sistem, bakım maliyetlerini dört kategoriye ayırmıştır [24]:

- Arıza ile ilgili onarımların toplam maliyetleri,
- Durum izleme bakımı için toplam maliyetler,
- Yasal kriterleri karşılamak adına güvenlik ile ilgili bakım için kalıcı maliyetler
- Özel bakımlardır.

Optimum düzeyde sürdürülebilirliğin elde edilmesi için tasarımın, kullanıcının bakım yetenekleri ve prosedürleri ile maksimum uyumluluk göstermesi gerekmektedir. Uyumluluk düzeyi ile diğer kavramlar için olumlu bir süreç ortaya çıkmaktadır.

## **2.8. Çevreye Uygun Tasarım (ÇUT)**

Ürün geliştirme süreçlerinde çevre sağlığını ve güvenliğini dikkate alan bu düşünce sisteminde genel olarak çevre yönetimi, iş sağlığı ve güvenliği prosedürleri, çevrenin kirlenmesinin önlenmesi, doğal kaynakların en etkin şekilde kullanılarak korunması, çevreye gönderilecek atıkların önlenmesi gibi hedefleri olan tasarım süreçlerini dikkate alan disiplinler yer almaktadır. Çevreye uygun tasarım yöntemleri dikkate alınırken aşağıdaki amaçları bünyesinde bulundurmıştır [24]:

- Yenilenemeyen ve doğaya zarar veren kaynaklar kullanmamak,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliklerinin artırılmasını sağlamak,
- Çevreye zararlı atıkların gönderilmesini engellemektir.

## **2.9. Demontaja Uygun Tasarım (DUT)**

Demontaja uygun tasarım, montajı yapılarak kendisinden istenen görevi yerine getiren parçaların sistematik olarak belli bir düzenle, sırasıyla tekrar sökülerek parçalarına ayrılma işlemi olarak adlandırılmaktadır. Yapılan ilk çalışmalarda, montaj için tasarım ve demontaj için tasarım arasındaki farklar dikkate alınarak yapılmıştır. Örnek vermek gerekirse perçinleme, nokta kaynakları vb. birleştirme yöntemleri gibi bazı birleştirme metotları montaj için çok uygundur, fakat bununla birlikte sistemin birbirinden ayrılması zordur. Demontaja uygun tasarımın genel prensibi, parçanın görevini değiştirmeden parça sayısını azaltılarak daha hızlı sökülebilmesini sağlamaktır. Bu kapsamda demontaja uygun tasarım uygulamalarında iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ilki parçaların birbirine sökülebilir bağlantılar ile montajının yapılmasına olanak sağlayan ters montaj yöntemidir. Bir diğeri ise montaj sisteminin kaba kuvvet uygulanarak kesilmesi veya çekilmesi yöntemleridir. Bu yöntemlerin uygulanmasında görülen zorlukların başında, demontaj işleri için gerekli planlama ve bilginin olmaması ile parçaların tasarım aşamasında kolay demontajlarının düşünülmemesi gelmektedir. Bu yüzden sökme sırası demontaj için tasarımda dikkat edilmesi gereken diğer bir noktadır. Diğer yandan parçanın yerel geometrik fizibilitesi, küçük bir hareketin yapılıp yapılmayacağı, bir parça ile diğer parça arasındaki yüzey temasları sadece taşınacak olan parça kısmı arasındaki ilişkiye değil, aynı zamanda montajdaki diğer tüm parçalarla olan ilişkisine de bağlı olmaktadır. Bu kapsamda demontaj için tasarım yöntemlerinde aşağıdaki temeller dikkate alınmıştır [24]:

- Ürünün parçalarına ayrılabilme kolaylığı,
- Ürünün bağlantı şekillerinin grafikleştirilebilmesi,
- Alt montaj gruplarına kolay erişim ve demontaj sırasının oluşturulabilmesi,
- Basit montaj ve güvenli birleştirme yöntemlerinin kullanılması,
- Geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılarak tekrarlı demontaj işlerinde parçanın dayanımının yüksek olması,
- Kullanılacak parçaların standardize edilebilmesi gelmektedir.



### **3. MONTAJA UYGUN TASARIM YÖNTEMİ**

#### **3.1. Montaj Teknolojisi**

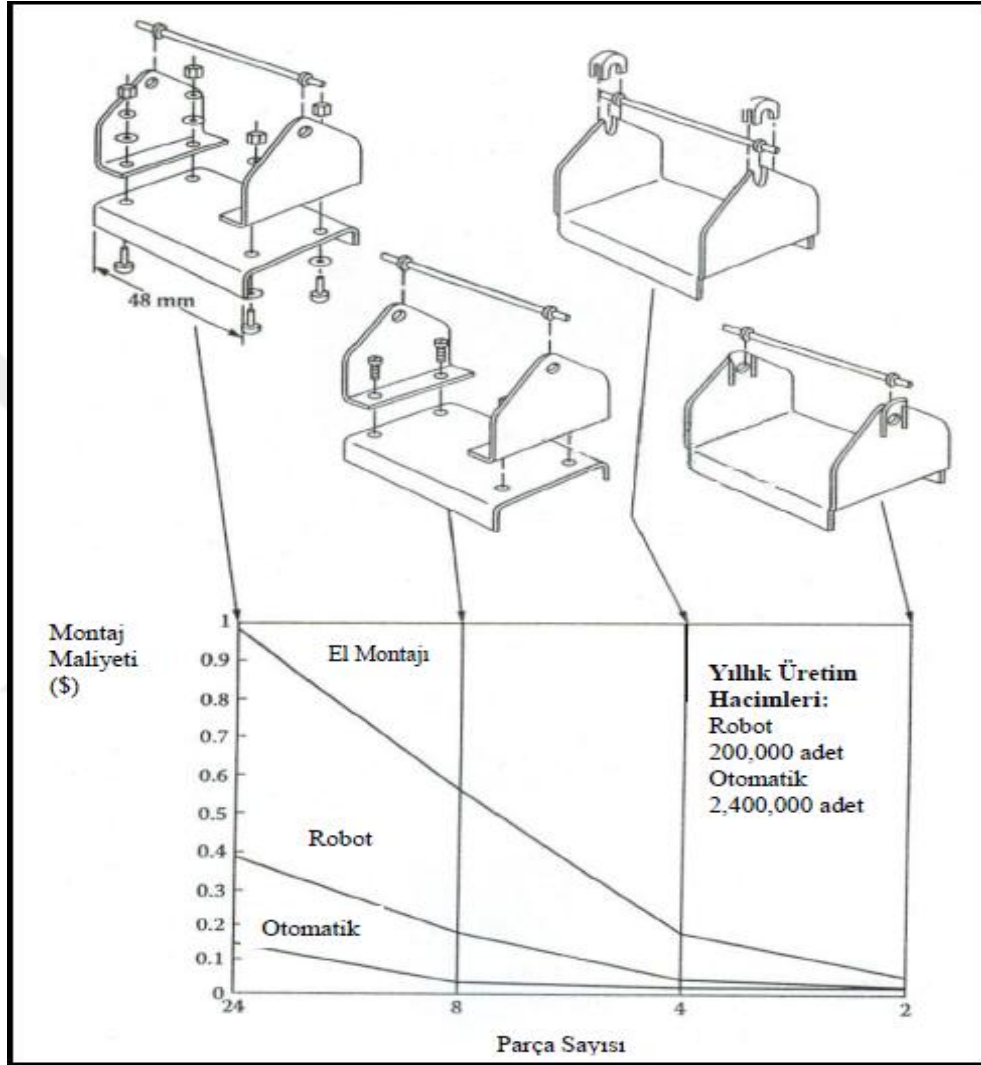
Montaj yöntemi, tasarım departmanlarında tasarlanan ürünlerin imalat işlemine alınıp istenilen parçaların elde edilmesi sonucu birleştirilerek ürün kalitesini ve maliyetini etkileyen üretim aşamasıdır. Bu bakımdan birçok şirkette çalışanların büyük bir kısmı montaj departmanlarında görev yapmasından dolayı büyük bir maliyet çıktısı oluşmaktadır. Bu da ürün daha tasarım aşamasındayken montaj parametrelerinin dikkate alınmasına ve en etkin biçimde montaj planlamasının yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle bir montaj uygulamasını değerlendirirken amacımız üründen beklenen işlevi yerine getirebilmesi ve en az maliyet ile montaj işlerini yerine getirebilmesidir [4].

Montaj proseslerine bağlı olan tasarım faktörleri yıllık üretim miktarı, olması gereken hizmet, ekipman sayısı, parça boyutları ve ağırlığıyla montaj yöntemine bağlı olan tasarım faktörleri ise; olası montaj hatalarının düzeltme kolaylığı ile ekipman karmaşıklığıdır [4].

Montaj prosesleri elle (manuel) montaj ve otomasyon ile montaj olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Elle (manuel) montaj: Yöntemde insan faktörü yer alıp kişinin yetenekleri söz konusudur. Montaj işlemine müdahalenin her aşamada olması diğer sistemlere göre üstünlüğü olmasına rağmen işçilik ve üretim maliyetleri bu montaj şeklinin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Elle montaj yönteminin gelişmiş yöntemi olan özel üretim yöntemleri ve montaj veya özel takımlar (robotlar) kullanılarak yapılan montaj yöntemlerinde ise süreler kısalmakta ve kişiye olan bağılıklar azalabildiğinden maliyetler de aynı oranda azalabilmektedir. Ancak bu yöntemlerde montaja olan müdahaleler ortadan kalktığı için yöntemlerin kısıtlı tarafı ortaya çıkmaktadır [25].

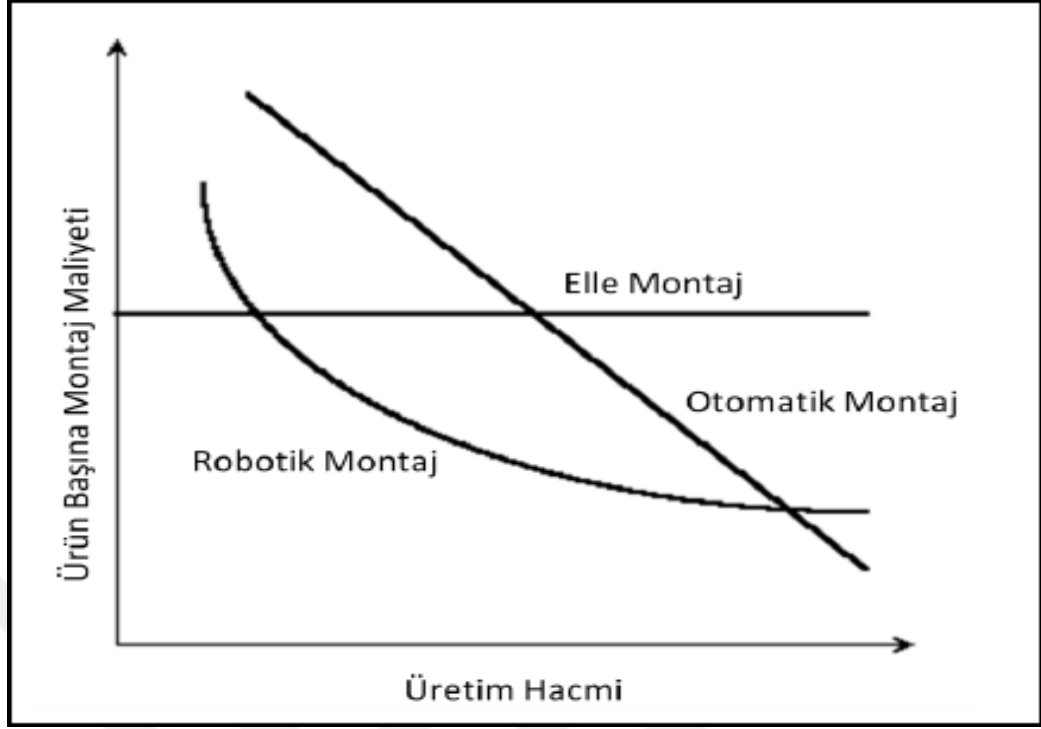
Otomasyon ile montaj: Bu montaj yöntemi seri üretim şekline uygun olup insan faktörü tamamen ortadan kaldırılmıştır. Parça sayısı fazla olan sistemlerde uygulanan bu montaj yönteminde montaj maliyetleri en aza indirilmesine rağmen sistemde değişiklik yapabilme olanağı oldukça kısıtlı ve zor olmaktadır [25].



Şekil 3.1. Montaj prosesleri ve parça sayısına göre montaj maliyetleri [4]

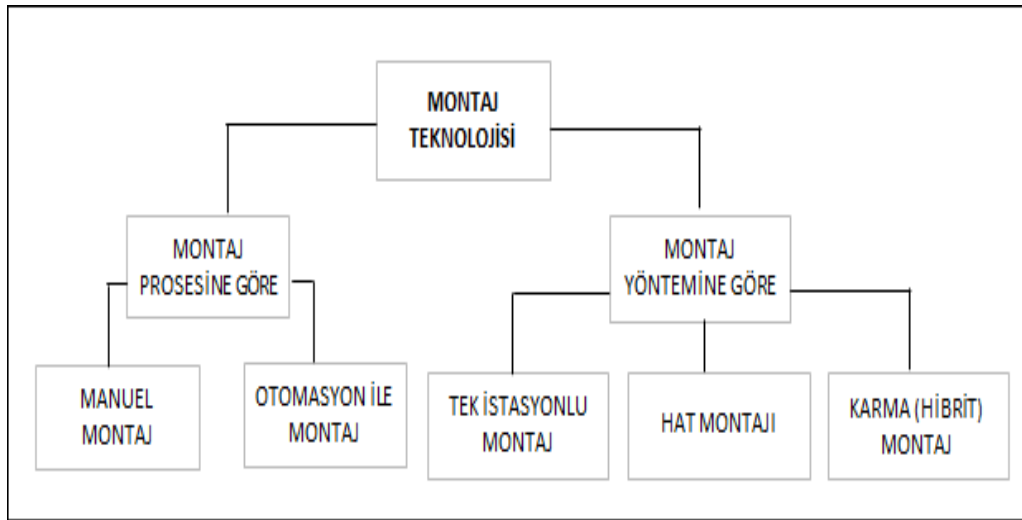
Şekil 3.1'de parça sayısına ve montaj proses yönteminin seçimine göre montaj maliyetlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafikte parça sayısının azaltılması ile maliyetlerin montaj prosesine göre azaldığı görülmektedir. Şekil 3.2' de ise montaj yöntemlerinin üretim hacimlerine göre ürün başına düşen montaj maliyetlerinin değişimi yer almaktadır.





Şekil 3.2. Montaj yöntemlerinin üretim hacmine göre relatif üretim maliyeti [25]

Montaj teknolojisi; montaj yöntemlerine göre tek istasyonlu montaj, hat montajı ve karma (hibrit) montaj olmak üzere Şekil 3.3’de gösterildiği gibi gruplara ayrılmıştır. Tek istasyon üzerindeki montaj, tüm montaj faaliyetlerinin tek bir istasyonda yapıldığı montaj şekliyken; hat montajında, her işlem noktasında belirli aktiviteler yapılabilmektedir. Hibrit montajında ise bu iki montaj sisteminin birlikte yapıldığı montaj yöntemidir [4].



Şekil 3.3. Montaj teknolojisi diyagramı

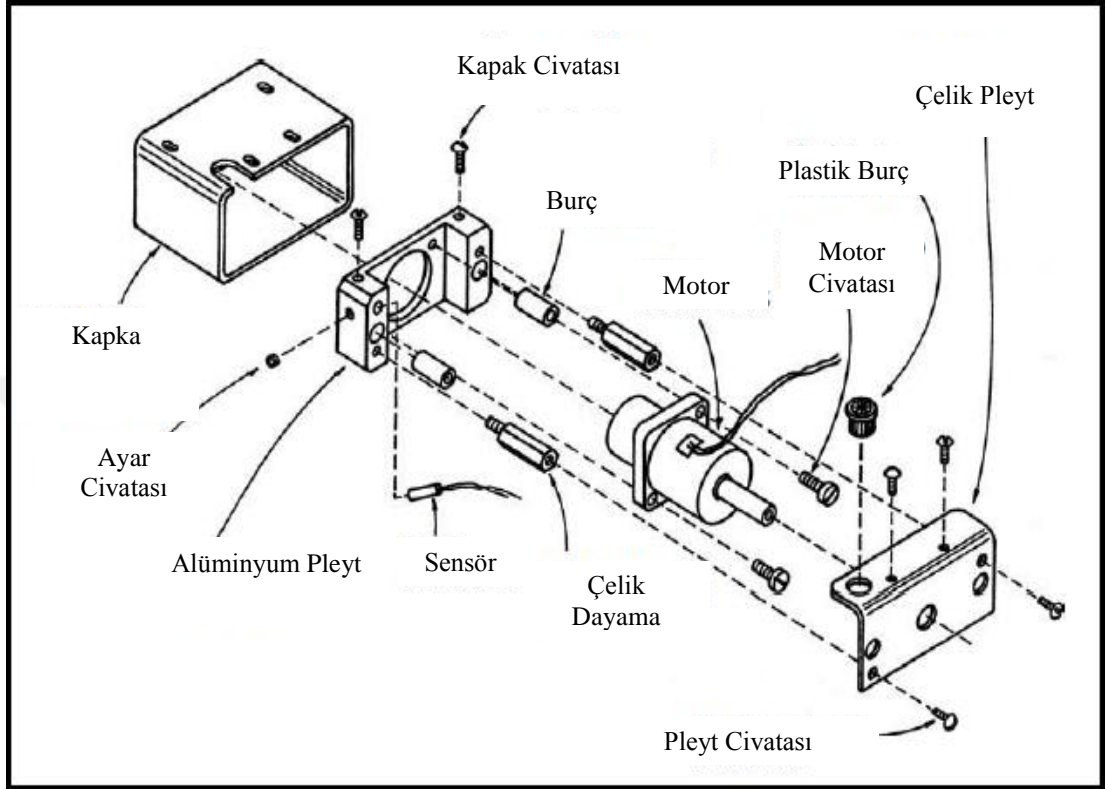
### 3.2. Montaja Uygun Tasarım (MUT)

Montaja uygun tasarım konusu ilk defa Boothroyd ve Dewhurst tarafından araştırılarak ortaya çıkarılmıştır. Araştırmalar yapılırken montaj sistemlerinde maliyetin en az ve ekonomik olacak şekilde ürünlerin tasarlanması prensibi uygulanmıştır. Montaja uygun tasarımlar iki temel üzerine kurulmuştur. Bunlar üretim için tasarım (Design for Manufacture “DFM”) ve montaj için tasarım (Design for Assembly “DFA”)dır. DFMA ise bu iki yöntemin kombinasyonudur. Bu yöntemlerin ana ilkeleri [26]:

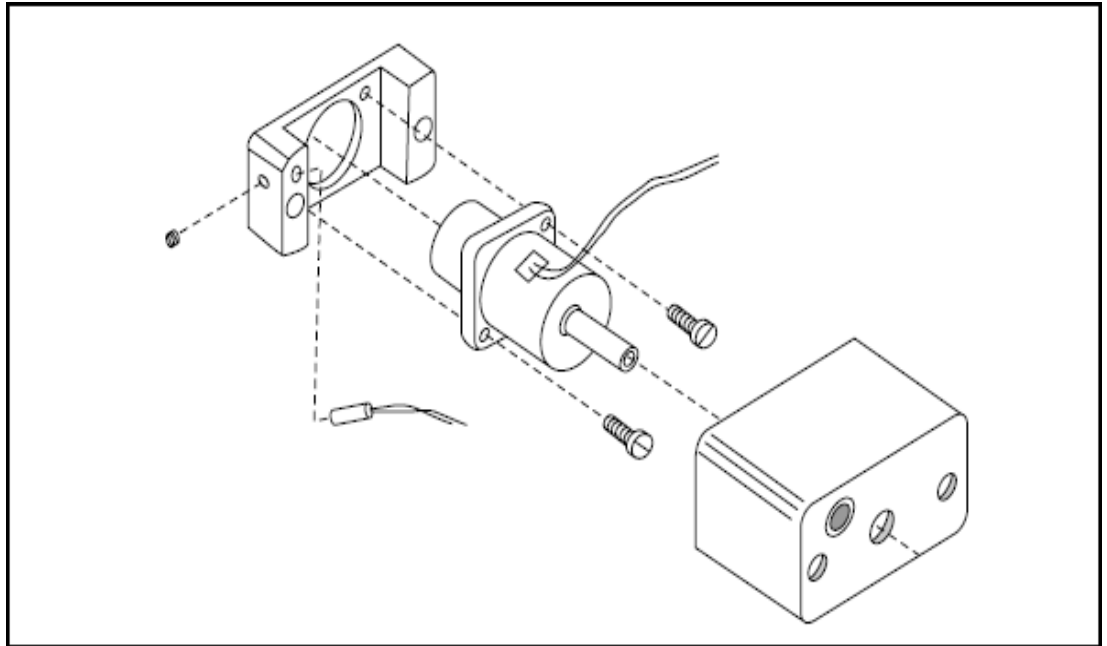
- Eş zamanlı mühendislik kavramının temelini uygulamak, üretim ve montaj maliyetlerini en aza indirmek ve sistem iyileştirmelerini değerlendirmek için ürünün yapısını sadeleştirmede tasarım ekibine öncülük etmek,
- Kıyaslama yapmak için rakip firmaların ortaya koydukları ürünleri, üretim ve montaj zorluklarını değerlendirmek,
- Ürün maliyetlerinin kontrolüne ve tedarikçi sözleşmelerinin pazarlık edilmesine yardımcı olmaktır.

DFMA'nın gelişimi otomatik montaj araştırmalarıyla başlamıştır. 1970'lerin başında küçük parçaların montajı ve yönlendirilmesi üzerine Massachusetts Üniversitesi'nde (UMass) bir el kitabı yayımlanmıştır. Bu el kitabı üzerindeki çalışmalar, İngiltere'deki Salford Üniversitesi'nde Geoffrey Boothroyd ve yüksek lisans öğrencisi Alan Redford tarafından başlatılmıştır. Daha sonra Geoffrey Boothroyd ve meslektaşları Corrado Poli ve Laurence Murch tarafından çeşitli çözümler kataloglanarak grup teknolojisine dayalı bir parça kodlama sistemi geliştirilmiştir. Bu sayede parçaların montajının kolaylığı, zorluğu ve yönlendirilmesi ile ilgili sistematik bilgiler elde edilmiştir. DFMA el kitabının geliştirilmesiyle hem otomatik hem de manuel montaj için yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bu sayede parça sayıları ve montaj işlem sayıları azaltılarak montaj maliyetleri ile beraber parçaların toplam maliyetleri de düşürülmüştür. Yöntemin avantajlarını kullanan Xerox, General Electric, Westinghouse Electric, IBM ve Digital Equipment gibi büyük şirketler, ürün tasarımlarını basitleştirmek için DFA'yı uygulayan başlıca büyük şirketleri oluşturmuştur [26].

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 yer alan montaj şekillerinde DFA yönteminin uygulanmasıyla 19 adet montaj parçasının, 6 adet montaj parçasına dönüştürülerek montajın iyileştirildiği ve maliyetlerin azaltıldığı örnek bir tasarım yer almaktadır [26].



Şekil 3.4. Motor tahrik tertibatının özgün tasarımı [26]

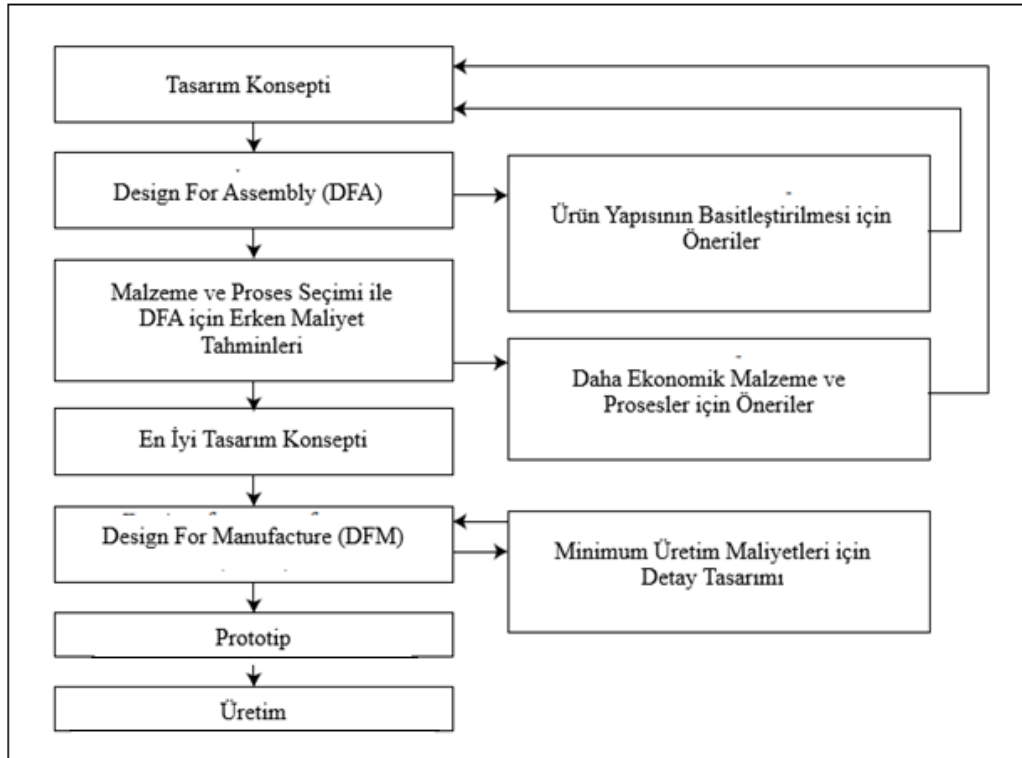


Şekil 3.5. DFA analizinden sonra motor tahrik grubunun yeniden tasarımı [26]

Montaja uygun tasarım yönteminin temel ilkelerine bakıldığında [24]:

- Parça çeşitliliği ve yönlendirmesini en aza indirgeyerek minimum parça sayısı kullanmak
- Montaj işlemlerini gerçekleştirmek için hizalamayı otomatik yapmak, montaj yüzeyine erişmeyi kolaylaştırmak ve parçaların taşınabilmesini en uygun hale getirebilmek
- Aynı anda bağlantı yapmak, ön ayar gerektiren uygulamaları ve görsel engellemelerden kaçınmak ve olabildiğince en az montaj hatasını gerçekleştirmeyi sağlayabilmek yöntemin temel ilkelerinin başında gelmektedir.

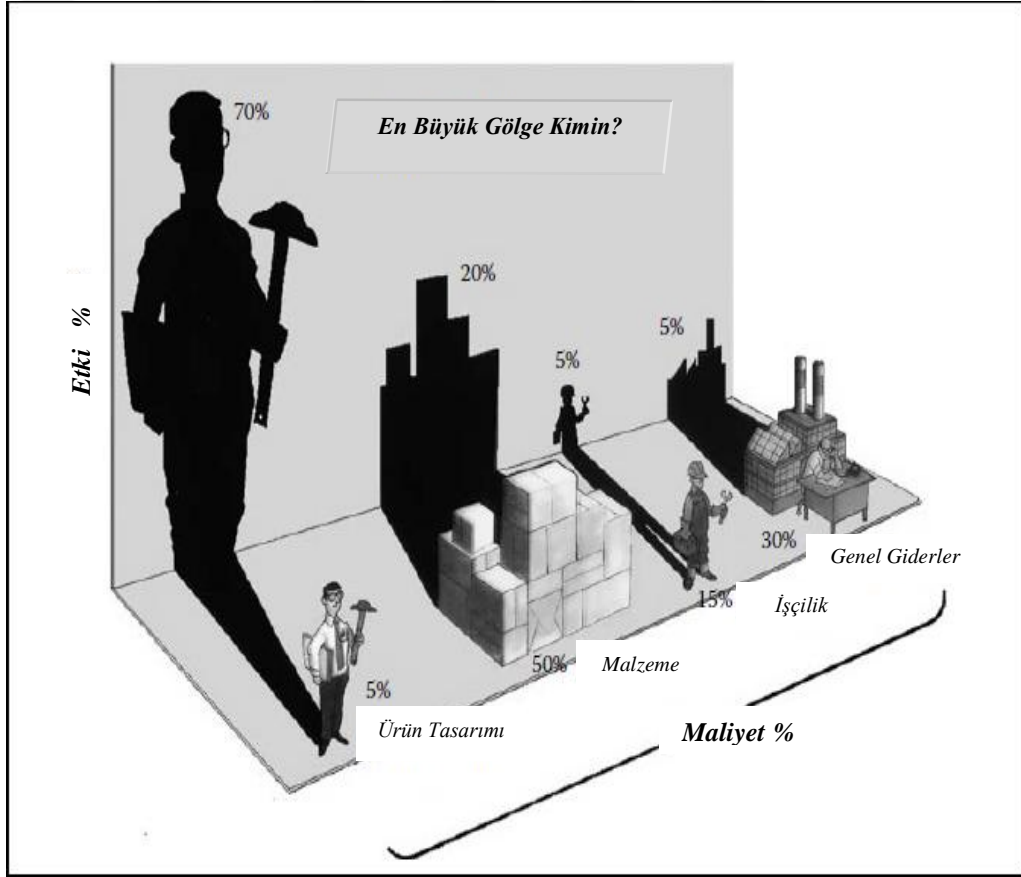
Tasarım aşamasında DFMA'yı kullanırken atılan adımlar Şekil 3.6'da görülmektedir. DFA analizi ile önce ürün yapısının sadeleştirilmesine yol açan yöntemler incelenir. Ardından, DFM kullanılarak, değişim kararları almak için hem orijinal tasarım hem de yeni tasarımda parçaların erken maliyet tahminleri elde edilir. Bu işlemler sırasında parçalar için kullanılacak en iyi malzemeler ve işlemler göz önünde bulundurulur. Ayrıca malzemelerin ve işlemlerin son seçimi gerçekleştirildikten sonra parçaların ayrıntılı tasarımı için DFM'nin daha ayrıntılı bir analiz de yapılabilir [26].



Şekil 3.6. DFMA yazılımını kullanarak DFMA çalışmasında atılan tipik adımlar

### 3.3. DFMA Uygulamasının Avantajları

Bir tasarımın montaj ve üretim açısından analiz edilebilmesi DFMA'nın sistematik prosedürüdür. Bu yöntem ile montaj ve üretimi az maliyetli olan basit ve daha güvenilir ürünler ortaya çıkarılabilmektedir. Bununla birlikte bir montajdaki parça sayısının azaltılması ile tasarım aşamasında artık gerekmeyen çizimler, hesaplamalar ve analizlerin yapılmasına gerek duyulmaz. Tüm bu faktörlerin bir araya gelmesiyle toplam maliyetin en büyük bölümünü oluşturan tasarım aşamasında genel giderlerin önemli derecede azalması sağlanabilir. DFMA aynı zamanda; farklı bölümlerdeki ekipler ile beraber çalışmayı teşvik ederek ekip çalışmasını özendirilmesi ve eş zamanlı mühendisliğin faydalarından da yararlanılmasına olanak sağlamasıyla tasarım faaliyetlerinin kolaylaşmasına yardımcı olmaktadır [26].



Şekil 3.7. Ürün üretim sürecinde maliyetin etkileri [26]

### 3.4. Montaja Uygun Tasarımlarda Montaj Edilebilirlik Kriterleri

Montaja uygun tasarım yöntemlerinde montaj edilebilirlik kriterleri nicel ve nitel ölçüm olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

Nitel ölçüm montaj edilebilme kriteri: Nitel ölçüm değerlendirilmelerinde maliyet yapıları, relatif maliyet değerleri ile tasarım normları ele alınmaktadır. Bu kriterde Maliyet yapılarının incelenmesinde, maliyete neden olan en büyük etken seçilir. Ölçüm kriteri olarak en fazla kullanılan yöntem olan tasarım normlarının kullanılmasıyla önceki tasarımlardan montaj süreçleri ve tecrübeleri incelenir. Kullanılan relatif maliyetler ise bir uygulamanın maliyetinin, belli unsurların maliyetine bölünmesiyle elde edilen oranı temsil etmektedir. Firmalara bağlı kalınmaması, detaylandırmaların montajın değişik aşamalarında kullanılabilmesi, maliyet hesaplamalarında kesinlikten kaçınılması nitel ölçüm kriterlerin başlıca avantajlarıdır. Bazı tasarım normlarının tam olarak belirtilmemiş olması, tasarımcının bazı kuralları hatırlayamaması ile birlikte bilgiye ulaşmada yaşanan sıkıntılar ise bu yöntemin başlıca dezavantajlarını oluşturmaktadır [27].

Nicel ölçüm montaj edilebilme kriteri: Bir ürünün kalitesinin ölçümü amacıyla kullanılır. Global montaj maliyetleri, montaj indeskleri, montaj puanlamaları, detaylandırılmış montaj maliyetleri gibi unsurlar ele alınarak bu kriterlerin değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Kriterde kullanılan global montaj maliyetleri detaylı olarak bir maliyet hesabına gerek duyulmadığında kullanılmaktadır. Montaj indeksleri, yapılan montaj faaliyetlerinin zorluk derecesini ifade eder. Montaj puanlamaları, montaj etki faktörlerine göre puan atayarak montaj edilebilirlik kriterlerine hızlı bir şekilde cevap verilmesine olanak sağlamaktadır. Detaylandırılmış montaj maliyeti ise ürün verilerinin ve montaj yöntemlerinin tam olarak belirlenmesiyle birlikte kullanılmaktadır [27].

Nicel ölçüm yöntemlerini kullanan tasarım yöntemleri aşağıdaki gibidir:

- IPA Stuttgart DFA yöntemi
- Hitachi DFA yöntemi
- Lucas DFA yöntemi
- Boothroyd & Dewhurst DFA yöntemi

#### **3.4.1. IPA Stuttgart DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi**

Fraunhofer Araştırma Enstitüsü'nde araştırma konusu olan IPA Stuttgart yöntemi nicel ölçüm yöntemlerini kullanan montaj edilebilirlik kriterlerinden biridir. Yöntemi diğer uygulamalardan ayıran en önemli özelliği montaj uygulamasının her

aşamasında kontrolün yapılabilmesidir. Böylece alt montaj aşamalarında tasarım proseslerinin her bir aşamasının eksik yönleri tespit edilmiş olmaktadır. IPA Stuttgart yöntemi uygulanan tasarım kurallarının başında [27]:

- Ürün yapısı ile ilgili uygulamalar
- Alt montaj grupları ile ilgili uygulamalar
- Bireysel parça uygulamaları
- Birleştirme teknikleri ile ilgili uygulamalar

Uygulamanın sağladığı bir diğer fayda olan ön tasarım uygulamaları ile alt montaj parçalarının incelenerek kontrol edilebilmesine olanak sağlamasıdır. Böylece her bir alt montaj basamağını etkileyen faktörler hesaplanabilmektedir. Kullanılan kontrol listeleri ve detaylı değerlendirme prosedürleri ile hesaplama işleri yapılmaktadır. IPA Stuttgart yöntemi ile elde edilen bir diğer hesaplama ise montaj maliyetlerinin hesaplanabilmesidir. Toplam montaj maliyetleri ise yönlendirme ve ekleme maliyetlerinden oluşmaktadır. Bu yöntem ile montaj zorluğuna göre ağırlık ve boyut için oluşturulmuş örnek bir değerlendirme yöntemindeki ceza puanı uygulaması Tablo 3.1’ de gösterilmektedir [28].

Tablo 3.1 IPA Stuttgart yönteminde ceza faktörleri

Numara	Faktör	Değerler	Manuel Montaj	Otomatik Montaj
1-	Parça boyutu	< 150 mm	1.00	1.00
		150-300 mm	0.5	0.5
		> 300 mm	2.00	3.00
2-	Parça ağırlığı	G < 3kg	1.00	1.00
		3-8 kg	2.00	3.00
		> 8kg	4.00	3.00

Fonksiyonel yapıların olması, alt montaj yapılarının oluşturulması, montaj sırasına önem verilmesi, montaj maliyetlerinin hesaplanması, montaja uygun ölçüm yöntemleri ile teknik problemlerinin belirlenmesi IPA Stuttgart yönteminin temel uygulama adımlarının başında gelmektedir [27].

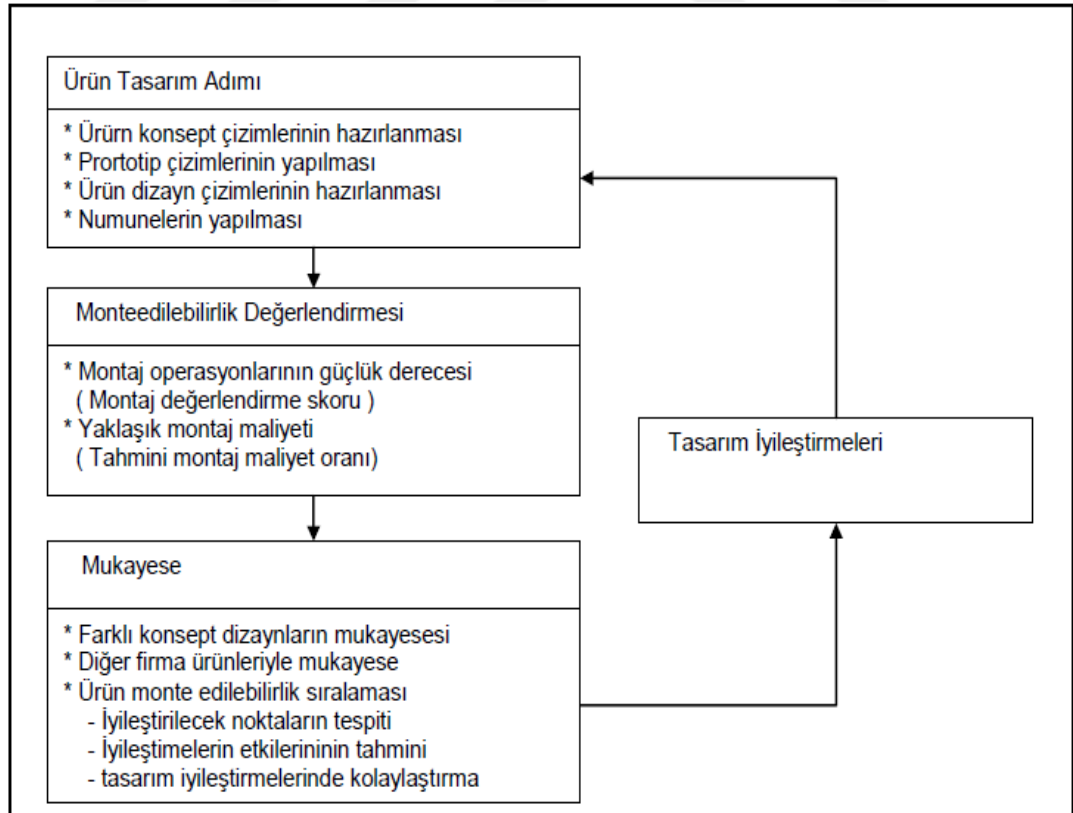
### 3.4.2. Hitachi DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi

Japon Hitachi firması tarafından geliştirilen ve kendi ürünleri üzerinde aynı isimle kullandığı bu yöntem ile daha iyi bir montaj edilebilirlik kriteri elde edilmeye çalışılmıştır. 1976 yılından itibaren firma tarafından kullanılmaya başlanılan bu

yöntem ile montaj edilebilirliğin değerlendirilmesi metodunun (Assembly Evaluation Method, AEM) geliştirilmesi hedeflenmiştir. Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminin temel amacı tasarımın en zayıf noktalarını belirleyerek en erken zamanda çalışmayı yenilemektir. Bu çalışmayı ise iki temel üzerinde yapmaktadır [27].

- E: İşlemlerin zorluk derecesine göre tasarım işleminin kalitesini değerlendirmek ve montaj edilebilirliğinin değerlendirme oranı
- K: Montaj maliyetini oluşturan unsurları belirlemek için kullanılan ve montaj maliyet oranı olarak tanımlanan değerdir.

Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi montaj kalitesi ve maliyetini dikkate alarak işlemlerini devam ettirir. Değerlendirme yönteminin ilk aşamasında kavramsal çizimler kullanılarak oluşturulan bilgi veri akışının sağlanmasının yöntemin verimliliğini iyi yönde etkileyeceği görülmektedir. Yöntemin başarılı yönlerinden bir diğeri ise firmanın kendi ürünleri ile rakip firma ürünlerinin kalitesinin karşılaştırılabilmesine olanak sağlayabilmesidir [27].

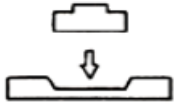



Şekil 3.8. Hitachi montaj değerlendirme akış şeması [27]



Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminin temel prosedürleri aşağıdaki gibidir [27]:

- Operasyon işlerine başlamadan önceki durumda montaj elamanlarına göre sınıflandırma yapılır ve her elaman semboller ile ifade edilir. Yapılan bu görevlendirmeler ekleme ve bağlama işlemleri ile ilişkilendirilir. Ancak bu işlemler Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminin eksik yönünü ortaya çıkarmaktadır. Çünkü elle ve otomasyon montaj ile parçaların taşınması veya birbirlerine göre konumlarının önemli olması Hitachi montaj edilebilirlik yönteminde dikkate alınmayan işlemlerdir.
- Montaj işlemlerinin her bir adımında zorluk derecesine göre ceza puanı uygulanır. Belli verilere göre elde edilen bu puanlar teknoloji ve gelişen uygulamalara göre kendini yenilemektedir. Elde edilen ceza puanlarına göre örnek işlemler Şekil 3.9' daki gibi sıraya konulur.
- Montaj görevlerini etkileyen faktörler ile ceza puanlarının hesaplanmasına geçilir.
- Uygulanmak istenen parçaların bağlantı koşulları farklı semboller ile ifade edilir.

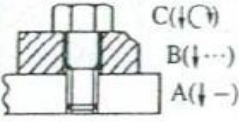
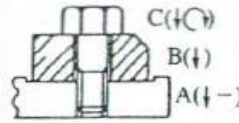
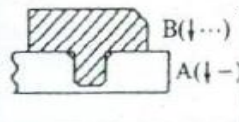
Ana Görevler	AEM Sembolü X	Ceza Skoru $e_x$
 Aşağı doğru hareket	↓	0
 Lehimleme	S	20

Şekil 3.9. Hitachi değerlendirme yönteminde örnek ceza faktörleri [27]

- Parçalar için hesaplanan cezaların toplamı katsayılar ile birlikte toplanır ve en iyi sonuç olarak kabul edilen 100 sayısından çıkarılır.
- Tasarım verimliliğinin hesaplanması için ise toplam montaj edilebilirlik puanına bağlıdır. Bu oran parçaların montaj edilebilirlik değerlendirme puanlarının toplanarak, parça sayısına bölünmesi ile bulunmaktadır. Toplam montaj edilebilirlik puanının 80 ile 100 değerleri arasında olması tasarım verimliliği için kabul olarak değerlendirilmektedir.

- Parça sayılarının azaltılmasında montaj edilebilirlik değerlendirme puanı için her zaman verimli olmayabilir. Bunun aksine eklenecek parçanın değerlendirme puanı var olan ortalama puanından yüksek ise artan parça sayısı ile verimliliğin arttığı gözlenebilir. Bu işlemin etkisini daha iyi tanımlayabilmek için, yeniden tasarlanan ürünün maliyetinin orijinal ürün maliyetine oranlamasıyla montaj maliyet oranı bulunur ve değerinin 0,7 den küçük olması istenir.

Tablo 3.2. Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme örneği [27]

	Montaj Operasyonları	$E_i$	E	K		
Tasarım 1		A yerleştir	100	73	1	B
		B aşağı bırak, merkezleme için sıkıca tut	50			
		C sık	65			
Tasarım 2		A yerleştir	100	88	0.8	C
		B aşağı bırak, merkezleme tırnakla olur	100			
		C sık	65			
Tasarım 3		A yerleştir	100	89	0.5	B
		B aşağı bırak, A'ya sıkıca presle	80			

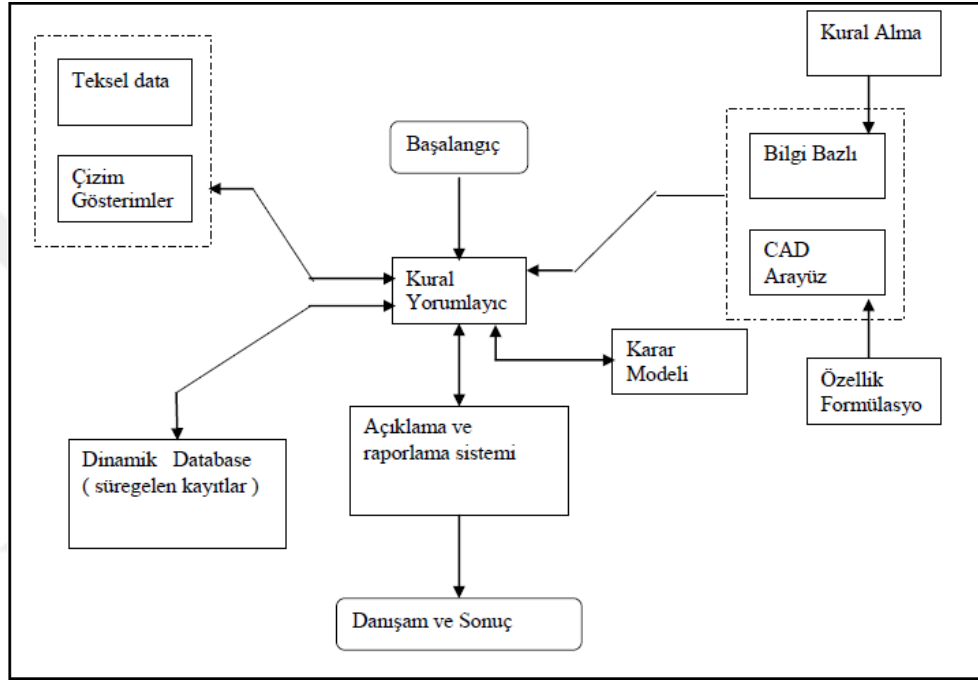
Tablo 3.2’de görüldüğü gibi Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme örneğinde:

- $E_i$  parçaların montaj edilebilirlik değerlendirme puanını
- E sistemin montaj edilebilirlik değerlendirme puanını
- K montaj maliyet oranını belirtir.

Tasarım 1 B işleminde montaj edilebilirlik değerlendirme puanı ( $E_i$ ) düşük olduğu için yapının toplam montaj edilebilirlik değerlendirme puanı (E) düşük çıkmıştır. Tasarım 2’de B parçasının, A parçası üzerinde merkezi biçimde oturabilmesi için A parçası yüzeyine işlem uygulanmıştır. Böylece B parçasının montaj edilebilirlik değerlendirme puanı ( $E_i$ ) yükseltilmiştir. Tasarım 3’e geldiğimizde ise C parçası yani civata montaj elamanı sistemden kaldırılmıştır. Bu işlem sonrası yapının toplam montaj edilebilirlik değerlendirme puanının (E) artırılmasıyla birlikte maliyet oranı (K)’da azaltılmıştır [27].

### 3.4.3. Lucas DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi

Lucas montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi LUCAS organizasyonu ve Hull Üniversitesi tarafından yapılan çalışmalar sonucu geliştirilerek ortaya çıkarılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım yöntemlerini kullanarak en az zaman ve emek ile elde edilmek istenen analiz için veriler elde edilir. Lucas DFA montaj edilebilirlik değerlendirme bilgi tabanlı yöntem olup Prolog mantık programı kullanılır [27].



Şekil 3.10. Lucas DFA montaj değerlendirme yöntemi genel yapısı [27]

Lucas montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminin kullandığı analiz yöntemi, değer analizinin kullandığı fonksiyon analizidir. Yöntem montaj sıralama akış şemasına (ASF-Assembly Sequence Flowchart) dayanır. Fonksiyonlar önem derecesine göre sınıflandırılarak malzeme özellikleri, parçaların birbirine göre bağlı hareketleri ve montaj edilebilirlikleri dikkate alınır. Elde edilen veriler temel olan aktiviteler A kategorisinde, temel olmayanlar aktiviteler B kategorisinde olacak şekilde toplanarak montaj sırası akış diyagramına aktarılır. Montaj verimliliği ise A kategorisinde yer alan aktivitelerin montaj işlemindeki toplam aktivitelere bölünmesiyle  $(A / (A + B))$  elde edilir. Lucas montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminde bu değer, başlangıç değerinin yüzde 60 olması istenir [27].

Montaj maliyetleri B kategorisinde yer alan temel olmayan aktivitelerin montaj işleminden çıkartılması veya birleştirilebilmesi ile ayarlanabilir. Bu yöntem ile daha fazla sayıda parçalar ile mi yoksa az sayıda ama karmaşık yapıdaki parçaların mı kullanılması gerektiği sorusuna cevap bulunarak, montaj için gerekli tasarım maliyetinin üretim maliyeti üzerindeki etkisini ve tasarımcının dikkatinin bu noktaya çekilmesi sağlanır [27].

Lucas montaj edilebilirlik yönteminde değerlendirme yapılırken elle montaj ve otomasyon montaj için farklı terimler kullanılır. Montaj edilecek parçalar montaj bölgesine elle getiriliyorsa taşıma terimi, getirme işlemi otomatik sistemler ile sağlanıyorsa besleme terimi kullanılır ve bu sayede besleme indeksi tanımlanır. Analiz işleminin bir sonraki basamağı ise parçaların taşınması sırasında sorun teşkil edecek işlemlerin belirlenmesi aşamasıdır. Bu işlemler belirlendikten sonra montaj edilecek parçalara besleme analiz indeksi verilir [27]:

- Besleme oranı: Bütün parçaların besleme indeksi oranlarının bulunup daha sonra toplamlarının temel olan A kategorisindeki parçaların toplam sayısına bölünmesiyle bulunur ve değerinin 2,5'den küçük olması istenir [27].

Besleme analizinin yapılmasından sonra bağlantı analizine geçilir. Bu işlemin amacı ise montaj bağlantı tiplerinin belirlenerek maliyet düşürmek için gerekli değişikliklerin yapılmasını sağlamaktır. Bağlantı analizinde besleme analizi ile aynı şekilde bağlantı indeksi tanımlanır ve bu değer 1,5'in altında olmasını istenir. [27]:

- Bağlantı oranı: Bütün parçaların bağlantı indeksi oranlarının bulunmasıyla birlikte toplamlarının temel olan A kategorisindeki parçaların toplam sayısına bölünmesi ile bulunur [27].





### 3.4.4. Boothroyd&Dewhurst DFA montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi

Montaja uygun tasarım yöntemlerinden en çok kullanılanı olan yöntem 1970’li yılların sonunda Prof. Geoffrey Boothroyd ve Peter Dewhurst tarafından Massachusetts Üniversitesi’nde montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi olarak geliştirilmiştir. Nicel değerlendirme prosedürü kullanılarak geliştirilen bu yöntem ile tasarımı oluşturan parçaların elle ve otomatik montaj işlemlerinde zaman ve maliyet hesaplarının yapılabilmesi sağlanır. Uygun montaj sisteminin belirlenmesi, toplam parça sayısının azaltılabilmesi, taşıma, ekleme ve bağlama proseslerinin iyileştirilmesi Boothroyd & Dewhurst tarafından belirlenen başlıca tasarım kurallarıdır. Yöntemin temel ilkeleri [27]:

- Tasarımcı tarafından montajı yapılacak parçaların, montaj için önemini sorgulayıp çıkarılıp çıkarılamayacağını ya da montaj içindeki parçaların tek bir parça halinde tasarlanıp tasarlanamayacağı sorularının sorulması
- Boothroyd & Dewhurst tarafından geliştirilmiş bazı işlemlerin standart zamanlarını kullanan çalışmalar ile gerçek montaj zamanlarının bulunarak tasarım verimlilik indeksinin hesaplanması
- Montaj zorluklarının tanımlanarak üretim ve kalite sorunlarının saptanması

Parça sayısının azaltılabilmesi için her bir parça için belli soruların sorulması ki bu soruların başında;

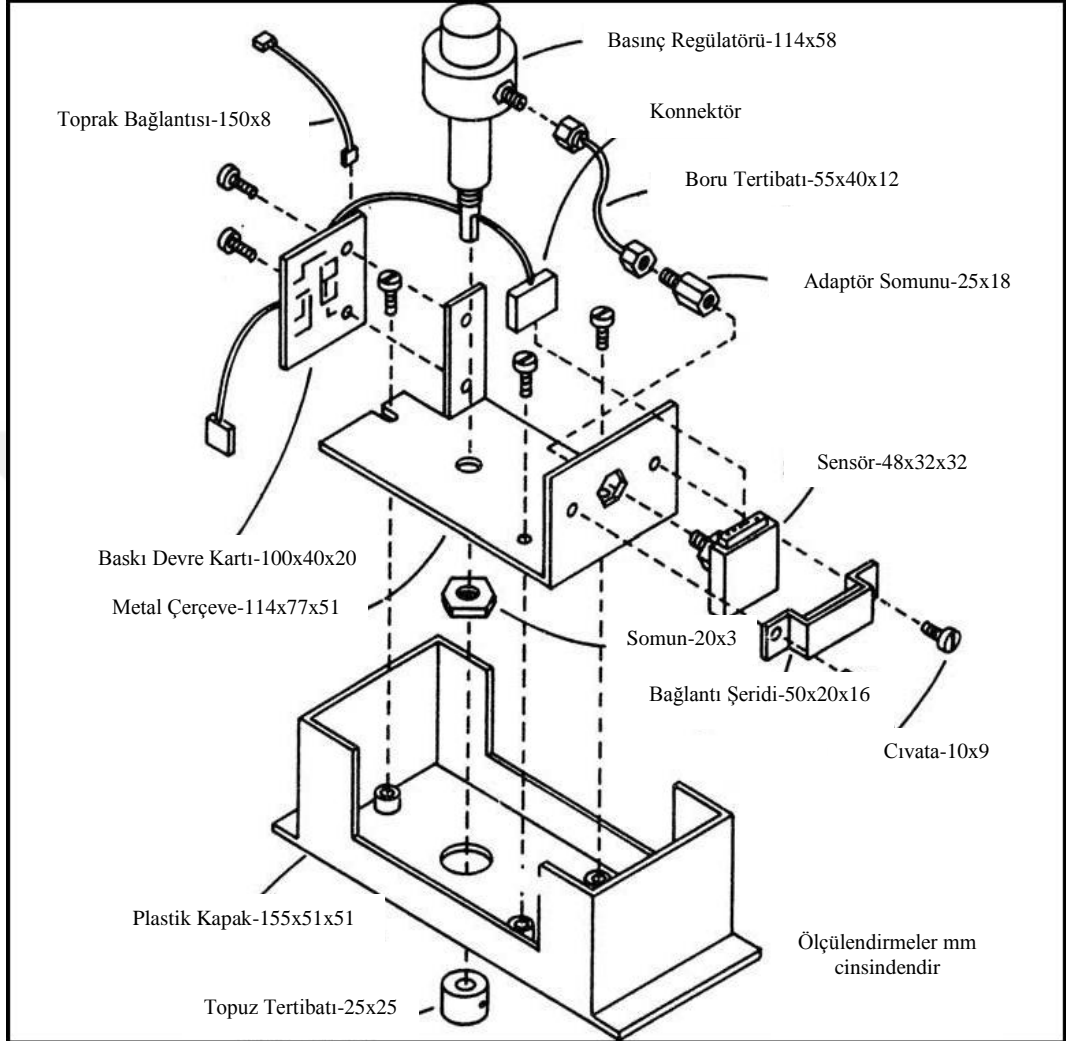
\* Değerlendirilen parçanın diğer parçalara göre relatif harekette bulunup bulunmadığı? Eğer sistemi oluşturan bu parçalar bütünleşik harekette bulunduğu tespit edilirse montaj sisteminden çıkarılmalıdır.

\* Montaj sistemi içinde gerekli olmayan hareketli bağlantı elamanın olup olmadığı? Eğer varsa bu bağlantı elamanı kaldırılıp iki parça birleştirilerek yeni bir parça oluşturulmalıdır.

\* Değerlendirilen parçanın montaj ve demontaj işlemlerine engel olmaması için diğer parçalardan ayrı olmasının gerekip gerekmediği? Eğer gerekiyorsa parçanın elenmesi ya da diğer parça ile bütünleştirilmesine karar verilmesi gerekmektedir.

Boothroyd & Dewhurst yönteminin bir diğer önemli özelliği ise yapılan taşıma ve ekleme işlemlerine göre her bir parça için uygulanan ceza puanlarıdır. Belirlenen ceza puanlamasıyla, yeniden tasarım çalışmalarında hangi parçaya odaklanılabileceği

tespit edilir. Şekil 3.11’da gösterilen montaj çalışmasında Boothroyd&Dewhurst yönteminin nasıl uygulanacağı üzerine yapılan örnek bir uygulama yer almaktadır.



Şekil 3.11. Boothroyd & Dewhurst ile kontrolör montaj uygulaması [26]

Yöntemin uygulanacağı kontrolörün montajı yapılırken önce vidalar kullanılarak metal çerçeveye sabitlenmesi, montaj parçaların çeşitli şekillerde bir araya getirilmesi ve daha sonra elde edilen yapıyı vidalar kullanarak plastik kapağa sabitlemesini içerir.

Boothroyd & Dewhurst yönteminin uygulanmasına geçilmeden önce kontrol ünitesinin montaj parçaları için Tablo 3.5’deki gibi tablolanmış bir işlemler listesi ve buna uygun montaj süresi ve maliyeti içeren bir analiz çalışması yapılır.



Tablo 3.5. Kontrolör montajı için oluşturulmuş DFA analizi [26]

Parça Adı	Parça Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma Zamanı (sn)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme Zmn (sn)	Toplam Montaj Zmnı (sn)	Minimum Parça Sayısı	Açıklamalar
1- Basınç regülatörü	1	30	1,95	00	1,50	3,45	1	Parçayı yerleştirme
2- Metal çerçeve	1	30	1,95	06	5,50	7,45	1	Ekleme
3- Somun	1	00	1,13	36	8,00	9,13	0	Ekleme ve cıvata bağlama
4- Yönlendirme	1			98	9,00	9,00		Yeniden yönlendirme ve ayarlama
5- Sensör	1	30	1,95	08	6,50	8,45	1	Ekleme
6- Bağlantı şeridi	1	20	1,80	08	6,50	8,30	0	Ekle ve basılı tut
7- Cıvata	2	11	1,80	39	8,00	19,60	0	Ekleme ve cıvata bağlama
8- Bant uygulaması	1			99	12,00	12,00		Operasyon
9- Adaptör somunu	1	10	1,50	49	10,50	12,00	0	Ekleme ve cıvata bağlama
10- Boru montajı	1	91	3,00	10	4,00	7,00	0	Ekleme ve cıvata bağlama
11- Cıvata bağlama	1			92	5,00	5,00		Operasyon
12- Baskı devre montajı	1	83	5,60	08	6,50	12,10	1	Ekle ve basılı tut
13- Cıvata	2	11	1,80	39	8,00	19,60	0	Ekleme ve cıvata bağlama
14- Konnektör	1	30	1,95	31	5,00	6,95	0	Ekleme ve kavrayarak birleştir
15- Toprak bağlantısı	1	83	5,60	31	5,00	10,60	0	Ekleme ve kavrayarak birleştir
16- Yönlendirme	1			98	9,00	9,00		Yeniden yönlendirme ve ayarlama
17- Kontrol topuzu	1	30	1,95	08	6,50	8,45	1	Ekleme ve cıvata bağlama
18- Cıvata bağlama	1			92	5,00	5,00		Operasyon
19- Plastik kapak	1	30	1,95	08	6,50	8,45	0	Ekle ve basılı tut
20- Yönlendirme	1			98	9,00	9,00		Yeniden yönlendirme ve ayarlama
21- Cıvata	3	11	1,80	49	10,50	36,90	0	Ekleme ve cıvata bağlama
<b>Toplam</b>						227,43	5	

Her montaj işlemi elle taşıma ve elle yerleştirme işlemine göre değerlendirilmektedir ve her işlem için karşılık gelen montaj zamanı iki basamaklı kod numaraları ile kodlanmıştır. Montaj, basınç regülatörünü bir fikstür içine yerleştirilmesiyle başlar. Metal çerçeve, basınç regülatörünün miline yerleştirilir ve somun ile sabitlenir. Ortaya çıkan düzeneğe, diğer öğelerin metal çerçeveye eklenmesini sağlamak için armatürün içinde döndürülür.

Daha sonra, iki vida takılıken sensör ve bağlantı şeridi yerleştirilir ve yerinde tutulur. Bu iki parçanın tutulması ve vida girişlerinin zorluğu montaj işlemine zaman cezaları getirmektedir.

Sensör üzerindeki dişe bant uygulandıktan sonra adaptör somunu yerine vidalanabilir. Ardından, boru tertibatının bir ucu basınç regülatöründeki dişli uzantıya, diğer ucu ise adaptör somununa vidalanır. Bu işlemlerin her ikisi de zor ve zaman alıcı işlemlerdir.

Baskı devre kartı düzeneği iki vida takılı olarak yerleştirilir ve yerinde tutulur, daha sonra konnektörü sensöre takılır ve toprak kablosu yerine yerleştirilir.

Vida montaj işlemi gerçekleştirilirken topuz tertibatının konumlandırılması ve tutulması için tüm tertibat bir kez daha döndürülmelidir. Son olarak, plastik kapak yerine yerleştirilir ve üç vidanın yerleştirilmesine izin vermek için tüm montaj üçüncü kez döndürülür. Bu vidaların yerleştirilmesi işleminde erişimin çok kısıtlı olmasına dikkat edilmelidir.

Montaj sırasının ayrıntılı açıklamasından, tasarımın bir çok açıdan geliştirilebileceği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, ürün yapısını basitleştirmek ve montaj zorluklarını azaltmak için değişikliklerin tanımlanmasından ve nicelleştirilmesinden önce, her bir işlemin adım adım analizi gereklidir.

Kontrolör montaj uygulamasını oluşturan parçaların sistemde nasıl monte edilmesinin anlatılmasından sonra analiz tablolarının oluşturulmasına geçilir. Boothroyd & Dewhurst yönteminin uygulanmasında taşıma ve yerleştirme zamanlarının analiz tablosuna nasıl yerleştirileceğini daha iyi anlayabilmek için ise bağlantı şeridine dair uygulanan DFA analizi örneği aşağıdaki gibidir:

\* Parça numarası ve adı: Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yönteminin ilk aşamasında montaj parçalarına parça numarası verilerek isimlendirilmeleri yapılır.

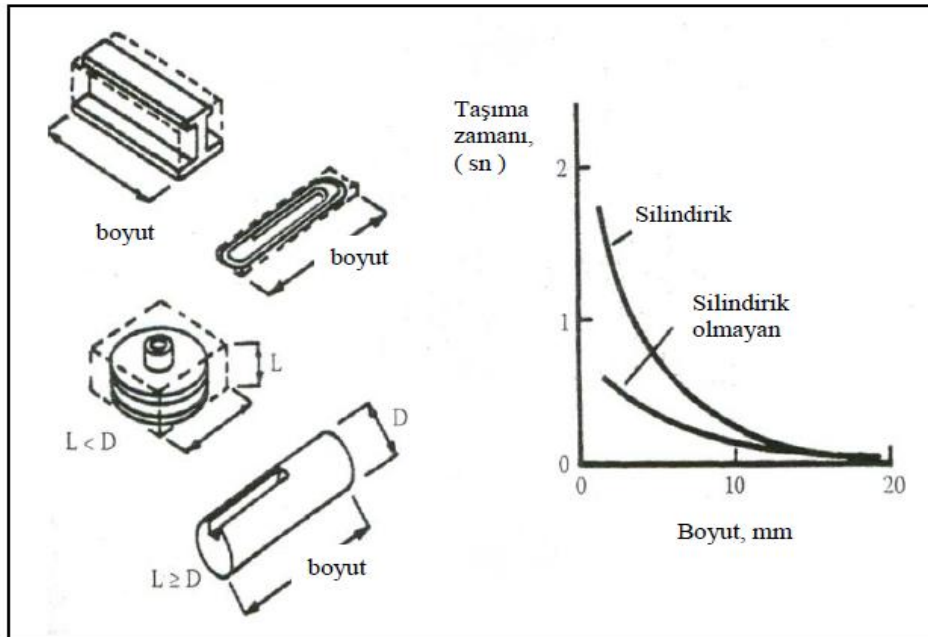
- Kontrolör montaj tablosunda altı numaralı satırda görüldüğü gibi bağlantı şeridi parçası yer almaktadır.

\* Parça sayısı: Analizi yapılacak parçanın montaj içerisinde kaç adet bulunduğunu gösteren bölümdür.

- Kontrolör parçasında bir adet bağlantı şeridi yer almaktadır.

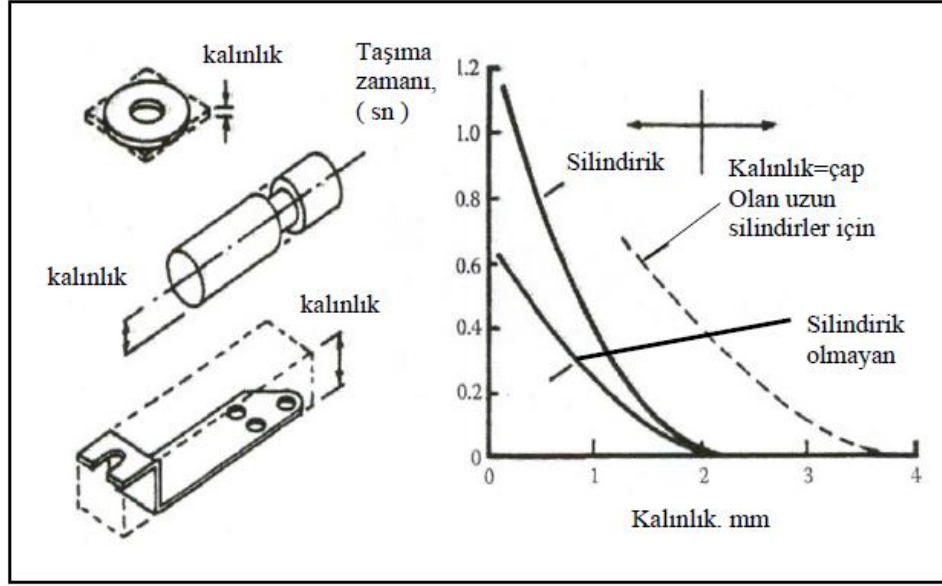
\* Elle taşıma kodu: Üçüncü sütunda yer alan bu alanda Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yönteminde yer alan ve matris şeklinde olan elle taşıma tabloları Tablo A-1'den bu değer seçilir. Düşeydeki değerlerden elle taşıma kodunun ilk rakamı seçilirken yataydaki değerlerden de elle taşıma kodunun ikinci rakamı seçilir. Parçanın boyutları, kalınlığı, ağırlığı, parçanın elle tutulup döndürebilme kolaylığı, parçanın montaj bölgesine ulaştırılabilmesi için ek bir aletin gerekip gerekmediği, parça simetrisi gibi değerler göz önüne alınarak tablodan bu değerler seçilir [4].

Parça boyutlarının elle taşıma zamanına etkisini gösteren Şekil 3.12'de boyutların değişmesiyle silindirik veya silindirik olmayan parçalardaki ceza puanlarının Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yöntemindeki etkisi yer almaktadır. Grafik incelendiğinde boyutların küçülmesiyle elle taşıma ceza zamanların arttığı görülür.



Şekil 3.12. Parça boyutlarının elle taşıma ceza puanına etkisi [26]

Parça kalınlığının elle taşıma zamanına etkisini gösteren Şekil 3.13'de ise kalınlıkların değişmesiyle silindirik veya silindirik olmayan parçalardaki ceza puanlarının Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yöntemindeki etkisi yer almaktadır. Bu grafikten görüldüğü gibi parça kalınlığı küçüldükçe elle taşıma ceza zamanı artmaktadır.



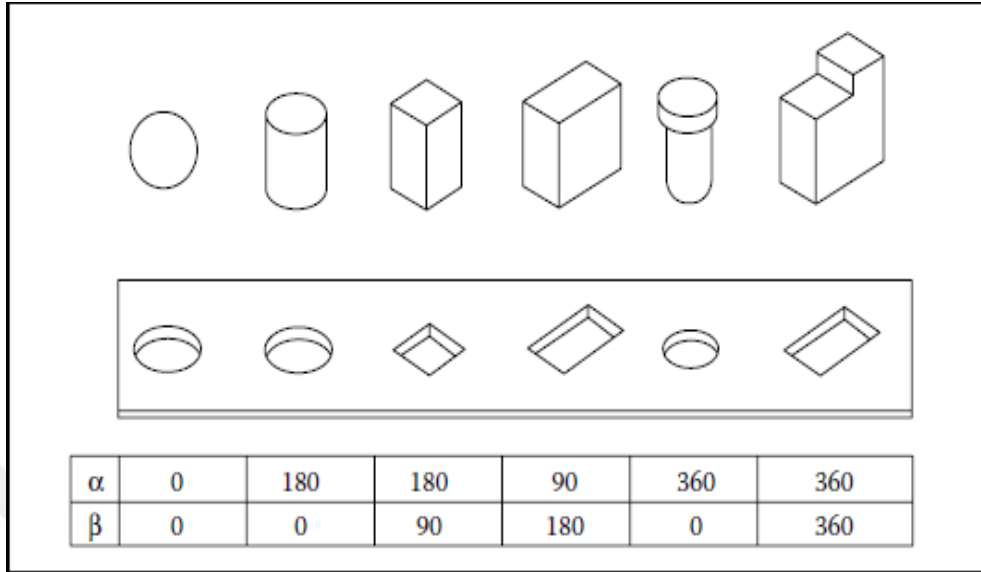
Şekil 3.13. Parça kalınlığının elle taşıma ceza puanına etkisi [26]

Elle taşıma kodlamasında bir diğer önemli olan kavram parça simetrisidir. Bu kapsamda montaj işleminde eklenecek olan parçanın hizalanması ve yönlendirilmesi elle taşıma sırasında iki işlem ile sağlanır. Bunlar, parça ekseninin ekleme eksenine hizalanması ve parça eksenini ekleme eksenine göre döndürülmesidir. Bu yüzden Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yönteminde iki adet simetri eksen tanımlanır.

Alfa simetrisi: Ekleme eksenine göre montajı yapılacak bir parçanın dik yönde ne kadar döndürülmesi gerektiğini belirten açıdır. Örneğin bir kare deliğe yerleştirilecek olan düz bir kare prizmanın önce yerleştirme eksenine dik bir eksen etrafında döndürülmesi gerekir ki böylesi bir dönüşte, prizma yönünü her  $180^\circ$ 'de tekrarladığından, alfa simetrisi  $180^\circ$  olarak belirlenir [26].

Beta simetrisi: Parçanın ekleme eksenine göre ne kadar döndürülmesi gerektiğini belirten açıdır. Kare prizmanın alfa açısı bulunduktan sonra yerleştirme eksenine etrafında döndürülmesi gerekecektir ve prizmanın bu eksen etrafında yönlendirilmesi her  $90^\circ$ 'de bir tekrarlandığından, beta simetrisinin  $90^\circ$  olduğu anlamına gelir.

Şekil 3.14’de bazı parçaların yerleştirilmesi gereken deliğe göre alfa ve beta açıları verilmiştir. Toplam simetri açısı ise bu iki açının toplanması ile bulunmaktadır [26].



Şekil 3.14. Bazı parçalar için alfa ve beta simetri açıları [26]

Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yöntemine etki eden bir diğer faktör ağırlık faktörü olup parçaların kavranmasını, kontrolünü ve taşınmasını etkilemektedir. Artan ağırlığın tutma, kontrol etme ve hareket etme üzerindeki etkilerinden dolayı analiz tablosuna ek olarak zaman cezası verilmektedir [26].

- Şekil 3.11’de yer alan kontrolör montaj parçasında elle taşıma kodunu bulmak için bağlantı şeridinin yatay pozisyonda olmasından dolayı sadece tek bir yönden montajın yapılabilirdiği görülmektedir. Bu yüzden alfa simetri açısının  $360^\circ$  olduğu tespit edilir. Beta açısının tespitinde ise bağlantı şeridinin takma eksenini etrafında her  $180^\circ$  döndürülürse oryantasyonun tekrar ettiği görülür ki bu nedenle beta açısının  $180^\circ$  olduğu bulunur. Böylece toplam simetri açısı  $540^\circ$ ’dir. Tablo A-1’den elle taşıma süresinin bulunması için ise bağlantı şeridinin herhangi bir aletle yardımı olmadan tek el kullanılarak tutulabildiğinden ve toplam simetri açısına göre değerlendirmesinin yapılması sonucu taşıma kodunun ilk hanesi 2 olarak tespit edilir. Parçanın kolayca kavranabilmesi ve ayrılabilmesi, kalınlığının 2 mm’den büyük olması ve boyutunun 15 mm’den büyük olmasından dolayı ise tablodan diğer kod değeri 0 olarak seçilir. Bu değerlere göre ise tablodan elle taşıma kodu 20 olarak seçilir.

\* Elle taşıma zamanı: Elle taşıma kodu seçildikten sonra yatay ve düşey kolonların kesişimine göre Tablo A-1’den elle taşıma zamanı seçilir.

- Elle taşıma kodu 20 seçilen bağlantı şeridine karşılık gelen elle taşıma zamanı belli veriler belirlenerek Tablo A-1’de geçen tek elle montaj için verilen Şekil 3.15’den 1,8 saniye olarak seçilir.

		MANUEL ELLE TAŞIMA YAKLAŞIK ZAMANLAR (s)										
		Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay					Parçaların elle taşınmasındaki zorlukların olması					
		Kalınlık > 2 mm			Kalınlık ≤ 2 mm		Kalınlık > 2 mm			Kalınlık ≤ 2 mm		
		Boyut > 15 mm	6 mm ≤ Boyut > 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut ≤ 6 mm	Boyut > 15 mm	6 mm ≤ Boyut ≤ 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut ≤ 6 mm	
Tek El Montaj		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Parçalar, kavrama araçlarının yardımı olmadan tek elle tutulabilir ve yönetilebilir	(α+β) < 360°	0	1,13	1,43	1,88	1,69	2,18	1,84	2,17	2,65	2,45	2,98
	360° ≤ (α+β) < 540°	1	1,50	1,80	2,25	2,06	2,55	2,25	2,57	3,06	3,00	3,38
	540° ≤ (α+β) < 720°	2	1,80	2,10	2,55	2,36	2,85	2,57	2,90	3,38	3,18	3,70
	(α+β) = 720°	3	1,95	2,25	2,70	2,51	3,00	2,73	3,06	3,55	3,34	4,00

Şekil 3.15. Manuel elle taşıma zamanının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1’ den seçimi

\* Elle Ekleme Kodu: DFA analiz yönteminde yer alan elle ekleme kodu matris şeklinde olan Tablo A-2’den seçilir. Elle taşıma kodunun bulunmasına benzer şekilde bulunan bu değerde kodun ilk rakamı düşeydeki değerden, ikinci rakamı ise yataydaki değerden seçilir. Tablodan belirlenen bu değerlerin seçiminde parçanın montaj bölgesine montaj edilebilmesinin kolaylığı, montaj bölgesine ulaşılabilirlik, montaj bölgesinin görsel derecesi, kullanılacak aletlerin montaj bölgesinde çalışabilme kolaylığı, montaj işlemlerinde ekleme ve pozisyonlamanın yapılabilirliği gibi etkenler göz önünde tutulur [26].

- Yerleştirme işleminin bir parçası olarak parça, takım ve el ile istenilen lokasyona ulaşımın kolay olması, erişim veya görme konusunda herhangi bir kısıtlama olmaması durumundan dolayı yerleştirme kodunun ilk basamağı 0 olarak seçilir. Elle ekleme kodunun ikinci rakamının seçiminde ise parçanın pozisyonlanması ve konumlanmasını sağlamak için tutulması ve bastırılması gerekmektedir. Bunun yanında bağlantı şeridinin montaj bölgesinde vida deliklerine hizalanması ve pozisyonlanması zor olduğunda ikinci basamak 8 olarak seçilmiştir. Bu değerlere göre ise tablodan elle ekleme kodu 08 olarak belirlenir.

\* Elle ekleme zamanı: Elle ekleme kodu seçildikten sonra yatay ve düşey kolonların kesişimine göre elle ekleme zamanı seçilir.

- Elle ekleme kodu 08 için seçilen bağlantı şeridinde karşılık gelen elle ekleme zamanı belli veriler belirlenerek Tablo A-2’de geçen parça eklenebilir ama güvenli olmadığı durumları belirten Şekil 3.16’ dan 6,5 saniye olarak seçilir.

		MANUEL ELLE EKLEME YAKLAŞIK ZAMANLAR (s)								
		Montaj değişimi için oryantasyonu ve konumu korumak için tutmak gerekmez				Konumdaki oryantasyonu korumak için sonraki işlemler sırasında tutma gereklidir				
		Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolaydır		Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolay değildir		Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolaydır		Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolay		
		Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var	Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var	Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var	Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var	
		0	1	2	3	6	7	8	9	
Bir parçanın kendisinin başka bir parçanın olmadığı durumlarda hemen güvence altına alındığı herhangi bir parçanın eklenmesi	Parça ve ilgili alet (eller dahil) istenen yere kolayca ulaşabilir	0	1,5	2,5	2,5	3,5	5,5	6,5	7,5	
	Parça ve ilgili alet (eller dahil) istenen yere kolayca ulaşamaz	Engelli erişim veya kısıtlı görüş	1	4	5	5	6	8	9	10
		Engelli erişim ve sınırlı görüş	2	5,5	6,5	6,5	7,5	9,5	10,5	11,5

Şekil 3.16. Manuel elle ekleme zamanının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-2’den seçimi

\* Toplam montaj zamanı: Elle taşıma zamanı ve elle ekleme zamanlarının toplamıyla elde edilen sayının o parçanın kullanıldığı adet sayısı ile çarpılması sonucunda bulunan değerdir [26].

- Oluşturulan tabloda elle taşıma zamanı 1,8 saniye, elle ekleme zamanı 6,5 saniye olmasından dolayı toplam montaj zamanı 8,3 saniye olarak bulunur.

\* Minimum parça sayısı: Teorik olarak minimum parça sayısının oluşturulması ürün yapısındaki olabilecek basitleştirmeleri tanımlamanın etkili bir yoludur. Montajın temel özelliklerini korunması sağlanırken, parçanın önem derecesine göre montaj işleminden elenip elenemeyeceğine karar verildiği bölümdür [26].

- Kontrolör montajının tamamına bakıldığında bağlantı şeridi; sensör veya basınç regülatörü gibi montaj sisteminin olmazsa olmaz parçalardan biri değildir. Bu nedenle ortadan kaldırılmaya aday olur ve tabloda minimum parça sayısı kısmına sıfır olarak değerlendirilmesi yapılır.

Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi Tablo 3.5'deki Boothroyd & Dewhurst DFA analiz tablosundaki değerlerin sonucuna göre tamamlanır. Kontrolör montajında toplam parça sayısı 19 olup 6 adet ek işlem mevcuttur.

Toplam montaj süresi ise 227,43 saniye olup teorik olarak minimum parça sayısı 5 olarak belirlenen bu sistemde DFA indeksi ise Denklem (3.1)'deki gibidir [26];

$$E_{ma} = (N_{min} \times t_a) / t_{ma} \quad (3.1)$$

$E_{ma}$  : DFA indeksi

$N_{min}$  : Teorik olarak minimum parça sayısı

$t_a$  : Bir parça için temel montaj (taşıma ve yerleştirme) zamanıdır ve ortalama 3 saniye olarak alınabilir.

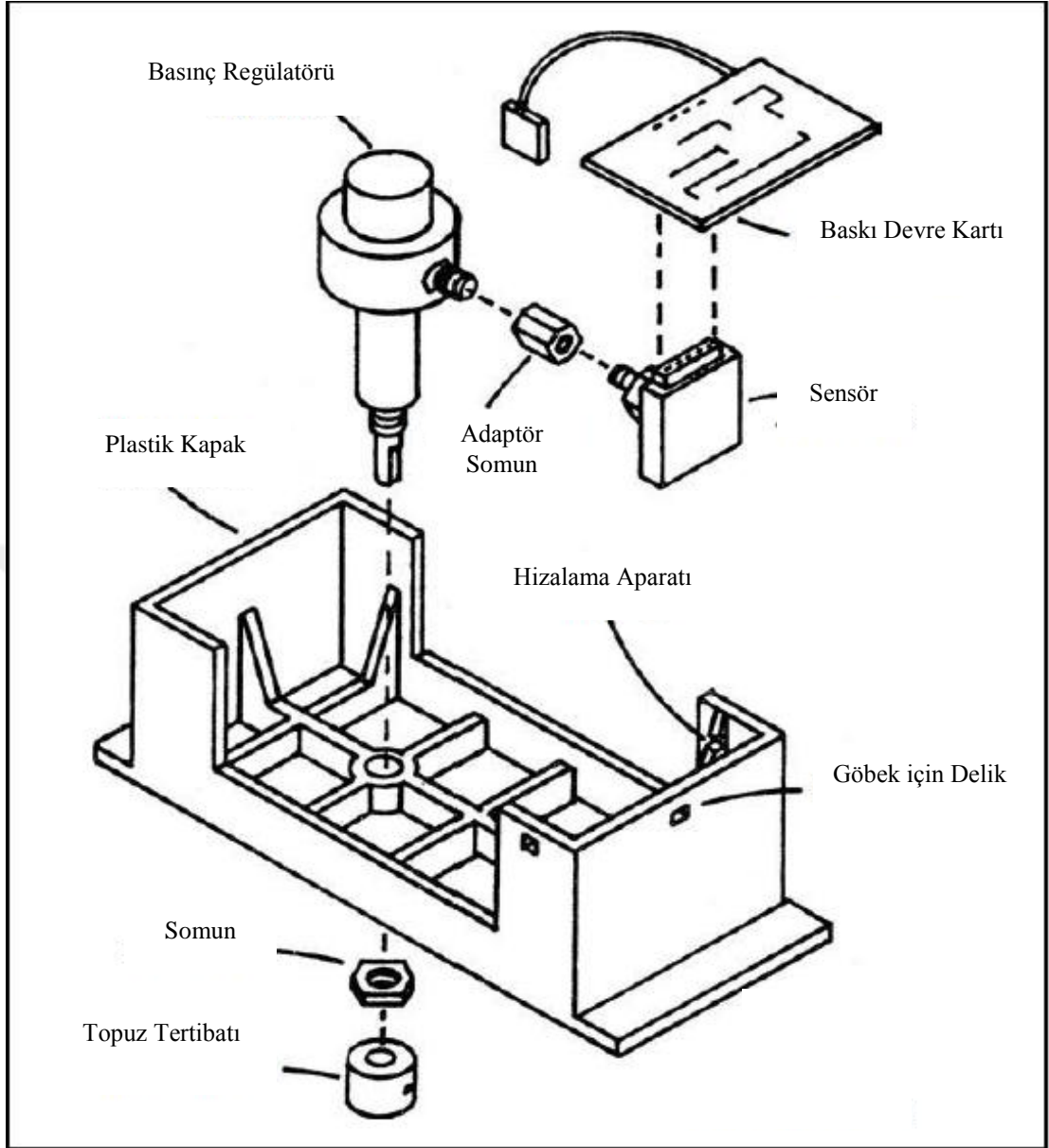
$t_{ma}$  : Toplam montaj zamanı olarak tanımlanmıştır [26]. Denklem (3.1a)'daki eşitliğe göre ise;

$$5 \times \frac{3}{227,43} = 0,07 \text{ veya } \%7 \text{ Montaj Verimliliği} \quad (3.1a)$$

Tablo 3.6. Tasarım değişiklikleri ve elde edilen kazanımlar [26]

	<b>Tasarım Değişiklikleri</b>	<b>Maddeler</b>	<b>Zaman Kazanımları</b>
1	Plastik kapağı çerçeveye birleştirerek, üç vidayı ortadan kaldırıp ve yeniden yerleştirme işlemi	19, 20, 21	52,05
2	Bağlantı kayışı ve iki vidayı ortadan kaldırma (gerekirse sensörü için plastik çerçeveye sabitleme)	6, 7	24,1
3	PCB düzeneğini tutan vidaları kaldırma(bu düzeneği plastik çerçevede sabitleme)	13	17,1
4	İki yeniden düzenlemeyi ortadan kaldırma	4, 16	9
5	Boru montajını ve iki vidalı bağlantı işlemini ortadan kaldırma (vida adaptör somunu ile basınç regülatörüne doğrudan sensöre montajı)	10, 11	17,4
6	Topraklama kablosunu ortadan kaldırma (plastik çerçeve ile gerekli değildir)	15	8,7
7	Konnektörü ortadan kaldırma(sensöre PCB sabitleme)	14	5,25





Şekil 3.17. Kontrolör montaj uygulamasının yeni tasarımı [26]

Yapılan tasarım değişiklikleri ile elde edilen Şekil 3.17'deki yeni tasarımda montaj zamanı ve montaj maliyetlerinde önemli derecede kazançlar elde edildiği tespit edilmiştir. Tablo 3.6'da oluşturulan yeni tasarım ile birlikte ürün güvenilirliği, bakımı, kalitesi artırılmış ve tasarruf oranları yüksek oranlarda iyileştirilerek Denklem (3.2)'deki eşitlikte görüldüğü gibi montaj verimliliği artırılmıştır [26].

$$E_{ma} = (N_{min} \times t_a) / t_{ma} \quad (3.2)$$

$$5 \times \frac{3}{83,98} = 0,18 \text{ veya } \%18 \text{ Montaj Verimliliği} \quad (3.2a)$$

Tablo 3.7. Yeniden tasarlanan kontrolör montajı için DFA analizi [26]

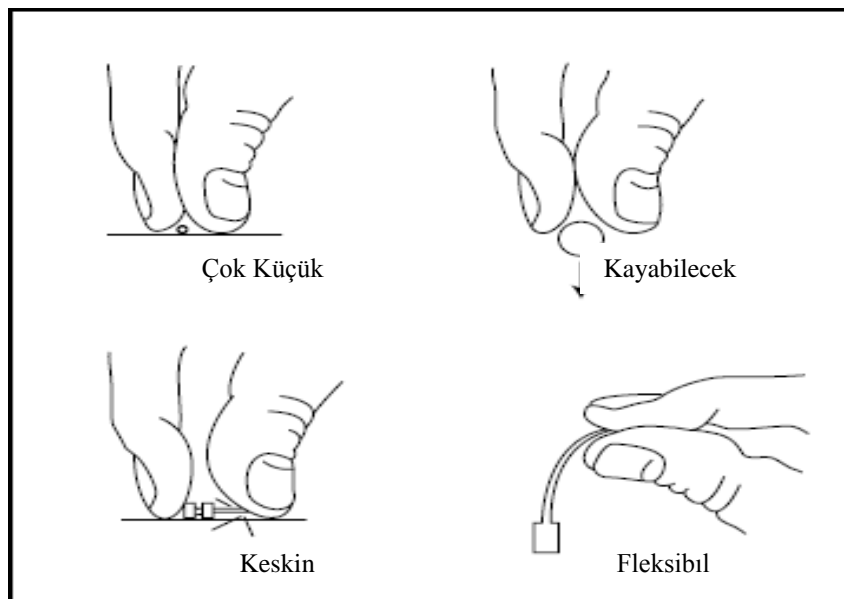
Parça Adı	Parça Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma Zamanı (sn)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme Zamanı (sn)	Toplam Montaj Zamanı (sn)	Minimum Parça Sayısı	Açıklamalar
1- Basınç regülatörü	1	30	1,95	00	1,50	3,45	1	Parçayı yerleştirme
2- Plastik kapak	1	30	1,95	06	5,50	7,45	1	Ekle ve basılı tut
3- Somun	1	00	1,13	39	8,00	9,13	0	Ekleme ve cıvata bağlama
4- Kontrol topuzu	1	30	1,95	08	6,50	8,45	1	Ekleme ve cıvata bağlama
5- Cıvata bağlama	1			92	5,00	5,00		Operasyon
6- Yönlendirme	1			98	9,00	9,00		Yönlendirme
7- Bant uygulaması	1			99	12,00	12,00		Operasyon
8- Adaptör somunu	1	10	1,50	49	10,50	12,00	0	Ekleme ve cıvata bağlama
9- Sensör	1	30	1,95	39	8,50	9,90	1	Ekleme ve cıvata bağlama
10- PCB montajı	1	83	5,60	30	2,00	7,60	1	Ekleme ve kavrayarak birleştir
<b>Toplam</b>						83,98	5	

### 3.4.4.1. Manuel montaj için genel tasarım kuralları

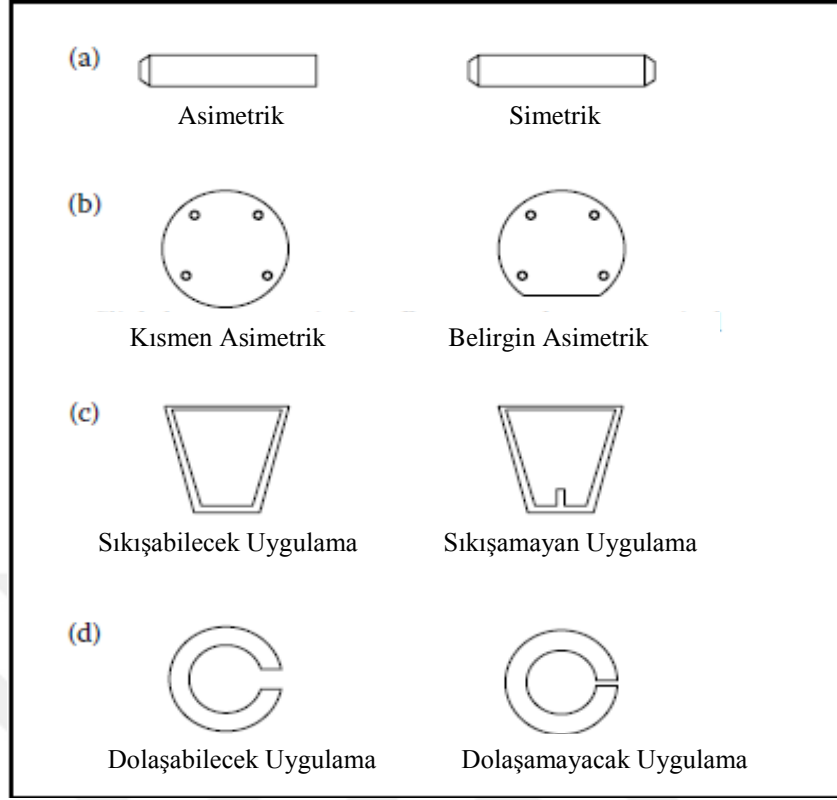
DFA uygulamalarının gerçekleştirilmesi elde edilen tecrübeler, imalat bilgilerini pekiştirmeye ve tasarımcıya bir tasarım oluştururken izlenecek basit kurallar sunmaya çalışan genel tasarım kılavuzlarının oluşturulmasına imkan sağlamıştır. Manuel montaj işlemlerinde, iki bölüme ayrılmış olan bu tasarım kurallarında taşıma ve yerleştirme işlemleri için tasarım kuralları belirlenmiştir [26].

Parça taşıma ile ilgili tasarım kuralları: Manuel montaj işlemlerinde taşıma denince akla parçaların bir yerden bir yere toplanması, yönlendirilmesi ve belirtilen montaj bölgesine taşınması gelmektedir. Genel olarak ise parça taşımını ile ilgili tasarımcı taşıma işlemlerinde aşağıda belirtilen kurallara uymalıdır [26]:

- 1- Maksimum simetriye sahip parçalar tasarlamaya çalışılmalıdır.(Şekil 3.19a).
- 2- Parçanın simetrik hale getirilemediği durumlar için Şekil 3.19b'deki gibi açıkça asimetric olarak tanımlanmış tasarım parçaları öngörülebilir.
- 3- Toplu olarak taşıma işleri için uygulamalarda parçaların sıkışmasını önleyen tasarımlar yapılmalıdır (Şekil 3.19c).
- 4- Birbirine yapışan, kaygan, narin, esnek, keskin, çok küçük veya çok büyük olan ve zarar verebilecek parçaların montaj işlemlerinden kaçınılmalıdır (Şekil 3.18).
- 5- Toplu olarak taşıma işleri yapılan uygulamalarda parçaların birbirine dolaşmasını önleyen tasarımlar gerçekleştirilmelidir (Şekil 3.19d).



Şekil 3.18. Bazı geometrik şekillerin parça taşınmasına etkisi [26]

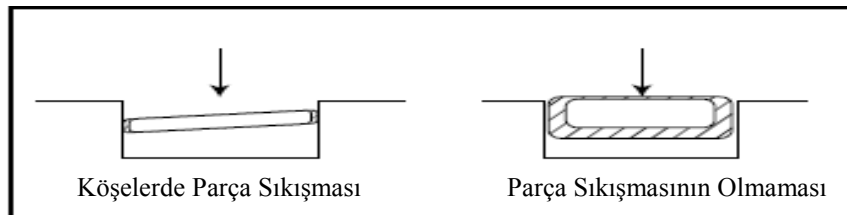


Şekil 3.19. Geometrik özelliklerin parça taşınmasına etkisi [26]

Parça ekleme ve bağlama ile ilgili tasarım kuralları: Manuel montaj işlemlerinde ekleme ve bağlama denince akla bir parçayı başka bir parçaya veya parça grubuna birleştirme işlemi gelmektedir. Genel olarak ise parça ekleme ile ilgili tasarımcı şu işlemleri gerçekleştirmelidir [26]:

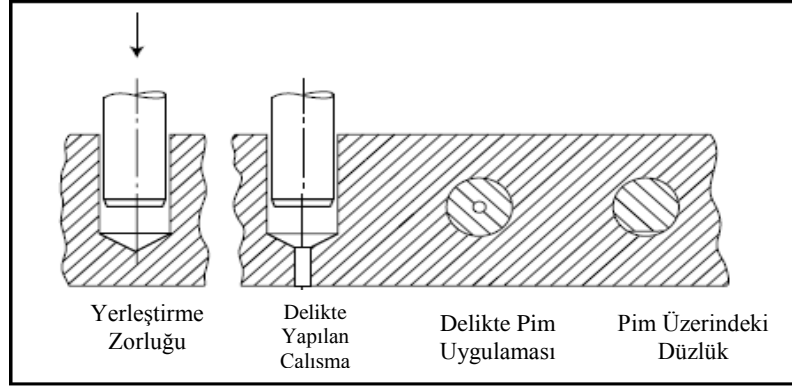
1- Parçanın montaj bölgesine eklenmesi sırasında çok az dirençli veya dirençsiz bölgeler olacak şekilde tasarlama yaparak yerleştirilmesine kılavuzluk yapacak oluklar tasarlanmalıdır. Montaj bölgesi açıklığına önem vererek yerleştirme sırasında parçaların sıkışması veya takılması eğilimi ile sonuçlanan açıklıklardan kaçınmaya özen gösterilmelidir.

a) Parçaların yanlış geometri ile tasarımlarında, montaj bölgesine yerleştirme sırasında bir parçanın sıkışmasına neden olunabilir.



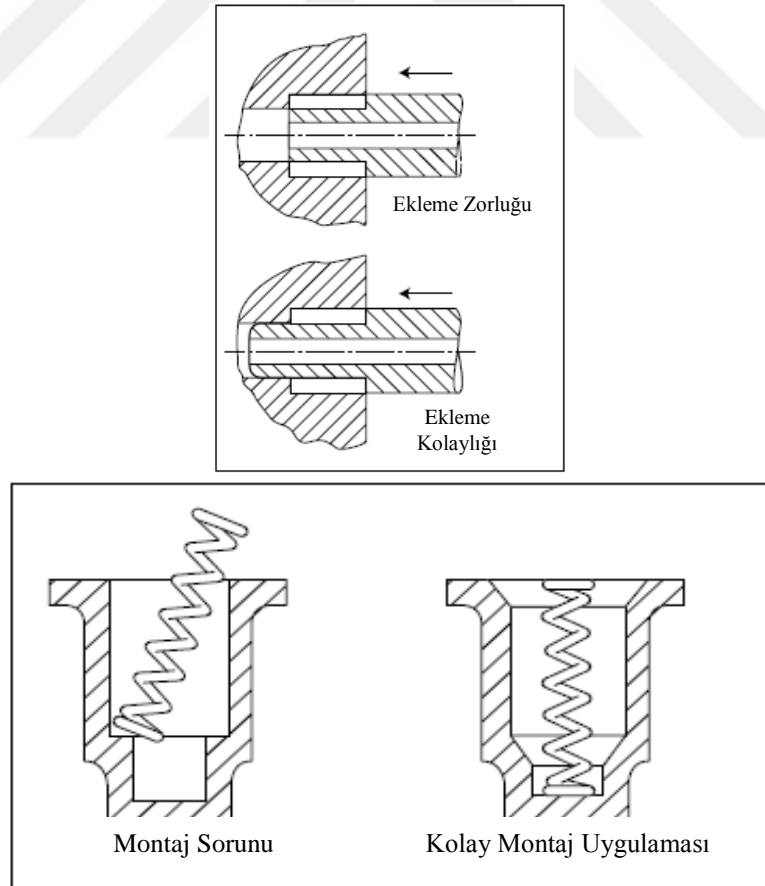
Şekil 3.20. Parça geometrisinin montaj işlemine etkisi [26]

- b) K r deliklere parçaların yerleştirilmesi işlemine geliştirmek için hava geçirme geçişlerinin sağlanması önemlidir.



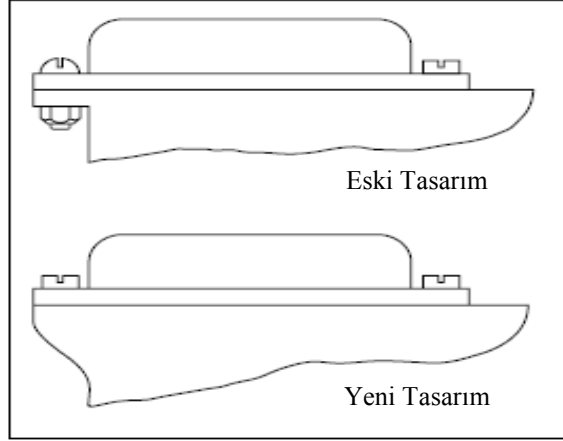
Şekil 3.21. K r delik montaj işlerinde hava deliklerinin etkisi [26]

- c) Montaj etme kolaylığı için tasarım yapılacak parçaların pah kırılarak deliklere montajı sağlanmalıdır.



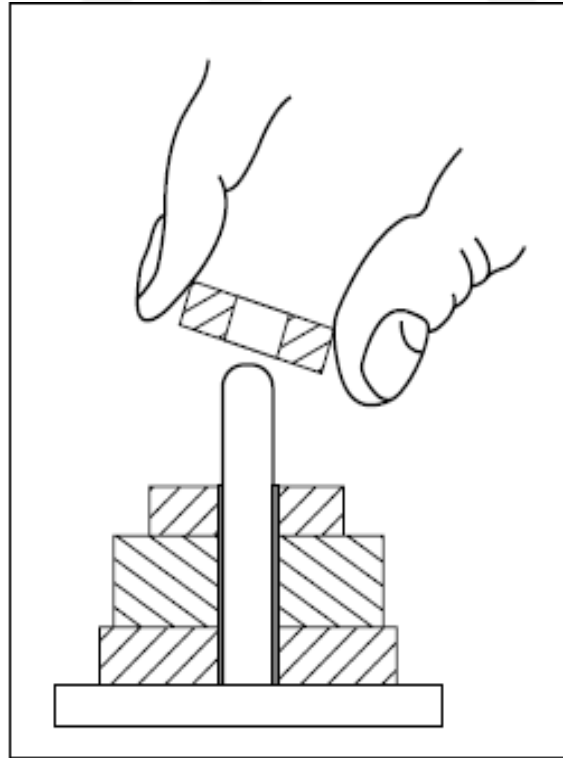
Şekil 3.22. Delik montajlarında pah kırılmasının montaja etkisi [26]

2- Düşük ürün maliyeti ile sonuçlanan daha yüksek hacimli işlemlerin kullanımına izin vermek için tüm modellerde ve hatta ürün hatlarında ortak parçalar, işlemler ve yöntemler kullanarak standart işlemler tercih edilmelidir.



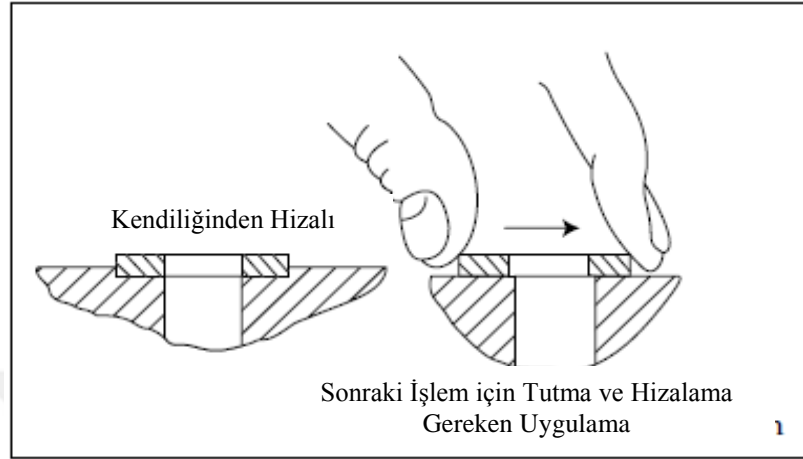
Şekil 3.23. Standart işlemler kullanılarak montajın gerçekleştirilmesi [26]

3- Montaj işlemlerini bir referans eksenini etrafında yukarıdan aşağıya aşamalı bir şekilde montajını sağlayan piramit montajı yöntemi kullanılmalıdır.



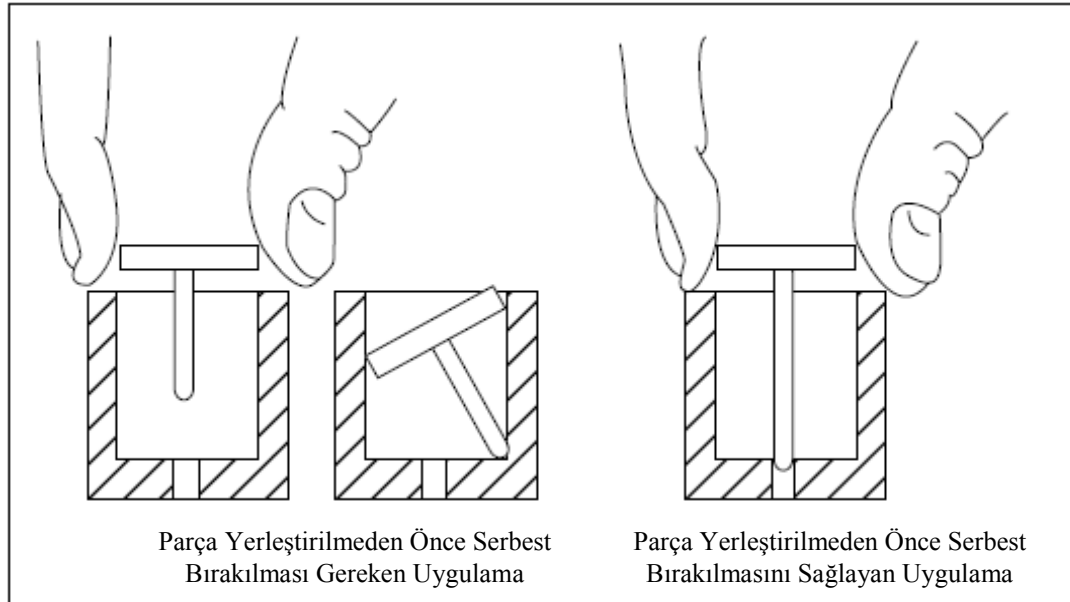
Şekil 3.24. Tek eksenli piramit montaj [26]

4- Tutma ve hizalamayı iyileştirmek için otomatik konumlandırma özelliklerinin sağlanması gerekmektedir. Parçaların basılı tutulması gerekirse, takıldıktan sonra mümkün olan en kısa sürede parça sabitlenecek şekilde tasarlanmalıdır.



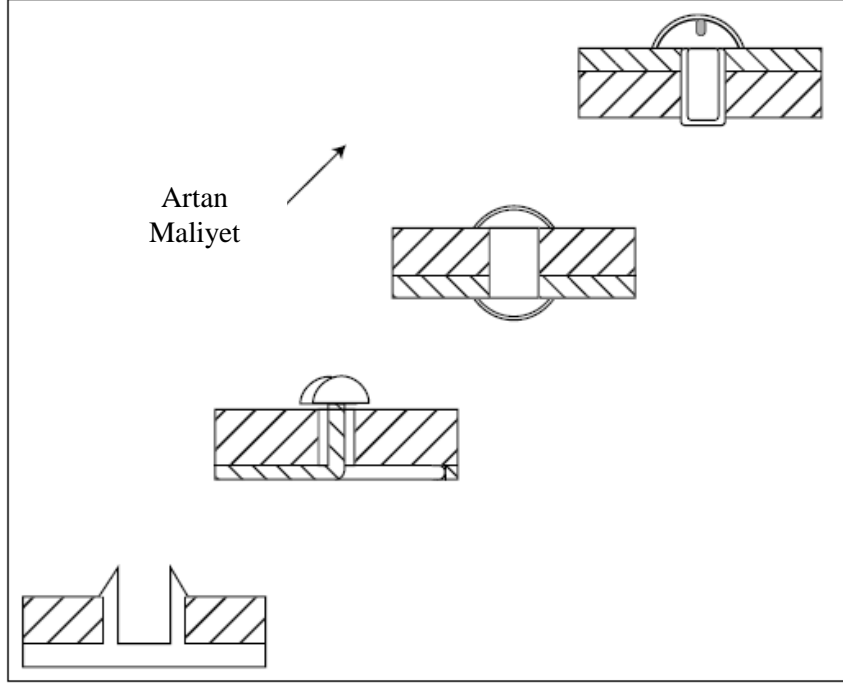
Şekil 3.25. Parça montajlarında konumlandırmanın etkisi [26]

5- Bir parçanın montaj bölgesine yerleştirilmesinin uygun ve kolay olmasına önem verilmelidir. Bu sayede parçanın montaj bölgesine daha kolay bir şekilde yaklaşılması ve yerleştirilmesi sağlanarak montaj için gerekli zamandan tasarruf edilmesi sağlanır.



Şekil 3.26. Montaj işlemlerinde eklemeye yardımcı olan tasarımlar [26]

6- Tasarımcının dikkat etmesi gereken bir diğer nokta ise bağlantı elamanlarının maliyetleridir. Şekil 3.27’de gösterilen yaygın mekanik bağlantı elamanlarının kullanılmasıyla el ile montaj maliyetlerinin arttığını gösteren bağlantı işlemleri yer almaktadır.



Şekil 3.27. Sık kullanılan bağlama yöntemleri [26]



## 4. BAKIMA UYGUN TASARIM YÖNTEMİ

### 4.1. Bakım Kavramı ve Yönetimi

Bakım kavramı, firmaların kârlılığını yüksek seviyede tutabilmek ve devamlılığını sağlayabilmek adına; sahip oldukları makine, ekipman, cihaz ve taşınmaz varlıklarının fonksiyonlarını yerine getirebilmesi, koruyabilmesi ve sürdürebilmesi için yaşam döngüleri boyunca yürütülmesi gereken teknik, yönetsel ve idari faaliyetlerin birleşimidir. Bu kapsamda bir firma için bakım faaliyetleriyle sağlanan en kapsamlı fayda, firmaların sahip olduğu varlıkların ekonomik ömürlerini arttırarak işletmenin sürekliliği için gerekli olan altyapının oluşturulmasıdır. Bunun içindir ki firmalarda bakım organizasyonları geliştirilirken ve ilgili süreçler tasarlanırken bakım yönetiminin temel amaçları aşağıdaki gibi olmalıdır [29].

- Bakımı yapılacak ekipmanların arıza duruşlarını azaltmak,
- Firmanın sahip olduğu varlıkların fonksiyonlarını yerine getirirken maksimum performansı sağlayacakları bakım faaliyetlerinin oluşturulması,
- Kurulan düzeltici, kestirimci, önleyici bakımların etkinliklerinin arttırılması
- Varlıkların değerini korumak için yıpranma ve eskimeyi en aza indirmek,
- Yapılan bakımlarla birlikte iş kazaları ve kalite hatalarına yol açabilecek ekipman yetmezliklerini engellemek,
- Bakım uygulamaları için gerçekleştirilirken bakım gerektirmeyecek malzemeler ve yedek parçalar kullanılmasını sağlamak,
- Bakım gerektiren durumlarda planlı veya plansız üretim zamanı kayıplarını ve uygulanacak malzeme kayıplarını azaltmak,
- Onarım için gerekli maliyet ve süreleri minimize etmek,
- Ekipman verimliliğini yüksek tutmak için önemli olan kullanıcı-uzman bakımcı rol paylaşımını arttırmak,
- Stok maliyetlerini en aza indirmek ve yedek parça yönetimini geliştirmek,
- Bakım için gerekli ekipmanların, araçların etkin bir şekilde kullanımını sağlamak.

Değiştirilmesi gereken parça maliyeti, bakım personelleri için gerekli olan eğitimlerin maliyeti, kullanılması gereken bakım ekipmanlarının değeri ve işçilik gibi maliyet kalemlerine bakıldığında bakım işlemlerinin oldukça pahalı bir işlem olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalara bakıldığında ABD’de savunma sistemlerine yapılan harcamaların %35’i bu sistemler için gerekli bakımlara ayrıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan bakım hatalarının etkisiyle bakım için gerekli zamanlar %10-%25 arasında artmakta veya bakım periyodundan sonraki kısa zaman diliminde meydana gelen hataların %20-%25’i hatalı bakım veya eksik bakımdan kaynaklandığı tespit edilmiştir [30].

İstatiksel verilerin gösterdiği gibi hatalı bakımların bakım maliyetlerini arttırması kaçınılmaz bir gerçek olup iyi bir bakım yönetim sistemi ile gerçekleştirilen bakım faaliyetlerinin planlanması, yürütülmesi, denetimi ve kontrolü ile bu maliyetlerin en aza indirilmesi sağlanabilir. Aynı şekilde bakım yönetimi etkinliğini arttırmak için ise aşağıda kullanılan temel faaliyetler gerçekleştirilmelidir [29].

- Firmanın sahip olduğu kültür, hedef ve önceliklere paralel olacak şekilde bakım stratejileri ve gerçekleştirmek için temel görevler belirlenmelidir.
- Etkili bir bakım politikası oluşturulmalı,
- Etkili bir otonom (kullanıcı) bakım oluşturulmalı,
- Sıfır arıza yaklaşımı benimsenerek iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Arızaların kök nedenleri belirlenerek üretimi durduran, yavaşlatan arızalardan başlayarak üretim ve bakım birimlerinin ortak çalışmalarını sağlanmalıdır.
- Etkin bir yedek parça yönetim sistemi kurulmalı ve ambar yönetimi, çağdaş depo yönetim sistemleri ile desteklenmelidir.
- Bakım yönetim sistemleri kurularak tam zamanlı ve doğru kayıtlamanın yapıldığı rapor sistemleri kurulmalıdır.
- Temel kestirimci bakım uygulamaları uzman bir ekip ile yapılarak uygulama eğitimleri ve sorumluluklarının verilmesi sağlanmalıdır.
- Önleyici bakım yöntemlerinin geliştirilerek arıza duruşlarının engellenmesine yardımcı online durum izleme uygulamaları geliştirilmelidir.
- Optimum bakım periyotları uygulanarak eksik veya gereğinden fazla bakımların önüne geçilmesi sağlanmalıdır.
- Etkin bir bakım planlama sistemi oluşturulmalıdır.

- Etkin bir bakım metodu ile geliştirme ve kayıtlama metodolojisi kurulmalıdır.
- Bakım standartlaştırılmasına önem verilmelidir.
- Uzman bakım ekipleri ile birlikte otonom bakım ekiplerinin performans değerlendirilmelerine yönelik sistem kurulmalıdır.
- Makine veya ekipmanların parametre ile çalışma prensiplerinin de kaydı yapılarak bakımcı-operatör eğitimlerinin verilmesine yönelik sistem kurulması sağlanmalıdır.

Bakım işleminin amacı bir makine veya sistemin fonksiyonun sorunsuz bir şekilde yerine getirebilmesidir. Bu kapsamda o makine veya sistemin herhangi bir zamanda çalışabilme olasılığına elde edilebilme kavramı denir. Elde edilebilirlik ise bakıma uygunluk ve güvenilirlik fonksiyonlarına bağlıdır [30].

Güvenirlik fonksiyonu belirli bir zaman diliminde bir işlemin başarılı olma olasılığıdır ve hatalar arası ortalama zamana (HAOZ) bağlıdır. Hatalar arası ortalama zaman ise belirli bir zaman dilimindeki çalışma saatinin bu dilimde meydana gelen hata sayısına bölünmesi ile bulunur [30].

Diğer bir tanımda bakıma uygunluk fonksiyonu, makine veya sistemlerin onarılması ile tekrar aktif olarak görevine alınmasının kolaylık derecesidir. Ürün tasarımının bir bileşeni olan bakıma uygunluk ürünü onarmanın ortalama zamanı (ÜOOZ) olarak ifade edilir. Bu zaman kavramı arızanın ortaya çıkışından onarımın tamamlanmasına kadar geçen süreyi ifade eder [30].

Elde edilebilirlik (A), hatalar arası ortalama zaman (HAOZ) ve ürün onarmanın ortalama zamanı (ÜOOZ) arasındaki ilişki ise Denklem (4.1)'deki gibidir:

$$A = \frac{(HAOZ)}{(HAOZ + ÜOOZ)} \quad (4.1)$$

#### **4.2. Bakıma Uygun Tasarım (BUT)**

Bakıma uygun tasarımlar ile makine veya sistemlerin yararlı yaşam döngüleri boyunca işlevlerini yerine getirerek, uygun harcamalar ile herhangi bir zorluk yaşatmadan bakım yapılabilirlikleri sağlanır. Bakıma uygunluk karakteristiklerinin tanımlanmasında yer alan ve niceliksel gereksinim olan elde edilebilirlik kavramının

yanında niteliksel olarak bakıma uygunluk karakteristiklerinin kuralları da yer almaktadır. Bu kuralların başında [30]:

- Arıza tespiti ve giderebilme,
- Arızaya ulaşılabilirlik,
- Arıza kapsamında değiştirilecek parçaların ağırlığı ve boyutsal özellikleri,
- Arıza kapsamında değiştirilecek ünitelerin, tehlike içeren bölgelerde arıza onarımını gerçekleştirebilmek için robot sistemler ile çalışabilirliği gelmektedir.

Bakıma uygun tasarım yöntemlerinde tasarımcının genel olarak uyması gereken kuralların başında aşağıdaki maddeler gelmektedir [30].

- Bakım işlemleri esnasında makine veya sistemlerin zarara uğramasını önleyecek tasarımın seçilmesi,
- Bakım personelinin gerçekleştireceği bakım prosedürlerini en kolay yoldan anlayabilecek veya uygulayabilecek şekilde tasarlanması,
- Bakım için kullanılacak alet veya ekipmanların standardize edilerek en az sayıda kullanılmasını sağlanması,
- Bağlantı elamanlarından olan cıvata, rondela, somun, rulman gibi standart malzemelerin sayısı ve çeşitliliğini en aza indirgeyecek tasarımların uygulanması,
- Özel ölçü aleti veya ekipmanların kullanılması ihtiyacının en aza indirilmesi,
- Parçaların boyut ve şekilleri tekrar tekrar onarım maksadıyla çıkartılsa dahi doğru pozisyonda yerine tekrar monte edilebilmesini sağlayacak tasarım uygulamaların seçilmesi,
- Bakım için gerekli olan bazı ünitelerin sökülüp tekrar monte edilmesi, önemli fonksiyonları etkilemeyecek şekilde olmalıdır.
- Ağır ünite gruplarının montaj uygulamalarından kaçılması gerekmektedir.
- Arızanın giderilebilmesi için yapılan testler, diğer ünitelerde arızaya neden olmamalıdır.
- Arıza onarım maksadıyla müdahale edilecek parçalara erişim kolay olmalıdır. Bu kapsamda erişim problemi olan ünitelerin montajı gövdeye veya şaseye montajı olacak şekilde tasarım uygulamalarının yapılması sağlanmalıdır.
- Bağlantılar arası mesafeler gözle görülebilir ve erişebilir şekilde olmalıdır.
- Elektriksel bağlantılar için tasarlanabilecek kabloların kurulumu, kontrolü ve bakımının kolay olmasını sağlayacak tasarım uygulamaları seçilmelidir.

- Kablo ve hatların kodlaması ve isimlendirilmesi yapılmalıdır.
- Elektrik, su, hava vb hatların ulaşımının uygun ve kontrollü olmasını sağlayacak tasarımların planlanması sağlanmalıdır.



## 5. MONTAJA VE BAKIMA UYGUN TASARIM UYGULAMASI

Tez çalışmasında öncelikle eş zamanlı mühendislik yöntemlerinin teorik olarak incelenmesinden sonra önemli uygulama tekniklerinden olan montaja ve bakıma uygun tasarım yöntemleri araştırılmış ve örnek uygulamalar ile öğrenilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde ise eş zamanlı mühendisliğin uygulama tekniklerinden olan Boothroyd & Dewhurst DFA analizi kullanılarak tipik bir korvet savaş gemisi füze rampasına ait gövde kapağının yapılan farklı tasarımları sonucu üretilen prototiplerin tasarım verimlilikleri, maliyet hesaplamaları, bakıma ve montaja uygunlukları üzerine çalışmalar yapılmıştır.

### 5.1. Sistem Hakkında Genel Bilgiler

Montaja ve bakıma uygun tasarım uygulaması yapılacak montaj grubu gemi sektöründe kullanılan gövde kapaklarının tasarımına aittir. Gemi bünyesinde bulunan bu kapaklar sayesinde malzeme, personel ile araç-gereçlerin taşıma ve sevk işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Tez çalışmamızda incelenecek gövde kapağının amacı ise korvet savaş gemisinden fırlatılacak güdümlü füzenin oluşturacağı ısı ve egzoz gazının, atış sonrası geminin güvertesinden olabildiğince uygun şekilde bertaraf edilmesine yardımcı olabilmektir. Bu sayede füze sistemlerinde, füzenin lançerden hedefe ulaşabilmesini sağlayabilmek için kullanılan hidrokarbon yakıt ile yüksek miktarda oksijen çıkarabilen kimyasal maddelerin tepkimesiyle katı yakıtlı roket motorlarından ortaya çıkan yüksek miktarda ısı ve egzoz gazının yönlendirilmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 5.1. Güdümlü füze atışı sonrasında oluşabilen ısı [31]

Genel olarak güdümlü füze sisteminin tanımına baktığımızda, kendi uçuş güzergâhını ve rotasını kontrol edebilen ekipmanları taşıyan ve patlayıcı bir harp başlığına sahip insansız hava aracı olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca füze sistemlerinin her zaman etkili bir silah olması, menzillerinin fazla olması, ciddi yıkıcı etkilerinin olması, belirlenen hedefleri en hızlı şekilde imha edilebilmesini sağlayan etkin bir silah olarak görevini icra etmesinden dolayı füze sistemleri savaş gemilerinin vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Bu nedenle kullanılan silah sistemleriyle bölgesel güç haline gelmek, var olan düzende söz sahibi olabilmek, düşman güçlere karşı caydırıcı durabilmek, ülkenin huzuru ve güvenliğini sağlayabilmek için savaş gemilerine konuşlandırılan bu silah sistemlerinin gemi foundation (gemi güverte zemini) uygun bir şekilde montajının yapılması ve en etkin şekilde kullanılmasının sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda gövde kapağının tasarımı yapılırken tüm bu özellikler dikkate alınarak montaja ve bakıma uygun düzenlemeler yapılmaya çalışılmalıdır.



Şekil 5.2. Güdümlü füze atışı sonrasında oluşabilen egzoz gazı [32]

Güdümlü füzelerin fırlatılması istendiğinde sisteme ait gövde kapakları varsa bu kapaklar çeşitli tahrik sistemleri ile açılarak güvertede ısı ve egzoz gazı oluşumu en aza indirgenmesi sağlanır. Bu sayede gerek personelin egzoz gazından etkilenmesinin azaltılması gerekse oluşan ısının geminin borda sacına zarar vermesine engel olunmasını sağlayacak tasarım istekleri belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra tasarım ekibi ile eş zamanlı mühendisliğin gerektirdiği çalışmalar yapılarak gövde kapağı prototip örneklerinin CAD programında gerekli tasarım uygulamaları oluşturulmuştur ve bu kapakların prototipleri üretilip denemeleri yapılmıştır. Son aşamada montaj uygulamalarının Boothroyd & Dewhurst DFA yöntemiyle oluşturulmuş analiz tabloları çıkarılarak tasarım değerlendirilmiştir.

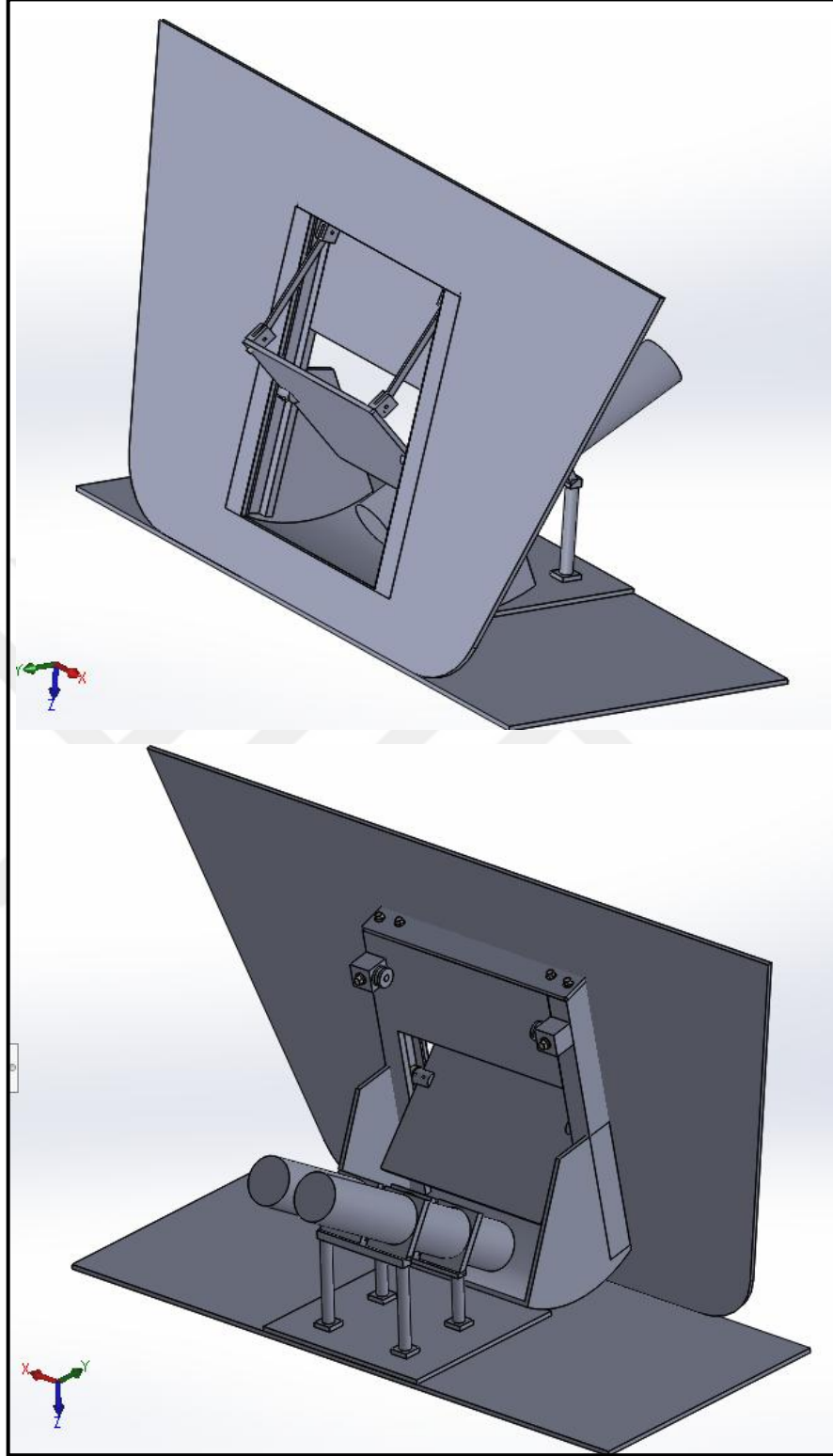
### 5.1.1. Tasarım 1 için oluşturulan Boothroyd & Dewhurst analizi

Gemi bünyesinde bulunan borda konstrüksiyonunun kapalı olması ve güdümlü füze fırlatılması sonucu oluşan egzoz gazı ve ısısının dışarı atılmasının sağlanması için borda sacına patch (borda sacına boşluk açma) açılması gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu amaçla yapılan birinci tasarımda bordaya patch açılarak uygulanacak kapak tasarım sisteminin, kollar ve tekerlekler vasıtasıyla tahrik edilmesi sağlanmıştır. Tasarımın Boothroyd & Dewhurst DFA yöntemiyle Tablo 5.2’de oluşturulan analizinde parça sayısının fazla olduğu görülmüştür.

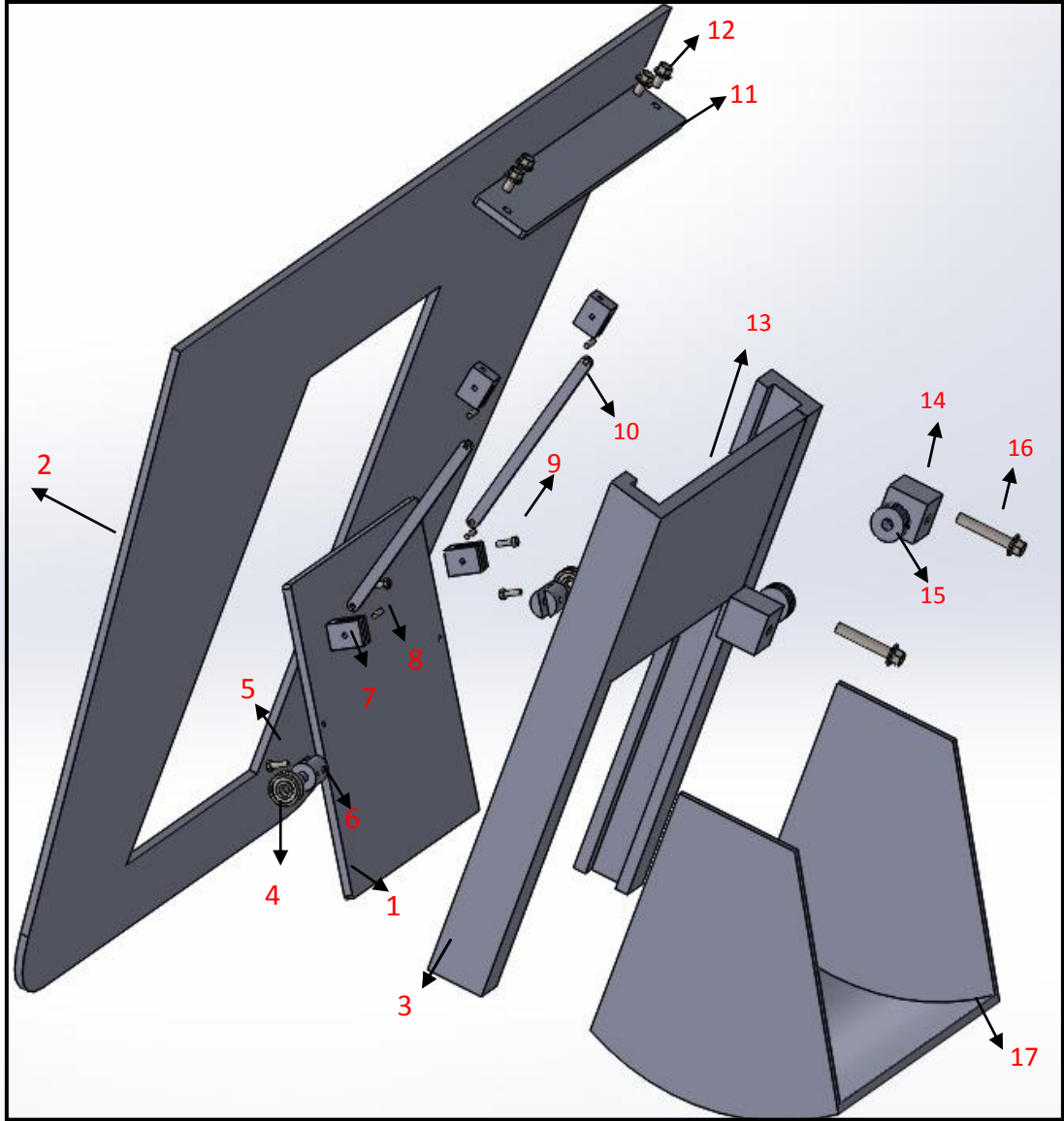


Şekil 5.3. Tasarım 1'e ait tasarlanmış prototip kapak tasarımları





Şekil 5.4. Tasarım 1'e ait CAD kapak tasarımı



Şekil 5.5. Tasarım 1'e ait patlatılmış montaj görüntüsü

Tasarım 1'e ait parça listesi ise Tablo 5.1' de yer almaktadır.

Tablo 5.1. Tasarım 1'e ait parça listesi

Poz. No	Parça Adı	Miktarı	Birimi
1-	Gövde Kapağı	1	Adet
2-	Borda Sacı	1	Adet
3-	Profil Raylar	2	Adet
4-	Hareket Tekerlekleri	2	Adet
5-	Tekerlek Tutucu Cıvatası	2	Adet
6-	Tekerlek Tutucu	2	Adet

Tablo 5.1. (Devam) Tasarım 1'e ait parça listesi

7-	Kol Bağlantı Aparatı	4	Adet
8-	Kol Bağlantı Pimi	4	Adet
9-	Kol Bağlantı Cıvatası	4	Adet
10-	Kollar	2	Adet
11-	Profil Birleştirici Levhası	1	Adet
12-	Levha Cıvatası	4	Adet
13-	Profil Birleştirici Sac	1	Adet
14-	Makara Aparatı	2	Adet
15-	Tahrik Makarası	2	Adet
16-	Makara Sabitleyicisi Cıvatası	2	Adet
17-	Duman Toplama Haznesi	1	Adet

Tasarım 1 için Tablo 5.2'de oluşturulan analize göre 37 adet montaj parçasının Denklem (5.1)'e göre montaj verimlilik indeksi;

$$E_{ma} = (N_{min} \times t_a) / t_{ma} \quad (5.1)$$

$$7 \times \frac{3}{324,85} = 0,0646 \text{ veya } \% 6,46 \text{ Montaj Verimliliği} \quad (5.1a)$$

Tablo 5.2. Tasarım 1 için Boothroyd &amp; Dewhurst DFA analiz tablosu

Parça Adı	Parça Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma Zamanı (sn)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme Zamanı (sn)	Toplam Montaj Zamanı (sn)	Minimum Parça Sayısı
1- Gövde Kapağı	1	35	2,73	38	6	8,73	1
2- Borda Sacı	1	35	2,73	38	6	8,73	1
3- Profil Raylar	2	35	2,73	96	12	29,46	1
4- Hareket Tekerlekleri	2	05	1,84	43	7,5	18,68	1
5- Tekerlek Tutucu Cıvatası	2	11	1,8	39	8	19,6	0
6- Tekerlek Tutucu	2	35	2,73	58	10	25,46	1
7- Kol Bağlantı Aparatı	4	35	2,73	38	6	34,92	0
8- Kol Bağlantı Pimi	4	00	1,13	20	5,5	26,52	0
9- Kol Bağlantı Cıvatası	4	11	1,8	39	8	39,2	0
10- Kollar	2	05	1,84	16	8	19,68	0
11- Profil Birleştirici Levhası	1	00	1,13	00	1,5	2,63	0
12- Levha Cıvatası	4	11	1,8	00	1,5	13,2	0
13- Profil Birleştirici Sac	1	00	1,13	96	12	13,13	0
14- Makara Aparatı	2	35	2,73	38	6	17,46	0
15- Tahrik Makarası	2	30	1,95	22	6,5	16,9	1
16- Makara Sabitleyicisi Cıvatası	2	11	1,8	38	6	16,6	0
17- Duman Toplama Haznesi	1	30	1,95	96	12	13,95	1
<b>Toplam</b>	<b>37</b>					<b>324,85</b>	<b>7</b>

Tasarım uygulamasının değerlendirilmesinde kullanılan elle taşıma ve elle ekleme kodları belirlenirken Boothroyd & Dewhurst DFA analiz tablolarındaki şu özellikler dikkate alınmıştır:

\* Tasarım uygulamaları için elle taşıma kodları seçimi: Boothroyd & Dewhurst DFA analiz tablolarındaki tablo A-1' de yer alan elle taşıma kodları;

- Kavrama araçlarının yardımı olmadan tek elle tutulabilen veya yönetilebilen, simetri açıları ile parçaların taşıma zorluklarına göre değerlendirilen, kalınlık ve boyutların dikkate alındığı Şekil 5.6' daki elle taşıma zamanlarının yer aldığı yatay ve düşey kolonların kesişimine göre seçilen verilerden alınmıştır.

MANUEL ELLE TAŞIMA YAKLAŞIK ZAMANLAR (s)													
Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay					Parçaların elle taşınmasındaki zorlukların olması								
Kalınlık > 2 mm			Kalınlık ≤ 2 mm		Kalınlık > 2 mm			Kalınlık ≤ 2 mm					
Boyut > 15 mm	6 mm ≤ Boyut > 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut ≤ 6 mm	Boyut > 15 mm	6 mm ≤ Boyut ≤ 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut ≤ 6 mm	Boyut ≤ 6 mm			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9			
Tek El Montaj	Parçalar, kavrama araçlarının yardımı olmadan tek elle tutulabilir ve yönetilebilir	(α+β) < 360°	0	1,13	1,43	1,88	1,69	2,18	1,84	2,17	2,65	2,45	2,98
		360° ≤ (α+β) < 540°	1	1,50	1,80	2,25	2,06	2,55	2,25	2,57	3,06	3,00	3,38
		540° ≤ (α+β) < 720°	2	1,80	2,10	2,55	2,36	2,85	2,57	2,90	3,38	3,18	3,70
		(α+β) = 720°	3	1,95	2,25	2,70	2,51	3,00	2,73	3,06	3,55	3,34	4,00

Şekil 5.6. Tek elle kavrama elamanlarına ihtiyaç olmadan yapılan montaj uygulamasının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1'den seçimi

- Kavrama araçlarının yardımına ihtiyaç duyularak tek elle tutulabilen veya yönetilebilen, simetri açıları ile parçaların taşıma zorluklarına göre değerlendirilen, kalınlık ve boyutların dikkate alındığı değerler Şekil 5.7'deki elle taşıma zamanlarından seçilir.

Parçalar kavrama ve yönetilmesi için cımbız gerektiği uygulamalar														
Optik büyütme olmadan parçalar yönetilebilir				Parçaların yönetilmesi için optik büyütme gerekir				Parçalar cımbız dışında standart aletlere ihtiyaç duyar	Parçalar kavrama ve yönetilmesi için özel aletlere ihtiyaç duyar					
Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay		Parçaların elle taşınmasındaki zorlukların olması		Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay		Parçaların elle taşınmasındaki zorlukların olması								
Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm	Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm	Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm	Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
Yardımcı kavrama elamanları ile tek el montaj	Parçalar yalnızca kavrama araçlarının kullanımıyla bir elle tutulabilir ve yönetilebilir	α ≤ 180°	0 ≤ β ≤ 180°	4	3,6	6,85	4,35	7,6	5,6	8,35	6,35	8,6	7	7
			β = 360°	5	4	7,25	4,75	8	6	8,75	6,75	9	8	8
		α = 360°	α ≤ β ≤ 180°	6	4,8	8,05	5,55	8,8	6,8	9,55	7,55	9,8	8	9
			β = 360°	7	5,1	8,35	5,85	9,1	7,1	9,55	7,85	10,1	9	10

Şekil 5.7. Tek elle yardımcı kavrama elamanlarına ihtiyaç duyularak yapılan montaj uygulamasının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1'den seçimi

- Parçaların esnek olduğu, dolaşım sıkışabildiği ve gerektiğinde kavrama elamanlarının kullanıldığı çift elle tutulabilen veya yönetilebilen, simetri açıları ile parçaların taşıma zorluklarına göre değerlendirilen, kalınlık ve boyutların dikkate alındığı veriler Şekil 5.8’deki elle taşıma zamanlarından seçilir.

Çift El ile Yönlendirilen Montaj		Parçalar ek taşıma zorluğu göstermez					Parçalar ek taşıma güçlüğü sunar (örneğin yapışkan, narın, kaygan vb.)					
		$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$		$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$		
		Boyut > 15 mm	6 mm $\leq$ Boyut > 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut $\leq$ 6 mm	Boyut > 15 mm	6 mm $\leq$ Boyut $\leq$ 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut $\leq$ 6 mm	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Parçaların esnek olduğu, yuva gerektiği, dolaşım sıkışabilen uygulamalar (gerektiğinde kavrama elamanları kullanılabilir)	$(\alpha+\beta) < 360^\circ$	8	4,1	4,5	5,1	5,6	6,75	5	5,25	5,85	6,35	7

Şekil 5.8. Çift elle yönlendirilebilen montaj uygulamasının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1’den seçimi

- Parçaları kavramak ve taşımak için çift el, çift kişi veya mekanik destek gereken durumlarda; simetri açıları ile parçaların taşıma ağırlıklarına göre değerlendirilen Şekil 5.9’deki elle taşıma zamanlarından seçilir.

İki el veya büyük boyutlar için yardım gereklidir.		Parçalar mekanik yardım olmadan tek kişi tarafından kullanılabilir								Parçalar şiddetli şekilde yuva yapabilir, dolaşabilir veya esnek değildir	Parça yönetimi için iki kişi veya mekanik yardım gereklidir	
		Parçalar ciddi şekilde yuva yapmaz veya dolaştırmaz ve esnek değildir										
		Parça Ağırlığı < 10 lb				Parça Ağırlığı (>10 lb)						
		Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay		Parçalar diğer kullanım zorluklarını ortaya çıkarır		Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay		Parçalar diğer kullanım zorluklarını ortaya çıkarır				
		$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Parçaları kavramak ve taşımak için iki el, iki kişi veya mekanik destek gerekir		9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9

Şekil 5.9. Çift el ve büyük boyutlar için yönlendirilebilen montaj uygulamasının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-1’den seçimi

\* Tasarım uygulamaları için elle ekleme kodları seçimi: Boothroyd & Dewhurst DFA analiz tablolarındaki elle ekleme kodları tablo A-2’de yer alan aşağıda belirtilen özelliklere göre ilgili tablolardan seçilmiştir.

- Montaj parçalarının elle ekleme kodları seçiminde parçanın montaj bölgesindeki ekleme direnç durumu, montaj edilebilmesinin kolaylığı, montajının yapıldıktan sonra tutma işleminin gerekip gerekmediği, montaj bölgesine ulaşılabilirlik, montaj bölgesinin görsel derecesi, kullanılacak aletlerin montaj bölgesinde çalışabilme kolaylığı ile montaj sırasında hizalama gerekliliği, montaj işlemlerinde ekleme ve pozisyonlamanın yapılabilirliği gibi etkenlerin göz önünde tutulduğu değerler Şekil 5.10’ dan seçilmiştir.

Parça eklenebilir ancak güvenli durumda değil		MANUEL ELLE EKLEME YAKLAŞIK ZAMANLAR (s)									
		Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolaydır				Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolay değildir					
		Eklemeye direnç yok		Eklemeye direnç var		Eklemeye direnç yok		Eklemeye direnç var			
		0	1	2	3	6	7	8	9		
Bir parçanın kendisinin başka bir parçanın olmadığı durumlarda hemen güvence altına alındığı herhangi bir parçanın eklenmesi	Parça ve ilgili alet (eller dahil) istenen yere kolayca ulaşabilir	0	1,5	2,5	2,5	3,5	5,5	6,5	6,5	7,5	
	Parça ve ilgili alet (eller dahil) istenen yere kolayca ulaşamaz	Engelli erişim veya kısıtlı görüş	1	4	5	5	6	8	9	9	10
		Engelli erişim ve sınırlı görüş	2	5,5	6,5	6,5	7,5	9,5	10,5	10,5	11,5

Şekil 5.10. Elle ekleme zamanının montaj konumuna göre eklenme durumlarının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-2’den seçimi

- Parçaların montaj işlemleri sonrasında emniyete alınması gereken hallerde, montaj işlemlerinde plastik deformasyon görülebilmesi, kullanılan aletlerin montaj bölgesine ulaşılabilirliği, montaj sırasında hizalama gerekliliği, parçanın montaj bölgesindeki ekleme direnç durumu, montaj işleminden sonra bağlantı elamanı seçimine göre, burulma veya eğilme dirençleri gibi durumlarında ise Şekil 5.11’deki değerler seçilmiştir.

Parçanın hemen emniyete alınması	Takma işleminden hemen sonra vidalama işlemi veya plastik deformasyon olmaz (geçme / presleme, segmanlar, sivri somunlar vb.)	Yerleştirildikten hemen sonra plastik deformasyon								Taktıktan hemen sonra vida sıklama
		Plastik eğilme veya burulma				Perçinleme veya benzeri işlem				
		Yerleştirmeye direnç göstermeden hizalaması ve konumu kolaydır	Montaj sırasında hizalamaya veya konumlandırma kolay değildir	Yerleştirmeye direnci yok	Yerleştirme direnci vardır	Yerleştirmeye direnç yok	Yerleştirme direnci vardır	Burulma direnci olmadan kolay hizalama ve konumlandırma	Hizalamak veya konumlandırmak ve / veya burulma dirençli ve kolay değildir	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8
4	4,5	7,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	8,5	10,5
5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12

Şekil 5.11. Montaj işlemlerinden sonra parçaların emniyete alınması gereken durumlarının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-2’den seçimi

- Montaj işlemlerinde ayrı işlemlerin içerdiği, mekanik sabitleme işlemlerin olduğu, metalürjik işlemlerin yer aldığı, plastik deformasyon durumları, montaj işlemlerinden sonra emniyete alınıp alınmaması gibi durumlarda ise Şekil 5.12’deki değerler seçilmiştir.

Aynı işlemler	Mekanik sabitleme işlemleri (parça (lar) zaten yerinde, ancak yerleştirmeden hemen sonra emniyete alınmamış)				Mekanik olmayan bağlama işlemleri (zaten yerinde) ancak yerleştirildikten hemen sonra emniyete alınmamış parçalar)				Bağlanmayan işlemler		
	Yok veya lokalize plastik deformasyon			Dökme plastik deformasyon (parçanın büyük kısmı sırasında plastik olarak deforme olur)	Metalürjik işlemler				Kimyasal işlemler (örneğin yapışkanlı bağlanma, vb.)	Parçaların veya alt montajın yönetimi (örneğin, oryantasyon, parça veya parçaların ayarlanması)	Diğer işlemler (örneğin, sıvı ekleme, vb.)
	Eğilme veya benzeri işlem	Perçinleme veya benzeri işlemler	Vida sıkma veya diğer işlemler		Ek malzeme gerektirmez (örn. Direnç, sürtünme kaynağı, vb.)	Ek malzeme gerekli	Lehimleme işlemleri	Kaynak / lehim işlemleri			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
9	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12	

Şekil 5.12. Tüm katı parçaların montaj işlemlerinin bulunduğu montaj durumlarının grup teklojisine dayalı zaman kodlarının tablo A-2’den seçimi

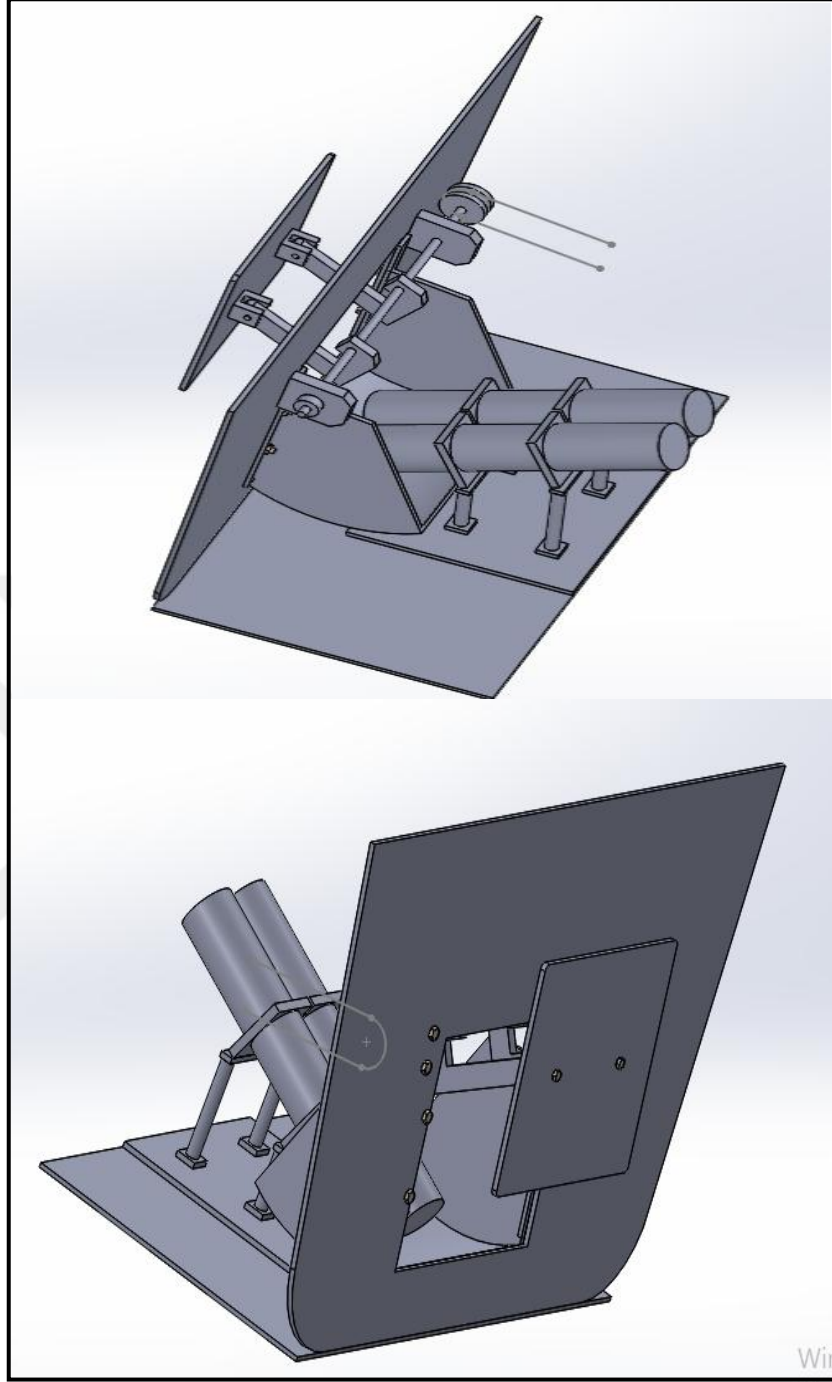


### 5.1.2. Tasarım 2 için oluşturulan Boothroyd & Dewhurst analizi

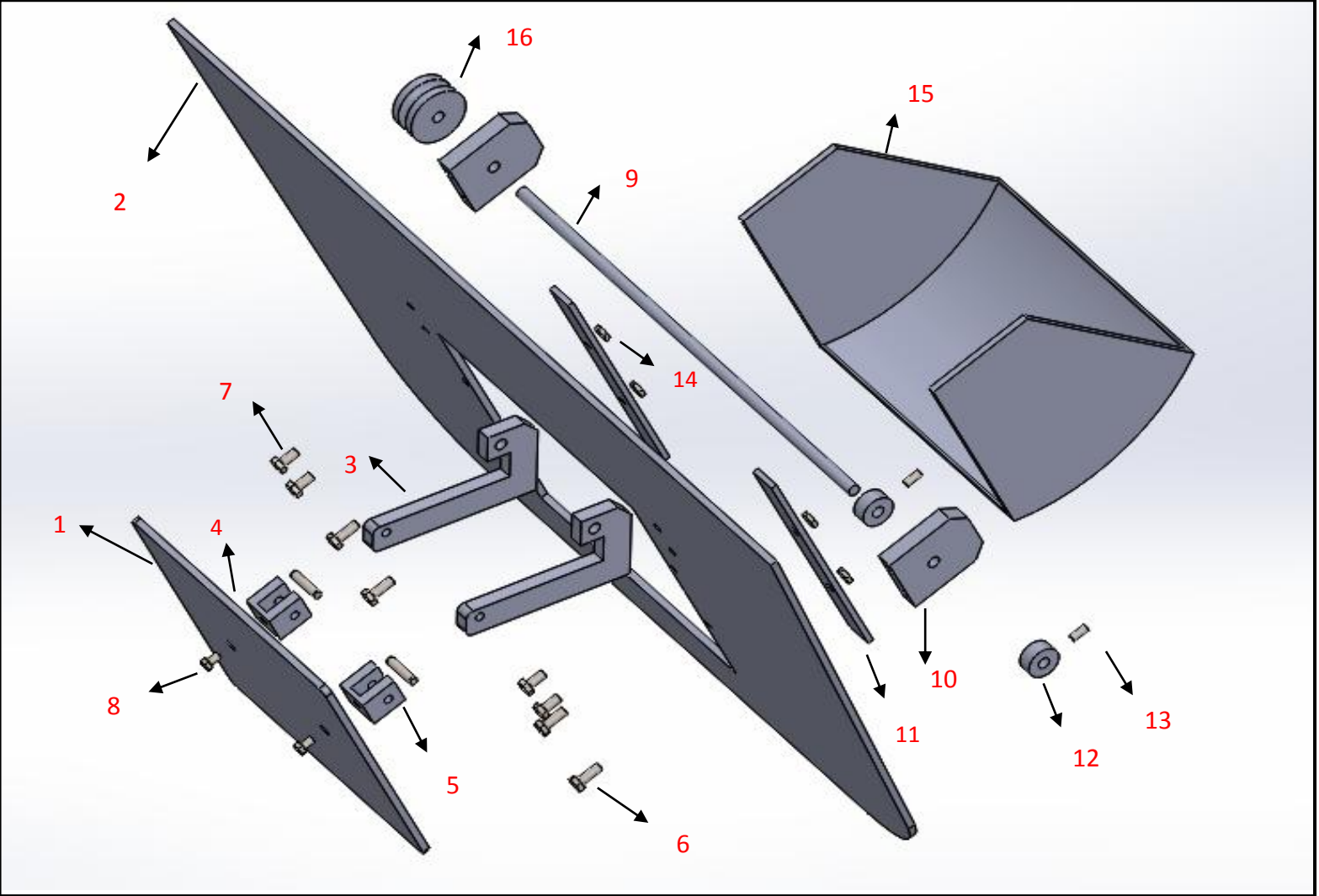
İkinci tasarımda kapak sistemi hareket kolları vasıtasıyla gemi gövdesine bağlı olan yatak miline bağlı makara sistemiyle tahrik edilmiştir. GÜdümlü füzeler fırlatılmak istendiği zaman yatak milinin yatakları makara sistemi tahrik edilerek kapak açılıp kapanabilmektedir. Tasarımda görüldüğü gibi mekanik parça sayısı yeterince azaltılamamış olup gemi bünyesinde oluşabilecek titreşimlerden dolayı etkilenecek bağlantı elamanlarının fazla olması nedeniyle bakım ihtiyaçlarının artabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 5.13. Tasarım 2'ye ait tasarlanmış prototip kapak tasarımları



Şekil 5.14. Tasarım 2'ye ait CAD kapak tasarımı



Şekil 5.15. Tasarım 2'ye ait patlatılmış montaj görüntüsü

Tasarım 2'ye ait parça listesi ise Tablo 5.3' de yer almaktadır.

Tablo 5.3. Tasarım 2'ye ait parça listesi

Poz. No	Parça Adı	Miktarı	Birimi
1-	Gövde Kapağı	1	Adet
2-	Borda Sacı	1	Adet
3-	Hareket Kolları	2	Adet
4-	Kol Bağlantı Aparatı	2	Adet
5-	Kol Bağlantı Pimi	2	Adet
6-	Destek Lama Cıvatası	4	Adet
7-	Yatak Mili Cıvatası	4	Adet
8-	Kol Bağlantı Cıvatası	2	Adet
9-	Hareket Mili	1	Adet
10-	Yataklama Mili Aparatı	2	Adet
11-	Destek Laması	2	Adet
12-	Sonlandırıcı	2	Adet
13-	Sonlandırıcı Pimi	2	Adet
14-	Lama Somunu	4	Adet
15-	Duman Toplama Haznesi	1	Adet
16-	Tahrik Makarası	1	Adet

Tasarım 2 için Tablo 5.4'de oluşturulan analize göre 33 adet montaj parçasının Denklem (5.2)'e göre montaj verimlilik indeksi;

$$E_{ma} = (N_{min} \times t_a) / t_{ma} \quad (5.2)$$

$$7 \times \frac{3}{273,57} = 0,0767 \text{ veya } \% 7,67 \text{ Montaj Verimliliği} \quad (5.2a)$$

Tablo 5.4. Tasarım 2 için Boothroyd &amp; Dewhurst DFA analiz tablosu

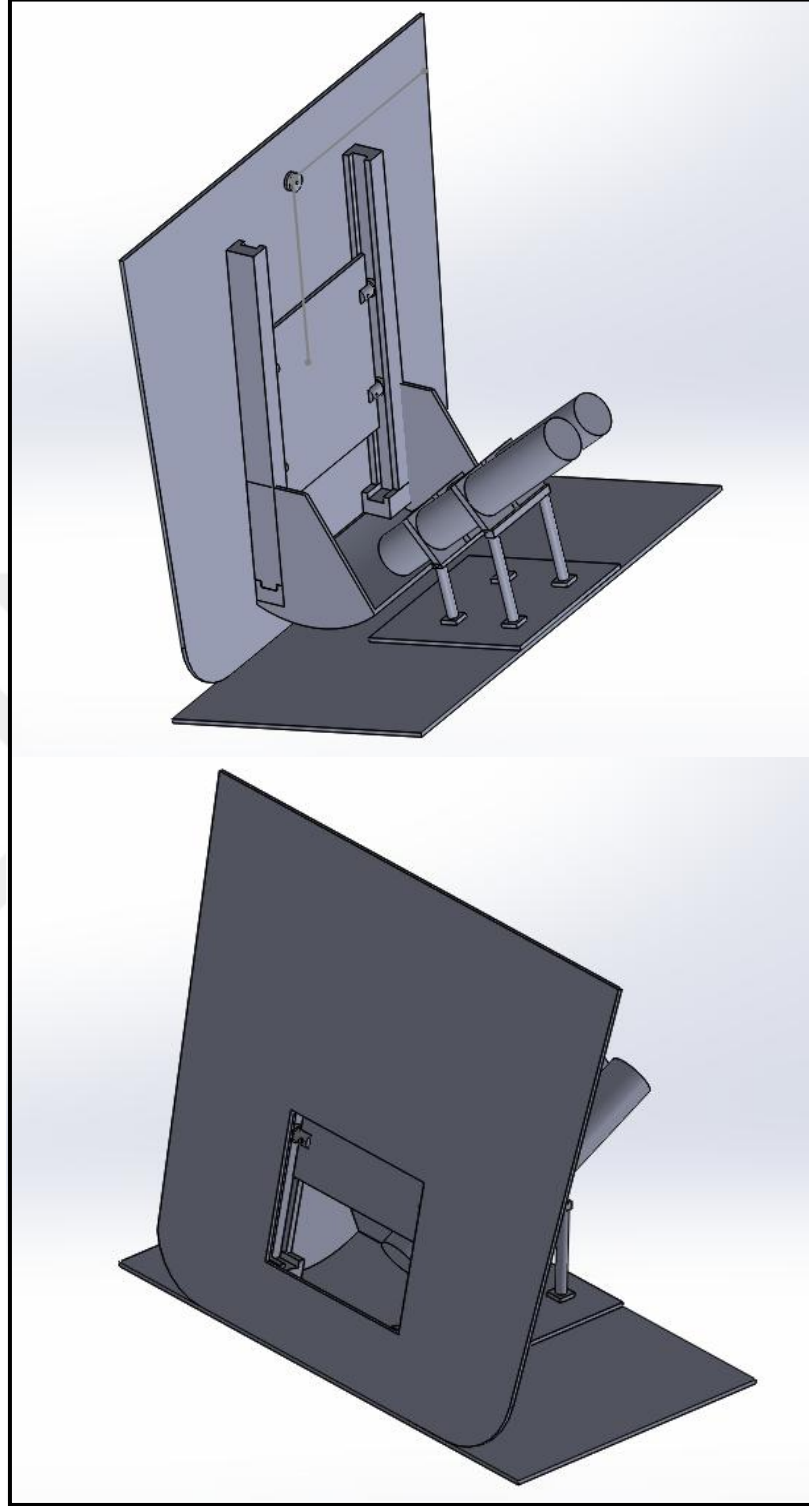
Parça Adı	Parça Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma Zamanı (sn)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme Zamanı (sn)	Toplam Montaj Zamanı (sn)	Minimum Parça Sayısı
1- Gövde Kapağı	1	35	2,73	38	6	8,73	1
2- Borda Sacı	1	35	2,73	38	6	8,73	1
3- Hareket Kolları	2	35	2,73	21	6,5	18,46	1
4- Kol Bağlantı Aparatı	2	35	2,73	38	6	17,46	1
5- Kol Bağlantı Pimi	2	00	1,13	20	5,5	13,26	0
6- Destek Lama Cıvatası	4	11	1,8	39	8	39,2	0
7- Yatak Mili Cıvatası	4	11	1,8	38	6	31,2	0
8- Kol Bağlantı Cıvatası	2	11	1,8	38	6	15,6	0
9- Hareket Mili	1	00	1,13	10	4	5,13	0
10- Yataklama Mili Aparatı	2	35	2,73	38	6	17,46	1
11- Destek Laması	2	00	1,13	00	1,5	5,26	0
12- Sonlandırıcı	2	30	1,95	48	8,5	20,9	0
13- Sonlandırıcı Pimi	2	00	1,13	20	5,5	13,26	0
14- Lama Somunu	4	00	1,13	36	8	36,52	0
15- Duman Toplama Haznesi	1	30	1,95	96	12	13,95	1
16- Tahrik Makarası	1	30	1,95	22	6,5	8,45	1
<b>Toplam</b>	<b>33</b>					<b>273,57</b>	<b>7</b>

### 5.1.3. Tasarım 3 için oluşturulan Boothroyd & Dewhurst analizi

Analizi yapılan son tasarımda kapak sistemi makara sistemi ve tekerlekler kullanılarak oluşturulduğundan parça sayısının azaldığı ve tasarımın sadeleştirildiği görülmüştür.

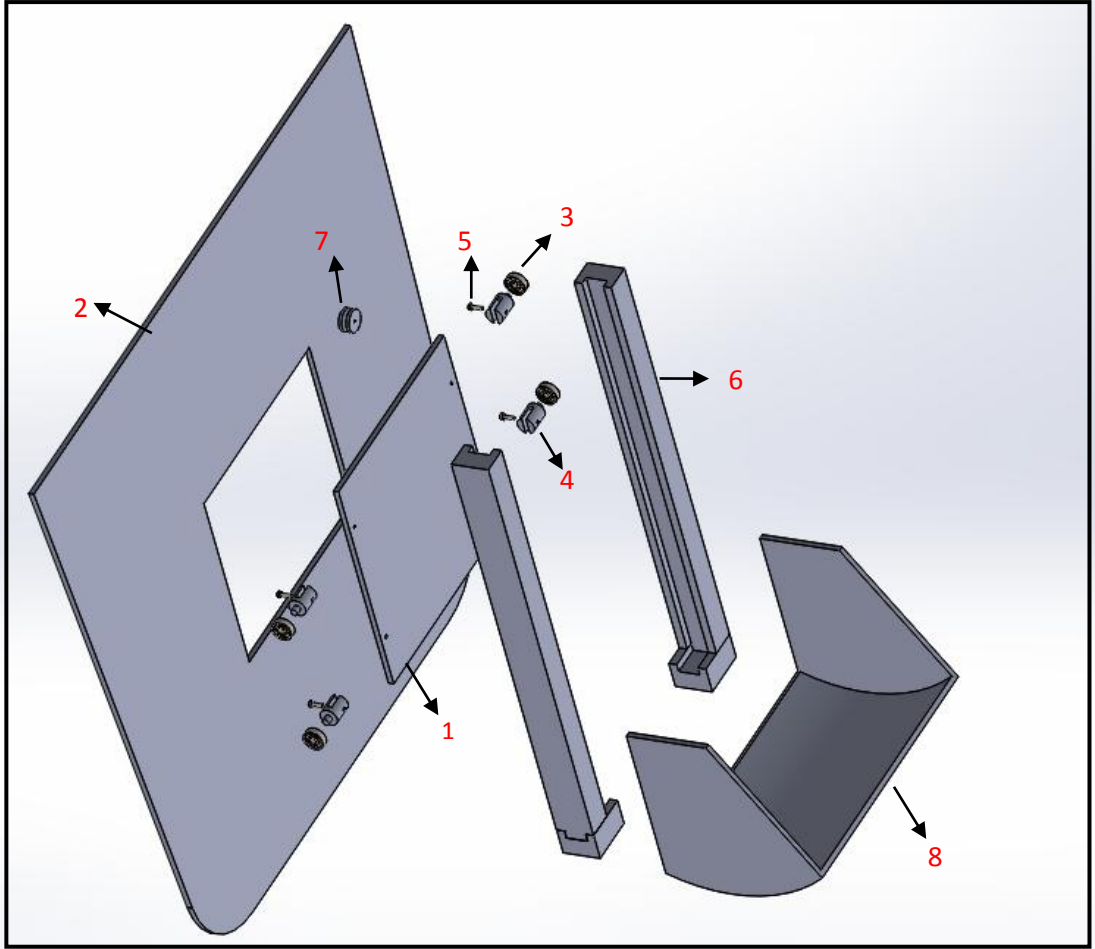


Şekil 5.16. Tasarım 3'e ait tasarlanmış prototip kapak tasarımları



Şekil 5.17. Tasarım 3'e ait CAD kapak tasarımı





Şekil 5.18.Tasarım 3'e ait patlatılmış montaj görüntüsü

Tablo 5.5. Tasarım 3'e ait parça listesi

Poz. No	Parça Adı	Miktarı	Birimi
1-	Gövde Kapağı	1	Adet
2-	Borda Sacı	1	Adet
3-	Hareket Tekerlekleri	4	Adet
4-	Tekerlek Tutucu	4	Adet
5-	Tekerlek Tutucu Cıvatası	4	Adet
6-	Profil Raylar	2	Adet
7-	Tahrik Makarası	1	Adet
8-	Duman Toplama Haznesi	1	Adet

Tasarım 3 için Tablo 5.6'de oluşturulan analize göre 18 adet montaj parçasının Denklem (5.3)'e göre montaj verimlilik indeksi:

$$E_{ma} = (N_{min} \times t_a) / t_{ma} \quad (5.3)$$

$$7 \times \frac{3}{130,94} = 0,11 \text{ veya } \% 11,21 \text{ Montaj Verimliliği} \quad (5.3a)$$



Tablo 5.6. Tasarım 3 için Boothroyd & Dewhurst DFA analiz tablosu

Parça Adı	Parça Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma Zamanı (sn)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme Zamanı (sn)	Toplam Montaj Zamanı (sn)	Minimum Parça Sayısı
1- Gövde Kapağı	1	35	2,73	38	6	8,73	1
2- Borda Sacı	1	35	2,73	38	6	8,73	1
3- Hareket Tekerlekleri	4	05	1,84	43	7,5	37,36	1
4- Tekerlek Tutucu	4	35	2,73	48	8,5	44,92	1
5- Tekerlek Tutucu Cıvatası	4	11	1,8	38	6	31,2	0
6- Profil Raylar	2	35	2,73	96	12	29,46	1
7- Tahrik Makarası	1	30	1,95	96	12	12,95	1
8- Duman Toplama Haznesi	1	30	1,95	96	12	13,95	1
<b>Toplam</b>	18					187,3	7

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın temel amacı, ürün tasarım süreçlerine farklı yaklaşımlar ile yaklaşılmasını sağlayan eş zamanlı mühendislik felsefesini yapılmak istenen tasarımlara aktarımını sağlamak oluşturmuştur. Bu kapsamda eş zamanlı mühendislik yönteminin uygulama tekniklerinden olan Boothroyd & Dewhurst DFA analizi kullanılarak üzerinde çalışılmasına karar verilen tasarımların montaja ve bakıma uygunluk derecelerinin analizi yapılarak DFA tabloları sonuçlarına göre montaj süresi, montaj verimlilik indeksi ve montaj maliyeti hesaplamaları karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yöntemine göre tasarlanan savaş gemisi gövde kapağı prototiplerinin değerlendirilmesi Tablo 6.1’de verilmiştir. Yapılan değişiklikler ile parça sayısında ve montaj sürelerinde değişimler gözlemlenmiştir. Tasarım 1 uygulamasında parça sayısının fazla olması montaj süresinin artmasına neden olmaktadır. Tasarım 2 de yapılan değişiklikler ile parça sayısının düşürülmesinin sağlanmasıyla montaj süresinde değişim sağlanabilmiştir. Ancak vidalı bağlantı elamanlarının fazla olmasından dolayı montaja uygun tasarımlar için istenen tasarım kuralları sağlanamamış ve üçüncü bir tasarım uygulaması yapılmıştır. Tasarım 3 uygulamasında kolay montaj için tasarım ilkelerinin önemli maddelerinden olan minimum sayıda montaj edilebilecek parça kullanımını sağlayabilmek adına daha önceki tasarımların işlevselliği göz önünde bulundurularak yapılan değişiklikler ile parça sayısı tasarım 1’de 37 adet iken tasarım 3 uygulamasında bu değer % 51,3 oranında azaltılarak 18 adede düşürülmüştür. Parça sayısının azalması ile tasarım 1 için gerekli montaj zamanı 324,84 saniyeden tasarım 3 uygulamasında 187,3 saniyeye düşürülerek % 42,3 oranında bir azalma ile montaj işleri için gerekli zamandan tasarruf elde edilmiştir. Tasarım 1 uygulamasında Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yöntemine göre montaj verimliliği indeksi % 6,46 iken tasarım 3 uygulamasında bu değer % 11,2 çıkarılarak DFA montaj verimlilik indeksinde % 73,3 oranında artış sağlandığı görülmektedir.

Montaja uygun tasarımlarda önemli bir diğer konu olan maliyeti hesaplarken işçilik maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılacak saat ücreti tespitinde ülkemizde 2019 yılı için net asgari ücretin 2.020 TL olması ve aylık çalışma saatinin 225 saat olmasından dolayı bir işçinin saatlik ücreti yaklaşık 9 TL olduğu dikkate alınmıştır. Gövde kapağı prototiplerinin montaj işçiliği için gerekli maliyet değişimlerine bakıldığında tasarım 1 uygulaması için montaj işçilik maliyeti 0,81 TL iken tasarım 3 uygulamasında bu maliyet değeri % 41,9 oranında azaltılarak 0,47 TL'ye düşürülmüştür.

Tablo 6.1. DFA analiz tablolarının sonuçlarının değerlendirilmesi

	<b>Parça Sayısı</b>	<b>Montaj Süresi (sn)</b>	<b>DFA Montaj Verimliliği İndeksi</b>	<b>Montaj Maliyeti (TL)</b>
Tasarım 1	37	324,84	% 6,46	0,81
Tasarım 2	33	273,57	% 7,67	0,68
Tasarım 3	18	187,3	% 11,2	0,47

Makine ve sistemlerin bakımlarının zamanında ve planlı olarak yapılması bakıma uygun tasarımlar için göz önüne alınması gereken önemli çalışmalardır. Bir savaş gemisinde güdümlü füze sistemleri sürekli kullanılan bir harp elamanı değildir ancak ihtiyaç duyulması halinde fonksiyonunu tam olarak yerine getirmesi en önemli işlevidir. Bu nedenle bu sistemlerin düzenli bakımlarının yapılması personelin önemli görevlerindedir.

Bu kapsamda çalışmamızda bakıma uygun tasarım kuralları dikkate alınarak gemi bünyesinde oluşacak titreşim ve hava koşullarından dolayı gövde montaj parçalarının sadeleştirilmesi ve bağlantı elamanlarının az kullanılmasının sağlanması ile sistemin bakımı konusunda istenen faydaların sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Çünkü kapak sisteminde bulunan çözülebilir bağlantı elamanlarının titreşimden ve hava koşullarının yarattığı korozyondan etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle tasarım 3 uygulamasında buna önem verilmiş ve bağlantı elamanlarının kullanımı azaltılarak sistemin bakımı ve onarımında iyileştirmeler yapılmaya çalışılmıştır. Bunun yanında bakıma uygun tasarım yöntemlerinin uygulandığı gövde kapak sisteminin tasarlanmasıyla gemi borda sacının güdümlü füzenin oluşturacağı ısıdan etkilenmesini azaltacak tasarımın gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Montaj verimliliğinin artırılması ile prototipler üzerinde elde edilen DFA analiz tablolarının sonuçlarındaki iyileştirmeler gemi bünyesine uygulandığında elde edilen kazanımların daha fazla olması kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle montaja ve bakıma uygun tasarımlar için dikkate alınması gereken kuralların uygulandığı tasarım 3 yapılan tasarımlar arasından seçilen en uygun uygulama türü olmuştur.

Çalışma boyunca tasarımlarda bu değişiklikler yapılırken unutulmaması ve ele alınması gereken diğer bir özellik ise; ne kadar çok tasarım değişikliği uygulanırsa uygulansın tasarımın istenen temel görevin ve çalışma prensibinin değiştirilmemesi ve istenen görevi yerine getirmesinin sağlanmasıdır.

Sonuç olarak yapılan tasarım uygulamalarında eş zamanlı mühendislik felsefesinin ve kullandığı tekniklerin uygulanmasıyla; tasarım süreçlerindeki verimliliğin arttığı, üretim ve işçilik maliyetlerinin azaldığı, montaj zamanları ile bakım için gerekli uygulamaların ve faaliyetlerin azaldığı görülebilecektir. Bu amaçla yapılan uygulamalarda montaja uygun tasarım yöntemleri dikkate alınmış uygulamada gereksiz görülen parçalar elenerek parça sayısının azaltılması sağlanmış ve yeni tasarımlar yapılarak sonuçları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında montaj verimliliğinin artırılmasıyla montaj zamanı, parça sayısı ve montaj maliyetlerinde azalma sağlanabilmiştir. Aynı şekilde yapılan tasarım değişiklikleri ile parça sayısının uygun şekilde azaltılması ile bakım uygulamalarında da verimliliğin arttığı görülebilmektedir. Ayrıca tasarım değişiklikleri ile elenen parçalar sonucunda sistem için gerekli olan ürünlerin imalatı ve o parça için gerekli bakım faaliyetlerinin de yapılmasına gerek duyulmaması ürün kalitesi ve güvenilirliğinde artmasına neden olmuştur.

Tasarım departmanlarında çalışan tasarımcıların, ürün geliştirme süreçlerinde eş zamanlı mühendislik yönteminin getirdiği felsefeyi benimseyerek ve yaptıkları tasarımlarda montaja ve bakıma uygun tasarım kurallarını uygulayıp montajı oluşturan parçaların işlevselliğini bozmadan sadeleştirilmeleri ile tasarımın verimliliğinin artacağı değerlendirilmelidirler.

Tüm bu faydaların göz önünde bulundurulması sağlanarak eş zamanlı mühendislik yönteminin kullanılmasının getireceği faydaları montaj edilebilirlik yöntemine uygulanması sonucu zaman ve maliyet açısından elde edilebilecek kazanımlar nedeni ile tasarımcıların bu yöntemleri tüm tasarım çalışmalarında ele almasını önerilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Şekerci B., Eş Zamanlı Mühendislik Kavramının Türk İnşaat Sektöründe Uygulanabilirlik Düzeyinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2008, 244105.
- [2] Prasad B., Concurrent Engineering Definitions, *Concurrent Engineering Fundamentals-Integrated Product and Process Organizations*, 1rd ed., Prentice Hall PTR, New Jersey, 1996.
- [3] Singh N., Concurrent Engineering, *Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1996.
- [4] Özdemirkıran A., Bilgisayar Destekli Mühendislikte Montaja ve Bakıma Uygun Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 224069.
- [5] Winner R., Pennel J., Bertrand H., Sluzarczuk M., The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition, *Institute For Defense Analyses*, Virginia, IDA Report R-338, 11-37, 1988.
- [6] Cengiz Y. B., Öztürk Y. Y., Dizayn Kalitesinin Oluşturulmasında Eş Zamanlı Mühendislik Yaklaşımı, *IV.Ulusal Kalite Kongresi Toplam Kalite Yönetimi ve Eğitimde Kalite*, İstanbul, Türkiye, 8-9 Kasım 1995.
- [7] Mutluay H. S., Eş Zamanlı Mühendislik İlkelerinin İnşaat Proje Sisteminde Uygulanmasına Yönelik Uygulama, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 166641.
- [8] Özbaş E., Eş Zamanlı Mühendislik Esasları ve Bazı Uygulama Yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, İstanbul, 1999, 100647.
- [9] Carter D., Baker B., *CE Concurrent Engineering: The Product Development Environment for The 1990s*, Addison-Wesley Publishing Company, Michigan, 1992.
- [10] Kamara J., Evbuomwan N., Anumba C., Establishing and Processing Client Requirements - A Key Aspect Concurrent Engineering in Construction, *Engineering Construction & Architectural Management*, 2000, 1(7), 15-28.

- [11] Deasley P., Lettice F., *A Concurrent Engineering Approach to Construction: Learning from Cases in Manufacturing Industry*, The Institution of Structural Engineers, London, 1997.
- [12] Anumba C. J., Baugh C., Khalfan M., Organisational Structures to Support Concurrent Engineering in Construction, *Industrial Management and Data Systems*, 2002, **102**(5), 260-270.
- [13] İnceoğlu Y., Konut Yapım Sektöründe Toplam Kalite Yönetimi: Kalite Fonksiyon Yayılımı Metodolojisinin Sektöre Uyarlanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 152180.
- [14] Baykara U., Kalite Güvencesinde Güvenilirlik Tasarımı, *IV.Ulusal Kalite Kongresi Toplam Kalite Yönetimi ve Eğitimde Kalite*, İstanbul, Türkiye, 8-9 Kasım 1995.
- [15] Hsiao S.-W., Concurrent Design Method for Developing a New Product, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2002, **29**(1), 41-55.
- [16] Eldin N., Hikle V., Pilot Study of Quality Function Deployment in Construction Projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 2003, **129**(3), 314-329
- [17] Şamur M. S., Otomatik Servislerinde FMEA ve FTA Hata Önleme Tekniklerinin Önlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 198353.
- [18] Yaşbayır M., Hata Türü ve Etki Analizi için Kütle Çekim Kanunu Esaslı Gri İlişki Analiz Model Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2017, 472495.
- [19] Sofyalıoğlu Ç., Süreç Hata Modu Etki Analizini Gri Değerlendirme Modeli, *Ege Akademik Bakış*, 2011, **11**(1), 155-164,
- [20] Stamatis D., *Failure Mode and Effect Analysis - FMEA From Theory to Execution*, ASQ Quality Press Milwaukee, Wisconsin, 1995.
- [21] Durmaz S., Taguchi Metodunun Kauçuoğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2008, 216048.
- [22] Şirvancı M., *Kalite için Deney Tasarımı "Taguchi Yaklaşımı"*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 112, 1997.

- [23] Babalı E., Grup Teknolojisinde Parça Listesi ve İmalat Hücresi Oluşturma, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya, 2007, 210345.
- [24] Kuo T. C., Zhang H. C., Design For Manufacturability and Design for "X": Concepts, Applications, and Perspectives, *IEEE / CPMT Int'l Electronics Manufacturing Technology Symposium*, Texas, USA, 4 September 1995.
- [25] Tenekeci O., Makina Konstrüksiyonunda İmalat ve Tasarımın Eş Zamanlı Uygulanmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 316055.
- [26] Boothroyd G., Product Design for Manuel Assembly, Editörs: Dewhurst P., Knight W., *Product Design for Manufacture and Assembly*, 3rd ed., CRC Press Taylor and Francis Group LLC, London, 73-131, 2011.
- [27] Redhord A., Chal J., *Design for Assembly: Principles and Practice*, McGraw- Hill Book Company, London, 1994.
- [28] Ulugergerli M., Eş Zamanlı Mühendislikte Montaja Uygun Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251832.
- [29] Çamkoru A. M., Sayın V. O., Bakım Maliyeti Yönetimi, *Mühendis ve Makina*, 2011, **53**(35), 16-21.
- [30] Imrhan S. N., Equipment Design for Maintenance, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1992, **(10)**1-2, 35-52.
- [31] Naval Information-seaforce.org, <http://www.seaforces.org/wpnsys/SURFACE/Mk-141-missile-launcher.htm> (Ziyaret Tarihi: 12.12.2018).
- [32] Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, [https://www.dzkk.tsk.tr/icerik.php?dil=1&icerik\\_id=76](https://www.dzkk.tsk.tr/icerik.php?dil=1&icerik_id=76) (Ziyaret Tarihi: 16.02.2019).
- [33] Karandikar H., Fotta M., Assessing Organizational Readiness for Implementing CE Practices&Collaborative Technologies, *Proceedings Second Workshops on Enabling-Infrastructure for Collaborative Enterprises*, West Virginia, USA, 20-22 April 1993.





**EKLER**

## EK-A

Tablo A-1. Boothroyd & Dewhurst DFA analiz yöntemi elle taşıma zaman kodları [26]

MANUEL ELLE TAŞIMA YAKLAŞIK ZAMANLAR (s)												
Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay					Parçaların elle taşınmasındaki zorlukların olması							
Kalınlık > 2 mm			Kalınlık ≤ 2 mm		Kalınlık > 2 mm			Kalınlık ≤ 2 mm				
Boyut > 15 mm	6 mm ≤ Boyut > 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut ≤ 6 mm	Boyut > 15 mm	6 mm ≤ Boyut ≤ 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut ≤ 6 mm	Boyut ≤ 6 mm		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9		
Tek El Montaj												
Parçalar, kavrama araçlarının yardımı olmadan tek elle tutulabilir ve yönetilebilir	$(\alpha+\beta) < 360^\circ$	0	1,13	1,43	1,88	1,69	2,18	1,84	2,17	2,65	2,45	2,98
	$360^\circ \leq (\alpha+\beta) < 540^\circ$	1	1,50	1,80	2,25	2,06	2,55	2,25	2,57	3,06	3,00	3,38
	$540^\circ \leq (\alpha+\beta) < 720^\circ$	2	1,80	2,10	2,55	2,36	2,85	2,57	2,90	3,38	3,18	3,70
	$(\alpha+\beta) = 720^\circ$	3	1,95	2,25	2,70	2,51	3,00	2,73	3,06	3,55	3,34	4,00
Yardımcı kavrama elemanları ile tek el montaj												
Parçalar kavrama ve yönetilmesi için cımbız gerektiği uygulamalar												
Optik büyütmeye ihtiyaç olmayan parçalar yönetilebilir					Parçaların yönetilmesi için optik büyütmeye gerekir				Parçalar cımbız dışında standart aletlere ihtiyaç duyar	Parçalar kavrama ve yönetilmesi için özel aletlere ihtiyaç duyar		
Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay		Parçaların elle taşınmasındaki zorlukların olması		Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay		Parçaların elle taşınmasındaki zorlukların olması						
Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm	Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm	Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm	Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm	Kalınlık > 0.25 mm	Kalınlık ≤ 0.25 mm	8	9	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8	9	
4	3,6	6,85	4,35	7,6	5,6	8,35	6,35	8,6	7	7	7	
5	4	7,25	4,75	8	6	8,75	6,75	9	8	8	8	
6	4,8	8,05	5,55	8,8	6,8	9,55	7,55	9,8	8	9	9	
7	5,1	8,35	5,85	9,1	7,1	9,55	7,85	10,1	9	10	10	
Çift El ile Yönlendirilen Montaj												
Parçalar ek taşıma zorluğu göstermez					Parçalar ek taşıma güçlüğü sunar (örneğin yapışkan, narin, kaygan vb.)							
$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$							
Boyut > 15 mm	6 mm ≤ Boyut > 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut ≤ 6 mm	Boyut > 15 mm	6 mm ≤ Boyut ≤ 15 mm	Boyut < 6 mm	Boyut > 6 mm	Boyut ≤ 6 mm	8	9	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8	9	
Parçaların esnek olduğu, yuva gerektiği, dolaşım sağlanabilen uygulamalar (gerektiğinde kavrama elemanları kullanılabilir)												
$(\alpha+\beta) < 360^\circ$												
8												
iki el veya büyük boyutlar için yardım gereklidir.												
Parçalar mekanik yardım olmadan tek kişi tarafından kullanılabilir												
Parçalar ciddi şekilde yuva yapmaz veya dolaştırmaz ve esnek değildir												
Parça Ağırlığı < 10 lb					Parça Ağırlığı (>10 lb)							
Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay		Parçaların diğer kullanım zorluklarını ortaya çıkarır			Parçaların kavranması ve yönetilmesi kolay		Parçaların diğer kullanım zorluklarını ortaya çıkarır					
$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	8	9	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7	9	
Parçaların kavramak ve taşımak için iki el, iki kişi veya mekanik destek gerekir												
9												

## EK-B

Tablo A-2. Boothroyd&Dewhurst DFA analiz yöntemi elle ekleme zaman kodları [26]

		MANUEL ELLE EKLEME YAKLAŞIK ZAMANLAR (s)																							
		Montaj değişimi için oryantasyonu ve konumu korumak için tutmak gerekmez					Konumdaki oryantasyonu korumak için sonraki işlemler sırasında tutma gereklidir																		
		Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolaydır		Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolay değildir			Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolaydır		Montaj sırasında hizalama ve yerleştirme kolay																
		Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var	Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var	Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var	Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var	Eklemeye direnç yok	Eklemeye direnç var														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9														
Bir parçanın kendisinin başka bir parçanın olmadığı durumlarda hemen güvence altına alındığı herhangi bir parçanın eklenmesi	Parça ve ilgili alet (eller dahil) istenen yere kolayca ulaşılabilir	0	1,5	2,5	2,5	3,5	5,5	6,5	6,5	7,5	7,5														
	Parça ve ilgili alet (eller dahil) istenen yere kolayca ulaşamaz	Engelli erişim veya kısıtlı görüş	1	4	5	5	6	8	9	9	10	10													
		Engelli erişim ve sınırlı görüş	2	5,5	6,5	6,5	7,5	9,5	10,5	10,5	11,5	11,5													
Parçanın hemen emniyete alınması	Takma işleminden hemen sonra vidalama işlemi veya plastik deformasyon olmaz (geçme / presleme, segmanlar, sivri somunlar vb.)	Yerleştirildikten hemen sonra plastik deformasyon					Taktikten hemen sonra vida sıkma																		
Parçanın ve / veya diğer parçaların derhal emniyete alındığı herhangi bir parçanın eklenmesi	Parça ve ilgili alet (eller dahil) istenen yere kolayca ulaşılabilir ve alet kolayca çalıştırılabilir	Yerleştirmeye direnç göstermeden hizalaması ve konumu kolaydır	Montaj sırasında hizalama veya konumlandırma ve / veya takma dirençli ve kolay değildir	Plastik eğilme veya burulma		Perçinleme veya benzeri işlem			Burulma direnci olmadan kolay hizalama ve konumlandırma	Hizalamak veya konumlandırmak ve / veya burulma dirençli ve kolay değildir															
				Montaj sırasında hizalaması ve yerleştirmesi kolaydır	Montaj sırasında hizalaması ve yerleştirmesi kolaydır	Yerleştirmeye direnç yok	Yerleştirme direnci vardır	Yerleştirmeye direnç yok			Yerleştirme direnci vardır	8	9												
														Montaj sırasında hizalaması ve yerleştirmesi kolaydır	Montaj sırasında hizalaması ve yerleştirmesi kolaydır	Yerleştirmeye direnç yok	Yerleştirme direnci vardır	10,5	11,5						
																				Montaj sırasında hizalaması ve yerleştirmesi kolaydır	Montaj sırasında hizalaması ve yerleştirmesi kolaydır	Yerleştirmeye direnç yok	Yerleştirme direnci vardır	8,5	10,5
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																
3	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8															
4	4,5	7,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	8,5	10,5															
5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12															
Aynı işlemler	Mekanik sabitleme işlemleri (parça (lar) zaten yerinde, ancak yerleştirmeden hemen sonra emniyete alınmamış)	Yok veya lokalize plastik deformasyon	Dökme plastik deformasyon (parçanın büyük kısmı sırasında plastik olarak deform olur)	Mekanik olmayan bağlama işlemleri (zaten yerinde) ancak yerleştirdikten hemen sonra emniyete alınmamış parçalar)				Bağlanmayan işlemler																	
				Eğilme veya benzeri işlem	Perçinleme veya benzeri işlemler	Vida sıkma veya diğer işlemler	Metalurjik işlemler		Kimyasal işlemler (örneğin yapışkanlı bağlanma, vb.)	Parçaların veya alt montajın yönetimi (örneğin, oryantasyon, parça veya parçaların ayarlanması)	Diğer işlemler (örneğin, sıvı ekleme, vb.)														
							Ek malzeme gerektirmez (örn. Direnç, sürtünme kaynağı, vb.)	Ek malzeme gerekli																	
				Lehimleme işlemleri	Kaynak / lehim işlemleri																				
Tüm katı parçaların bulunduğu montaj işlemleri	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9															
	9	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12														

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] İ. Kılavuz ve **S. C. Tini**, Bir Pergel Vincin Tasarımı ve Sonlu Elamanlar Metoduyla Gerilme Analizi, *Kalıp Dünyası*, 2012, **78**, 110-114.
- [2] **S. C. Tini** ve A. Zeren, Tipik Bir Korvet Savaş Gemisi Gövde Kapağının Eş Zamanlı Mühendislik Yöntemi ile Montaja ve Bakıma Uygun Tasarımı, *4. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 23-24 Nisan, 2019.



## ÖZGEÇMİŞ

1990 yılı İstanbul doğumlu olup ilk ve ortaokul öğrenimlerini takiben lise öğrenimini Şişli Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2008 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği ve çift ana dal programı ile öğrenime hak kazandığı Mekatronik Mühendisliği bölümlerinden 2012 yılında mezun olmuştur. 2013 yılında uzun dönem askerlik hizmetini Asteğmen olarak tamamlamasına müteakip Bakım Mühendisi olarak cam sektöründe görev almıştır. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başlamıştır. 2016 yılından beri Milli Savunma Bakanlığı bağlı Tersaneler Genel Müdürlüğü-İstanbul Tersanesi Komutanlığında Makine Mühendisi olarak görev yapmakta ve profesyonel yaşantısını devam ettirmektedir.