

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA KONSTRÜKSİYONUNDA
İMALAT VE TASARIMIN
EŞ ZAMANLI UYGULAMASININ İNCELENMESİ**

OKTAY TENKEKİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. BERNA BOLAT**

İSTANBUL, 2012

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA KONSTRÜKSİYONUNDA
İMALAT VE TASARIMIN
EŞ ZAMANLI UYGULAMASININ İNCELENMESİ**

OKTAY TENKEKİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. BERNA BOLAT**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA KONSTRÜKSİYONUNDA

İMALAT VE TASARIMIN

EŞ ZAMANLI UYGULAMASININ İNCELENMESİ

Oktay TENKECİ tarafından hazırlanan tez çalışması 15.06.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Berna BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Mustafa ALIŞVERİŞÇİ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat ALARÇİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlarken araştırmalarımnda bana sabırla yol gösteren, benden değerli birikimlerini, dūřüncelerini ve zamanını esirgemeyen danışmanım, değerli hocam Yrd. Doę. Dr. Berna BOLAT'a teşekkürü bir borę bilirim.

Ayrıca, bu günlere ulaşmamı sağlayan, her zaman ve her koşulda benden desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs, 2012

Oktay TENKECİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2 ÜRÜN GELİŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	5
2.1 Sıralı (Ardışık) Mühendislik.....	5
2.2 Eş Zamanlı Mühendislik.....	6
2.2.1 Eş Zamanlılık.....	6
2.2.2 Eş Zamanlı Mühendislik Tanımları, Kültürü, Tarihiçesi	8
2.2.3 Neden Eş Zamanlı Mühendislik.....	10
2.2.4 Eş Zamanlı Mühendislik ile Geleneksel (Sıralı) Mühendisliğin Karşılaştırılması	11
2.2.5 Eş Zamanlı Mühendislik ve Yalın Üretim.....	17
2.2.6 Eş Zamanlı Mühendisliğin Amaçları	17
2.2.7 Eş Zamanlı Mühendisliğin Etkileyen Faktörler	18
2.2.8 Eş Zamanlı Mühendisliğin Avantajları.....	19
2.3 Eş Zamanlı Mühendislik Uygulama Süreci.....	20
2.3.1 Eş Zamanlı Mühendislik Uygulamasındaki Önemli Noktalar	20
2.3.1.1 Eş Zamanlı Mühendislik Çalışma Takımları	21
2.3.1.2 Eş Zamanlı Mühendislik Uygulama Adımları.....	23
2.3.1.3 Eş Zamanlı Mühendislik Uygulama Metodları ve Teknikleri.....	25

2.3.2	Kalite Fonksiyonları Açılımı (Quality Function Deployment)	26
2.3.3	Eş Zamanlı Mühendislikte Tasarım Yöntemleri	28
2.3.3.1	Aksiyomlarla Tasarım	28
2.3.3.2	İmalata Uygun Tasarım	28
2.3.3.3	Bilimsel Tasarım	29
2.3.3.4	Montaja Uygun Tasarım.....	29
2.3.3.5	Demontaja ve Geri Dönüşüme Uygun Tasarım.....	31
2.3.3.6	Çevreye Uygun Tasarım	31
2.3.3.7	Kaliteye Uygun Tasarım.....	32
2.3.3.8	Bakıma Uygun Tasarım.....	33
2.3.3.9	Güvenilirliğe Uygun Tasarım	33
2.3.4	Dayanıklı Tasarım İçin Taguchi Methodu.....	34
2.3.5	Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi	35
2.3.6	Benchmarking	38
2.3.7	Rekabet Analizi (Competitive Analysis)	39
2.3.8	Dizayn Aksiyomatiği	40
2.3.9	Değer Analizi	40
2.3.10	DeneySEL Tasarım Teknikleri (Experimental Design Techniques)	40
2.3.11	Lositik Dizaynı	41
2.3.12	Kalite Değerlendirme Tekniği.....	41
2.4	Eş Zamanlı Mühendislik ile Ürün Geliştirme	42
2.5	Montaja Uygun Tasarım (MUT).....	44
2.5.1	Montaj Teknolojisine Genel Bakış.....	44
2.5.2	Montaja Uygun Tasarım Yöntemlerinde Montaj Edilebilirlik Kriterleri	46
2.5.3	IPA Stuttgart Yöntemi	47
2.5.4	Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi	48
2.5.5	Lucas MUT Değerlendirme Yöntemi	50
2.5.6	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi	50
2.5.7	Montaja Uygun Tasarım Çözüm Önerileri	56
BÖLÜM 3 MONTAJA UYGUN TASARIM UYGULAMASI.....		64
3.1	Sistem Hakkında Genel Bilgi	64
3.2	Endüstriyel Uygulama ve Tasarımlar	66
3.2.1	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine Göre Tasarım 1.....	69
3.2.2	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine Göre Tasarım 2.....	70
3.2.3	Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemine Göre Tasarım 1 ...	71
3.2.4	Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemine Göre Tasarım 2 ...	72
3.2.5	Tasarımların Değerlendirilmesi.....	73
3.2.6	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine Göre 1 Nolu Kriko Tasarımı	73
3.2.7	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine Göre 2 Nolu Kriko Tasarımı	73
3.2.8	Örnek Kriko Tasarımlarının Değerlendirilmesi.....	73
BÖLÜM 4 SONUÇ VE ÖNERİLER		80
KAYNAKLAR		81
EK-A.....		83

EK-B.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	88

SİMGE LİSTESİ

- E** : Montaj edilebilirlik değerlendirme oranı
K : Montaj maliyet oranı
E_{ma} : MUT indeksi
N_{min} : Teorik minimum parça sayısı
t_a : Herhangi bir parça için ortalama montaj zamanı
t_{ma} : Toplam montaj zamanı
A : Elde edilebilirlik

KISALTMA LİSTESİ

- BDM** : Bilgisayar Destekli Mühendislik
MUT : Montaja Uygun Tasarım
BUT : Bakıma Uygun Tasarım
ÜUT : Üretime Uygun Tasarım
KUT : Kaliteye Uygun Tasarım
ÇUT : Çevreye Uygun Tasarım
GUT : Güvenilirliğe Uygun Tasarım
KFY : Kalite Fonksiyon Yayılımı
OHTEA : Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi
CAD : Computer Aided Design
DFA : Design For Assembly
DFMt : Design For Maintainability
DARPA : Defence Advance Research Projects Agency
IDA : Institute Defence Analyses

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Sıralı mühendisliğin akış şeması..... 6
Şekil 2.2	Bir ürünün yaşam döngüsündeki karakteristik maliyet eğrileri 7
Şekil 2.3	Eş Zamanlı Mühendislik Yaklaşımının Geleneksel Geliştirme Yöntemleriyle Karşılaştırılması 12
Şekil 2.4	Geleneksel (Sıralı) Mühendislik Ürün Geliştirme Faaliyeti 13
Şekil 2.5	Eş Zamanlı Mühendislik Ürün Geliştirme Faaliyeti 14
Şekil 2.6	Geleneksel Mühendislik ve Eş Zamanlı Mühendislik İçin Zamana Göre Tasarım Değişikliği Sayısı..... 15
Şekil 2.7	Geleneksel Mühendislik ve Eş Zamanlı Mühendislik için Zamana Göre Harcama 16
Şekil 2.8	Eş Zamanlı Mühendislik Yardımıyla Kısaldan Geliştirme Zamanları 16
Şekil 2.9	Eş Zamanlı Mühendisliği Etkileyen Faktörler 18
Şekil 2.10	Eş Zamanlı Mühendisliğin 8 prensibi 20
Şekil 2.11	Ürün pazara girmeden önceki aylardaki geliştirme süreleri..... 23
Şekil 2.12	Tasarım Koordinasyonu 25
Şekil 2.13	Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu..... 35
Şekil 2.14	Olası hata türü ve etkisi analizi akış şeması 37
Şekil 2.15	Tasarım Geliştirme Adımları 43
Şekil 2.16	Tüm Montaj Metotları için Üretim Hacmi Aralıkları 45
Şekil 2.17	Farklı Montaj Yöntemlerinin Üretim Hacmine Göre Relatif Üretim Maliyetleri 46
Şekil 2.18	Üç pimli bir elektrik fişinin montaj resmi..... 51
Şekil 2.19	Parça boyutlarının elle taşıma zamanına etkisi 53
Şekil 2.20	Parça kalınlığının elle taşıma zamanına etkisi..... 54
Şekil 2.21	Parça sayılarının azaltılmasına ait örnek..... 57
Şekil 2.22	Montaj yönlendirme yapılmalı..... 58
Şekil 2.23	Elle ulaşılamayan yerlere parça montajı 58
Şekil 2.24	Montaj yapılacak parçanın sabitlenmesi 59
Şekil 2.25	Montajda piramit modeli..... 59
Şekil 2.26	Köşe temaslarından kaçınılmalıdır 60
Şekil 2.27	Montaj hareketlerinin kolaylaştırılması..... 60
Şekil 2.28	Elastik elemanla yapılmış iyi bir tasarım ve toleransın azaltılmasıyla parça sayısında azalma 61
Şekil 2.29	Montaj hareketlerinin azaltılmasına ait bir örnek..... 61

Şekil 2.30	Montaj yapılacak yüzeye kolay erişim örneği	61
Şekil 2.31	Tek parçalı tasarımlar yapılmalı	62
Şekil 2.32	Gereksiz dar toleransların ortadan kaldırılması	62
Şekil 2.33	Kullanılan takım sayısı ve çeşitliliği	63
Şekil 3.1	Kablo ağı üretim panoları	66
Şekil 3.2	Mevcut büyük palet kapatma sistemleri	67
Şekil 3.3	Mevcut küçük palet kapatma sistemleri	67
Şekil 3.4	Genel tasarım aşamaları	68
Şekil 3.5	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi için önerilen 1 numaralı tasarım	69
Şekil 3.6	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi için önerilen 2 numaralı tasarım	70
Şekil 3.7	Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi için önerilen 1 numaralı tasarım	71
Şekil 3.8	Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi için önerilen 2 numaralı tasarım	72
Şekil 3.9	Önerilen 1 numaralı tasarım için kapak açısı	75
Şekil 3.10	Önerilen 2 numaralı tasarım için kapak açısı	75
Şekil 3.11	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi için önerilen 1 Nolu Kriko Tasarımı	76
Şekil 3.12	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi için önerilen 2 Nolu Kriko Tasarımı	77
Şekil 3.13	1 nolu kriko tasarımının kapalı gösterimi	79
Şekil 3.14	2 nolu kriko tasarımının kapalı gösterimi	79

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1	Hitachi değerlendirme sembolleri ve ceza puanları 49
Tablo 2.2	Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme örneği 49
Tablo 2.3	Üç pimli bir elektrik fişinin MUT indeksi tablosu 52
Tablo 2.4	Çeşitli parçalar için alfa ve beta dönel simetri açıları..... 56
Tablo 2.5	En Sık Çelişen Montaj Değişkenleri ve Açıklamaları..... 56
Tablo 2.6	Montaj Ekleme ve Bağlama için Tasarım Klavuzu 57
Tablo 3.1	Önerilen 1 numaralı tasarım için Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi tablosu..... 69
Tablo 3.2	Önerilen 2 numaralı tasarım için Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi tablosu..... 70
Tablo 3.3	Önerilen 1 numaralı tasarım için Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme tablosu..... 71
Tablo 3.4	Önerilen 2 numaralı tasarım için Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme tablosu..... 72
Tablo 3.5	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine göre Yeni tasarımların karşılaştırılması..... 73
Tablo 3.6	Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemine göre Yeni tasarımların karşılaştırılması 74
Tablo 3.7	1 Nolu Kriko Tasarımı için Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi tablosu 76
Tablo 3.8	2 Nolu Kriko Tasarımı için Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi tablosu 77
Tablo 3.9	Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine göre kriko tasarımlarının karşılaştırılması..... 78
Tablo A.1	Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi elle taşıma zamanı tablosu 114
Tablo A.2	Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi elle ekleme zamanı tablosu..... 115
Tablo B.1	Parçaların Hareket Yönlerine Göre Hitachi Montaj Değerlendirme Ceza Puanları ve Sembolleri 117
Tablo B.2	Fikstür ve Form Gereksinimlerine Göre Hitachi Montaj Değerlendirme Ceza Puanları ve Sembolleri 117
Tablo B.3	Ekleme Yöntemlerine Göre Hitachi Montaj Değerlendirme Ceza Puanları ve Sembolleri..... 117
Tablo B.4	Hitachi Montaj Değerlendirme Yöntemine Göre Ceza Puanı Olmayan Diğer Semboller 117

MAKİNA KONSTRÜKSİYONUNDA İMALAT VE TASARIMIN EŞ ZAMANLI UYGULAMASININ İNCELENMESİ

Oktay TENKECİ

Makine Mühendisliği Konstrüksiyon Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Berna BOLAT

Günümüzde, tasarım ve üretim süreçlerinin birleştirilmesi için çeşitli yöntem ve prosedürler geliştirilmekte ve eşzamanlı mühendislik uygulamalarından yararlanılmaktadır. Bu çalışmada da eş zamanlı mühendisliğin önemi, uygulama alanları ve diğer yöntemlerden farkları üzerinde durulmuş ve örnek bir çalışma yapılarak sonuçlar verilmiştir.

Bu çalışmanın birinci bölümünde ürün geliştirme yöntemleri, eş zamanlı mühendislik kavramı, eş zamanlı ile geleneksel (sıralı) mühendisliğin hedefleri ve yalın üretim ile ilişkilendirilmesinden bahsedilmektedir.

İkinci bölümde eş zamanlı mühendislikte tasarım yöntemlerinden biri olan Montaja Uygun Tasarım (MUT) yönteminin genel yapısı, avantajları ve dezavantajlarıyla açıklanmış, uygulama tipleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve örnekler verilmiştir.

Üçüncü bölümde otomotiv yan sanayinin önemli bir kolu olan harness (kablo ağı) üretim fabrikalarının palet kapatma sistemlerinde kullanılan üst kapak gruplarında Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi ve Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi dikkate alınıp 3 boyutlu bilgisayar destekli tasarım (BDT) programı olan CATIA V5 R18 yazılımı kullanılarak çeşitli tasarım yenileme uygulamaları ve karşılaştırmalarına yer verilmiştir.

Dördüncü ve son bölümde de uygulamalardan elde edilen sonuçlar verilmiş, MUT yönteminin ortaya koyduğu tasarım kriterlerinin geçerliliği tartışılmış ve bu yöntemi kullanmanın ürün tasarım sürecine yaptığı pozitif etkilerden bahsedilmiştir.

**STUDY OF SIMULTANEOUS PRODUCTION AND DESIGN APPLICATION ON
MACHINE CONSTRUCTION**

Oktaý TENEKECİ

Department of Mechanical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assis. Prof. Dr. Berna BOLAT

In the first chapter of this work, product development methods and what is the concept concurrent engineering, why the emergence, history, what is targeted with concurrent and traditional(sequential) engineering and referred to being associated with lean manufacturing.

In the second chapter, which is one of the concurrent engineering design methods Design For Assembly (DFA), the overall structure of methods, explained advantages and disadvantages, application types and examples are described in detail. In the last part of this section, design criteria of DFA are listed together with examples. What kind of businesses providing benefits, what should be done to achieve these benefits and covers technologies that support concurrent engineering.

In the third chapter, taking into consideration of Boothroyd&Dewhurst DFA Method and Hitachi DFA Method, using the top cover groups of pallet which is used in harness (cable network) systems that is an important arm of automotive supply industry. The applications have been done and some parts or some subassemblies has been redesigned using Catia V5 R18 as 3D CAD software and the applications have been compared with each other.

In the fourth and final chapter, in the light of the results, method of DFA criterias have been discussed and during the product design process, the positive effects of using these methods have been mentioned.

1.1 Literatür Özeti

Eş zamanlı mühendislik, pazar veya müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak yüksek kaliteli, düşük maliyetli ürünlerin dizaynı, üretimi, geliştirilmesi ve dağıtılması için uygulanabilecek bir metodolojidir.

Ürünlerin eskiye göre çok daha karmaşık hale gelmesi ve bir kişi ya da bölüm tarafından tamamen anlaşılmasının güçleşmesi nedeniyle ürün tasarımının çok uzun sürmesi, üretimin maliyetli olması ve ürünün beklenenleri ya da taahhüt edilenleri yerine getirmemesi, dolayısıyla müşterilerin memnun edilememesi sıkıntı oluşturan etmenler haline gelmiştir. Etkin ürün geliştirme farklı işletme fonksiyonlarının birlikte çalışmalarını gerektirir. Tasarım ve üretim tekniklerindeki gelişmeler, teknolojideki hızlı değişimler, ürün çeşitliliğindeki hızlı artışlar, müşteri ihtiyaçlarındaki değişimler, aynı pazarda faaliyet gösteren şirketlerin sayısının artması, pazar koşullarındaki değişiklikler gibi zor koşullarda şirketlerin uluslararası pazarlardaki paylarını koruyabilmeleri ve böylesi rekabetçi ortamlarda ayakta kalabilmeleri çok zorlaşmıştır. İşte böylesi koşullarda Ar-Ge çalışmalarına, yeni üretim tekniklerine, yeni ve çabuk ürün geliştirmeye önem veren şirketler bu rekabette başarılı olmaktadır. Hiç şüphesiz ki tasarım yapma ve ürün geliştirme faaliyetlerine başarılı ve çabuk sonuç alma anlamında sınıf atlattıran temel faktör, bilgisayar destekli mühendislik (BDM) uygulamaları ve bu çatı altında kendine önemli bir yer edinen eşzamanlı mühendislik kavramıdır. Hızla değişen ve küreselleşen pazar ortamında, üstün teknoloji ve düşük maliyetin ön plana çıkması işletmeler arası rekabetin artmasına yol açmıştır.

Son yıllarda, tasarım ve üretim süreçlerinin birleştirilmesi için önemli çabaların sarf edildiği, dikkate değer çalışmaların yapıldığı, çeşitli yöntem ve prosedürlerin geliştirildiği bir süreç olmuştur. Bu süreçte ortaya çıkan yöntemler, tasarım faaliyetini üretimin ilk basamağı olarak kabul etmekte olup bu konuda eşzamanlı mühendislik uygulamalarından yararlanmaktadır.

Willem Gijssels ve Warren R. De Vries, 1993 yılında yaptıkları “Design and Application of a Prototype System for Concurrent Engineering in a Small Firm” adındaki çalışmalarında, esnek üretim sistemi ile üretilen küçük mekanik parçaların tasarımı ve kullanımı için bir veritabanı yapısı önermişlerdir. Veritabanı araçları ve fikstür için parça tasarımları, modeller ve geometrik modeller üzerinde bilgi toplanıp imalat faaliyetleri ve eş zamanlı olarak geliştirilen ayrıntılı bir imalat süreci planlanmaktadır. Bu çalışmalarında, veri yapı tasarımı ve bu sistemi uygulamak için yapılan planlama varsayımları özetlenmekte ve gerçekçi parça tasarımları uygulanarak gösterilmektedir[1].

P.C. Stadzisz ve J.M. Henrioud, 1998 yılında yaptıkları “An integrated approach for the design of multi-product assembly systems” adlı çalışmalarında, çoklu ürün montaj sistemleri tasarımlarında entegrasyon sorunlarının giderilmesini anlatmaktadır. Ürün tasarımları ve montaj sistemi ailelerini desteklemek için entegre bir yaklaşımın temel özellikleri açıklanmıştır. Tasarım geliştirme, hem ürün hem de süreç etki alanının hiyerarşik bir ilerlemesi olarak kabul edilmektedir. Her ürünün tasarımı aşamada, kısmi montaj planları oluşturulur ve tasarım kararlarının sonuçlarını değerlendirilir. Bu nedenle, gelecek vaat etmeyen montaj stratejileri erken dönemlerinde iptal edilebilir ve montaj süreçleri ile ilgili kısıtlamalar yeniden değerlendirilerek ürün tasarımı için tekrar kullanılabilir. Montaj karmaşıklığı ile ilgili olarak klasik tasarım kriterleri ile birlikte, çalışma sonunda, çoklu ürün montaj sistem tasarımı için “gerekli esneklik minimizasyonu” adı verilen yeni bir kriter önerisinde bulunulmuştur[2].

M.Ulugergerli, 2009 yılında “Eş Zamanlı Mühendislikte Montaja Uygun Tasarım ve Uygulaması” adlı Yüksek Lisans Tez çalışmasında, cam üretim sanayisinde kullanılan bir otomasyon makinasının cam kalıp tutucu ve kalıplarında yeniden tasarıma gitmiştir. Yeni tasarım daha önce bahsedilen montaja uygun tasarım kuralları ve değerlendirme metodu olan Boothroyd & Dewhurst yöntemi dikkate alınarak yapılmıştır. Daha sonra

eldeki eski verilerden ve yeni elde edilmiş verilerden tablolar hazırlanıp, karşılaştırmalar yapılmıştır[3].

A.Özdemirkan, 2008 yılında “Bilgisayar Destekli Mühendislikte Montaja ve Bakıma Uygun Tasarım ve Uygulaması” adlı Yüksek Lisans Tez çalışmasında, gıda sanayinin önemli bir kolu olan meyve suyu dolmuş fabrikalarının sıvı dolmuş ve paketleme sistemlerinde kullanılan makinelerin alt montaj gruplarında Boothroyd&Dewhurst montaja uygun tasarım yöntemi ve bakıma uygun tasarım yöntemlerini dikkate alarak çeşitli tasarım yenileme uygulamalarına gitmiş, ayrıca orijinal ve yeni tasarımlar arasında karşılaştırmalarda bulunmuştur[4].

C.Erdem İmrak, Ö.Salman, 2010 yılında “Asansör Kabin Kapılarının Montaja Uygun Tasarımı” adlı çalışmalarında, montaja uygun tasarım tekniğinin asansör kabin kapılarına uygulanmasını ele almışlardır. Bu çalışmalarında, mevcut ve önerilen kabin kapı mekanizmalarının parça sayısı, maliyet ve işlemlere göre kıyaslanması amaçlanmıştır[5].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temeli eş zamanlı mühendislik yöntemlerinin ortaya koyduğu yeni ürün geliştirme sürecine ait tasarım kriterlerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Bu temel kapsamında; eş zamanlı mühendislik yöntemlerinden Montaja Uygun Tasarım yönteminin, örnek tasarımlarla, otomotiv yan sanayide var olan bir sisteme uygulanması ardında da tasarım kriterlerinin geçerliliğinin irdelenmesi, montaj süresi ve montaj maliyetlerinde azalma sağlanması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Çalışmanın birinci bölümünde öncelikle ürün geliştirme teknikleri anlatılacak ve bu tekniklerden olan sıralı mühendislik ile eşzamanlı mühendislik arasındaki farklar açıklanacaktır. Bölümün devamında eşzamanlı mühendislik kavramının anlamı, içeriği, uygulanmasını gerekli kılan nedenler belirtildikten sonra eşzamanlı mühendislik yönteminin uygulama teknikleri açıklanacak ve ilerleyen bölümlerde bu tekniklerden montaja uygun tasarım (MUT) ve bakıma uygun tasarım (BUT) detaylı olarak incelenecektir.

İkinci bölümde önce MUT'un metodolojisi açıklanacak daha sonra bu yöntemin içeriği ve teknik özellikleri ortaya konulup bu yöntemi kullanan IPA Stuttgart Yöntemi, Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi, Lucas Değerlendirme Yöntemi, Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi gibi yöntemler detaylı olarak incelenip olumlu ve olumsuz yanları, verimlilikleri, geçerlilikleri tartışılacaktır. Bölümün sonunda da MUT yöntemi uygulamalarının başarılı olması için gerekli görülen genel kriterler sıralanıp bunlar örneklerle açıklanmaya çalışılacaktır.

Üçüncü bölümde de bu bölüme kadarki elde edilen teorik bilgiler ışığında yapılan uygulama çalışmaları anlatılacaktır.

Son bölümde ise yapılan uygulama çalışmaları doğrultusunda eski tasarımlar ve yeni tasarımlar arasında üretim maliyeti açısından, montaj maliyeti açısından, montaj verimliliği açısından, bakıma uygunluk açısından, parçaların güvenilirliği açısından çeşitli kıyaslamalar yapılacak ve önceki bölümlerde açıklanan MUT kriterlerinin geçerliliği tartışılacaktır.

BÖLÜM 2

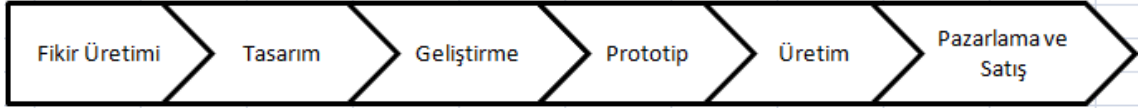
ÜRÜN GELİŞTİRME YÖNTEMLERİ

Günümüzün rekabetçi ve değişken endüstriyel ortamında, müşterilerin istek ve ihtiyaçları doğrultusunda ürünler sürekli bir değişim içerisinde. Ürünlerin sürekli yenilediği ortamda tasarım ve yenilik konularına ilginin gittikçe artması kaçınılmazdır. Ürün geliştirme sürecinin önemli bir alt süreci olarak kabul edilen tasarım, ürün yenileme sürecinin temel bir fonksiyonudur ve iş performansının ve rekabet edilebilirliğin gelişmesi için uygulanır. Ürün tasarımlarının etkinliğini artırmak amacıyla ürün tasarımına destek teknikler kullanılmaktadır.

Globalleşen ekonomi, şirketleri daha rekabetçi ve daha çevik şirketler olmaya zorlamaktadır. Globalleşmenin sonucunda ortaya çıkan müşteri isteklerinin farklılaşması, ürünlerin hayat çevrimlerinin kısılması gibi olgular şirketlerin yeni ürün geliştirme konseptini tamamıyla değiştirmiştir. Artık günümüzde yeni ürün geliştirme, maliyet ve zamanın içinde bulunduğu zor bir denklem haline dönüşmüştür. Nitekim endüstriyel ürün geliştirme, iş prosedürlerinin, değişen talepler doğrultusunda, sürekli iyileştirilmesini gerekli kılmaktadır.

2.1 Sıralı (Ardışık) Mühendislik

Sıralı mühendislik, klasik ürün geliştirme yöntemine verilen isim olup bu yöntemde proses adımları teker teker sırası ile uygulanır. Şekil 2.1'de sıralı mühendisliğin akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Sıralı mühendisliğin akış şeması

Sıralı mühendislikte tüm departmanlar birbirinden ayrılmıştır ve bilgi akışı sıralamaya göre gerçekleşir. Sıralı mühendislikte tasarımın ortaya çıkma süresi uzundur. Bu zaman zarfı içerisinde ortaya çıkan yenilemeler ve düzenlemeler için tüm proses adımları en baştan alınmalıdır. Dolayısıyla yeni yatırımlar ve harcamalar ortaya çıkmaktadır; bu da tasarım süresinin uzamasına, ürünün pazara geç sokulmasına her şeyden önemlisi maliyetin artmasına neden olmaktadır. Tüm bunların dışında, tasarım aşamasında servis ve bakım maliyetleri göz önüne alınmadan tasarım yapılması sadece müşteri şikayetleri doğrultusunda iyileştirmeler yapılması kalite sorunlarına neden olmaktadır.

2.2 Eş Zamanlı Mühendislik

2.2.1 Eş Zamanlılık

Eş zamanlılık kavramı öncelikle mühendislik alanında kullanılan yeni bir mühendislik yaklaşımı olarak tanınmakla birlikte, aslında hayatın her aşamasında karşımıza çıkan ve kullanılan bir tekniktir.

Eş zamanlılık rekabet söz konusu olduğunda ön plana çıkmakta ve yoğun kullanım alanı bulmaktadır. Rekabet, rakiplerden ve bir önce ürettiğinden daha kısa sürede, daha kaliteli ve daha az maliyetle üretmeyi zorunlu kılmaktadır. Bunları sağlayabilmek için de eş zamanlı yaklaşım, günümüz koşullarına ayak uydurmak isteyen yöneticilerin yeni stratejisi olmuştur. Eş zamanlı düşünme, tasarlama, üretme anlayışı özellikle bilimsel ve teknolojik düzeydeki AR-GE faaliyetlerini bütünleştirmeyi hedef alan bir stratejik mühendislik yaklaşımı olarak tasarlanmış, eş zamanlı mühendislik olarak adlandırılmış ve 80'li yıllarda yönetsel olarak tanımlanmıştır[9].

Eş zamanlı mühendislik, ürünün pazara en ucuz maliyette, en hızlı ve istenen kalitede sunulması gerekliliğinden doğmuş bir çalışma sistemidir. Bu sistemde ürünün üretim safhasına gelebilmesi için pazarlama, satış, imalat, servis, montaj gibi bölümlerden

uzmanlar bir araya gelerek; bir tasarım koordinatörüne bağlı olarak ürünün pazara sunulmasına kadar geçen sürede bir arada sorumluluklar almaktadırlar.

Eş zamanlı mühendislik yaklaşımı öncesinde izlenen geleneksel yöntemde her bölüm üzerine düşen görevi tamamladıktan sonra tasarımı bir sonraki bölüme aktararak tasarımı gerçekleştirmekteydi. Tasarım üzerinde ihtiyaç duyulan düzeltmeler tasarımın bir önceki bölüme geri gönderilmesiyle gerçekleştirmekteydi. Birden fazla aynı bölüme geri dönerek düzeltilen tasarım ise zaman ve işgücü kaybına neden olduğundan maliyetleri artırmaktaydı; çünkü tasarımın sonuca ulaşma zamanı, tasarımın değişim sayısı ile doğru orantılıdır. Bu değişim sayısının en aza indirilmesi arayışı da bölümlerin bir arada bir takım olarak çalıştığı “eş zamanlı mühendislik” kavramını doğurmuştur. Böylece tasarım üzerinde yapılması gerekli değişiklikler, her bölümün fikrinin ortaya konularak yapılmasından dolayı, bölümler arasında koordinasyon sağlandıktan sonra gerçekleşmektedir. Bu da birbirinin ve sorumluluklarının farkında olan bölümlerin tasarım değişim sayısını azaltmaktadır.



Şekil 2.2 Bir ürünün yaşam döngüsündeki karakteristik maliyet eğrileri[21]

2.2.2 Eş Zamanlı Mühendislik Tanımları, Kültürü, Tarihçesi

1970'lerde ve 1980'lerde etkin bir üretim rekabet için öncelikle gerekli olan bir unsur olarak görülmekteydi. Bu yaklaşım, üretim maliyetinin minimizasyonuna ve ürün kalitesinin maksimizasyonuna dayanmaktaydı. Bu temel özellikler günümüzde halen önemini korumasına rağmen; temel odak noktası, üretim bakış açısından ürün bakış açısına kaymıştır. Bugün herkes tarafından bilindiği gibi yeni ürünleri daha sık piyasaya süren, piyasadaki ve teknolojideki değişikliklere daha çabuk uyum sağlayan, diğer işletmelere göre daha nitelikli mamuller işletmeler piyasanın hakimi olmaktadır. Eşzamanlı mühendislik burada önem kazanmaktadır; çünkü eşzamanlı mühendislik, yeni bir ürünün geliştirilmesine ve etkinliğinin artırılmasına yönelik bir bakış açısıdır.

Eş zamanlı mühendislik Japon kökenli bir felsefedir. Birçok Japon felsefesinde olduğu gibi Japonya' da uzun süre bir ismi olmadan kullanıldıktan sonra başta Amerika ve Avrupa olmak üzere diğer ülkelerde de kullanılmaya başlanmış ve ismi konmuştur.

Eş zamanlı mühendislik kavramı ilk olarak 1982'de Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) tarafından proses tasarımında eş zamanlılığı geliştirme yolları aranmaya başlandığında ele alınmıştır.

Bugün kullandığımız anlamda eş zamanlı mühendislik [Concurrent Engineering, Simultaneous Engineering veya Integrated Product Development (IPD)] ABD Savunma Analizleri Enstitüsü [Institute For Defence Analysis (IDA)] tarafından 1986 Aralık ayında yayınlanan "Silah Sistemleri Üretim Sürecinde Eş Zamanlı Mühendisliğin Rolü" isimli raporda ortaya atılmıştır[9,12].

1990'lı yıllarda, teknolojik gelişmelerin sağladığı verimlilik artışı, dünya pazarlarının küreselleşmesi, bilgi toplumuna geçiş aşamalarının yaşanması, ürün ömürlerinin giderek kısılması, pazara yeni ürünler sunma sürelerinin azalması ve sürekli değişen müşteri gereksinimleri ortaya çıkmış ve bu durum işletmeleri farklı yaklaşımlara yönlendirmiştir.

2000'li yıllara gelindiğinde ise, işletmelerin öncelikli amacı, fark yaratacak düşünceler üreterek, geleceğe önde varmak; bir anlamda mükemmeliyeti yakalamak olarak yeniden tanımlanmaktadır.

Eş zamanlı Mühendislik Tanımları

Eş zamanlı mühendislik, kalite ve maliyetin göz önünde bulundurularak ürünün tüm safhalarının belirlenmesini hedefleyen bir çalışmadır (Winner et al.,1998).

Eş zamanlı mühendislik, müşteri isteklerini karşılayan ürün gelişimini sağlayan bir sistematik yaklaşımdır (Cleetus&Ashley,1992).

Eş zamanlı mühendislik, sadece tasarım safhasında değil aynı zamanda tüm ürün oluşumu esnasında, ürün kalitesini tayin etmek ve arttırmak için kullanılan bir yöntemdir (Ellis,1992).

Eş zamanlı mühendislik, tasarım safhasında tüm ürüne ait özelliklerin eş zamanlı olarak göz önünde tutulduğu felsefedir. Bunu gerçekleştirmek için, problemleri belirleyen ve engelleyen çok disiplinli bir takım bir araya gelmektedir. Bu felsefe, ürünün kalitesini arttırmakta ve ürünün gelişim zamanını ve maliyetini azaltmaktadır (Aparicio J.M.,1996).

Eş zamanlı mühendislik, tasarım problemlerini belirlemek ve çözmek için doğru zamanda doğru kişileri bir araya getiren çalışma sistemidir. Bu sistem montaja, müşteri isteklerine, tamir edilebilirliğe, yönetilebilirliğe, performansa, kaliteye, güvenilebilirliğe ve ürünün diğer özelliklerine uygun tasarımının gerçekleşmesini sağlamaktadır(Demiryol, 1999)[4].

Yeni ürünlerin başarıyla geliştirilmesinde en kritik nokta, yeni takımların kullanılmasıdır. Yapılan ürüne uygun olan özel tezgahlar üretilmektedir, bilgisayarlar genellikle ürünün tasarımını gerçekleştirirken, takım üyeleri ürünü nasıl yapacaklarını planlamaktadır. Aynı zamanda bilgisayarlar ürünü ortaya çıkaran araçları yönetmektedirler. Ama birbirleriyle irtibatlı olana kadar bu özel tezgahlar, takımlar ve bilgisayarlar etkili değildir. Bilgisayarlar aynı lisanı kullanmalıdır. Eş zamanlı mühendislik bilgisayarlar ve gerekli teknolojilere ek olarak uzmanlardan oluşmuş takıma da ihtiyaç duymaktadır.

Otomasyon ve bilgisayar teknolojisi ise bazı problemlere sahip olmakla birlikte iletişimin gelişiminde büyük rol oynamıştır. Telefonun insanlar arasındaki iletişimi değiştirmesi gibi bilgisayarlar bu iletişime yeni bir boyut kazandırmıştır. Örnek olarak elektronik posta bireyler ve gruplar arasındaki güçlü iletişimi sağlamaktadır. Takımların elektronik toplantısıyla bireyler aynı zamanda aynı odada olmaksızın fikirlerini

sunabilmektedirler. Bilgisayar yazılımları yardımıyla bireyler arasında doküman alış verişi yapılabilmektedir. Çizimler, satın alma siparişleri ve teknik özellikler bilgisayarlar arasında hızlıca transfer edilebilmektedir. Böylece bireyler arasında kağıt gidiş gelişleri ortadan kaldırılarak zaman hızlandırılmış ve masalarda kağıtların beklemesi engellenmiştir.

2.2.3 Neden Eş Zamanlı Mühendislik?

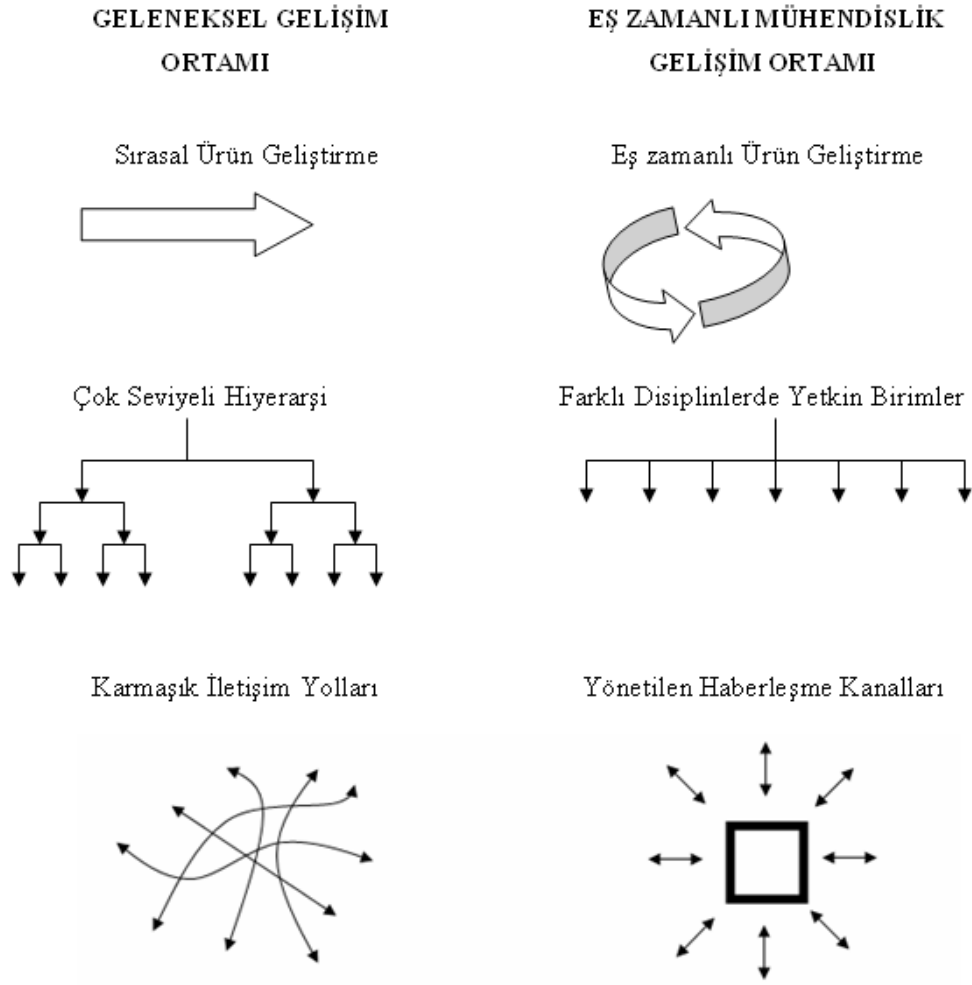
Ar-Ge çalışmalarını eşzamanlı mühendislik uygulamasının temel ögesi kılan ve eşzamanlı mühendisliğin uygulanmasını zorunlu hale getiren, organizasyonları değişime zorlayan faktörler pek çok farklı başlık altında toplanabilir.

- Küreselleşme ve dolayısıyla rekabetçi olabilmek,
- Organizasyonların yeniden yapılanması, faaliyet alanlarının yeniden şekillenmesi,
- Uluslararası ve bölgesel bütünleşmelerin önem kazanması,
- Yeni açılan pazarlar ve beraberinde getirdiği pazar payı kapma yarışı,
- Yeni teknolojik buluşlar,
- Dizayn araçlarındaki ve teknolojideki gelişme sonucu, daha iyi ürünlerin daha hızlı üretimi ile rekabet edilebilir taleplere cevap verme,
- İnsan hakları ve demokrasi alanındaki gelişmeler dolayısıyla organizasyonlarda insana saygının önem kazanması,
- Yeni teknoloji ürünü olan ürünlerin karmaşıklığının giderek artması ve buna bağlı olarak müşterilerin ürünlerin güvenilirliği, kalitesi, servis ve bakım konularındaki beklentilerinin artması,
- Çevre koruma olgusunun giderek önem kazanması ve ürünlerin bu koşullara bağlı olarak geliştirilmesi gereği,
- Ulusal ve uluslar arası düzeyde yeni kanuni düzenlemelerin gerektirdiği koşulların sağlanması zorunluluğu,

- Zamanın, şirketlerin üretiminde, yeni ürün geliştirmesinde, satış ve dağıtımda, rekabetçi avantajın en güçlü ve en yeni kaynağı olması.

2.2.4 Eş Zamanlı Mühendislik ile Geleneksel (Sıralı) Mühendisliğin Karşılaştırılması

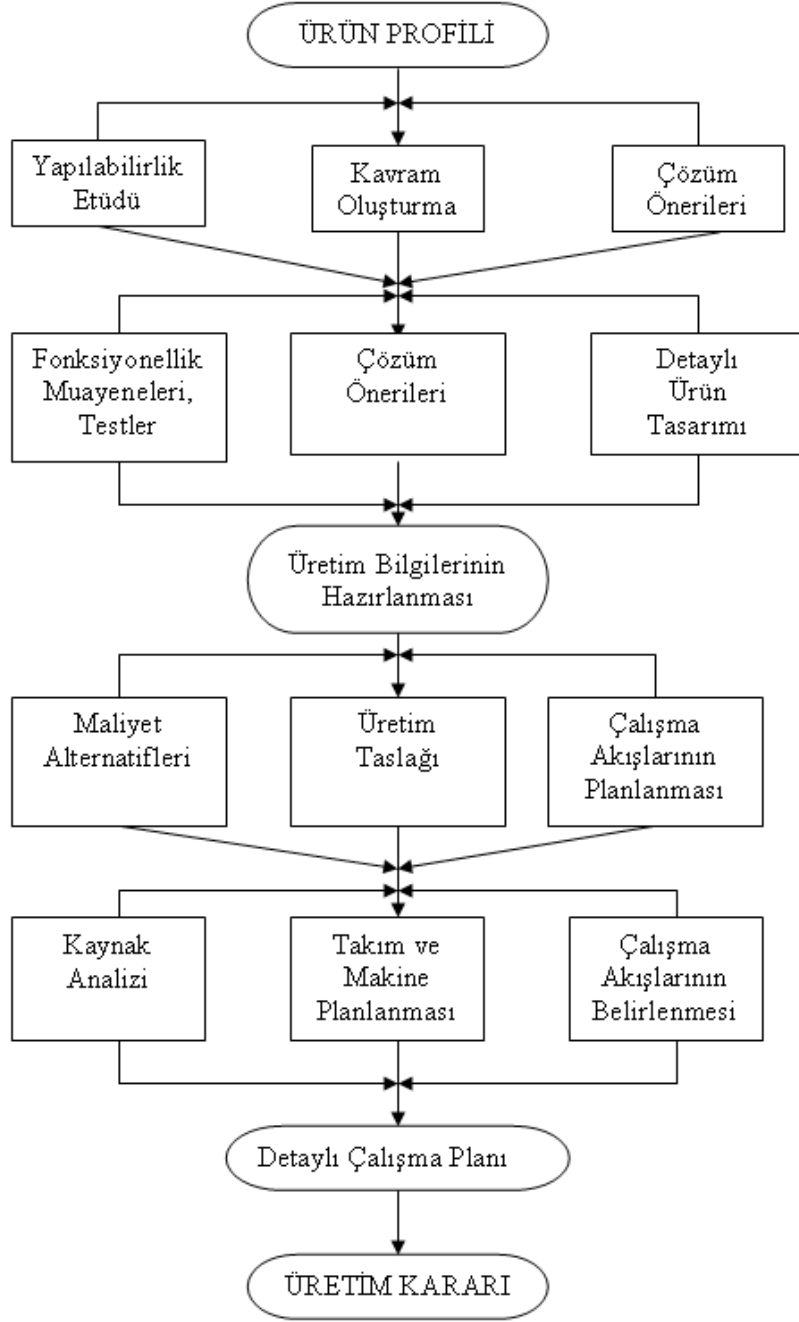
Son yıllarda geleneksel üretim modellerinde değişim ihtiyacı kaçınılmaz olmuştur. Geleneksel yaklaşımda ürün ardışık adımlarla, her biri değişik departmanda olmak üzere adım adım son halini alır. Bu geleneksel yöntemde iş yerindeki departmanlar birbirinden bağımsızdır ve aralarındaki iletişim oldukça sınırlıdır, teknik bir karar verildiğinde bunun sonradan daha iyi bir alternatif ile değiştirilmesi güçtür; çünkü böyle bir değiştirme için tüm sistemin yeniden ele alınması gerekir. Bu yöntemde ürün dizayn çalışmaları ve üretim ön hazırlık süresi oldukça uzun sürmektedir. Yeni bir ürün üretilebilmesi için uzun bir döngü söz konusudur. Ürünün dizaynındaki tek rol dizayn mühendisinindir. Dizayn mühendisleri geliştirdikleri ürünün istedikleri ölçü ve kapasitede olması için verileri imalat mühendislerine verirler. Bir sonraki basamak imalat mühendislerinin ürünün montaj hattını, üretim planını tasarlamalarıdır. Ancak tüm bu işlemler bittikten sonra bilgiler müşteriyle buluşmak üzere pazarlama departmanına verilir[9]. Faaliyetleri bittiğinde ilgili kişiler tasarım zincirinden ayrılırlar, bu nedenle tasarım erken aşamalarında bulunan kişiler daha sonraki aşamalarda çalışanlarla görüşmezler. Hataların tasarımın son ve de geri dönülmez aşamasında ortaya çıkması imalat masraflarını arttırabileceği gibi geliştirilen yeni ürün pazarın ihtiyaçlarına cevap vermeyebilir. Bu da imalatçıları global pazarda yer alabilmek için mühendislik yöntemlerini yeniden gözden geçirmeye ve sistemlerinde köklü değişiklikler yapmaya itmiştir. Böylece eş zamanlı mühendislik kavramı doğmuştur. Yani eş zamanlı mühendislik düşüncesinin çıkış nedeni; ürünlerin eskiye göre çok daha karmaşık hale gelmesi ve bir kişi ya da bölüm tarafından tamamen anlaşılmasının güçleşmesi nedeniyle ürün tasarımının çok uzun sürmesi, üretimin maliyetli olması ve ürünün beklenenleri yerine getirmemesi, dolayısıyla müşterilerin memnun edilememesi olmuştur. Geleneksel ürün geliştirme yaklaşımıyla eş zamanlı mühendislik yaklaşımı karşılaştırılmasını Şekil 2.3'te şu şekilde gösterebiliriz:



Şekil 2.3 Eş Zamanlı Mühendislik Yaklaşımının Geleneksel Geliştirme Yöntemleriyle Karşılaştırılması[9]

Geleneksel sistemde yaşanan dezavantajlar:

- Ürün geliştirme süresi uzundur.
- Üretim mühendislerinin prosese bir katkısı olmadan, yani henüz üretim başlamadan, tasarım aşamasından proje maliyetlerinin çoğu gerçekleşir.
- Ortaya çıkan son ürün müşteri taleplerine cevap vermekte yetersiz kalabilir.

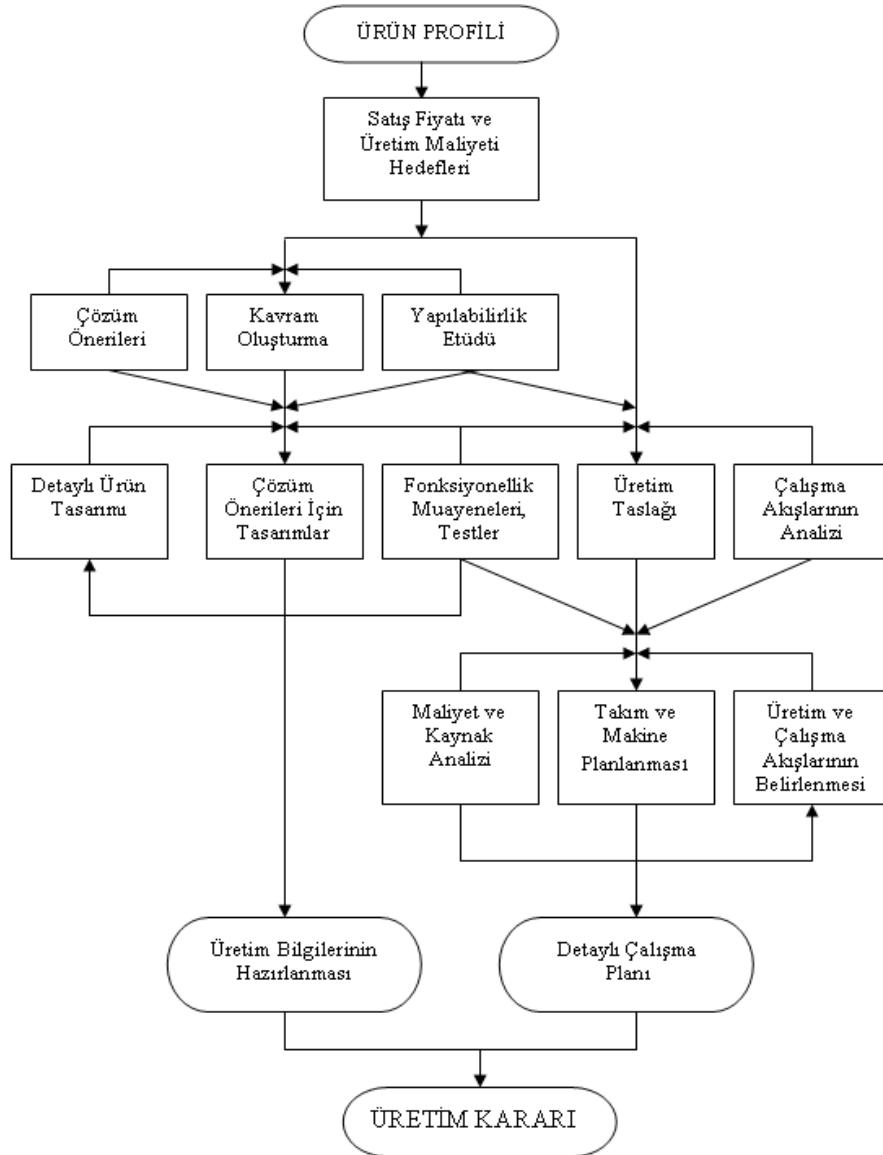


Şekil 2.4 Geleneksel (Sıralı) Mühendislik Ürün Geliştirme Faaliyeti[9]

Eş zamanlı mühendislik geleneksel (sıralı) mühendisliğin departmanlar arası duvarlarını yıkmıştır. Bunu sağlayan takım yapısıdır. Takımlar sayesinde artık mühendisler sıralarını beklememekte, bir arada çalışarak ileride oluşabilecek problemleri önceden görüp çözümler üretmektedirler. Problemlerle reaktif değil proaktif davranılması yani problemi ortaya çıkmadan belirle ve yok et mantığı ancak takım çalışmasıyla mümkündür.

Eş zamanlı mühendislik, üretim süreci içindeki çok çeşitli takımları bir araya getirerek üretimin başından sonuna kadar her aşamasında birlikte düşünme ve karar verme sürecini oluşturur.

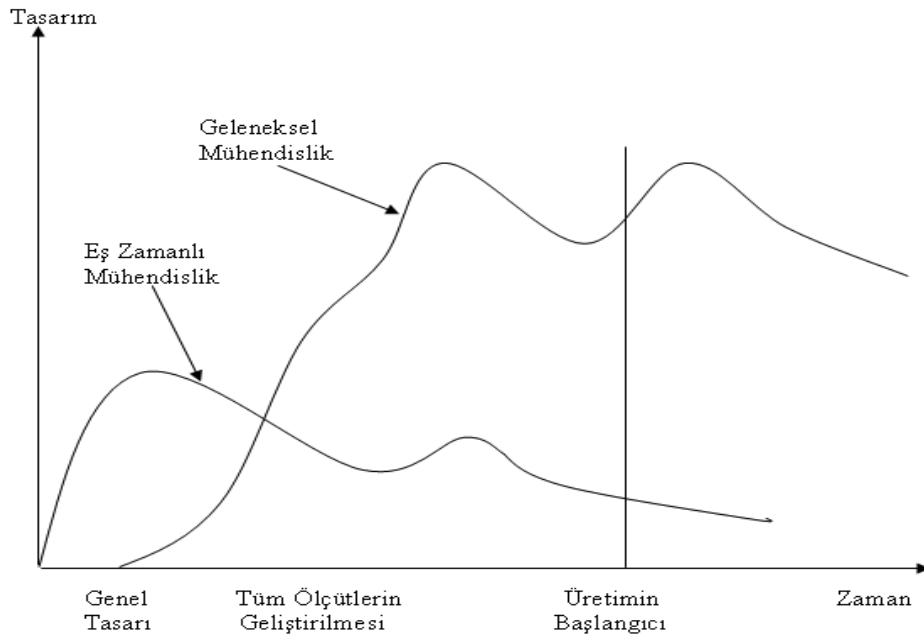
Eş zamanlı mühendislikte ürün geliştirme faaliyetleri Şekil 2.5'te gösterildiği gibi kalite, maliyet, üretilebilirlik, test edilebilirlik, servis kolaylığı, müşteri istekleri parametrelerinin aynı zamanda optimize edilmesi çerçevesinde yapılır. Bu sayede dizayn sonrası aşamalarda çıkabilecek problemler minimize edilir ve yeni ürün geliştirmede pazara giden süreç kısalmır. Düşük maliyetli, kaliteli, kolay üretilebilir test edilebilir ürünler sayesinde karlılık artar ve rekabette öne geçilir.



Şekil 2.5 Eş Zamanlı Mühendislik Ürün Geliştirme Faaliyeti[9]

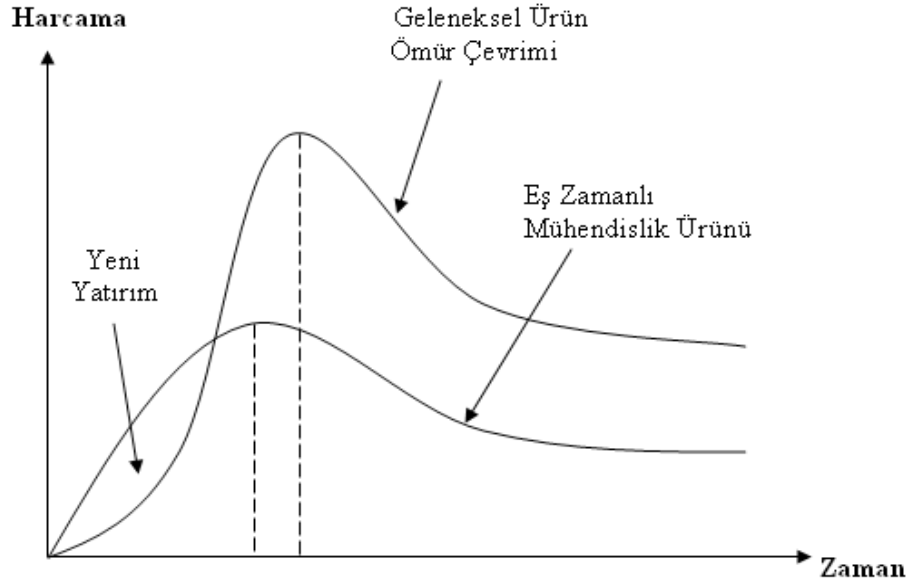
Geleneksel mühendislikte, ürün tanımlanmasına oldukça kısa zaman ayrılmaktadır. Böylece ürün tasarımında ve beklenmedik bir şekilde yeniden tasarımda epeyce uzun zaman harcanmaktadır.

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi tasarıma ayrılan kısa zaman üretime başladıktan sonra isteklerine uygun olmadığından veya üretilebilirliği olmadığından yeniden tasarım gerekmektedir. Tasarım sürecini kısaltabilmek için ürünün daha iyi tanımlanması ve tasarım sürecinde daha iyi bir belgeleme gerekmektedir. Aksi halde tasarım başlangıcında ayrılan kısa zaman daha fazla tasarım değişikliğine neden olmaktadır. Eş zamanlı mühendislik ile ilk tasarıma daha fazla zaman ayrılmakta ve böylece ilerleyen aşamalarda daha az tasarım değişikliği gerekmektedir. Böylece ürün daha kısa sürede pazara sunulabilmektedir.

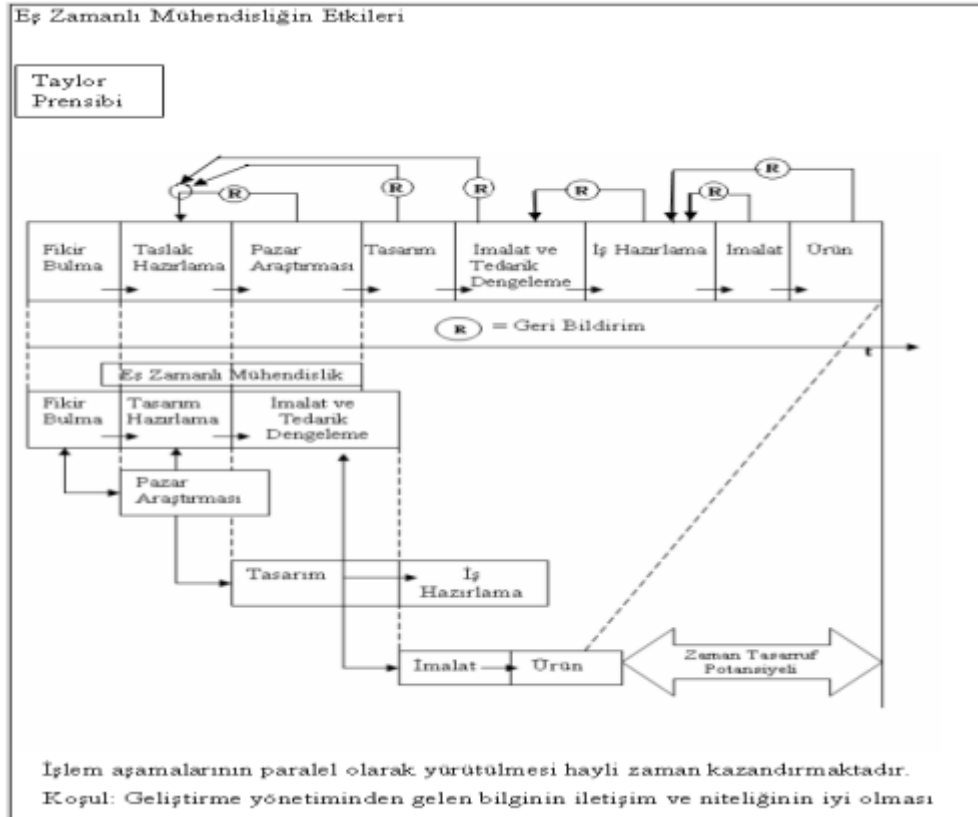


Şekil 2.6 Geleneksel Mühendislik ve Eş Zamanlı Mühendislik için Zamana Göre Tasarım Değişikliği Sayısı[9]

Geleneksel mühendislikte, ürün tanımlanmasına kısa zaman ayrılması tasarım değişikliği sayısını arttırmaktadır. Böylece daha fazla tasarım değişikliği Şekil 2.7'de görüldüğü gibi maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Eş zamanlı mühendislik ile ürünün daha iyi tanımlanması ve tasarım sürecinde daha iyi bir belgeleme yeniden tasarım sayısını azaltmakta ve sonuçta daha kısa sürede ve daha az maliyetle tasarım gerçekleştirmektedir.



Şekil 2.7 Geleneksel Mühendislik ve Eş Zamanlı Mühendislik için Zamana Göre Harcama[9]



Şekil 2.8 Eş Zamanlı Mühendislik Yardımıyla Kısalan Geliştirme Zamanları[9]

Şekil 2.8’de Taylor Prensibine göre geleneksel sıralı mühendislik ile eş zamanlı mühendisliğin zaman tasarrufu açısından değerlendirilmesi gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi geleneksel yöntemde çok sayıda geri bildirim görülmekte bu da zaman kaybına neden olmaktadır.

2.2.5 Eş Zamanlı Mühendislik ve Yalın Üretim

Yalın üretim; yapısında hiçbir gereksiz unsur taşımayan, hata, maliyet, stok, işçilik, geliştirme süreci, üretim alanı, fire, müşteri memnuniyetsizliği gibi unsurların en aza indirildiği üretim sistemi olarak tanımlanmaktadır.

Yalın üretim, “En az kaynakla, en kısa zamanda, en ucuz ve hatasız üretimi, müşteri talebine bire bir uyacak, yanıt verebilecek şekilde, israfsız ya da en az israfla ve tüm üretim faktörlerini en esnek şekilde kullanıp potansiyellerinin tümünden yararlanıp nasıl gerçekleştiririz?” arayışının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Yalın üretim modeli eş zamanlı mühendislik, tam zamanında üretim, toplam kalite yönetimi (TKY), sürekli artan gelişme (Kaizen) temel unsurlarına dayanmaktadır.

Yalın üretimin eş zamanlı mühendislik ile ilişkisi şöyledir:

Ürün tasarımı ve üretimi, fiziksel olarak ve zaman yönünden birbirinden ayrılmamıştır. Bir ürün geliştirme ekibinde, tasarımcı ve üretici arasında yüz yüze işbirliği yapılarak tüm hususlar birleştirilmekte ve uyumlu hale getirilmektedir. Böylelikle, zaman ve materyal israfı önlenmektedir.

2.2.6 Eş Zamanlı Mühendisliğin Amaçları

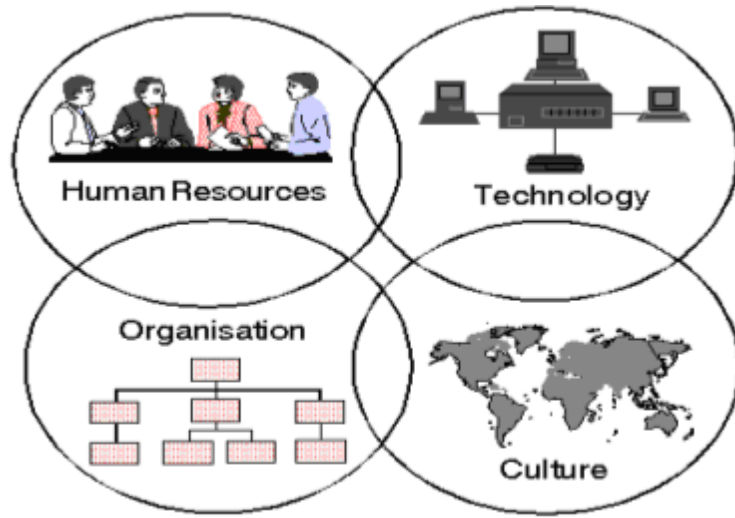
Eş zamanlı mühendisliğin amacı, en düşük maliyetle ve en yüksek kalitede, bir ürünü en kısa sürede piyasaya sunabilmek için ürün ve süreçlerin eş zamanlı tasarımının yapılmasıdır. Bir şekilde ifade edecek olursak müşterilerin istek ve beklentilerine uygun üretim yapabilmek için organizasyondaki tüm süreçlerin birlikte ve eş zamanlı ele alınması önerilmektedir.

Bu durumda eş zamanlı mühendisliğin temel amaçları;

- Toplam ürünün yaşam çevrim zamanının minimizasyonu,
- Kalitenin maksimize edilmesi,

- Tedarik zamanının azaltılması,
- Daha düşük maliyetler,
- Ürün ve proses tasarımının yatırım ile birlikte entegre edilmesi,
- Malzeme maliyetlerinin en aza indirilmesi veya malzeme ve işlerin optimum seçiminin yapılmasıdır.

2.2.7 Eş Zamanlı Mühendisliği Etkileyen Faktörler



Şekil 2.9 Eş Zamanlı Mühendisliği etkileyen faktörler

Eş zamanlı mühendisliğin dört temel ögesi vardır ;

- 1. Eşzamanlılık-İnsan Kaynakları (Concurrence):** Ürün ve süreç tasarımı paralel ilerler ve aynı zamanda oluşur.
- 2. Kısıtlar-Teknoloji (Constraints):** Süreç kısıtları ürün tasarımının bir parçasıdır.
- 3. Koordinasyon-Organizasyon (Co-ordination):** Ürün ve süreçler etkin olabilmek için koordine edilmelidir.
- 4. Uyuşma-Kültür (Consensus):** Kararlar bütün takımın katılımıyla alınmalıdır. Dolayısıyla ortak birtakım amaçlara sahip olunmalıdır. Eş zamanlı mühendislik sayesinde karar verme sorumluluğu örgütün en alttan üstte kadar her kademesinde vardır ve sorun çıktığında bilgi alışverişi tüm birimler arasında mümkündür.

2.2.8 Eş Zamanlı Mühendisliğin Avantajları

Eş zamanlı mühendislik sürecinin başlangıç aşamasının tamamlanması genellikle fazla zaman ve insan enerjisi gerektirmektedir. Buna rağmen az değişiklik gerektiren bir tasarım sağlamakla beraber nihai ürün daha ekonomik olmakta ve ürünün pazara sürülmesine kadar geçen zamanda tasarruf sağlamaktadır.

Bunun dışında eş zamanlı mühendislik:

- İşletmenin rekabet gücünü artırır.
- Ürünün geri bildirim zamanı kısalmı, dolayısıyla pazara sunum süresi kısalmı.
- Tasarım öncesinden başlayarak üretim ve kalite departmanlarının tasarlanan ürünle ilgili, kalite verilerinin tasarıma aksettirilmesi, üretimde hataların ortaya çıkma riskini ve kalitesiz ürün imalatını engeller.
- Düşük üretim maliyetiyle ürün ve hizmetlerin üretilmesini sağlar. Ayrıca ürün akışının hızlı ve düzenli hale getirilmesiyle işlem zamanı kısalmı.
- Eş zamanlı mühendislik çalışmasının tasarım aşamasında bilgisayar destekli simülasyonların kullanılmasıyla geliştirilen tasarımların test edilmesi mümkün olur. Böylece hatalı prototip üretime girmeden önce düzeltilir.
- Herhangi bir yanlış tasarım düşüncesi, fazla mühendislik zamanı boşa harcanan üretimin ilk safhalarında test edilir.
- Sıkça tekrarlanan ürün spesifikasyonlarından sapmalar önlenebilir.
- Son anda duyulacak pişmanlıklara son verilir.

Bu avantajlara ek olarak eş zamanlı mühendisliğin istatistiksel getirileri aşağıdaki gibidir:

Ürün Geliştirme: % 30 - % 70 daha az

Mühendislik Değişiklikleri: % 65 - % 90 daha kısa

Pazara Sunum Süresi: % 20 - % 90 daha çabuk

Toplam Kalite: % 200 - % 600 daha yüksek

Yatırım Karlılığı: % 20 - % 120 daha karlı

2.3 Eş Zamanlı Mühendislik Uygulama Süreci

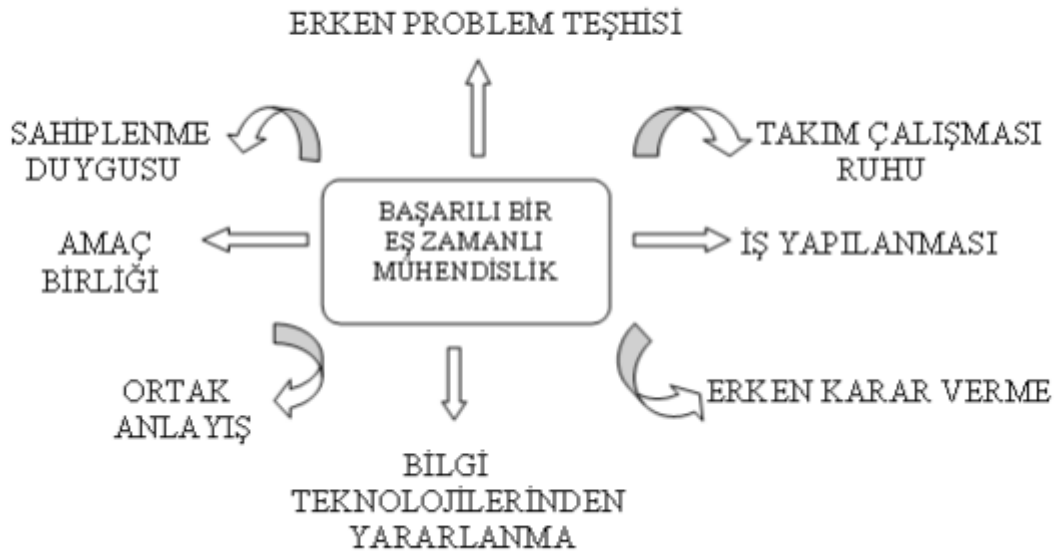
2.3.1 Eş Zamanlı Mühendislik Uygulamasındaki Önemli Noktalar

Eş zamanlı mühendisliğin uygulamaya konulmasında dikkat edilmesi gereken 3 önemli özellik bulunmaktadır.

Bunlar:

- Takım üyeleri arasında sıkı bir işbirliği
- Bilgi teknolojisinin uygulanması
- Mühendislik, pazarlama ve imalat süreçlerini içeren eş zamanlı prosesinin oluşturulması şeklindedir.

Bunların yanı sıra başarılı bir eş zamanlı mühendislik sistemi kurmak için gerekli 8 temel prensip şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Eş Zamanlı Mühendisliğin 8 prensibi

Bu maddelerin uygulanması sırasında dikkat edilmesi gerekli noktalar:

1. Klasik anlamda değişik departmanlardan gelecek bireylerin oluşturacağı, fonksiyonel bölümlerin ortadan kaldırılmadığı bir grup insan eş zamanlı mühendislik için bir ekip teşkil etmeyecektir. Bunlar arasında sağlıklı ve sürekli bir iletişim ağının da kurulması ve bunların yönetilmesi esastır.

2. Eş zamanlı mühendisliği başlatmak ve devam ettirmek kolay değildir. Büyük kültürel değişimin yanı sıra kendini adama ve disiplin gerektirir. Tipik kısa dönemli odaklanma unutulmamalıdır. Eş zamanlı mühendislik kültürü sürekli iyileştirmeyi hedefler. Gücünü sürekli iyileştirmeden alır. Ürün geliştirme aracında birleşmiş iş görenler arasındaki katılım çalışmasına, müşteri ve tedarikçilerle yakın ilişkilere dayanır.

3. Eş zamanlı mühendislik uygulaması en tepeden en alta kadar bütün örgütte bağlılık gerektirir. Tüm seviyede ortak bir dil konuşuluncaya kadar eğitim verilmelidir. Tekrar gerektirir; yöneticiler ve mühendisler organizasyona olan bağlılıklarını tüm ast ve üstlerine göstermelidirler.

4. Eş zamanlı mühendislik uygulamalarındaki diğer bir genel problemde ürün geliştirme takımındaki üyelerin hepsinin aynı yerde olmaması ve iletişimin istenilen düzeyde kurulamamasıdır. En iyi çözüm takım üyelerini birbirine yakın yerlere yerleştirmektir. Bu iletişimin sürekli olmasını sağlayacaktır.

5. Sadece resmi toplantı ve tasarı incelemeleri için değil, ürünün en az problemle pazara mümkün olduğu kadar çabuk sunulması için de takım ruhu gereklidir. Eğer takım üyeleri yakında bulunamıyorsa, en azından aralarında elektronik ağ ve e-posta ile iletişim kurulmalıdır.

6. Eş zamanlı mühendislik uygulandığında mühendisler; takım çalışmasının değeri eldeki görevlerin ve bölüm sadakatinin ötesinde amaç ve fikirlerin paylaşımı hakkında bilgilendirilmelidir.

2.3.1.1 Eş Zamanlı Mühendislik Çalışma Takımları

Eş zamanlı mühendisliğin temeli, mühendislik çalışmalarının değişik formasyonlara sahip mühendislerden oluşan disiplinler arası takımlar vasıtasıyla yürütülmesidir. Bu takım kültürü bir şirkette oluşmadıktan sonra eş zamanlı mühendislik uygulamasından bahsedilemez. Bir şirkette haberleşme ve bilgi iletim teknolojisi ne kadar ilerlemiş olursa olsun sadece günlük işlerin yürütülmesinde kullanılıyor olması şirketin bu alt yapıdan gerekli ve yeterli şekilde yararlanamadığını gösterir.

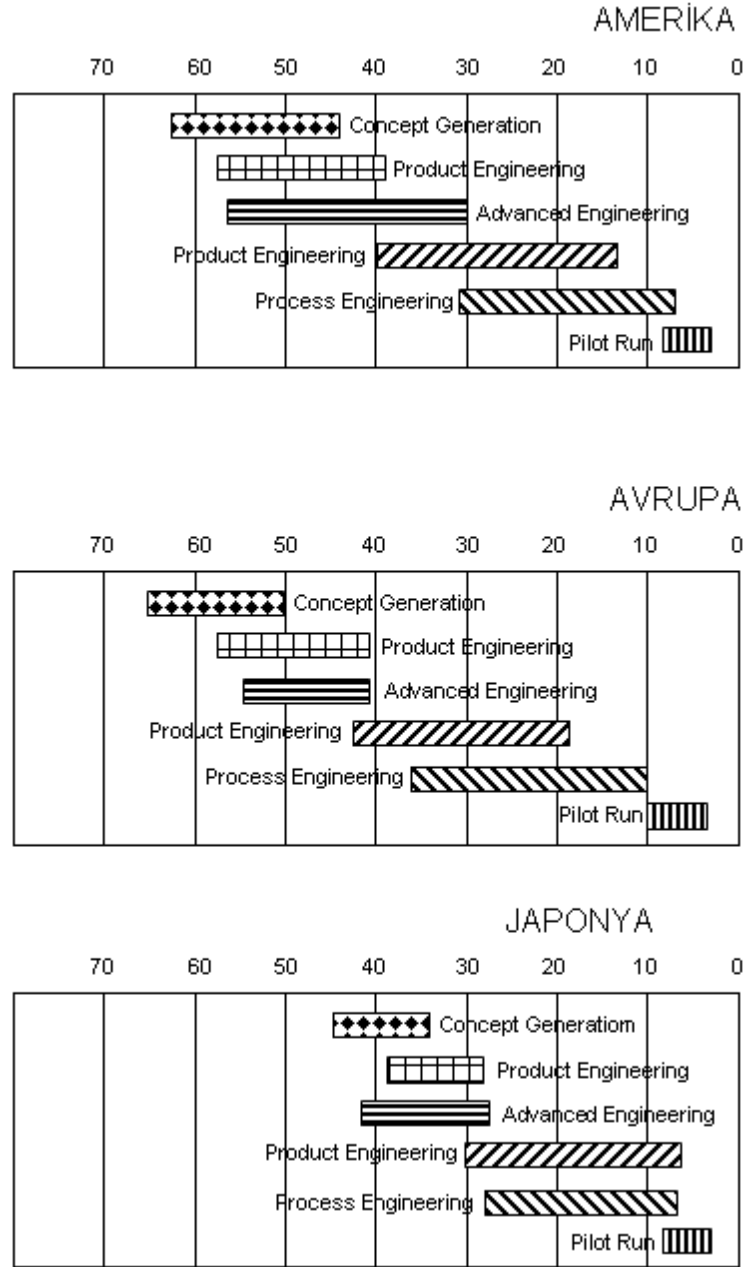
Takımları kurmak ve işler hale getirmek eş zamanlı mühendisliğin en önemli kriterlerindedir. Takımların sürekli olması esastır. Üyelerin haftanın belirli bir gününde

bir araya gelip daha sonra kendi departmanlarıyla ilgili işlerine döndüğü bir yapı takım olamaz. Bir takımın ortak; amacı, takım faaliyetlerinin şirketteki bağı anlayışı, takım üyeleri rolü anlayışı, bilgi paylaşımı, problem çözümü ve karar verme mekanizması, sabit çalışma ana noktaları veya davranış tipi olmalıdır.

Eş zamanlı mühendislik takımının anlaşılır bir yazılı rehberi olmalıdır. Rehberde şunlar yer almalıdır:

- Ürünün ana hatlarının özeti
- Rekabet durumu
- Takımın amacı
- Takımın hedefi
- Takımın yetkilerinin ne olduğu ve olmadığı
- Her üyenin rolü
- Problem çözme, karar verme, alet gereksinimleri, bütçe yetkisi derecesi
- Müdürün takıma karşı sorumlulukları
- Takım üyeleri ve takım dışı fonksiyonel grupların bilgi teftişi
- CEO veya yetkili kişilerin destek ve sorumlulukları

Takım çalışmasının önemi aşağıdaki tabloda da açıkça görülebilir. Takım çalışmasını başarıyla uygulayan Japon otomobil endüstrisi pilot üretimi Amerika ve Avrupa otomobil sektöründen daha hızlı gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 2.11 Ürün pazara girmeden önceki aylardaki geliştirme süreleri[9]

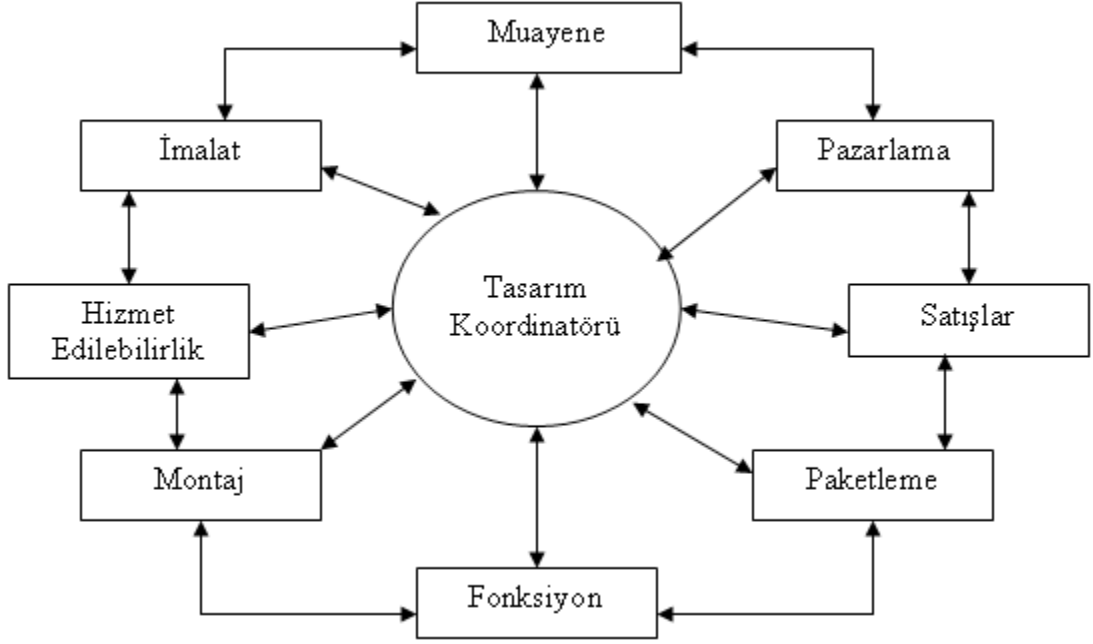
2.3.1.2 Eş Zamanlı Mühendislik Uygulama Adımları

1. Başlangıçta, tasarım çabasında aktif katılımcılar olarak tüm konu uzmanları kapsanır.
2. Geri dönülemez kararlar alma konusunda bu kararları almadan önce direnç gösterilir.
3. Ürün ve işlemin sürekli optimizasyonu yapılır.
4. İmal etmeyi kolaylaştıran ürün kavramları teşhis edilir.

5. İmalat ve montaj için bileşen tasarımı üzerine odaklanılır.
6. İhtiyaç ve talepleri en iyi eşleştiren imalat işlemi tasarımı ve ürün tasarımı bütünleştirilir.
7. Kavramlar, tüm kısıtları ifade eden imal edilebilir, satılabilir, kullanılabilir tasarıma dönüştürülür.
8. Fabrikasyon ve montaj yöntemleri ve problemleri önceden tahmin edilir.
9. Parça sayısı azaltılır.
10. Modeller arasında değiştirilebilirlik artırılır.
11. Alt montajlarca farklılaştırılan modellere izin vermek için alt montajlar tanımlanır.
12. Çeşit ve büyüklükler daha hızlı standardize edilir.
13. Ürün ve işlemin gürbüzlüğü geliştirilir.
14. Maliyet ve işlem zamanı önceden tahmin edilemeyen zor işlem adımları teşhis edilir.
15. Mevcut işlem ve imkanlar kullanılır böylece ürün verimi yükselir.
16. Ürünler ve işlemler, bağımsız modüller ve montaj hatları halinde parçalanır.
17. Montaj sırasında başarısızlıkları yok etmek için toleranslar ayarlanır.
18. Test edilebilir alanlar belirlenir.
19. Hazırlık ve yeniden yönelimler en aza indirilerek montaj kolaylaştırılır.
20. Parçalar, besleme ve araya sokma için tasarlanır.
21. Ürünün karakteri tespit edilir.
22. Ürün, rasyonel tasarım sağlamak için ürün fonksiyon analizine tabi tutulur.
23. Tasarım, üretilebilirlik ve kullanılabilirlik incelemesine tabi tutulur.
24. Fabrikasyon ve montaj işlemi tasarlanır.
25. Montaj sırası tasarlanır.
26. Alt montajlar tanınır.
27. Kalite denetimi stratejisi montajla bütünleştirilir.

28. Her parça, toleransları montaj yöntemiyle uyumlu ve fabrikasyon maliyetleri maliyet hedefleriyle uyumlu olacak şekilde tasarlanır.

29. Üretim stratejisindeki üretim işçilerini tamamen kapsamak, en az envanterle çalışmak ve satıcı kabiliyetleriyle bütünleşmek için fabrika sistemi tasarlanır.



Şekil 2.12 Tasarım Koordinasyonu

2.3.1.3 Eş Zamanlı Mühendislik Uygulama Metodları ve Teknikleri

Eş zamanlı mühendislik sistematik bir yaklaşımdır ve özellikle ürünün yaşam çevrimini oluşturan tüm fonksiyonlar üzerinde etkilidir. Bu nedenle bazı teknik ve metodlar kullanılarak, takım üyeleri tarafından ürün ile ilgili olarak verilen tasarım bilgileri değerlendirilir. Aynı zamanda verilen bu bilgilerden yararlanılarak mühendislik analizlerinin yapılmasına imkan sağlanmış olur. Özellikle eş zamanlı mühendislikte kullanılan teknik ve metodlar, tasarım prosesini kolaylaştıran, daha güvenilir ve pratikte anahtar noktalardaki kararların verilmesinde bir araç niteliği taşıyan özellikler olup çoğu son 15 yıl içerisinde ortaya çıkmıştır. Teknoloji her geçen gün büyük bir hızla ilerlemektedir. Bazı işletmeler, bu yeni teknolojileri kullanarak pazar içindeki paylarını artırma isteği içindedirler. Bu durum, özellikle bu teknikleri kullanmayan işletmeler

üzerinde büyük bir baskı unsuru oluşturmaktadır. Bu nedenle, gelecekte de pek çok yeni teknik ve metodlarla karşılaşılacaktır.

Son 15 yıl içinde geliştirilen teknikler şunlardır:

- Kalite Fonksiyonları Açılımı (Quality Function Deployment – QFD)
- Eş Zamanlı Mühendislik Tasarım Yöntemleri
- Taguchi Metodu
- Benchmarking
- Rekabet Analizi (Competitive Analysis)
- Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis - FMEA)
- Dizayn Aksiyomatiği
- Değer Analizi
- Deneysel Tasarım Teknikleri (Experimental Design Techniques)
- Lojistik Dizaynı

2.3.2 Kalite Fonksiyonları Açılımı (Quality Function Deployment)

Kalite fonksiyonları açılımı (QFD), ürün, hizmet ve süreç planlama, geliştirme iyileştirme için kullanılan etkin bir yaklaşımdır. Toplam kalite ve eş zamanlı mühendislik anlayışının gerektirdiği bu yaklaşımı, günümüzde rekabette önde gelen kuruluşların büyük bir bölümü kullanmaktadır. QFD, firmaların ürün ve hizmetlerini, piyasaya daha kaliteli, daha kısa zamanda ve daha ucuza sunabilmelerini sağlar. QFD müşteri hizmet ve beklentilerinin, tasarım hedeflerine ve üretimde kullanılacak kalite güvence noktalarına doğru bir şekilde çevrilmesine yarar. QFD yoluyla, ürün veya hizmet henüz tasarım aşamasında iken kaliteyi güvenceye almak mümkündür. Mevcut ürün veya hizmetler için yapılacak QFD çalışması ise, bu ürün veya hizmetlerin iyileştirilmesinde etkili olur. Zira kalite bir ürünü seçerken dikkat edilen en önemli unsurlardandır. Kaliteyi ürünün performansı ve özellikleriyle ölçebiliriz. QFD’de kalite müşteri memnuniyetinin bir ölçüsüdür.

Kaliteyi iki şekilde tanımlayabiliriz:

- Pozitif veya latent kalite: Müşteri talebiyle ilgilenir.
- Negatif veya expressed kalite: Müşteri şikayetleriyle ilgilenir.

QFD var olan bir ürünü geliştirmek için kullanılabilceği gibi tamamen yeni bir ürün yaratmak için de kullanılabilir. QFD sadece fiziksel bir ürünle sınırlı değildir. Servis kalitesini ve diğer aktiviteleri geliştirmek için kullanılabilir. Eğer QFD yeni bir ürün yaratmak için kullanılıyorsa, müşteri talepleri göz önüne alınır ve bu proses baştan aşağı tüm birimlerde kullanılır. Eğer bir ürünü geliştirmek için kullanılıyorsa, müşteri şikayetleri göz önüne alınıp tüm sebepler analiz edilir.

Örneğin; müşterinin araba kapısından üç yıllık bir beklentisi olsun. Bu beklenti “üç yıl boyunca kapının açık havada kalması durumunda üzerinde gözle görülebilir paslanmanın olmaması” şeklinde bir dizayn parametresine dönüştürülür. Bir sonraki aşama dizayn parametresinin parça karakteristiğine dönüştürülmesidir. Bu da örnek için “2-2.2 gr/m² boya kalınlığı” olabilir, belirlenen bu karakteristik bir başka matrisle “ parçanın boya kabineye üç kez batırılıp çıkarılması” şeklinde bir proses planına dönüştürülür. Son olarak bu proses planı teknik parametreler cinsinden tanımlanarak “ boya kabineye batırma süresi minimum iki dakika, asit seviyesi 15-20 ve sıcaklık 50 derece” gibi spesifikasyonlara dönüştürülür. Böylece QFD sayesinde müşteri istekleri şirketin mühendislik fonksiyonlarını yönlendirir ve pazara müşteri beklentilerini tatmin edecek yeni ürünün kısa sürede çıkmasını sağlar[9].

QFD tekniğinin faydalarını;

- Yeni ürün geliştirme zamanının kısaltılması
 - Tasarım değişikliklerinin daha erken aşamada ve daha az miktarda olması
 - Belirsiz tasarım sorunlarının azaltılmasının sağlanması
 - Müşteri ihtiyaçları odaklı tasarım yapılmasının sağlanması
 - Bilgi transferi ve dolayısıyla takım çalışmasını teşvik etmesi
- şeklinde sıralayabiliriz[8].

2.3.3 EŞ ZAMANLI MÜHENDİSLİKTE TASARIM YÖNTEMLERİ

Eş zamanlı mühendislikte tasarım yöntemleri aşağıdaki gibidir:

1. Aksiyomlarla (kabul edilir kurallara uygun) tasarım
2. İmalata uygun tasarım
3. Bilimsel tasarım
4. Montaja uygun tasarım
5. Demontaja ve Geri Dönüşüme Uygun Tasarım
6. Çevreye Uygun Tasarım
7. Kaliteye Uygun Tasarım
8. Bakıma Uygun Tasarım
9. Güvenilirliğe Uygun Tasarım

2.3.3.1 Aksiyomlarla Tasarım

Aksiyomlarla tasarım, uygulamaları yapılan işlemin kabul edilen bazı kurallarına uymasına dayanır. Bu kurallara “aksiyom” denilmektedir. Bu aksiyomlar geçmiş tecrübelerle dayanılarak belirlenir ve en önemli kurallardan başlanarak, aksiyomlar takip edilerek tasarımda ilerleme sağlanır.

Ancak bu kurallar (aksiyomlar) açık, anlaşılır ve kullanımı kolay olmadığından, kişiye, kuruma göre yorumlanabildiğinden aksiyomla tasarım zordur. Aksiyomlarla yapılan çalışmalarda mevcut olarak kabul edilen aksiyomlara bağlı kalınması gerektiği için tasarım geliştirme konusunda yada kalite konularında ilerleme sağlanması zordur. Sonuç olarak genellikle birbirini tekrarlayan ve basit ama çok sayıda parçadan oluşan tasarımlar ortaya çıkmaktadır.

2.3.3.2 İmalata Uygun Tasarım

İmalata uygun tasarım (DFM), imalat yöntemlerinin ve yapılacak işleme çalışmalarının tümünün bir bütün olarak düşünülmesinin gerektiği bir tasarım yöntemidir.

İmalat için tasarım tekniği, ürünün nasıl üretileceğinin öncelikli olarak düşünülmesini içermektedir. Özellikle, sadece bir veya birkaç operasyonla hiç montaja girmeden müşteriye sevk edilmek durumunda olan bir ürün söz konusu olduğunda imalat için tasarım uygulaması ön plana çıkmaktadır.

İmalat için tasarım uygulamasında göz önünde bulundurulması gereken önemli unsurlar:

- Üretimi kolay parçalar (rötuş gerektiren uygulamalardan kaçınılmalı),
- Esnek elemanlardan kaçınılmalı,
- Parça sayısını en aza indirmek,
- Modüler tasarım,
- Parça değişikliklerini en aza indirmek,
- Çok işlevli parçalar kullanmak,
- Çok yerde kullanılabilecek parçalar(standartlaşma).
- Montaj yönlerini en aza indirgemek.
- Kolay taşıma, kolay tutma.
- Ayara gerek bırakmamak veya basitleştirmek.

2.3.3.3 Bilimsel Tasarım

Bilimsel tasarımda çalışmalar daha önceden hazırlanmış bir katalog yardımıyla yapılır. Örneğin bir tasarım yapılacağı zaman öncelikle çalışmanın gerektirdiği ihtiyaçlar belirlenir, daha sonra tasarımcı elindeki kataloglardan izleyeceği işlem adımlarını ve uygulamaları seçerek tasarımına yön verir. Kataloglar ise şekle, enerjiye veya mekanik tiplere göre sınıflandırılmıştır. Bilimsel tasarımın en büyük eksisi tasarımların üretilebilirliğinin düşünülmemiş olmasıdır.

2.3.3.4 Montaja Uygun Tasarım

Bütün başarılı tasarım metotlarında olduğu gibi montajda da hangi faktörlerin montaj metotlarına bağlı olduğunun, hangi faktörlerin tüm montaj yöntemlerinde ortak

olduğunun ve de hangilerinin montaj yöntemlerine has olduğunun bilinmesi çok önemlidir. Bu nedenle montaj uyumsuzlukları ve öncelikleri en iyi çalışma şeklini belirtecek şekilde tanımlanmalıdır. Herhangi bir ürün için yapılan çalışmalarda ilk ele alınacak özelliğin montajın fonksiyonelliği sağlaması, ikincisinin ise maliyeti düşürmek olması gerektiği söylenebilir. Burada fonksiyonellik gerçekleştirilebilirlik, kalite, v.b. açılardan en geniş anlamda ele alınmaktadır ve ihmal edilmesi söz konusu değildir. Buna ek olarak iyi bir montaja uygun tasarım çözümü için, çözümün maliyet açısından uygun da gerekmektedir.

Montaj işlemleri basitçe elle ve otomatik olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Uygulamada bazı önemli montaj faktörleri mevcuttur. Bunlardan birinci grup montaj işlem ve metotlarından bağımsız olan, ancak iyi bir montaja uygun tasarım uygulamasına ihtiyaç duyan montaj faktörleridir. Bir diğer grup ise montaj yönteminden bağımsız olan ürün tasarımı faktörleridir, ancak bunlar montaj metotlarına bağlıdır.

Bunlara örnek olarak sıra ve hat montajlarını, senkronize ve senkronize olmayan sistemleri, durdurma makinelerini, tekrarlı çalışma stratejilerini gösterebiliriz. Ayrıca üç basit montaj metodun dahil olduğu ve ürün tasarımının bu montaj metotlarına bağlı olduğu faktörler de vardır. Burada metotlar, tek işlevli donanımla yapılan montaj ve birden çok işlevli donanımla yapılan montaj olarak sınıflandırılabilir. Bu metotlar için ürün tasarımında dikkate alınması gerekenler ise bu prosedürlere ortak faktörler ve metotlara özel faktörlerdir.

Montajın hedefleri şu şekilde listelenebilir:

- Belli montaj operasyonlarını eleyerek ya da basitleştirerek montaj maliyetlerini azaltmak
- Tasarımı oluşturacak parça sayısını indirmek için yönlendirici olmak
- Montaj otomasyonunu sağlamak ya da robotik montaj teknikleri içinde uygun olanları değerlendirmek için tasarım kuramları geliştirmek
- Montaj rahatlığını, basit idare ve taşımayı sağlamak
- Tertibat ve parça, tasarım farklılığı, montaj hareketleri, montaj yönergelerinin sayısını indirmek
- Otomatik hat dengeleme sağlamak

- Görülebilir tıkanmayı, es zamanlı tertibat operasyonlarını, montaj hataları olasılıklarını engellemek
- Modüler elemanların birleşmesiyle farklı ürün üretimini düzenlemek

2.3.3.5 Demontaja ve Geri Dönüşüme Uygun Tasarım

Bir ürünün ömrünün sonunda kolaylıkla demonte edilebilecek şekilde tasarlanmasına demontaja uygun tasarım denilmektedir. Aynı zamanda gerek demonte edilen ürünler, gerekse kullanılıp atılan ürünlerin sayısındaki artış nedeniyle bir de geri dönüşüme uygun tasarım ihtiyacı doğmuştur.

Demontaj kavramı, sistematik olarak montaj işleminin tersine uygulanmasıdır. Demontaja uygun tasarım yönteminde iki çeşit demontaj uygulaması vardır. Ana hatlarıyla bakıldığında iki tip demontaj yönteminden bahsedilebilir;

- Ürün hayat eğrileri üzerindeki yararları maksimize etmek
- Basit teknoloji parçaları tercih etmek/kullanmak
- Atık oluşumunu ve çevreye bırakılan atık miktarını asgariye indirmek
- Yeniden kullanılabilir parça sayısını arttırmak
- Kullanılan malzemeyi standardize etmek; malzemelerin is istasyonlarında tekrar kullanılacak kadar dayanıklı olmasını sağlamak

Çözülebilir bağlantılar (vida, menteşe, saplama vb.) montaj sırasının tersi uygulanarak demonte edilebilmekteyken; çözülemez bağlantılar (kaynak, punta vb.) tahrip edilerek yada kesilerek demonte edilebilmektedir.

2.3.3.6 Çevreye Uygun Tasarım

Gelişme ve kalkınmanın kaçınılmaz bir bedeli olarak görülen çevre kirliliği ile ilgili olarak 1970'lerden sonra pek çok kural ve kanunlar konmuştur.

- ÇEVRE KANUNU

Kanun No: 2872 Kabul Tarihi: 9 Ağustos 1983

Yayını: 11 Ağustos 1983 tarih ve 18132 sayılı Resmi Gazete

Madde 3 d) Ekonomik faaliyetlerde ve Üretim metotlarının tayininde çevre sorunlarının önlenmesi ve sınırlandırılması amacıyla en elverişli teknoloji ve yöntemler seçilir ve uygulanır.

Çevre için tasarım olgusu çerçevesinde tasarımın ana unsurlarına baktığımızda dünyadaki hammadde kaynaklarının giderek azalması nedeniyle daha fazla geri dönüştürülebilir ürünlere ve daha az enerjiyle üretime yönelim söz konusudur. Özellikle ISO 9000 ve ISO 14000 serisi standartlar kalite ve çevre yönetimi olgularına destek vermektedir.

Çevreye uygun tasarım, yapılacak çalışmanın çevre ve insan sağlığına uygun bir şekilde yapılmasını amaçlar. Tasarım aşamasında üretimden montajına, kullanım süresinden geri dönüşümüne kadar her anı göz önüne alınmalıdır. Bu anlamda temel hedeflerinden biri, geri dönüşümlü parçaların mümkün olduğunca sayısının artırılması; diğeri ise, tasarım aşamasında ortaya çıkacak atıkların mümkün olduğunca azaltılması olarak açıklanabilir. Bu amaçlar maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir;

- Ekolojik dengeyi bozmamak; kirlilik adına önlemler almak
- Atık yaratan kaynakları etkin biçimde kullanmak
- Çevreye bırakılacak toksin atık miktarını minimize etmek; zararlı olmamak; çevreyi kirletmemek
- Malzeme ve enerji etkinliğini sağlamak.

2.3.3.7 Kaliteye Uygun Tasarım

Ürün kalitesi denilince ilk akla gelen müşteri reaksiyonları, beklentileri ve kabul edilen bazı standartlar gelmektedir. Bu yüzden kaliteye uygun tasarımın ana temeli, müşteri ihtiyaçları doğrultusunda ürün kullanılabilirliğini ve güvenilirliğini arttırmak dolayısıyla da ürün kalitesini arttırmaya dayanır. Kaliteye uygun tasarım uygulamasının amaçları;

- Müşteri gereksinimlerini karşılayacak ürünler üretmek
- Ürün çevresi ve ürünlerin imalatında potansiyel çeşitliliğin yaratacağı kararsızlığı dengeleyebilecek sağlam bir ürün tasarlamak
- Ürün güvenilirliğini, performansını ve teknolojiyi müşteri beklentilerini gerçekleyecek şekilde sürekli desteklemek ve geliştirmek

olarak sıralanabilir.

Ürünün kalitesini etkileyen önemli unsurlar şunlardır:

- İmalat malzemesi,
- İmalat aşamasında kullanılan yöntem,
- Montaj teknikleri,
- Depolama ve bekleme şartları,
- Taşıma (lojistik).

Rekabetin ve müşteri beklentilerinin arttığı günümüzde kalite faktörü ürün maliyetinin de kimi zaman önüne geçmektedir, bu da üreticilerin kaliteye uygun tasarıma verdikleri önemi arttırmaktadır.

2.3.3.8 Bakıma Uygun Tasarım

Ürünlerin imalat ve pazarlama aşamalarından sonra en önemli aşama bakım aşamasıdır. Her ürün ilk günkü kullanılabilirliğini koruyabilmek için bakıma ihtiyaç duyar. Aynı zamanda bakım hizmeti, üretici firmanın müşterilerine en yakın olduğu, birebir ihtiyaç ve şikayetlerine ulaşabildiği tek organizasyondur. Asıl bu sayede sadece bakıma uygun tasarımlar değil aynı zamanda kaliteye, çevreye ve montaja uygun tasarımlar üretebilmek için gerekli verilere ulaşırlar. Bakıma uygun tasarım yönteminde tasarımın, bakımı kolay parçalardan oluşması, kolay yedek parça temin edilebilmesi ve uzaktan müdahale imkanı sunması beklenmektedir.

2.3.3.9 Güvenilirliğe Uygun Tasarım

Her ürün imal edilirken yada daha tasarım aşamasındayken belirli bir güvenilirlik katsayısına göre tasarlanır. Bunun yapılmasındaki asıl amaç ürünün ön görülen ömrü boyunca tüm fonksiyonelliğini korumasının sağlanmasıdır. Bu katsayı hesaplanırken de tüm olasılıklar, çalışma koşulları ve çevre şartları göz önüne alınmalıdır.

Güvenilirlik hesabı yapılırken tüm sistem olarak bir güvenilirlik katsayısı belirlenir. Ancak sisteme ait alt sistemlerde bu katsayı, o alt sistemin tasarımdaki fonksiyonuna göre değişiklik gösterebileceği gibi sabit bir güvenilirlik katsayısına bağlı kalınarak da

tasarım yapılabilir. Burada alt sistemler arasındaki en büyük farkı yaratan ve dikkat edilmesi gereken konu, alt sistemlerin hareketli mi yoksa sabit mi olduklarıdır. Çünkü hareketli bir alt sistemin yıpranma ve yorulması, sabit bir alt sisteme göre daha çok olacaktır. Bu yüzden de güvenilirlik katsayısı ve toleransları açısından diğer alt sisteme göre farklı değerlendirilmelidir.

Güvenilirlik için tasarım çerçevesinde ürün ömrü ve ürün maliyeti optimizasyonu:

- Geliştirme önce ve sonrasında güvenilirlik modellemesi ve simülasyonu
- Parça bazında güvenilirlik analizi
- Yarı mamul aşamasında güvenilirlik denetimi
- İşlem esnasında güvenilirlik analizi
- Mukayese

gibi yöntemlerle desteklenmesi ürün güvenilirliğini de beraberinde getirmektedir.

Güvenilir ürünlerin tasarımı için gerekli temel kriterler şunlardır;

- Mümkün olduğunca az bileşen kullanımı
- Standart bileşen kullanımı
- Sistem içindeki bileşenlerin düzenlenmesi
- Kısa sürelerde bakım ve onarımı önleyici sistemlerin düzenlenmesi.

2.3.4 Dayanıklı Tasarım İçin Taguchi Metodu

1960'dan beri kaliteyi geliştirmek için bu metot Japonlar tarafından başarıyla uygulanmaktadır. Kalite kontrole Taguchi yaklaşımı ürünün tasarım aşamasından üretime kadar imalatını ve tüm işlemlerin gelişimi sağlar. Bu metodu açıklamak için ilk olarak Taguchi'nin kalite tanımı şöyledir:

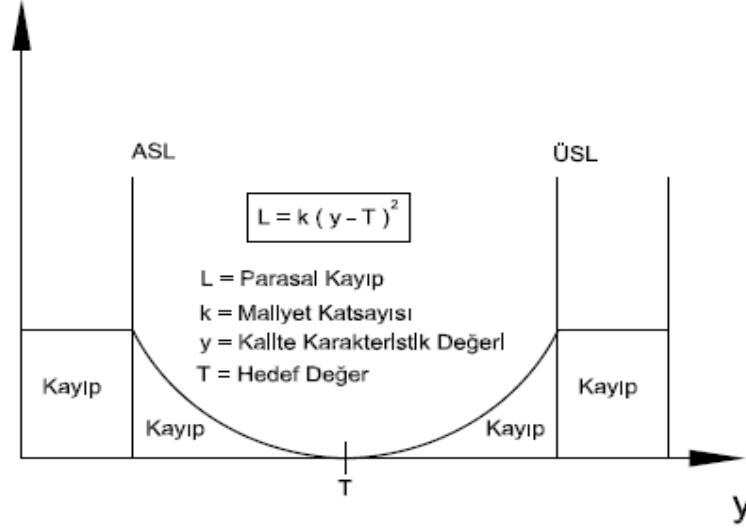
“Kalite ürünün fabrikadan çıkışı ve müşteriye ulaşmasından sonraki kayıplardır”.

Kayıpları ikiye ayırabiliriz:

- Fonksiyonel özelliklerden doğan kayıplar: Ürün umulan performansı göstermediği için bu kayıplar doğar.
- Zararlı etkilerden doğan kayıplar: Kirlilik, gürültü vb. faktörlerle bağlantılı kayıplardır.

Taguchi'nin metotları ürün dizaynlarının kontrol edilemeyen faktörlere karşı dirençli olması fikrini baz alır. Taguchi kaliteyi ölçmek için kayıp fonksiyonu adını verdiği fonksiyonu kullanmıştır. Kalite bu fonksiyonun minimize edilmesiyle en etkin olarak sağlanır[9].

Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu (L)



Şekil 2.13 Taguchi'nin kayıp fonksiyonu[9]

Dizaynda istenen ürün kalitesini elde etmek için Taguchi üç basamaklı işlem öneriyor:

- 1- Sistem Dizaynı: Yeni fikirlerin, bilgilerin ortaya çıktığı bölüm.
- 2- Parametre Dizaynı: Varyasyonlara karşı daha az hassas dizayn yaratmak.
- 3-Tolerans Dizaynı: Parametre dizayn aşamasından sonra istenen kalite yakalanamadıysa, varyasyonlar üzerinde en büyük etkisi olan faktörler ayarlanır.

2.3.5 Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi

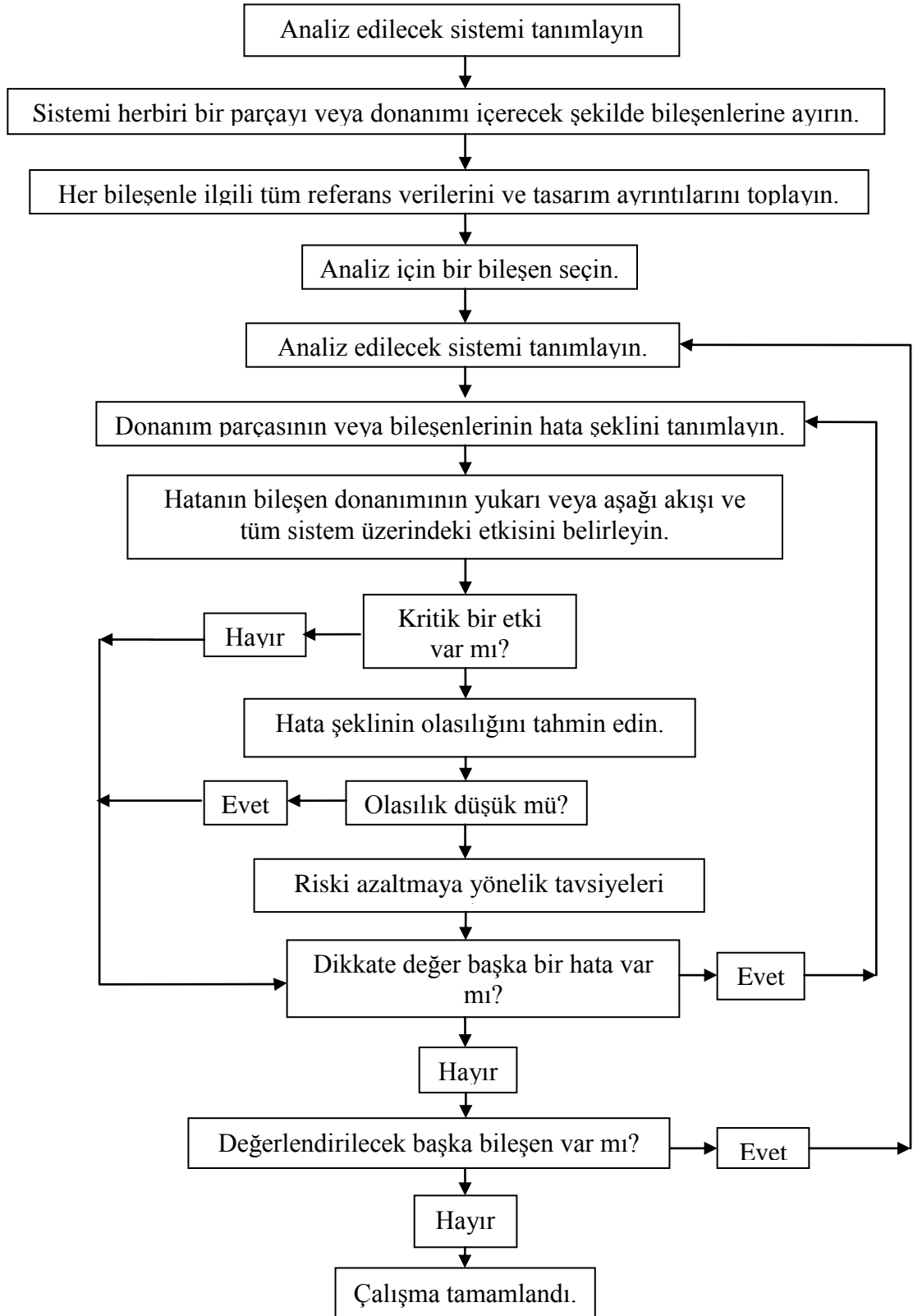
Eş zamanlı mühendislik takımlarının sık kullandığı tekniklerden bir diğeridir. FMEA özellikle proseslerde problemlerin kaynaklarının saptanmasında çok faydalı bir tekniktir. Teknik, takım içinde proses hakkında bilgi sahibi herkesin katıldığı bir sinerji ortamında uygulanır. Söz konusu problem müşterinin bir şikayeti olabileceği gibi, yok edilmesi veya hafifletilmesi durumunda üretilebilirliği artırılması, maliyetinin düşürülmesi, servis kolaylığının sağlanması gibi konularda fayda sağlayacak bir yapıda olabilir. Hangi türde olursa olsun uygulanacak adımlar aynıdır.

FMEA çalışmalarına aşağıdaki durumlarda başvurulur:

- Yeni prosesler tasarlanırken,
- Mevcut prosesler değiştiriliyorken,
- Hala süregelen prosesler yeni uygulamalarda veya yeni çevrelerde kullanılacaksa,
- Bir problem çalışması tamamlandıktan sonra problemin yeniden ortaya çıkmasını önlemek için,
- Ürün ilk çizimleri tamamlandıktan sonra,
- Olası çözümler araştırılırken, faydası bilinen çözüm uygulamalarından, kabul edilebilir risk oranlarına göre seçim yapmak için,
- Faaliyetleri planlarken, planda oluşabilecek riskleri öncelik sırasına göre belirlemek ve bunlara karşı alınacak önlemlerin belirlenmesi için kullanılır.

FMEA'da öncelikle problemin olası veya bilinen sebepleri sıralanır. Daha sonra bu sebeplerin ürün veya proses üzerindeki etkileri belirlenir. Bu bilgilerin ışığında her bir hata sebebi olabilirlik, keşfedilebilirlik ve önem kriterlerinin her biri için puanlandırılır. Her bir hata sebebinin üç kriterden aldığı puanlar çarpılarak kritiklik endeksi belirlenir. Kritiklik endeksi yüksek olan hata sebepleri öncelikle üzerine gidip elimine edilmesi gereken sebeplerdir. Böylece hareket edilerek hata ortadan kaldırılır ve beklenen faydaya ulaşılır. Öncelikli hata sebepleri belirlendikten sonraki çözüm aşamasında takım uygun olan başka bir tekniği seçip kullanabilir.

Olası hata türü ve etkisi analizi akış şeması Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Olası hata türü ve etkisi analizi akış şeması

2.3.6 Benchmarking

Benchmarking, işletmeyi performansının doruğuna çıkarmak amacıyla içinde bulunduğu sektördeki rakip firmaların her alandaki en iyi uygulamalarının araştırılması ve uygulamaların işletmenin kendi değerleriyle çelişmeyecek şekilde bütünleştirilmesi suretiyle yeniden tasarlanarak, en iyi sanılan bu uygulamaları aşmak için oluşturulan belli bir sisteme dayanan ve süreklilik arz eden bir süreçtir veya her işletmenin diğerlerinden iyi durumda bulunduğu en az bir yönü olduğundan ve bu iyi yönlerine ait bilgileri, paylaşma yoluyla en iyiye ulaşabileceklerinden hareket eden bir yönetim süreci yaklaşımıdır. Örneğin bir işletme "pazara yeni ürün sunma", diğeri "düşük birim maliyeti", öbürü de "pazarlama" konusunda çok başarılıdır. Bu üç işletme, kıyaslama tekniği kullanılarak en başarılı oldukları alanlara ait bilgilerini paylaşıp en önemli iki kaynak olan para ve zamandan tasarruf sağlayacaklardır.

Benchmarking;

- Bir işletmenin bağlı olduğu iş kolunun içinde veya dışında sınıfında en iyi olanları saptama, işi nasıl iyi yaptıklarını anlama ve öğrenilenleri uygulamadır.
- Verimlilik ve kaliteyi iyileştirmek için yeni işlem ve sistemlerin hayata geçirildiği bir süreçtir.

İyileştirme stratejilerini, uygulamaları, operasyonları, hizmet ve/veya ürünleri sınıfında en iyiye karşı ölçmeye dayanan bir süreçtir.

- Bir taklit etme sürecidir
- Rakibe yetişmek için bir yol değildir.
- Bir pazar analizi tekniği değildir.
- Endüstriyel casusluk değildir.

Benchmarking, işletmelerin şu an nerede olduklarının, gelecekte nerede olmayı beklediklerinin ve buraya nasıl ulaşacaklarının yanıtını bulmalarında bir yol gösterici, program belirleyici ve standart koruyucudur.

İşletmeler Benchmarking uygulamasından önce mutlaka şu soruları sormalıdır:

- Ne yapmalı?

- Niçin Benchmarking yapmalı?
- Kim yapmalı?
- Nasıl yapmalı?
- Benchmarking ne sağlar?

Bu sorulara alınacak cevaplar ve gerekli ön koşullar yerine getirildikten sonra işletmelerin kendileri için en uygun Benchmarking modelini uygulamaları gerekmektedir.

2.3.7 Rekabet Analizi (Competitive Analysis)

Rekabet analizi “Sun Microsistem” adlı bir firmada çalışan, İleri İmalat Teknolojileri (Advanced Manufacturing Technologies) olarak adlandırılan bir takımın, pazar araştırması yaparak rakip firmaların ürünleri hakkında bilgi toplayıp bu ürünleri satın alarak ortaya çıkmıştır. Bu aşamadan sonra firma içerisinde, Rekabet Analizi olarak adlandırılan ve satın alınan ürünlerin analizini ve demontajını yapmak üzere bir takım kurulmaktadır. Özellikle satın alınan ürünlerin analize yapılırken;

- Maliyet
- Hizmet
- Test
- Teslim
- Pazara sunma zamanı
- Garanti
- Kalite
- İmal edilebilirlik için tasarım

faktörleri dikkate alınmaktadır. Böyle bir karşılaştırma yöntemi kullanılarak, firmanın istediği hedefe daha kısa zamanda ulaşması sağlanmıştır.

2.3.8 Dizayn Aksiyomatığı

Dizayn aksiyomatığı bir ürünün gerektirdiklerine ulaşmanın yapıcı yollarına odaklaşmasına, konu üzerinde düşünmesine ve yaratıcılığın genel prensiplerine uymak suretiyle yapılan bir uygulamadır.

Dizaynı yapan dizaynı yaparken fonksiyonunu dikkatlice inceleyip mümkün olduğunca basite indirgemeyi düşünmelidir. Bu yaklaşım iyi işleyen bir ürün dizayn etme avantajı sağlar. Beraberinde üretilebilirlik tartışmasını da getirebilir çünkü amaç en az parça sayısı ile ürünü üretmektir. Bu bazı fonksiyonların tek bir parça üzerinde toplamayı gerektirebilir.

2.3.9 Değer Analizi

Değer analizi ürünün performansını düşürmeden maliyetini azaltmak için geliştirilmiş bir tekniktir. Temel olarak amacı fonksiyon / maliyet oranını maksimize etmektir. Ürün üzerinde ne kaliteye ne kullanım amacına ne estetiğe ne de müşteri beklentisine hizmet eden parçalar olabilir. Bu parçaların yok edilmesi demek hiçbir kayıp vermeden maliyetin düşmesi demektir. Değer çıkmadan minimuma indirilmesi anlamına gelir ki bu rekabette çok önemli bir avantajdır.

Değer analizi pazarlama, satın alma, AR-GE, kalite, üretim ve maliyet muhasebesi departmanlarından üyelerin bulunduğu bir takım tarafından uygulanmalıdır. Önce, ürün komponentleri itibarıyla parçalara ayrılır. Her bir komponent için değer endeksi hesaplanır. Bu endeks aslında o komponentin fonksiyonel öneminin maliyete bulunduğu katkıya bir oranıdır. Fonksiyonel ve mali açıdan önem belirlenirken değişik yöntemler kullanılır.

2.3.10 Deneysel Tasarım Teknikleri (Experimental Design Techniques)

Deneysel tasarım hem ürün hem de proses geliştirmede kullanılan bir tekniktir. Deneysel tasarım sayesinde kompleks ürünlerin spesifikasyonları kısa sürede ve sağlıklı olarak belirlenebilir.

Günümüzde üretilen ürünün kalitesini belirleyen en önemli faktörlerden biride ürünün dayanıklılığı yani değişik ortamlarda zarar görmeden fonksiyonlarının devamlılığıdır. Bu

ortamların deneysel olarak yaratılması ve ürünün dış etkilere hazır bir hale getirilmesi bu açıdan çok önemlidir. Proseslerin iyileştirilmesinde, özellikle çok Parametrenin bulunduğu durumlarda, deneysel tasarım vazgeçilmez bir araçtır. Bir prostesten beklenen tutarlı ve az değişen sonuçlar vermesidir. Bu da değişimin yani varyasyonun minimize edilmesi ve kontrol altına alınması ile mümkündür.

2.3.11 Lojistik Dizaynı

Lojistik dizaynı diğer dizayn metotlarının bir alternatifi olarak görülmemelidir. Amaç ürünün dizaynı esnasında satın alma, stoklama ve oluşabilecek ertelemelerin dikkate alınmasıdır. İlk kez 1987 yılında ortaya konulmuştur.

2.3.12 Kalite Değerlendirme Tekniği

1950 ve 1960'larda geliştirilen bu yöntem, ürünün kalitesini belirleyen bir değerlendirme tekniğidir. Kalite değeri, fonksiyon veya performansın maliyete oranı olarak ifade edilir. Amaç, ürünün kalite değerini arttırmak için fonksiyonelliğini arttırmak veya maliyeti düşürmektir. Değer oranını optimize ederek gereksiz fonksiyonelliğe engel olunmaktadır; çünkü ihtiyaç duyulmayan fonksiyonlar maliyeti arttırmaktadır. İki kalite değer bileşeni kullanılmaktadır. "Kullanma değeri" kullanıcının ihtiyaçlarını karşılaması ile değerlendirilir. Ürünün arzu edilebilirliğinin ölçüsü de "Kıymet değeri"dir. İlk aşamada, bu değerler takım uzmanları tarafından ilk tasarıma dayanılarak analitik olarak incelenmektedir. Yaratıcı denemelerle bu değerler yükseltilmektedir. İkinci aşama tasarım takımının doğuştan kabiliyetlerine dayanmaktadır.

Kalite değerlendirme tekniğinin temel bileşeni fonksiyonellik durumudur. Ürünün her bileşeni aynı zamanda tüm ürünün fonksiyonel durumu hakkında bilgi vermekte ve takım üyeleri tarafından gerçekleştirilen fikirlere dayanılarak sayısal değerler biçilmektedir. Bu fonksiyonun maliyeti imalat ve diğer maliyetlere dayanılarak belirlenmektedir.

Değer mühendisliğinin en zor yanı fonksiyonların ve maliyetlerin değerini tahmin etmektir. Eş zamanlı mühendislikteki diğer tekniklerde tasarım alternatiflerinin hesaplanabilirliği ile maliyet tahmin edilmektedir.

2.4 Eş Zamanlı Mühendislik ile Ürün Geliştirme

Eş zamanlı mühendislikte tasarım süreci malzeme seçiminden başlar imalat sistemleri ve adımlarının izlenmesiyle devam eder. İkinci adım üretim planlamasının yapılması ve gerekli hammadde temininin yapılmasıdır.

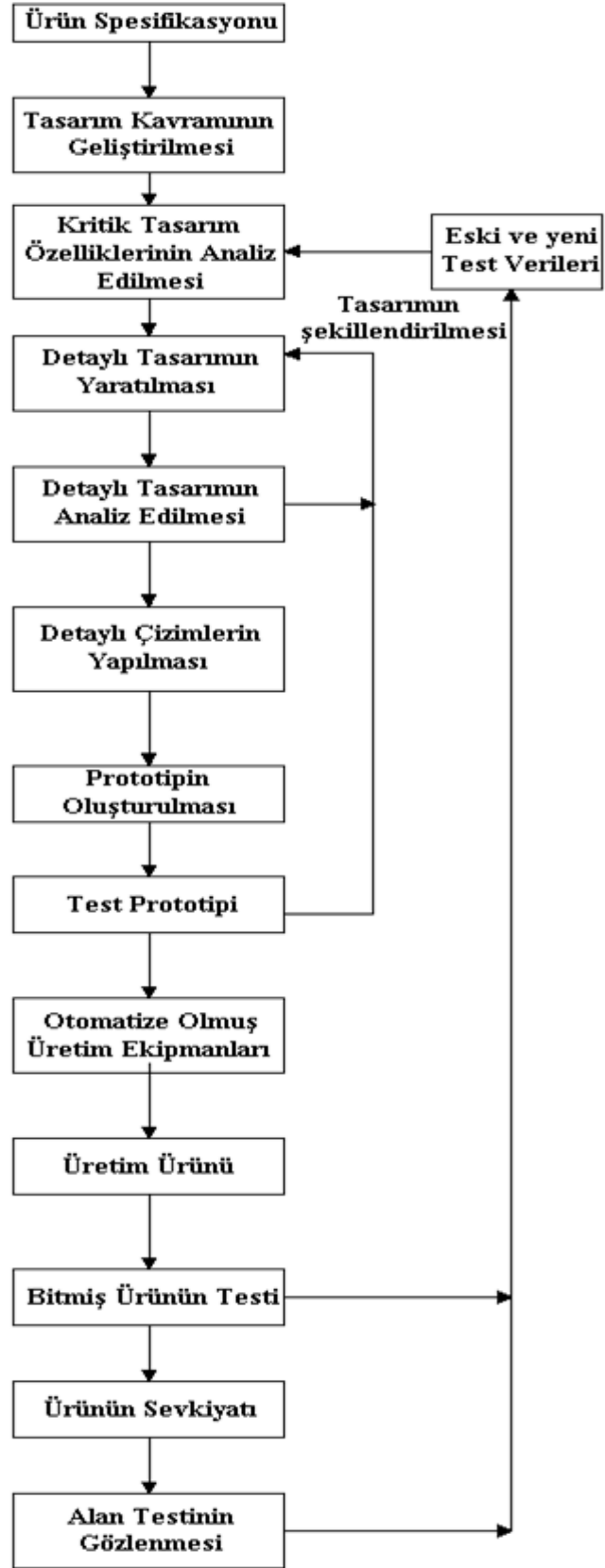
Sistemin ana tasarımı yapılmadan önce mutlaka bir prototipinin yapılması gerekmektedir. Bu aşamada bir aksaklık olmadığı sürece sistem imalatına başlanır. İmalattan sonraki aşama ürünün pazara nasıl sunulacağı ve fiyatının belirlenmesidir. Bundan sonra müşteri faktörü devreye girmektedir. Bu da servis ve bakım operasyonlarının önem kazandığı aşamadır ve müşteri ile birebir temas kurulan aşamadır.

Bir sonraki aşama müşterilerden de gelen geri dönüşler ve müşteri istekleri doğrultusunda sürekli gelişme aşamasıdır. Şekil 2.15'te tasarım geliştirme adımları belirtilmektedir.

Son olarak daha önce de bahsedildiği gibi çevresel faktörler devreye girmektedir. Yapılan tasarımın çevreye zarar vermeyecek ve geriye dönüşümü sağlanabilecek yapıda olması gerekmektedir.

Eş zamanlı mühendisliğin amacına ulaşması için kullanılan birbirleriyle ilişkili beş unsur aşağıda belirtilmiştir.

1. Dikkatli analiz yapılmalı, imalat ve montaj yöntemleri çok iyi anlaşılmalıdır.
2. Ürünün imal edilebilmesi ve satılabilmesi için pazar şartlarına dayanan uygun ürün tasarlanmalıdır.
3. Modern üretim sistemi tasarımları, ürün tasarımına göre düzenlenmeli.
4. Tasarım ve imalat alternatiflerinin ekonomik analizleri, tasarım alternatifleri içersinde mantıklı seçenekler sunulmalı.
5. Ürün ve sistem tasarımları dayanıklı olmalı: Dayanıklılık, üretimde meydana gelen hatalara karşı gösterdiği dirençtir.



Şekil 2.15 Tasarım geliştirme adımları

2.5 Montaja Uygun Tasarım (MUT)

2.5.1 Montaj Teknolojisine Genel Bakış

Montaj ürün maliyetini ve kalitesini etkileyen en önemli üretim aşamalarındandır. Montaja uygun tasarım rekabet edebilir ürünlerin oluşumunda ve pazara ürün verme zamanının azaltılmasında anahtar elemanlardır.

Montajın ana operasyonları: dizmek, sıralamak, taşımak, parçaları birleştirmek, bağlamak, denetlemek ve dokümantasyondur. Konvansiyonel teknolojilerde montaj planlama işlemi, tasarımı üretime bağlayan temel bir fonksiyondur. Montaj prosesi sırasında oluşan aksaklık ve problemler daha imalat aşamasındayken ortaya çıkmakta ve bir çözüm bulunmada geç kalınmaktadır, böylece kalitenin düşmesine, maliyetlerin yükselmesine neden olunmaktadır. Yeni gelişen teknolojik anlayışla, üretim sistemi bu fonksiyonu bir bilgisayar yazılımı ile desteklenmelidir ki böylece montaj sırasındaki oluşan sorunlar herhangi bir veri kaybı olmaksızın bir entegrasyon ortamında çözülebilsin.

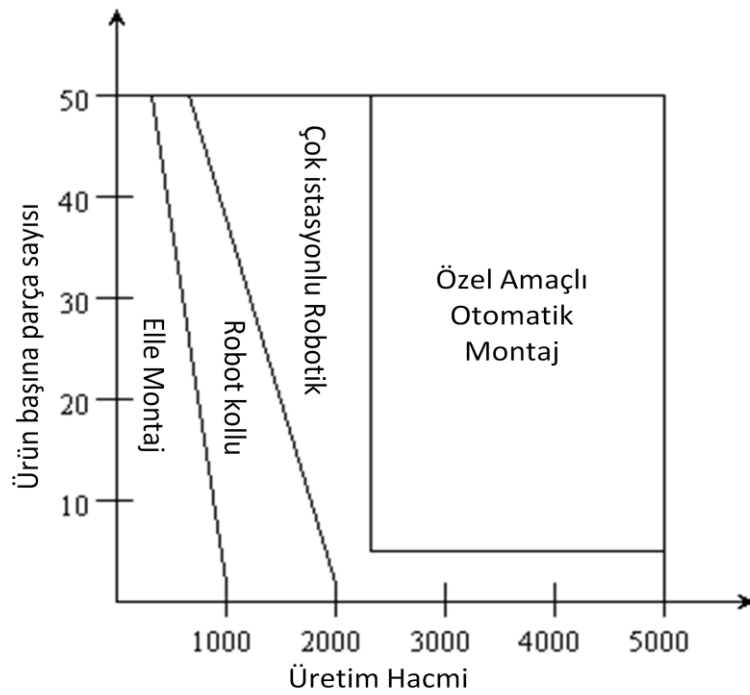
Montaj işlemi birçok işlemin art arda yapılması ve takip edilmesini gerektirmektedir. Ürünü oluşturan elemanların hassasiyetinin kontrolü, ayarlanması ve parçaların birbirine göre konumlandırılması vb. düzenlemeler de montaj aşamasında yapılabilmektedir. Tasarımları planlayarak, bir defada doğru sonuçlar elde edilmelidir. Aksi halde ürün imalatından sonra da, aynı ürün için tasarıma devam edilmektedir

Bir tasarım aşamasında vazgeçilemez iki önemli unsur vardır. Bunlardan ilki istenilen fonksiyonelliği elde etmek, diğeri ise maliyetlerin azaltılmasıdır.

Montaj prosesleri elle montaj ve otomasyon sistemleri ile montaj olmak üzere ikiye ayrılır.

Elle montaj operasyonlarında sisteme insan faktörü eklendiği için olası operatör hataları her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Elle montaj işleminde sisteme müdahale etmek diğer sistemlere göre daha kolaydır fakat hem iş gücü açısından, hem iş güvenliği açısından, hem de üretim maliyetleri açısından dezavantajları vardır. Özel üretim yöntemleri ve özel takımlar (robotlar) kullanılan sistemlerde operasyonlar daha hızlandırıldığı ve çalışan personele göre farklılıklar göstermediğinden üretim maliyetlerinde

iyileştirme sağlanabilir ancak müdahale olanağı daha azdır. Tamamen otomasyona dayalı sistemlerle yapılan montajlarda insan faktörü tamamen ortadan kaldırılmıştır ve seri bir üretim için çok uygun bir uygulamadır. Montaj maliyetleri özellikle çok parçalı montajlarda çok düşük seviyelere çekilebilir. Ancak tasarımda yapılan ufak bir değişiklik tüm otomasyon sistemi baştan hazırlamaya neden olabilir. Kimi zaman ise böyle bir değişiklik yapmak mümkün olmaz. Bu sistemlerin üretim hacimleri açısından karşılaştırılması Şekil 2.16'da gösterilmiştir.

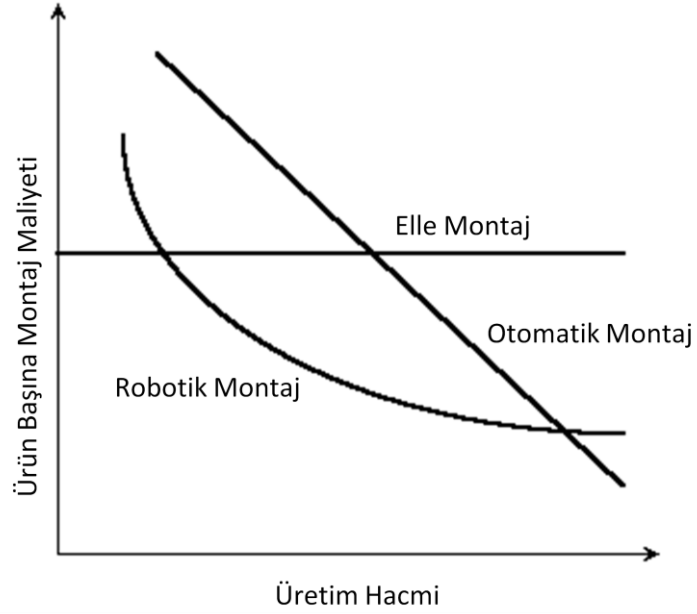


Şekil 2.16 Tüm Montaj Metotları için Üretim Hacmi Aralıkları[21]

Montaj işlemleri, işletmenin elindeki iş gücüne göre, yıllık üretim sayısına, montaj sırasına, parça sayısı ve ağırlığına ve oluşabilecek hata risklerine göre 3 farklı sistem şeklinde gerçekleştirilir.

- Ana hat üzerinde montaj
- Ara montaj kitleleri ile montaj
- Karma yapılan montajlar.

Montaj sistemlerinin relatif maliyetlerinin karşılaştırılması Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Farklı Montaj Yöntemlerinin Üretim Hacmine Göre Relatif Üretim Maliyetleri[21]

2.5.2 Montaja Uygun Tasarım Yöntemlerinde Montaj Edilebilirlik Kriterleri

Montaja uygun tasarım yöntemlerinde nitel veya nicel ölçüm kriterleri kullanılmaktadır. Nitel ölçüm kriterlerinin içinde maliyet yapısı, tasarım normları ve relatif maliyet denilen unsurlar bulunur. Burada maliyet yapısı, tasarım üzerinde en büyük etkiye sahip olan yapıdır. Tasarım normları, aksiyom ve kuralları kapsar. Relatif maliyetler ise, bir aktivitenin maliyetleri ile baz alınan bazı durumların maliyetlerine bölünmesiyle elde edilen bir orandır.

Nitel montaj edilebilirlik ölçüm kriterlerinin avantajları,

- Detaylandırmanın değişik aşamalarında uygulanabilir olması,
- Kesin maliyet tahminleşmesinden kaçınılabılır olması,
- Şirkete bağımlı bir özellik olmaması,

sayılabilirken dezavantajları ise,

- Tasarımcı açısından birçok kuralı hatırlamak zor olabilir. Bilgiye doğru zamanda ve hızla ulaşamaz,
- Bazı tasarım normlarının iyi tanımlanamamış olması. Kuralların ne zaman uygulanacağı ve bunların uygulanmasını gerektiren nedenlerin net olmaması

olarak özetlenebilir.

Diğer bir ölçüm kriteri olan nicel ölçüm kriterlerinin içinde global montaj maliyetleri, detaylandırılmış montaj maliyetleri, montaj endeksleri, montaj puanlayıcılar bulunur. Nicel ölçüm kriterlerini kullanan montaja uygun tasarım yöntemleri aşağıda verilmiştir;

- Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi
- Lucas MUT yöntemi
- Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi
- IPA Stuttgart Yöntemi.

2.5.3 IPA Stuttgart Yöntemi

IPA Stuttgart yöntemi, nicel değerlendirme prosedürleri uygulayan bir yöntem olup Fraunhofer Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir.

Yöntemin diğer nicel yöntemlerden en büyük farkı, montajın her aşamasında tekrar tekrar kontrol edilmesinin amaçlanmasıdır. Böylece ürünün eksik yanları ve dezavantajları alt montaj gruplarındayken belirlenmeye çalışılır.

IPA Stuttgart yönteminin tasarım kuralları,

- Ürün yapısıyla ilgili olanlar
- Alt montajlarla ilgili olanlar
- Bireysel parçalarla ilgili olanlar
- Birleştirme teknikleriyle ilgili olanlar

olarak özetlenebilir.

IPA Stuttgart yönteminin tasarımcıya sağladığı bir kolaylık da tasarımcıya bir ön çalışma yani bir ön tasarım hazırlayıp (prototip) bunu alt montaj parçalarına bölmesine her birini tek tek kontrol etmesine olanak sağlamasıdır.

Ayrıca diğer nicel ölçüm yöntemlerinde olduğu gibi tasarımcıya hem parça bazında hem de toplam olarak montaj maliyetlerini hesaplama imkanını sunar.

IPA Stuttgart yönteminin diğer nicel ölçüm yöntemlerinden farkı olarak, tasarımın alt montaj kollarına ayrılabilir olması ve montaj sırasının önemli olması sayılabilir.

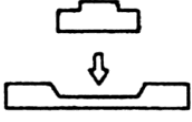

2.5.4 Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi

İlk kez 1976 yılında Japon Hitachi Limited Şirketi, daha iyi montaj edilebilirlik kriteri elde etmek üzere tasarım kalitesini geliştirmek için etkili bir yol olan Montaj edilebilirliğin değerlendirilmesi Metodunu (Assembly Evaluation Method, AEM), geliştirmiştir. 1976 yılından itibaren başta Hitachi Grubu olmak üzere birçok ulusal veya uluslararası firma tarafından kapsamlı olarak kullanılmaya başlanmış ve bunun sonucu olarak en etkili metodolojilerden biri olarak kabul görmeye başlamıştır.

Geleneksel dizayn işlemlerinde zayıf üretilebilirlik karakterine sahip olan ürünlerin dizaynı çok büyük zaman gerektirmektedir. Hitachi montaj edilebilirlik metodunda ürün dizaynı, bu üretilebilirlik karakterlerini kontrol etmek için iki geri besleme içermektedir. Bu geri beslemelerin ilki fikir aşamasında diğeri detay aşamasındadır. Bu prosedür de daha az ürün gelişim zamanı ve dizayn problemlerine ekonomik çözüm sağlamaktadır. Hitachi montaj edilebilirlik uygulanması için ürün dizayn işleminin ilk aşamalarından itibaren tüm bilgilerin ulaşılabilir olması gerekmektedir.

Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminde montaj görevlerinin her birine, görevin zorluk derecesine göre bir ceza puanı verilir. Bu görevler parçanın eklenme ve bağlanma durumlarına göre değerlendirilir. Fakat montaj işleminde önemli bir etmen olan parçanın taşınması kısmı göz ardı edilmektedir ki bu da yöntemin en büyük dezavantajıdır.

Tablo 2.1 Hitachi değerlendirme sembolleri ve ceza puanları[3]


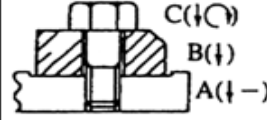
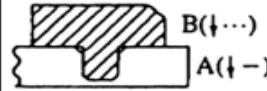
Temel Operasyon		MDM sembol X	Ceza Puanı
	Aşağı Doğru Hareket	↓	0
	Lehimleme	S	20

Tasarımın değerlendirme aşaması şu şekilde yapılır:

Tasarımı oluşturan her parçaya kendisine ait 100 puan verilir. Daha sonra ki montaj işlemleri sırasında yapılan operasyonlara bağlı olarak daha önceden belirlenmiş olan montaj ceza puanları bu puandan çıkarılır.

Toplam montaj edilebilirlik değerlendirme puanı, tasarımı oluşturan tüm parçaların montaj edilebilirlik puanlarının toplanıp parça sayısına bölünmesiyle elde edilir. En iyi puanın yüz olduğu koşullarda 70 ve üzeri puanlar kabul görmektedir.

Tablo 2.2 Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme örneği[3]

	Üretim Yapısı ve Montaj Operasyonları	E_i	E	K	Parça	
1		A gövdesi sabitlenir	73	1	B	
		B bloğunu aşağıya doğru bastır ve ana yönlenmeye göre sabitle				100
		C vidasını sabitle				65
2		A gövdesi sabitlenir	88	0,8	C	
		B bloğunu aşağı doğru bastır				100
		C vidasını sabitle				65
3		A gövdesi sabitlenir	89	0,5	B	
B bloğunu aşağıya doğru sıkılaştırarak bastır	100					
		80				

Tablo 2.2'deki E_i parçaların montaj edilebilirlik değerlendirme puanını belirtirken E toplam montaj edilebilirlik değerlendirme puanını belirtmektedir ayrıca K ise montaj maliyet oranını belirtir. Birinci tasarımda montajı yapılan parçaların gerek çokluğu, gerekse montaj işlemlerinin zorluklarından dolayı montaj değerlendirme puanı düşüktür. İkinci çalışmada ise, A gövdesine yapılan bir fatura sayesinde montaj edilebilirlik puanında bir yükselme sağlanmıştır. Üçüncü çalışmada C vidası da ortadan kaldırılarak iki parçanın birbirine sıkı geçme ile bağlantısı yapılmıştır.

2.5.5 Lucas MUT Değerlendirme Yöntemi

Lucas montaja uygun tasarım metodu, Lucas Organizasyonu ile Hull Üniversitesinin arasındaki işbirliğin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Bu metot sistematik olarak bir prosedürü takip eder. Söz konusu bu prosedürde montaj edilebilirliğin önemli durumları, parçanın imalatı göz önünde bulundurulur. Burada sistemin bir bilgisayar destekli tasarım sistemi ile birleştirilmesi düşünülür. Çünkü minimum zaman ve çaba harcayarak işin analizi için gerekli olan bilgilerin büyük bir kısmının tedarik edilmesi kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Bilgisayar destekli tasarım sistemleriyle birlikte çalışan bu sistem diğer tek başına çalışarak verimli olan sistemlere göre daha avantajlıdır[11].

2.5.6 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi

1970'lerin sonunda Prof. Geoffrey Boothroyd ve Peter Dewhurst, NSF şirketinin desteği ile Massachusetts Üniversitesi'nde montaja uygun tasarım yöntemini geliştirmiştir. Geliştirdiği bu sistem sayesinde tasarımı oluşturan parçaların elle montaj süreleri ve aynı zamanda otomatik montaj işlemlerindeki zaman ve maliyet hesapları da yapılabilmektedir.

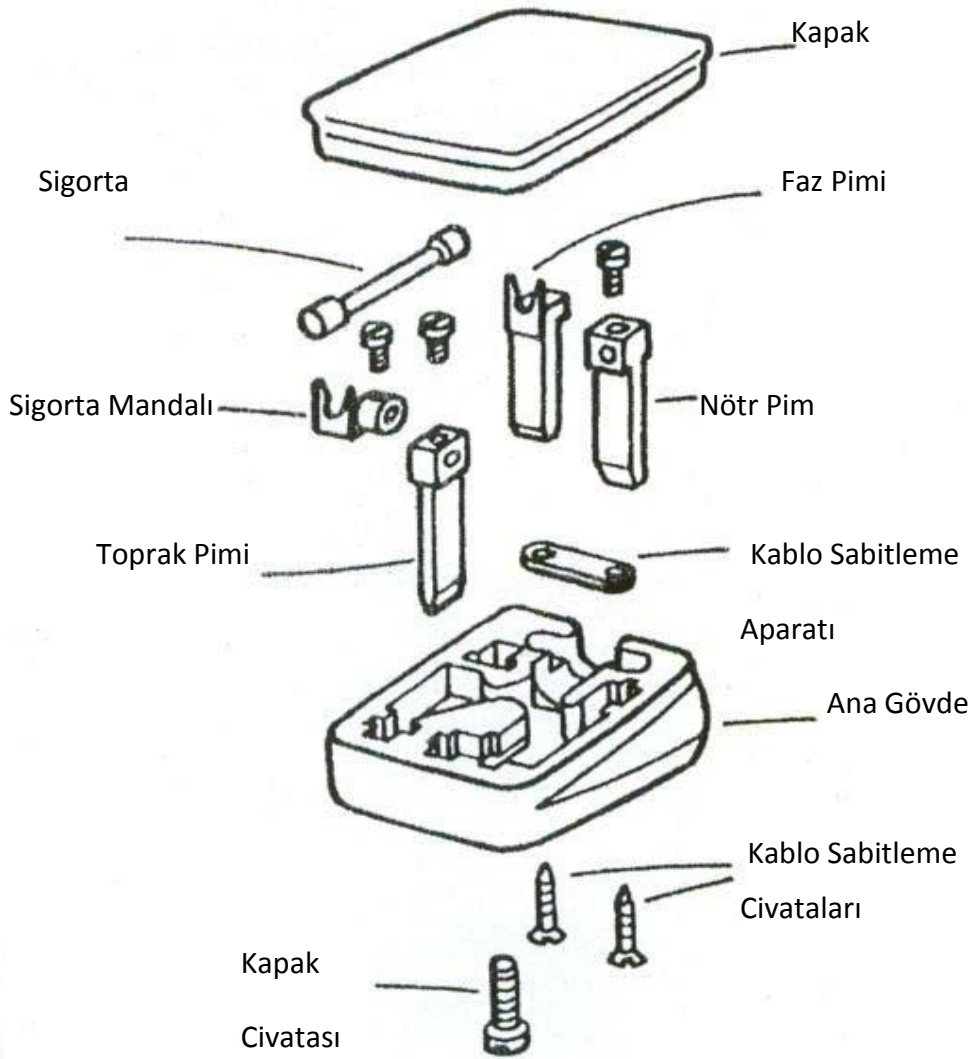
Geliştirilen bu yöntem 3 ana temele dayanmaktadır:

- Değerlendirilen parça diğer parçalara göre relatif harekette bulunuyor mu?
Sistemi oluşturan parçalar eğer sisteme bağlı hareket etmiyorsa sistemden ayrılmalıdır.
- Sistem içerisinde gereksiz hareketli bağlantı elemanları var mı? Eğer var ise bu bağlantı ortadan kaldırılıp iki parça birleşik olarak yeni bir tasarım yapılmalıdır.

- Montajı için uygun montaj yöntemi kullanılarak her parçanın montaj maliyeti hesaplanmalıdır.

Boothroyd&Dewhurst MUT yönteminin ikinci önemli özelliği ise yapılan taşıma, ekleme işlemlerine göre her parça için ayrı ayrı tanımlanabilen ceza işlemleridir [11].

Şekil 2.18’de üç pimli bir elektrik fişinin montaj resmi görülmektedir.



Şekil 2.18 Üç pimli bir elektrik fişinin montaj resmi [7]

Tablo 2.3’te ise bu ürünün Boothroyd & Dewhurst MUT yöntemiyle yapılmış indeks çalışmasına ait tablo görülmektedir.

Tablo 2.3 Üç pimli bir elektrik fişinin MUT indeksi tablosu [7]

Parça Numarası	Parça Adı	Parça Tekrar Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma zamanı (sn.)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme zamanı (sn.)	Toplam Montaj zamanı (sn.)	Elle Montaj Maliyeti (cent)	Minimum Parça Sayısı
1	Ana gövde	1	30	1.95	00	1.5	3.5	2.9	1
2	Sigorta mandalı	1	35	2.73	00	1.5	4.2	3.5	1
3	Faz pimi	1	20	1.80	00	1.5	3.3	2.8	1
4	Sigorta	1	00	1.13	31	5.0	6.1	5.1	1
5	Toprak pimi	1	20	1.80	00	1.5	3.3	2.8	1
6	Nötr pim	1	20	1.80	00	1.5	3.3	2.8	1
7	Kapak	1	30	1.95	06	5.5	7.4	6.2	1
8	Montaj döndürme	-	-	-	98	4.5	4.5	3.8	-
9	Kapak civatası	1	10	1.50	38	6.0	7.5	6.3	0
TOPLAM							43.2	36.2	7
MUT indeksi = $7 \times 2.88 / 43.1 = \% 47$									

E_{ma} MUT indeksi,

N_{min} teorik minimum parça sayısı,

t_a bir parça için ortalama montaj zamanıdır ki bu değer ortalama olarak 3 sn. alınır,

t_{ma} toplam montaj zamanı,

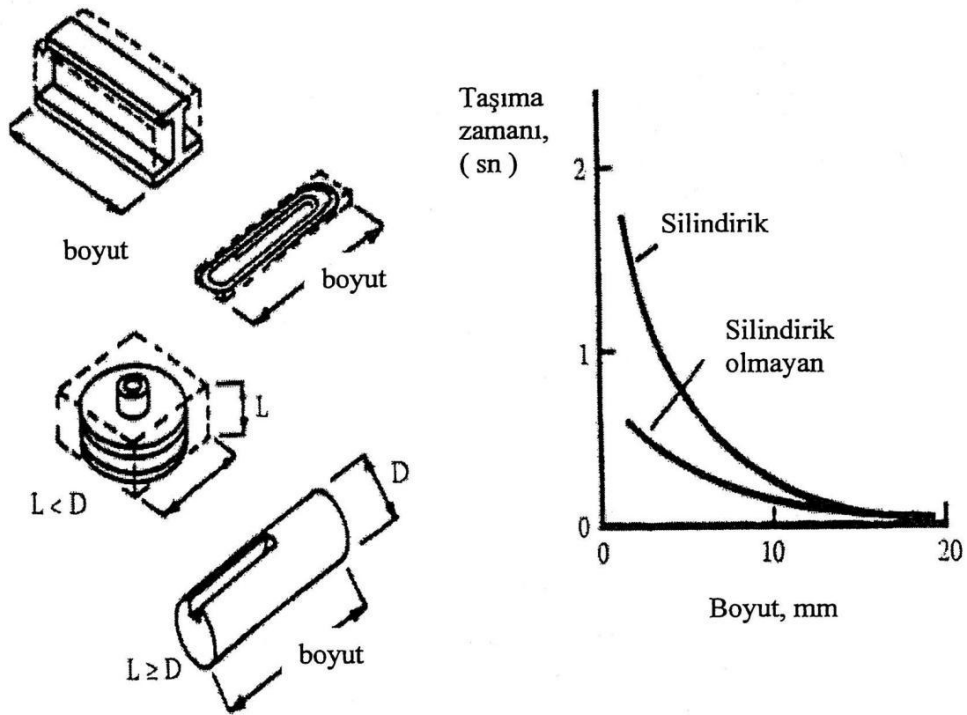
ise MUT indeksi,

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

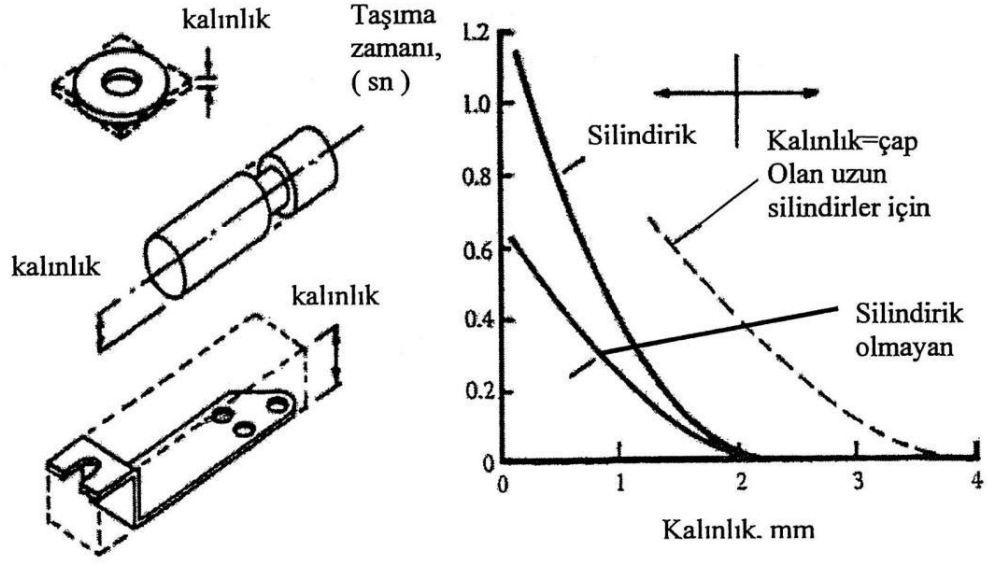
olarak tanımlanır [7].

Boothroyd & Dewhurst Montaja Uygun Tasarım indeksi tablosunun ilk sütununda sistemi oluşturan her parçanın kendilerine ait numaraları yer almaktadır. Boothroyd & Dewhurst yönteminde asıl hedeflerden biri parça sayısını azaltmaktır da parça sayısının azaltılması her zaman için montaja uygun tasarım indeksinin artmasını sağlamaz. Tablonun ikinci sırasında montajı oluşturan parçaların isimleri yer alırken; üçüncü sütununda parçanın sistemdeki tekrar sayısı belirtilmektedir. Bu noktada da yine mümkün olduğunca az tekrar sayılı parçalar kullanılmalıdır.

Dördüncü sütunda parçanın elle taşıma kodu yer almaktadır. Bu kod belirlenirken EK'te verilen Tablo A.1'den yararlanılmaktadır. Düşeydeki değerlerden elle taşıma kodunun birinci değeri seçilirken, yataydaki değerlerden de elle taşıma kodunun ikinci rakamı belirlenir.



Şekil 2.19 Parça boyutlarının elle taşıma zamanına etkisi [7]



Şekil 2.20 Parça kalınlığının elle taşıma zamanına etkisi [7]

Ayrıca bu değerler belirlenirken Şekil 2.19 ve Şekil 2.20'teki parça boyutunun ve kalınlığının etkisine de bakılır. Elle işleme kodlarını içeren çizelgede manipülasyon kolaylığını dikkate alan bazı sorular vardır ki bunlar dört kategoriye ayrılmıştır [11]. Bunlar;

- Tek elle yapma
- Kavrama yardımı ile tek elle yapma
- İki elle yapma
- Boyut ve kütle dolayısıyla iki veya dört elle yapmadır.

Beşinci sütunda yer alan elle taşıma zaman cezası, elle taşıma kodu tespit edildikten sonra bu koda karşılık gelen matristen okunarak belirlenir.

Altıncı sütunda yer alan elle ekleme kodu, yine elle taşıma kodu tablosuna benzer bir matristen okunur. Bu matrisler, Ek bölümde verilen Tablo A.2'de yer almaktadır. Yine elle taşıma kodunda yapıldığı gibi düşeydeki değerlerden elle ekleme kodunun ilk rakamı, yataydaki değerlerden de elle ekleme kodunun ikinci rakamı belirlenir. Ancak elle ekleme işleminin unsurları farklıdır. Bunlar;

- Eklenen ama sağlamlaştırılmamış parçalar,
- Eklenen ve sağlamlaştırılan parçalar,

-Kademeli yapılan operasyonlardır.

Yedinci sütunda yer alan elle ekleme zamanı cezası, elle ekleme kodu belirlendikten sonra Tablo A.2’de bu koda karşılık gelen matrizen okunarak belirlenir.

Sekizinci sütunda toplam montaj zamanı cezası bulunmaktadır ve bu değer elle taşıma ceza puanıyla, elle ekleme ceza puanlarının toplanmasıyla elde edilir. Bu değer hesaplanırken dikkat edilmesi gereken konu, eğer tekrar edilen parça varsa tekrar sayısı ile toplamın çarpılması gerekliliğidir.

Dokuzuncu sütunda elle montaj maliyeti yer almaktadır. Montaj maliyeti, toplam montaj süresi ceza puanının bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

Onuncu ve son sütunda yer alan minimum parça sayısı aslında Boothroyd & Dewhurst Montaja Uygun Tasarım Yönteminin ana yapısını içermektedir. Minimum parça sayısı o tasarımdaki mümkün olabilecek en az sayıdaki parçayı temsil etmektedir. Bir başka deyişle yardımcı parçalar değil tasarımın işlevsel amaçlarını gerçekleştiren asıl parçalara minimum parça sayısı denilmektedir. Bu parçalar dışında kullanılan, montajı yapılan her parça Boothroyd & Dewhurst Montaja Uygun Tasarım indeksi değerini düşürmektedir.

Boothroyd & Dewhurst Montaja Uygun Tasarım yöntemi, yukarıda belirtilen elle taşıma ve elle ekleme tablolarının kullanımı için Alfa ve Beta simetrisi olmak üzere iki tane simetri tanımlar;

-Alfa simetrisi, parçanın eklenme eksenine göre dik yönde ne kadar döndürülmesi gerektiğini belirten açıyı tanımlarken

-Beta simetrisi de parçanın eklenme eksenine göre ne kadar döndürülmesi gerektiğini belirten açıyı tanımlar [7].

Tablo 2.4’te çeşitli parçalar için alfa ve beta dönele simetri açıları verilmektedir.

Tablo 2.4 Çeşitli parçalar için alfa ve beta dönel simetri açıları [7]

α	0	180	180	90	360	360
β	0	0	90	180	0	360

2.5.7 Montaja Uygun Tasarım Çözüm Önerileri




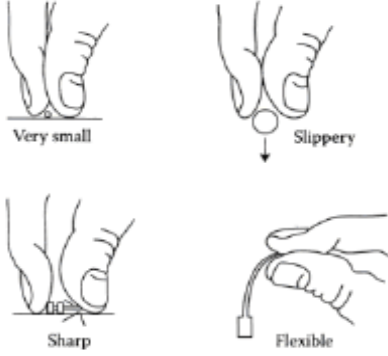
Montaj işlemlerinde birçok değişken söz konusudur. Bu değişkenler yapılan çalışmalar sonucu tespit edilmiş ve tespit yapılırken sadece referans literatür kaynaklarından yararlanılmamış, montaj operasyonlarında kullanılan değişkenler hakkında mevcut sanayi tesislerindeki pratik uygulamalar da incelenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda toplam 27 adet montaj değişkeni ortaya çıkarılmıştır. Bu montaj değişkenlerinin ilk 4 tanesi ve bunların kısa açıklamaları Tablo 2.5'te gösterilmiştir.

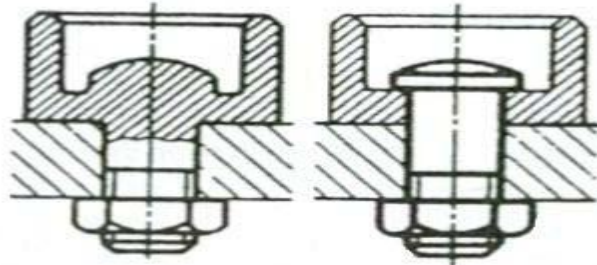
Tablo 2.5 En Sık Çelişen Montaj Değişkenleri ve Açıklamaları

DEĞİŞKEN	AÇIKLAMA
Standart Parça Kullanımı	Piyasada belli standartlarda tanımlanmış veya firma içinde halihazırda bulunan herhangi bir kalıp yada proses yatırımı gerektirmeyen hazır parça
Alt Montaj Sayısı	Ana montaj, oluşturan yarı montajlardır. Yarı montajlar belli yöntemler kullanarak ana montajı meydana getirirler
Parçanın Ağırlığı	Ürünü ya da yarı mamulü oluşturan parçaların toplam ağırlığı
Parçanın Hacmi	Bitmiş ya da yarı mamul ürünün toplam hacmi

Tablo 2.6 Montaj Ekleme ve Bağlama için Tasarım Klavuzu[22]

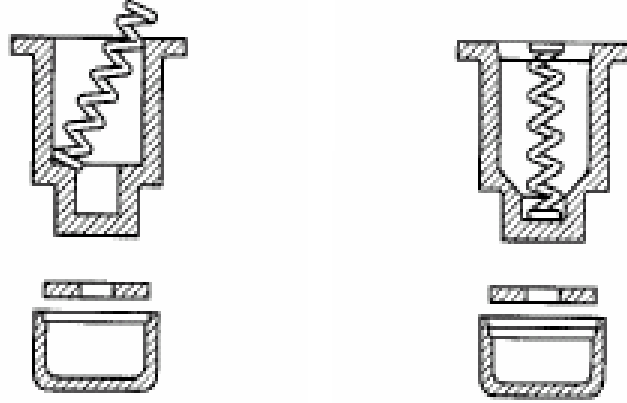
Tasarım Kuralları	Örnek
Maksimum düzeyde mümkün olduğunca simetrik parçalar üretilmelidir.	
Asimetrik parçaların eğer düzeltilme şansı yoksa tamamen eksene asimetrik yapılmalıdır.	
Parça yerleştirilmeye ve yuvasına oturmaya uygun olmalıdır.	
Küçük, kaygan, keskin ve esnek parça tasarımlarından kaçınılmalıdır.	

- Tasarlanan parçalara birden fazla fonksiyon verilmeli, özellikle bağlantı elamanlarının önemleri gözden geçirilmeli ve dolayısıyla parça sayılarının azaltılmasına çalışılmalıdır. Bu özelliğin daha iyi anlaşılması için Şekil 2.21'e bakılabilir.



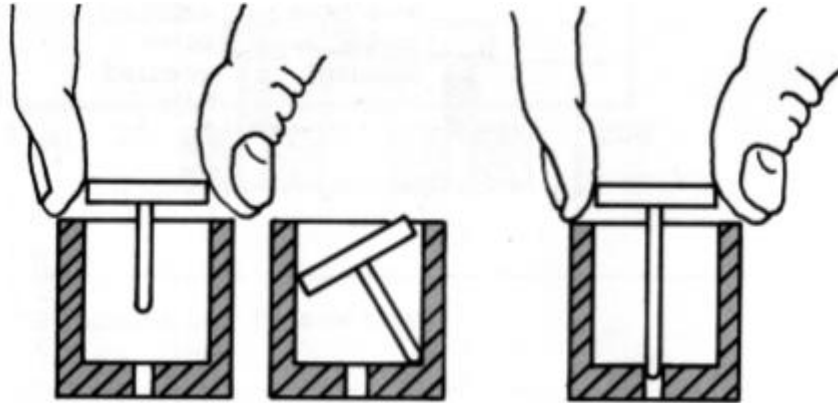
Şekil 2.21 Parça sayılarının azaltılmasına ait örnek [11]

- Eğer mümkünse, tutma esnasında karışabilecek veya hasar görebilecek zor tutulur esnek parçaların montajından kaçınılmalıdır. Şekil 2.22’de gösterilen bu tip montajların engellenmesi söz konusu olmadığı durumlarda tutma olayını kolaylaştırmak için fikstürlere gereksinim duyulmaktadır. Bu işlem de parçanın gövdeye oturacağı yere pah kırma işlemi yapılarak parçanın yönlendirilmesiyle gerçekleştirilir.



Şekil 2.22 Montaj yönlendirme yapılmalı

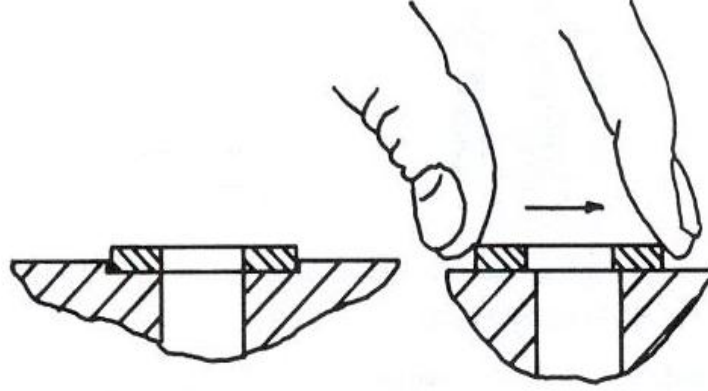
- Şekil 2.23’te gösterildiği gibi elle ulaşılamayacak yerlere parça montajı yapılırken mümkün olduğunca ulaşılabilen son noktada parçanın yuvasına oturması sağlanmalıdır.



Şekil 2.23 Elle ulaşılamayan yerlere parça montajı [22]

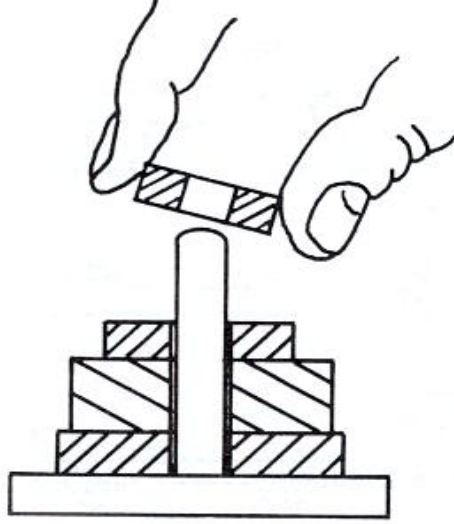
- Montajı yapılacak parçanın öncelikle sabitlenmesi gerekmektedir. Bu sabitleme işlemi bazı yerlerde oldukça zorlaşır. Bu yüzden Şekil 2.24’te görüldüğü gibi

montajı yapılacak parça için diğerk parçaya açılacak bir yuva yardımı ile sabitleme yapılması gerekmektedir.



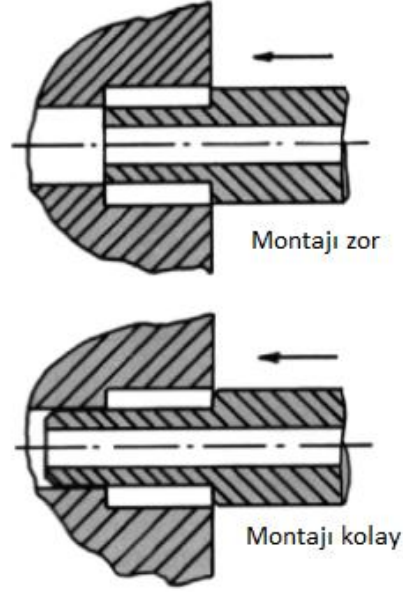
Şekil 2.24 Montajı yapılacak parçanın sabitlenmesi [22]

- Şekil 2.25'te görüleceği üzere ard arda yapılan montaj işlemlerinde en iyi çözüm piramit montaj modelinin uygulanmasıdır.

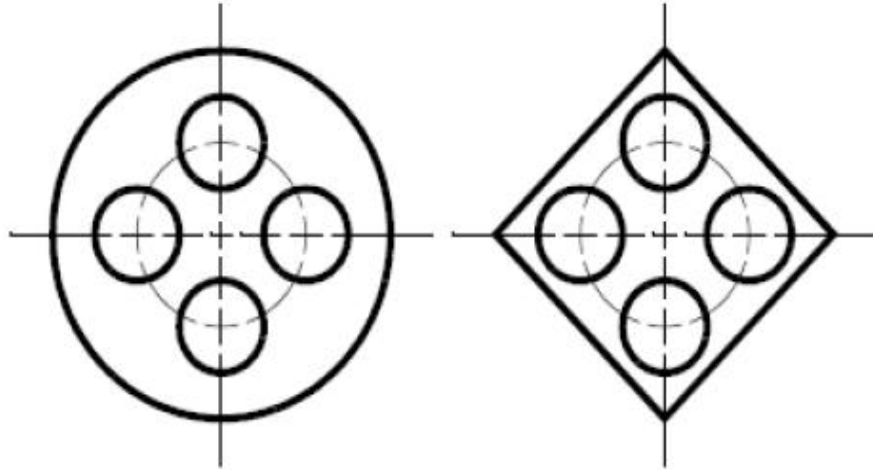


Şekil 2.25 Montajda piramit modeli [22]

- Şekil 2.26'da gösterildiği gibi montajı yapılacak parça birden çok kademeye sahipse bu kademeler aynı anda gövdeye temas etmemelidir. Bu şekilde parçaların eş zamanlı eklenmesi durumu ortadan kaldırılmalıdır.

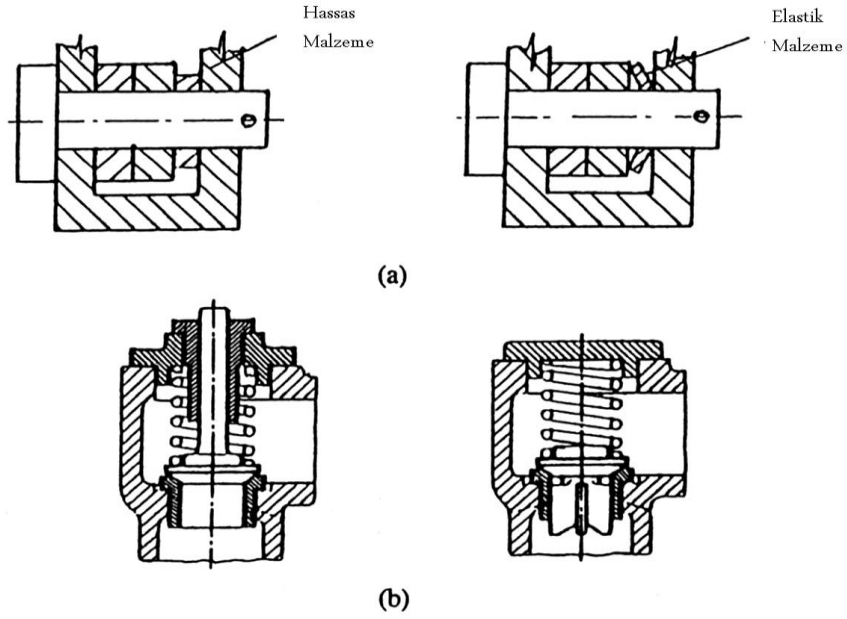


Şekil 2.26 Köşe temaslarından kaçınılmalıdır [22]



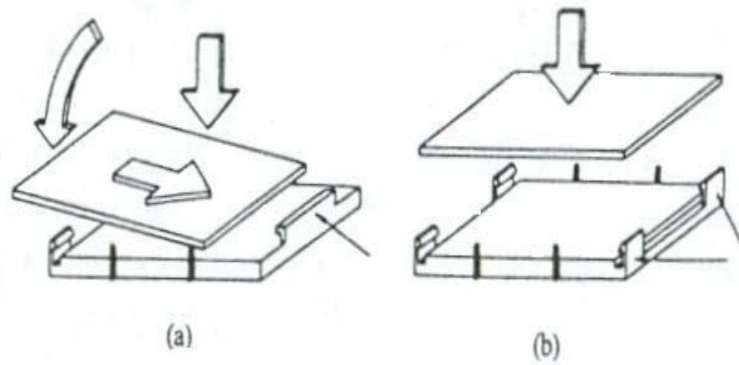
Şekil 2.27 Montaj hareketlerinin kolaylaştırılması [11]

- Montaj parçalarının işlevleri, yetenekleri ve fonksiyonelliklerini kaybetmeden üzerinde tasarım değişikliğine gidilebilir. Şekil 2.27'deki örnekte de bağlantı deliklerinin yeri ve sayısı değiştirilmeden sadece şekli değiştirilerek hem malzeme, hem ağırlık hem de montaj hacminde iyileştirme sağlanmıştır.



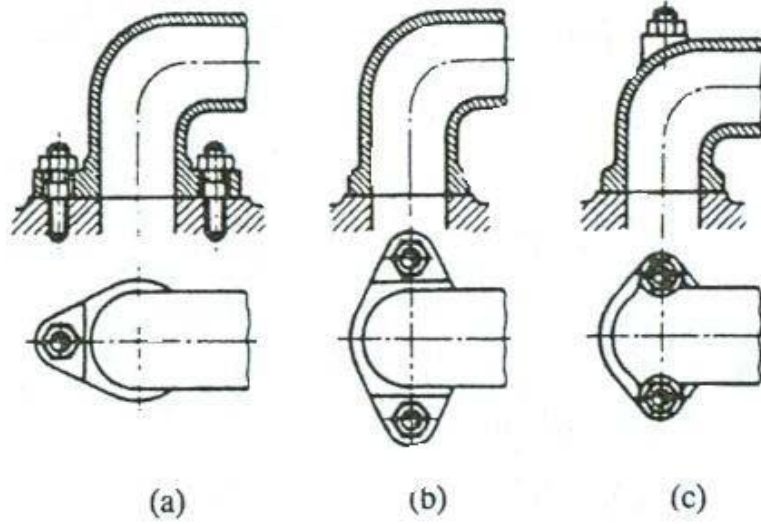
Şekil 2.28 (a) elastik elemanla yapılmış iyi bir tasarım (b) toleransın azaltılmasıyla parça sayısında azalma [11]

- Montaj yüzeylerinde kullanılan hassas parçalar ek üretim ve maliyet zorlukları getirmektedir. Bu durum ya elastik elemanların kullanılmasıyla veya toleranslarda yapılan azaltma ile parça sayısında azaltma yoluna gidilerek sağlanabilir [11]. Şekil 2.28'deki örnekte bu durum anlatılmaktadır.



Şekil 2.29 Montaj hareketlerinin azaltılmasına ait bir örnek [11]

- Elle montaj işlemlerinde parçanın taşınması ve yerleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu yüzden Şekil 2.29'da görüldüğü gibi mümkün olduğunca taşıma ve montaj hareketlerinin azaltılması gerekmektedir.



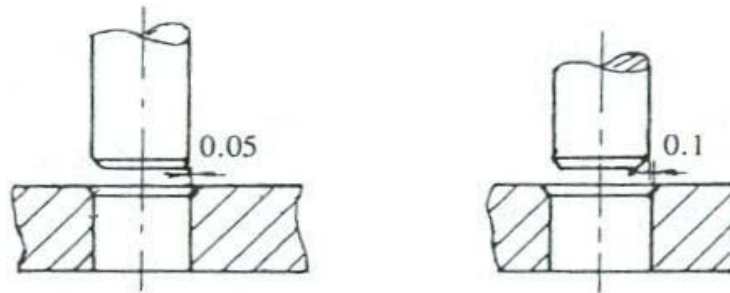
Şekil 2.30 Montaj yapılacak yüzeye kolay erişim örneği [11]

- Montaj yapılacak yüzeye erişim kolay olmalıdır. Şekil 2.30(a)'daki örnekte civatalardan birine olan erişim çok zordur ama tasarım değişiklikleriyle bu zorluğun (b) ve (c)'de düzeltildiği görülmektedir.



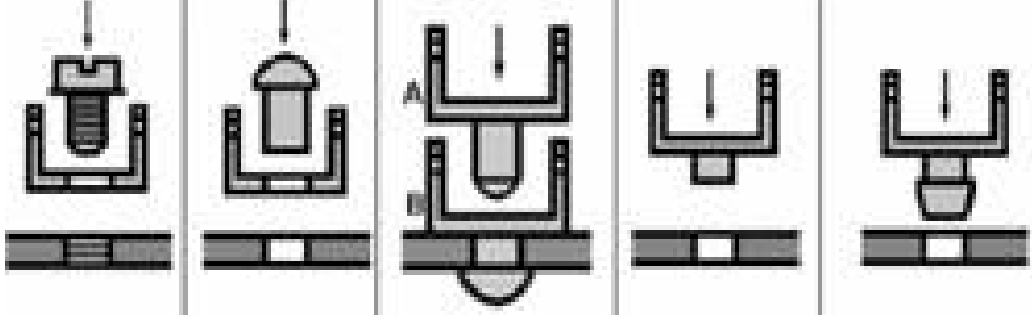
Şekil 2.31 Tek parçalı tasarımlar yapılmalı

- Şekil 2.31'deki tasarımda olduğu gibi gereksiz hareketli bağlantılardan kaçınılmalı ve mümkünse tasarım tek parça olarak hazırlanmalıdır.



Şekil 2.32 Gereksiz dar toleransların ortadan kaldırılması [11]

- Dar toleranslardan ve yüzey işleme gerektiren tasarımlardan kaçınılmalıdır. Bu kriter Şekil 2.32’de gösterilmiştir.
- Parçalar arası boşluklar hesaplanırken montajda kullanılacak takım türleri dikkate alınmalı ve özel takımların kullanılmasından kaçınılmalıdır.



Şekil 2.33 Kullanılan takım sayısı ve çeşitliliği[22]

- Şekil 2.33’te adım adım montaj geliştirme tasarımı uygulaması ele alınmıştır. İlk tasarımda 3 farklı parça varken son tasarımda 2’ye düşürülmüştür ve elle montajı yapılabilir.

MONTAJA UYGUN TASARIM UYGULAMASI

Önceki bölümlerde eşzamanlı mühendislik ve onun tasarım yöntemlerinden biri olan montaja uygun tasarım hakkında teorik bilgi verilmiş, önemli kriterleri belirtilmiş, uygulama alanları ve açıklayıcı örnekler üzerinde durularak konunun pekiştirilmesine çalışılmıştır. Bu bölümde ise bu bilgiler paralelinde bir uygulama yapılacak olup, montaj kolaylığı, maliyet ve meydana gelen olumlu olumsuz yönleri incelenip karşılaştırılacaktır.

3.1 Sistem Hakkında Genel Bilgi

İşletme otomobil üreticileri için enerji ve sinyal dağıtım sistemleri (kablo ağı-HARNESS) üretimi yapmaktadır. Fabrikada otomobil gövdesine yerleştirilen kablo ağı (harness) üretilmektedir. Kablo ağı otomobilin tüm elektriksel fonksiyonlarının, göstergelerin, kontrol ünitelerinin, müzik sisteminin ve motorun düzenli olarak çalışmasını ve sürücü tarafından verilen komutların en çabuk ve güvenilir bir şekilde yerine getirilmesini sağlayan sistemdir. Kablo ağı araç tipine göre değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık 2000m kablo ve 3000 çeşit komponentin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Kablo üretim hatlarında (ekstrüzyon) üretilen kablolar hem fabrikada üretilen ürünlerde kullanılmakta hem de yurt dışındaki bazı üretim merkezlerine ihraç edilmektedir. Harness üretimine başlamadan önce tasarımı yapılmaktadır. Tasarımlar tamamlanıp onay alındıktan sonra harnessların üretileceği fabrikaya gönderilir.

Harness üretiminde metalurjik dönüşümler, döküm, metallerin şekillendirilmesi, metallerin kesimi ve kaynak gibi süreçler bulunmaktadır. Harness üretimi ekstrüzyonda

kablonun üretimi ile başlar, kesme, krimleme, montaj, komponent birleştirme, paketleme ve depolama işlemleri ile son bulur. İşletmede var olan üretim sistemleri kesikli seri üretim ve hücresele üretimdir. Harness üretimi döner (konveyörlü) panolar veya sabit panolar üzerinde yapılmaktadır. Eğer harness büyük ve tek panoda üretilemeyecek kadar karmaşık yapıda ise döner panolarda montaj işlemi yapılmaktadır. Kesikli seri üretim olan döner panolarda operatör önündeki panoda işlemini yaptıktan sonra diğer pano ilerleyerek operatörün önüne gelir ve operatör yeni gelen panoda tekrar aynı işlemi gerçekleştirir. Döner panolarda yaklaşık 30 operatör birbirine bağlı olarak çalışmaktadır.

Ayrıca sabit panolarda da kesikli seri üretim yapılmaktadır. Bir harnessı oluşturan birçok alt kısım bulunmaktadır. Bu alt kısımlar (kit) hücreler halinde oluşturulan sabit panolarda üretilip, bir harnessı oluşturmak üzere hazırlanmakta, aynı zamanda üretimi kolaylaştırıp daha da hızlandırmaktadır. Bu alanlarda hücresele üretim yapılmaktadır.

Ekstrüzyon bölümünde kablo üretimi ve kesme makinalarında kablonun kesilip, terminallerin takılması işlemlerinde de kesikli seri üretim yapılmaktadır. Kesikli seri üretim ile üretim kısa zamanda gerçekleşir ve oluşabilecek darboğazlar engellenir. Hücresele üretimde ise her ürün ailesi kendi hücresinde üretildiği için gereksiz taşımalar azaltılmıştır. Ayrıca komponent kayıpları da engellenmiştir.

Pano ve kitlerde çalışan operatörler panoların üzerindeki rota ve görsellere göre kabloları rotalar, istenilen yerlere konektörleri takar, bantlama işlemini gerçekleştirir ve işaretli olan yerlere kabloları bir arada tutarak araç içinde sabitlemede kullanılacak zuhları takar.

Harnessların üretimleri tamamlandıktan sonra elektriksel kontrolü için ROB denilen, üzerinde her konektörün bağlanması için konektör sayısı kadar modüllerin bulunduğu test cihazlarıdır. Düşük bir voltaj içerir ve kabloların bağlantılarında bir temassızlık veya eksik montaj olup olmadığı kontrol edilir. Sisteme o harness ile ilgili elektriksel özellikler yüklenmiş olduğundan herhangi bir arızada sistem hata vermektedir.

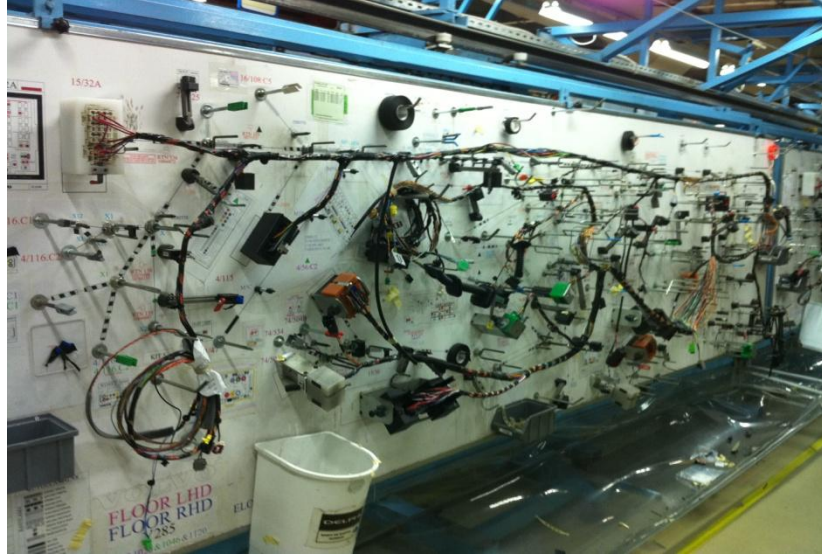
Robların üzerinde harnessın konektörlerinin takılmasını sağlayan modüller pnömatik sistemlerdir. İçlerinde konektör içindeki terminallere teması sağlayan uçlar ve konektörün takıldığını anlayan ve konektör oturduğunda pnömatik valfi açarak modül

içindeki uçların konektöre doğru itilmesini sağlayan ayrıca konektörü modüle kilitleyen pimler bulunur.

Tüm konektörler robtaki yerlerine takıldıktan sonra elektriksel test uygulanır ve onay alındıktan sonra sistem otomatik olarak valfi kapatır ve tüm kilitli konektörleri serbest bırakır. Sistemden onay alındıktan sonra çıkan etiket harness üzerine yapıştırılır ve böylece harnessin üretim ve test süreci sona ermiş olur.

3.2 Endüstriyel Uygulama ve Tasarımlar

Tüm kontrolleri tamamlanan kablo ağları, rob üzerinden alındıktan sonra yine tasarım aşamasında belirlenmiş olan bir rotaya göre paketlenmektedir. Paketlemeyi yapan operatör depolamanın yapılacağı paletin açılması için kablo ağı üzerindeki robtan alınan etiketi okutur ve o modele uygun olan palet açılır. Daha sonra palet üzerindeki etiketi okutarak hem paletin kapanması hem de palet içindeki kablo ağı sayısının tespit edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.1 Kablo ağı üretim panoları

Kablo ağlarının depolanıp sevkiyatını sağlayan paletler şekil, boyut ve harness modeline göre değişiklikler göstermektedir. Günümüz şartlarında ve teknolojisinde üretilen araçların opsiyonlarının artması, model sayısında ve dolayısıyla ürün çeşitliliğinin de artmasına neden olmuştur. Bu durum da beraberinde üretimde karışıklıklara, operatör hatalarına ve üretimde aksaklıklara neden olmaktadır.



Şekil 3.2 Mevcut büyük palet kapatma sistemleri

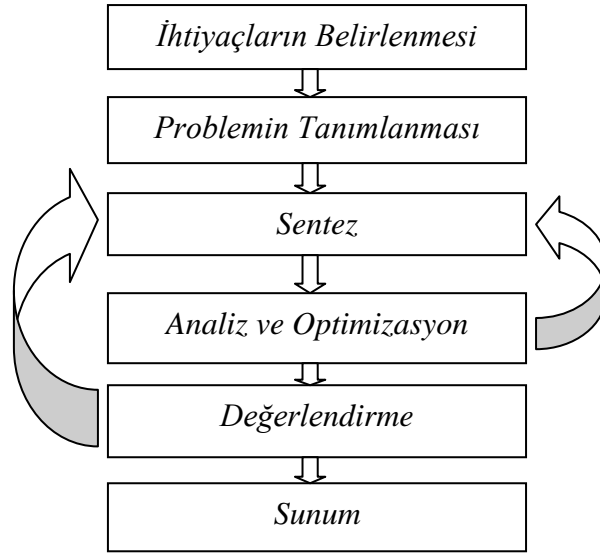
Küçük ve birbirinden farklı modeller için mevcut palet kapatma sistemi şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Mevcut küçük palet kapatma sistemleri

Ancak her iki palet sistemi için farklı kreform ve kafes sistem hazırlanması gerekmektedir. Bu da model geçişlerinde (değişikliklerinde) montaj ve transfer sorunları yaratmakta, zaman kayıplarına ve hatta iş kazalarına yol açmaktadır.

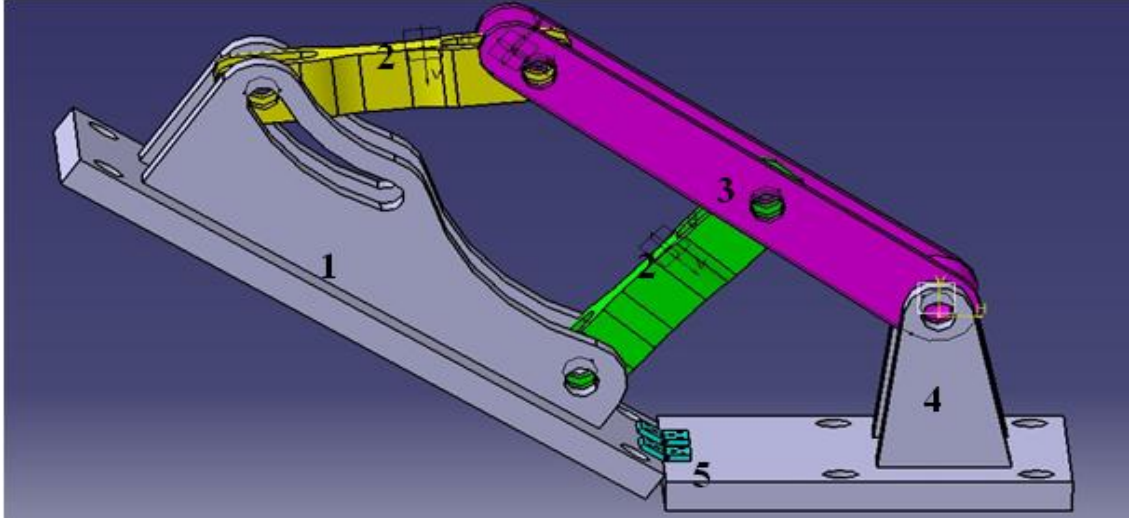
İhtiyaçların ve mevcut sorunların belirlenmesinin ardından Şekil 3.4'teki aşamalar yardımıyla tasarım yenileme çalışmasına başlanmıştır.



Şekil 3.4 Genel tasarım aşamaları

Yeni tasarım aşamasında ana düşünce olarak palet sistemlerin standardizasyonu ve mevcut sistemde sadeleştirme düşüncesi esas alınmıştır. Bu doğrultuda mevcut kreform kafesli sistem ortadan kaldırılarak paletin üzerine yerleştirilecek; istenildiğinde kolaylıkla hangi boyut ve model palet olursa olsun bir başka palete kolayca monte edilebilecek bir sistem düşünüldü. Bu uygulamada ortaya çıkan iki farklı tasarım avantaj, dezavantaj, montaj süreleri ve verimlilikleri açısından karşılaştırılacaktır.

3.2.1 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine Göre Tasarım 1



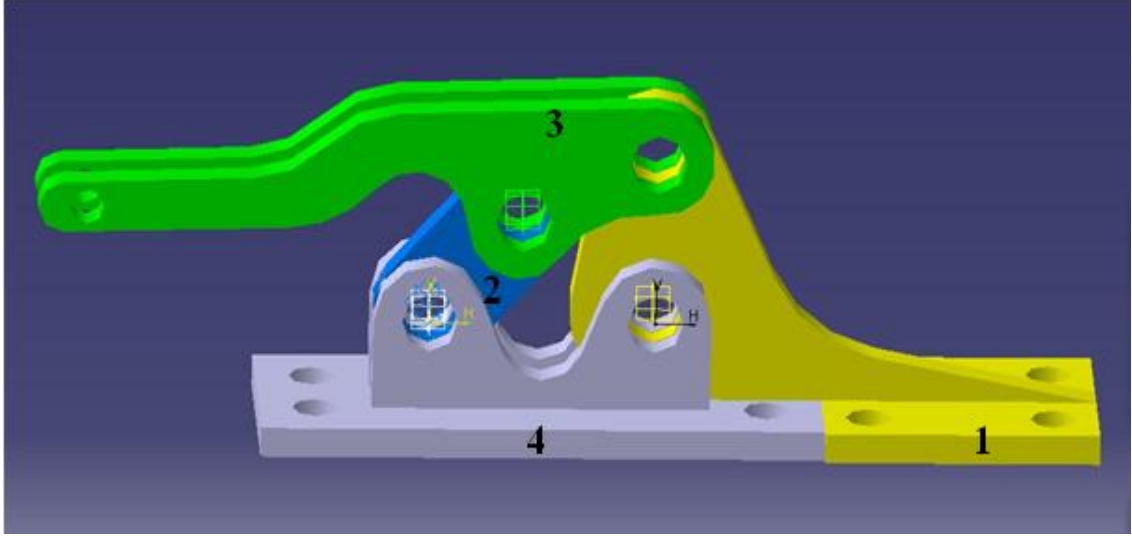
Şekil 3.5 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi için önerilen 1 numaralı tasarım

Not: Bağlantı milleri ve civatalar tasarımda gösterilmemiştir.

Tablo 3.1 Önerilen 1 numaralı tasarım için Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi tablosu

Parça Numarası	Parça Adı	Parça Tekrar Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma zamanı (sn.)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme zamanı (sn.)	Toplam Montaj zamanı (sn.)	Elle Montaj Maliyeti (ytl)	Minimum Parça Sayısı
1	Kapak braket	1	35	2,73	26	10,50	13,23	0,04	1
2	Klavuz kol	2	05	1,84	04	5,50	14,68	0,04	0
3	Ana kol	1	05	1,84	06	6,50	8,34	0,02	1
4	Braket	1	35	2,73	26	10,50	13,23	0,04	1
5	Menteşe	2	03	1,69	00	1,50	6,38	0,02	0
6	Mil	5	00	1,13	31	5,00	30,65	0,09	0
7	M5 Civata	8	10	1,50	38	6,00	60,00	0,18	0
8	M2 Civata	12	10	1,50	38	6,00	90,00	0,27	0
TOPLAM							236,51	0,70	3
MUT İndeksi = $3 \times 3 / 236,51 = \% 3,8$									

3.2.2 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine Göre Tasarım 2



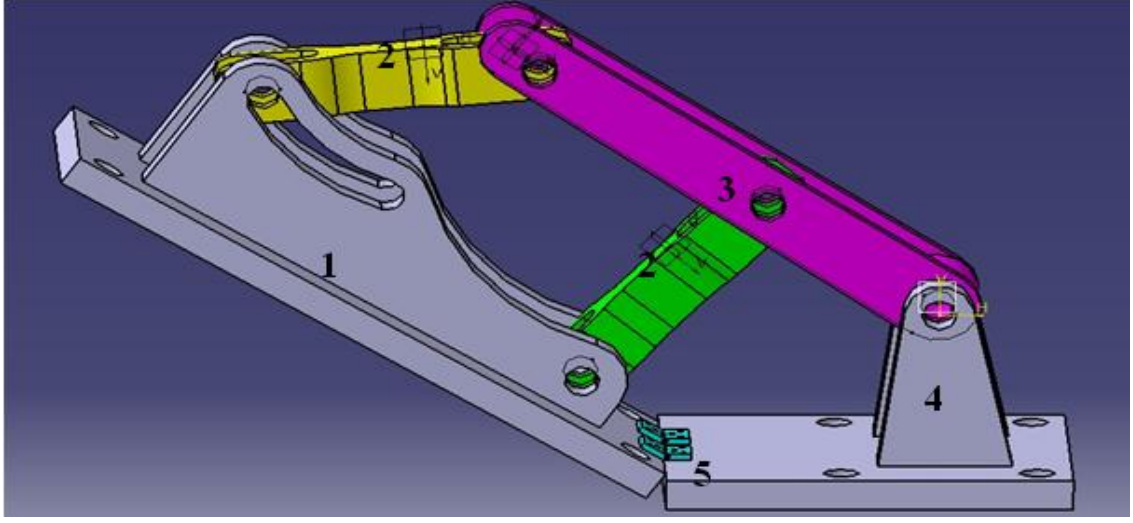
Şekil 3.6 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi için önerilen 2 numaralı tasarım

Not: Bağlantı milleri ve civatalar tasarımda gösterilmemiştir.

Tablo 3.2 Önerilen 2 numaralı tasarım için Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi tablosu

Parça Numarası	Parça Adı	Parça Tekrar Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma zamanı (sn.)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme zamanı (sn.)	Toplam Montaj zamanı (sn.)	Elle Montaj Maliyeti (ytl)	Minimum Parça Sayısı
1	Kapak braket	1	35	2,73	26	10,50	13,23	0,04	1
2	Klavuz kol	1	05	1,84	04	5,50	7,34	0,02	0
3	Ana kol	1	35	2,73	06	6,50	9,23	0,02	1
4	Braket	1	35	2,73	26	10,50	13,23	0,04	1
5	Mil	4	00	1,13	31	5,00	24,52	0,07	0
6	M5 Cıvata	8	10	1,50	38	6,00	60,00	0,18	0
TOPLAM							127,55	0,37	3
MUT İndeksi = $3 \times 3 / 127,55 = \% 7,0$									

3.2.3 Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemine Göre Tasarım 1



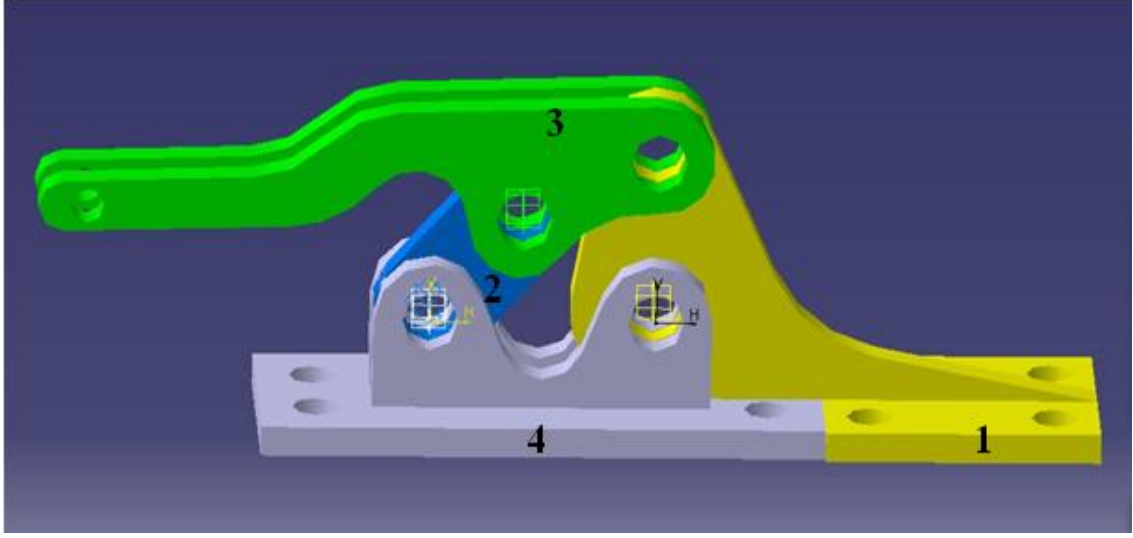
Şekil 3.7 Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi için önerilen 1 numaralı tasarım

Tablo 3.3 Önerilen 1 numaralı tasarım için Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme tablosu

Parça Numarası	Parça Adı	Montaj Operasyonları	Parça tekrar sayısı	Parça Puanı (Ei)	E
4	Braket	Parça sabitlenir	1	100	67
7	Civata	Civatayı sabitle	4	70	
3	Ana kol	Yönlenmeye göre sabitle ve bekle	1	60	
6	Mil	Mili sabitle ve yana doğru sıkıştırarak bastır	1	60	
2	Klavuz kol	Yönlenmeye göre sabitle ve bekle	2	60	
6	Mil	Mili sabitle ve yana doğru sıkıştırarak bastır	2	60	
1	Kapak Braket	Parçayı sabitle ve bekle	1	60	
6	Mil	Mili sabitle ve yana doğru sıkıştırarak bastır	2	60	
7	Civata	Civatayı sabitle	4	70	
5	Menteşe	Bastır ve sabitle	2	50	
8	Civata	Civatayı sabitle	12	70	

$$\frac{\sum E_i}{ParçaSayısı} = \frac{2140}{32} = 67$$

3.2.4 Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemine Göre Tasarım 2



Şekil 3.8 Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi için önerilen 2 numaralı tasarım

Tablo 3.4 Önerilen 2 numaralı tasarım için Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme tablosu

Parça Numarası	Parça Adı	Montaj Operasyonları	Parça tekrar sayısı	Parça Puanı (Ei)	E
4	Braket	Parça sabitlenir	1	100	71
6	Civata	Civatayı sabitle	4	70	
1	Kapak Braket	Aşağıya doğru bastır	1	100	
5	Mil	Mili sabitle ve yana doğru sıkıştırarak bastır	1	60	
2	Klavuz kol	Yönlenmeye göre sabitle ve bekle	1	60	
5	Mil	Mili sabitle ve yana doğru sıkıştırarak bastır	1	60	
3	Ana kol	Yukarı kaldır tut	1	70	
5	Mil	Mili sabitle ve yana doğru sıkıştırarak bastır	2	60	
6	Civata	Civatayı sabitle	4	70	

$$\frac{\sum E_i}{ParçaSayısı} = \frac{1130}{16}$$

$$= 71$$

3.2.5 Tasarımların Değerlendirilmesi

Her iki tasarımın da ortak özelliği açılıp kapandığında kendisini kilitlemesidir. İlk tasarımdaki gereksiz çözülebilir bağlantıların olması hem montaj zorluğuna hem mekanizma ağırlığına hem de maliyet artışına neden olmaktadır.

Tablo 3.5 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine göre Yeni tasarımların karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Montaj Süresi (sn)	MUT İndeksi	Montaj Maliyeti (TL)	Maliyet (TL)	Kapak Açıklığı (deg)
Tasarım 1	8	236,51	% 3,8	0,70	2360	33
Tasarım 2	6	127,55	% 7,0	0,37	1250	60

Üretim mühendisleriyle yapılan görüşmeler sonrasında kapağın palete bağlı olmasının gerekmediği sonucundan yola çıkarak önce montaj zorluğunun asıl sebeplerinden biri olan menteşeleri ortadan kaldırdık. Daha sonra çözülebilir bağlantı sayısını azaltmak için kapağın bağlı olacağı braketleri direk olarak ana brakete bağlayıp bir kol yardımıyla hareket verilecek bir tasarım düşünerek bu sonuca vardım ve ortaya bu tasarım çıktı.

Birinci tasarımda 8 adet parça yer alırken, ikinci tasarımda bu sayı 6'ya inmiştir. Yapılan bu uygulama sonrasında, Tablo 3.5'te 1 ve 2 nolu tasarımın önemli sayılabilecek kriterleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi ikinci tasarımda palet kapatma sisteminin çalışma prensibi olarak herhangi bir değişiklik yapılmadan boyutsal olarak bir küçültmeye gidilmiş, bu çalışmanın ardından palet kapatmada da olumlu olarak değişiklik yapılmıştır. Bu olumlu değişiklikleri, parça sayısında azalma, genel montaj süresinin azalması, parça ağırlığında azalma şeklinde sıralayabiliriz.

Tablo 3.5'ten de görüleceği gibi yapılan iyileştirmeler sonucu öncelikle parça sayısı 8' den 6' ya düşmüş, buna bağlı olarak toplam montaj süresi 236,51 sn.'den 127,55 sn.'ye düşmüş ki bu yaklaşık %46 gibi büyük bir kısalmaya sebep olmuştur. Bu kısalma MUT indeksini etkilediğinden; bu değer % 3,8 değerinden %7,0 değerine çıkarak iyi bir artış göstererek yaklaşık %84 artış göstermiştir. Bu da demek oluyor ki montaj süresinde

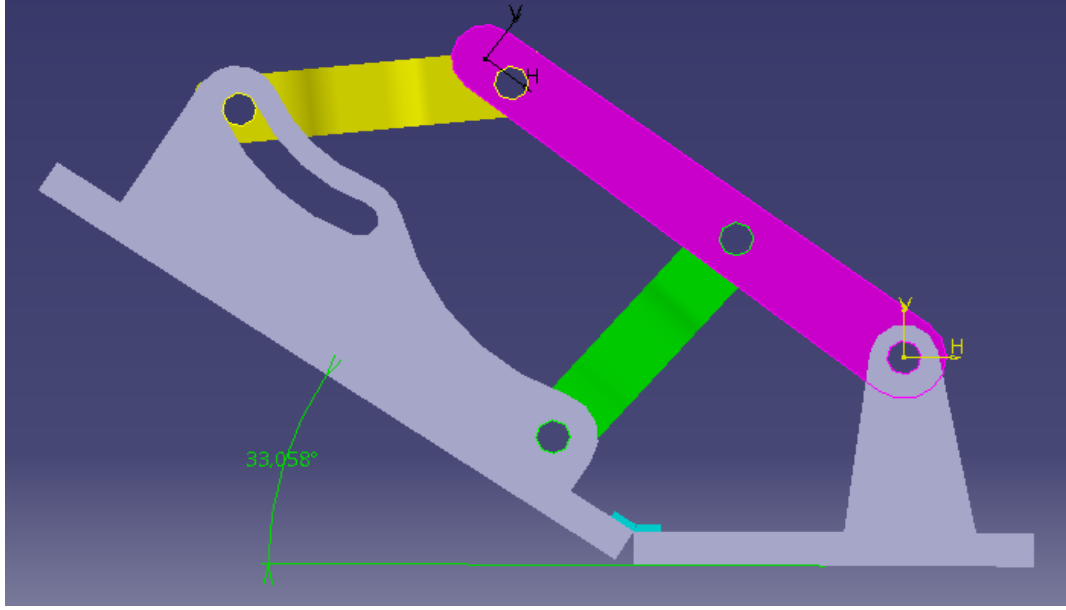
harcanan zaman %84 daha verimli olmaktadır. Ayrıca montaj maliyetleri de düşürülmüş ve üretim maliyeti açısından bir değerlendirme yapılırsa yaklaşık 1100 TL'lik bir iyileşme olduğu gözlenmektedir. (Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi için elle taşıma ve elle ekleme zamanı tabloları EK-A'da gösterilmiştir).

Tablo 3.6 Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemine göre Yeni tasarımların karşılaştırılması

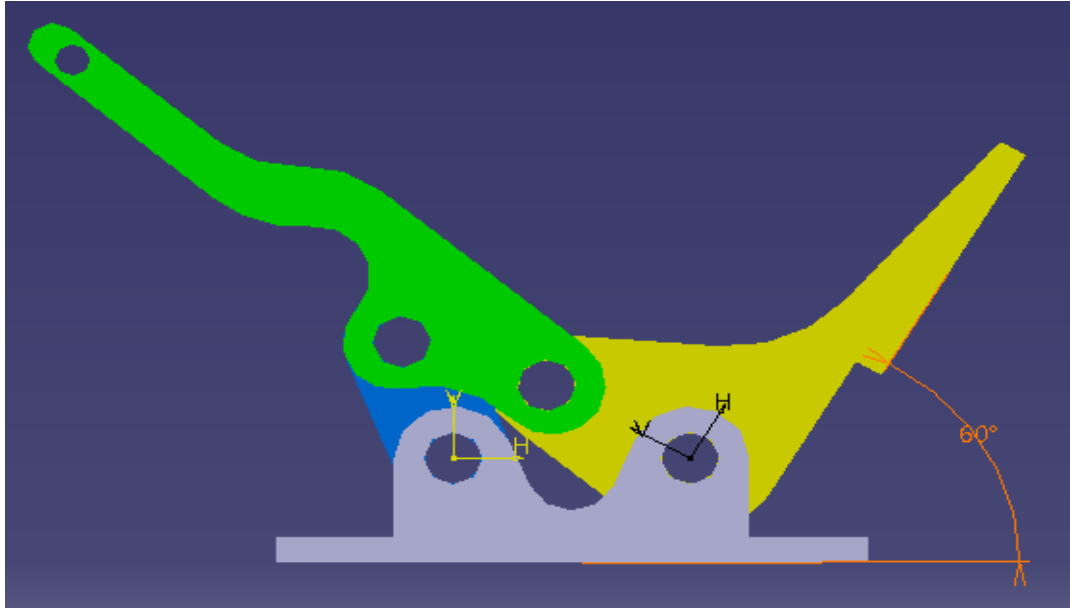
	Parça Sayısı	Toplam Parça Puanı	Montaj Edilebilirlik Puanı E
Tasarım 1	32	2140	67
Tasarım 2	16	1130	71

Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemine göre iki tasarım ele alındığında, Tablo 3.6'da da görüleceği gibi birinci tasarım toplam 32 parçadan oluşmakta ve bu parçaların montaj sırasındaki operasyonların zorluğu göz önüne alınıp ceza puanlarına göre genel toplam yapıldığında 2140 toplam montaj puanına ulaşılmaktadır. Toplam parça puanının, parça sayısına bölünmesiyle tasarım kalitesine değer biçmek amacıyla kullanılan ve montaj edilebilirliğin değerlendirme oranı olarak tanımlanan E değeri 67 olarak belirlenmiştir. En iyi puanın yüz olduğu koşullarda 70 puanın altında kalan puanlar kabul görmemektedir.

Tasarım yenileme çalışmaları ve yapılan iyileştirmeler sonucu parça sayısı 32'den 16'ya düşürülmüştür. Ancak Hitachi montaj edilebilirlik yönteminde parça sayısının azaltılması tek başına her zaman iyi bir sonuç vermeyebilir. Çünkü parçaların montaj edilirken birbirlerine göre olan konumları önemli olmasına rağmen, montaj sırası ve elle ekleme zamanı dikkate alınmamaktadır. Bu yüzden yeni parçaların birbirine montajı sırasındaki operasyonlar tekrar değerlendirilmiş ve 1130 toplam montaj puanına ulaşılmış, bu değer parça sayısına oranı ile de montaj edilebilirlik değerlendirme puanı 71 olarak elde edilmiştir. Böylelikle verimli kabul edilebilir bir tasarım elde edildiği görülmüştür. (Hitachi Montaj Değerlendirme Ceza Puanları ve Sembolleri EK-B'de gösterilmiştir).



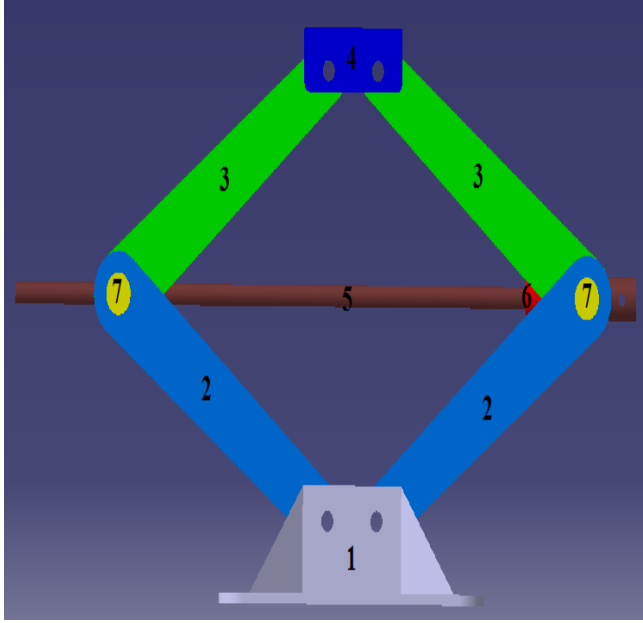
Şekil 3.9 Önerilen 1 numaralı tasarım için kapak açısı



Şekil 3.10 Önerilen 2 numaralı tasarım için kapak açısı

Ayrıca ikinci tasarımda menteşelerden de kurtulmanın verdiği avantajla kapak ağız açıklığı 33 dereceden, 60 derece çıkmıştır ki bu da operatör için daha rahat bir yükleme alanı yaratmakta bu sayede meydana gelebilecek iş kazalarının da önüne geçilmiştir. Her iki tasarım için de eskiden olduğu gibi yine pnömatis piston kullanılması düşünülmektedir. Ancak eski tasarımdaki pistonlara göre çok daha küçük ve kısa stroklu pistonlar palet kapağının yeterli miktarda açılıp kapanmasını sağlayabilecektir.

3.2.6 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine Göre 1 Nolu Kriko Tasarımı

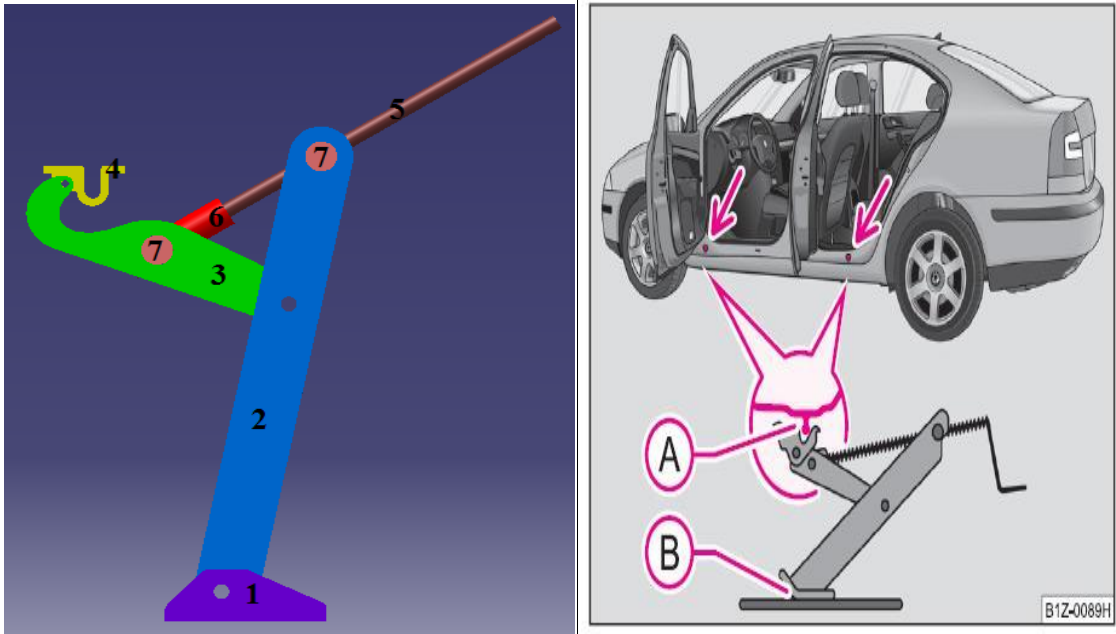


Şekil 3.11 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi için önerilen 1 Nolu Kriko Tasarımı

Tablo 3.7 1 Nolu Kriko Tasarımı için Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi tablosu

Parça Numarası	Parça Adı	Parça Tekrar Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma zamanı (sn.)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme zamanı (sn.)	Toplam Montaj zamanı (sn.)	Elle Montaj Maliyeti (ytl)	Minimum Parça Sayısı
1	Taban	1	30	1,95	00	1,50	3,45	0,01	1
2	Alt Kol	2	00	1,13	04	5,50	13,26	0,04	0
3	Üst Kol	2	00	1,13	06	6,50	15,26	0,05	0
4	Yastık	1	00	1,13	06	6,50	7,63	0,02	1
5	Vida	1	10	1,50	49	10,50	12,00	0,03	1
6	Stoper	1	00	1,13	38	6,00	7,13	0,02	0
7	Ara Somun	2	00	1,13	31	5,00	12,26	0,03	0
8	Pim	4	00	1,13	31	5,00	24,52	0,07	0
TOPLAM							92,51	0,27	3
MUT indeksi = $3 \times 3 / 92,51 = \% 9,7$									

3.2.7 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine Göre 2 Nolu Kriko Tasarımı



Şekil 3.12 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi için önerilen 2 Nolu Kriko Tasarımı

Tablo 3.8 2 Nolu Kriko Tasarımı için Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi tablosu

Parça Numarası	Parça Adı	Parça Tekrar	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma zamanı (sn.)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme zamanı (sn.)	Toplam Montaj zamanı (sn.)	Elle Montaj Maliyeti (ytl)	Minimum Parça Sayısı
1	Taban	1	00	1,13	00	1,50	2,63	0,01	1
2	Ana Taşıyıcı	1	00	1,13	04	5,50	6,63	0,02	0
3	Kaldıraç	1	00	1,13	06	6,50	7,63	0,02	0
4	Yastık	1	30	1,95	02	2,50	4,45	0,01	1
5	Vida	1	10	1,50	49	10,50	12,00	0,03	1
6	Stoper	1	00	1,13	38	6,00	7,13	0,02	0
7	Ara Somun	2	00	1,13	31	5,00	12,26	0,03	0
8	Pim	3	00	1,13	31	5,00	18,39	0,05	0
TOPLAM							71,12	0,19	3
MUT indeksi = $3 \times 3 / 71,12 = \% 12,7$									

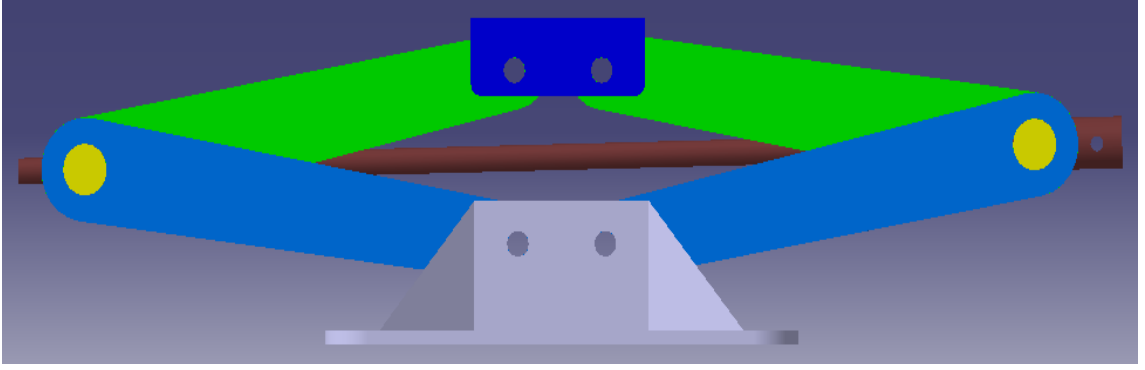
3.2.8 Örnek Kriko Tasarımlarının Değerlendirilmesi

Krikolar, ağır yükleri kısa mesafelere kaldırmakta, yüksek basınç uygulamakta ve çeşitli parçalardan oluşan malzemeleri desteklemekte kullanılan ve çoğunlukla elle çalıştırılan aygıtlardır. Gerek endüstride gerekse de günlük hayatımızın içinde işlerimizi kolaylaştıran bu aletler, kaldıraç ilkesine dayalı olarak, hidrolik veya pnömatik etkiyle yada kremayer-pinyon mekanizması (vida sistemi) uyarınca çalışır. Çoğu kriko elle taşınabilir boyutta ve hafiflikte olmakla birlikte binlerce ton ağırlığı kaldırabilen krikolar da vardır. Krikoların en yaygın olarak kullanılanı daha doğrusu insanlarla iç içe olan örneği, otomobillerde lastik değiştirebilmek için aracın bir bölümünü yukarı kaldırmakta kullanılan otomobil krikosudur. Çalışmanın bu bölümünde de mevcut olarak kullanılmakta olan iki farklı tasarıma sahip vidalı araç krikolarının montaja uygun tasarım yöntemlerinden biri olan Boothroyd & Dewhurst Montaja Uygun Tasarım Yöntemine göre değerlendirilip karşılaştırılmaktadır.

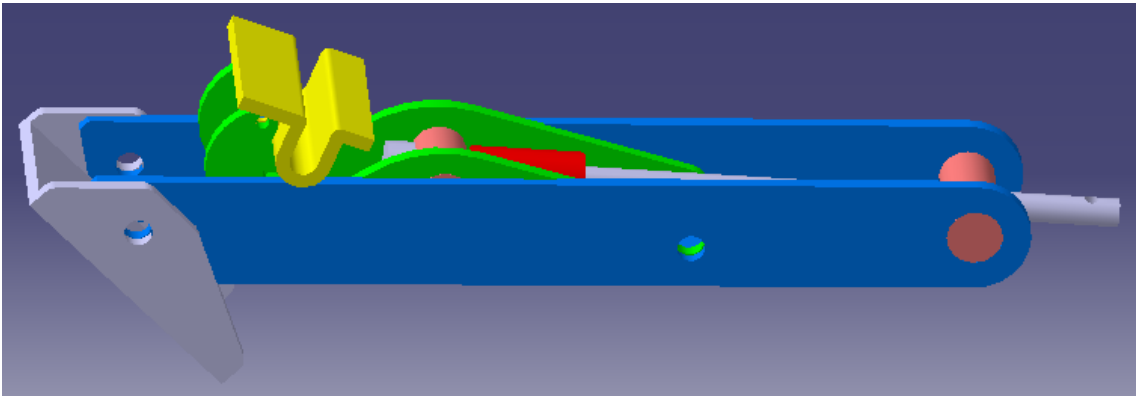
Tablo 3.9 Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemine göre kriko tasarımlarının karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Montaj Süresi (sn)	MUT İndeksi	Montaj Maliyeti (TL)	Maliyet (TL)
Kriko 1	14	92,51	% 9,7	0,27	910
Kriko 2	11	71,12	% 12,7	0,19	640

Tablo 3.9’da görüleceği gibi iki farklı tasarım arasındaki en büyük fark ilk tasarımın 14 parçadan, ikinci tasarımın 11 parçadan oluştuğudur. Boothroyd & Dewhurst Montaja Uygun Tasarım yönteminin ana prensibi olan parça sayısı azaltılarak tasarım verimliliği artırılmıştır. Böylece ilk tasarımın 9,7 olan montaja uygun tasarım indeksi, ikinci tasarımda 12,7 olarak hesaplanmıştır. Bu da ikinci kriko tasarımının montaj verimliliğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda ikinci tasarımda montaj süresi de 92,51sn’den 71,12sn’ye düşülmüş dolayısıyla da montaj süresinin bir fonksiyonu olan montaj maliyetleri de azaltılmıştır.



Şekil 3.13 1 nolu kriko tasarımının kapalı gösterimi



Şekil 3.14 2 nolu kriko tasarımının kapalı gösterimi

Ayrıca araç krikolarının boyutları ve kapladıkları hacim özellikle araç içinde taşındıklarından dolayı araç kriko tasarımları için çok önemlidir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te de görüleceği gibi krikolar toplandıklarında 2 numaralı kriko tasarımı diğer tasarıma oranla çok daha küçük bir hacim kaplamaktadır.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, gelişen teknoloji ve mühendislik çalışmalarıyla birlikte ortaya çıkan eş zamanlı mühendislik felsefesinin yeni ürün geliştirme sürecine ait uygulama adımlarının incelenmesi, özelliklerinin kavranması ve günümüz şartlarıyla günümüz endüstrisine uygulanmasıdır.

Bu çalışmada, eş zamanlı mühendislik yöntemlerinden Boothroyd & Dewhurst Montaja Uygun Tasarım Yöntemi ve Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemleri kullanılarak iki farklı kriko tasarımı ve palet kapatma aparatı örnek uygulamaları üzerinde çalışılmıştır. Yapılan bu uygulamalarda Montaja Uygun Tasarım Yöntemlerinin temelleri dikkate alınarak gereksiz sökülebilir bağlantı elemanları, tekrar eden parçalar ve yardımcı (klavuz) elemanlar çıkarılarak yeni tasarımlar yapılmış ve değerlendirilmiştir. Tasarımda yapılan yenileme-iyileştirme çalışmasıyla, montaj indeksinde (verimlilik) artış sağlanmış, montaj zamanı, parça sayısı ve montaj maliyetlerinde azalma sağlanmıştır.

Sonuç olarak, Montaja Uygun Tasarım metodlarının kullanılabilirliği verilen örnekler üzerinde test edilmiştir. Tasarım çalışmalarından önce bu yöntemler tasarımcı tarafından kullanıldığı takdirde, tasarımcı yaptığı tasarımın montaj süresini ve maliyeti hakkında ön bilgi sahibi olacaktır. Bu da tasarımcıya büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Birçok araştırmacının üzerinde çalıştığı Montaja Uygun Tasarım yöntemleri daha da geliştirilerek ileri ki yıllarda tasarımcılar tarafından daha yaygın olarak kullanılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Willem Gijssels, Warren R. De Vries, 1993. Design and Application of a Prototype System for Concurrent Engineering in a Small Firm, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 42, 1, 127-130
- [2] P.C. Stadzisz, J.M. Henrioud, 30 April 1998. An integrated approach for the design of multi-product Assembly Systems, Computers in Industry, 36, 1-2, 21-29
- [3] M.Ulugergerli, 2009 Eş Zamanlı Mühendislikte Montaja Uygun Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] A.Özdemirkan, 2008 Bilgisayar Destekli Mühendislikte Montaja ve Bakıma Uygun Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] İmrak, C.Erdem, Salman, Ö., 2010. Asansör Kabin Kapılarının Montaja Uygun Tasarımı, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Montgomery, M.R., 2004. A case study comparison of DFA methods: Boothroyd&Dewhurst vs Axiomatic design, University of Texas Department of Mechanical Engineering, Austin.
- [7] Boothroyd, G., 2005. Assembly Automation and Product Design, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- [8] Hsiao, S.W., 2002. Concurrent Design Method for Developing A New Product, International Journal of Industrial Ergonomics, 29, 41-55.
- [9] M. Coşkun, 2010 Eş Zamanlı Mühendislik, Uludağ Üniversitesi Endüstri Müh.
- [10] Stone, B.R., McAdams, D.A. and Kayyalethekkel V.J., 2004. A Product Architecture-Based Conceptual DFA Technique, Design Studies, 25, 301-325.
- [11] Redford, A. and Chal, J., 1994. Design for Assembly Principles and Practice, McGraw_Hill Book Company, London.
- [12] Cengiz, B.Y., Öztürk, Y.Y., 1995. Dizayn Kalitesinin Oluşturulmasında Eşzamanlı Mühendislik Yaklaşımı, IV. Ulusal Kalite Kongresi, İstanbul, 08-09 Kasım.
- [13] Özbaş, E., 1999. Eşzamanlı mühendislik esasları ve bazı uygulama yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Imrhan, S.N., 1992. Equipment Design for Maintenance, International Journal of Industrial Ergonomics, 10, 35-52.

- [15] Kuo, T.C., Huang, S.H. ve Zhang, H.C., 2001. "Design for Manufacture and Design for X: Concepts, Applications and Perspectives", Computers & Industrial Engineering, 41, 241-260.
- [16] Demir, U., 2004. Eşzamanlı mühendislikte montaja uygun tasarım ve üniversal asansör kabin kapılarına uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Baykara, U., 1995. Kalite güvencesinde güvenilirlik tasarımı, IV. Ulusal Kalite Kongresi, İstanbul, 08-09 Kasım, 375-396.
- [18] Livatyalı, H., 2006. Computer Integrated Manufacturing Lecture Slides, İ.T.Ü. Department of Mechanical Engineering, İstanbul.
- [19] Hugh J., "Engineer on a disk", Grand Valley State University, 30-189. Retrieved March 16, 2009.
- [20] Zakaria, Mohd Naim Bin., 2009 Design for Assembly and Application Using Hitachi Assemblability Evaluation Method, Faculty of Mechanical Engineering University, Malaysia Pahang
- [21] Singh, N., 1996. Systems Approach to Computer Integrated Design and Manufacturing, 103-397, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [22] Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. A. (2011) Product design for manufacture and assembly.
- [23] www.dfma.com, Nisan 2012.

EK-A

Boothroyd & Dewhurst MUT indeksi için Gerekli Tablolar

Tablo A.1 Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi elle taşıma zamanı tablosu[4]

Key:		Parts are easy to grasp and manipulate					Parts present handling difficulties (1)									
		Thickness > 2 mm		Thickness < 2 mm			Thickness > 2 mm		Thickness < 2 mm							
		Size >15 mm	6mm < size >15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size <6 mm	Size >15 mm	6mm < size <15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size <6 mm					
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
Parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools	(a + B) < 360	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98				
	360 < (a + B) < 540	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38				
	540 < (a + B) < 720	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7				
	(a + B) < 720	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4				
Parts can be grasped and manipulated by one hand but only with the use of grasping tools	ONEHAND with GRASPING AIDS	a < 180	0 < B < 180	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7		
			B = 360	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.55	9	8	8		
	a = 360	a < B < 180	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	6.55	9.8	8	9			
		B = 360	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10			
	Parts severely nest or tangle or are flexible but can be grasped and lifted by one hand (with the use of grasping tools if necessary) (2)	TWO HANDS for MANIPULATION	a < 180	a < 180	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7	
				a = 360	9		3	2	3	3	4	4	5	7	9	
		TWO HANDS or assistance required for LARGE SIZE	a < 180	a < 180	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7	
				a = 360	9		3	2	3	3	4	4	5	7	9	
		Two hands, two persons or mechanical assistance required for grasping and transporting part	TWO HANDS or assistance required for LARGE SIZE	a < 180	a < 180	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7
					a = 360	9		3	2	3	3	4	4	5	7	9

Tablo A.2 Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi elle ekleme zamanı tablosu[4]

Key:		After assembly no holding down required to maintain orientation and location (3)				Holding down required during wherepoint process to maintain					
		Easy to align and position during assembly (4)		Not easy to align at position during assembly		Easy to align and position during assembly (4)		Not easy to align at position during assembly			
		No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)		
PART ADDED but NOT SECURED											
Addition of any part (1), where neither the part itself nor any other part is finally secured immediately Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location Due to abstraced access or restricted vision. Due to abstraced access and restricted vision.	Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location Due to abstraced access or restricted vision. Due to abstraced access and restricted vision.	0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5	
		1	4	5	5	6.5	8	9	9	10	
		2	5.5	6	6	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5	

Key:		No screwing operation or plastic deformation immediately after insertion.		Plastic deformation immediately after insertion				Screw				
		Plastic bending or torsion		Elastic or similar		Screw						
				Not easy to align or position during assembly								
PART SECURED IMMEDIATELY		Easy to align and position with no resistance to insertion (4)	Not easy to align or position during assembly and of resistance to insertion	Easy to align and position during assembly (4)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	Easy to align and position during assembly (4)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	Easy to align and position with no resistance to insertion (4)	Not easy to align or position during assembly and of resistance to insertion	
Addition of any part (1), where the part itself and/or other part are being finally secured immediately Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location or tool cannot be operated easily Due to obstructed access or restricted vision (2) Due to obstructed access and restricted vision (2)	Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily Part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location or tool cannot be operated easily Due to obstructed access or restricted vision (2) Due to obstructed access and restricted vision (2)	3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		4	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8
		5	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5
9	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12		

Key:		Mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)				Mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)			Non fastening processes		
		None or localized plastic deformation				Additional material process.			Cremical Process		
		Bending or similar process	Riveting or similar processes	Screw, tightening or other processes	Bulk plastic deformation (large proportion of part is plasticly deformed during fastening)						Soldering processes
SEPERATE OPERATION		No additional material required.	Manipulation of part.		other Processes.						
Assembly processes where all solid parts are in place	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	9	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12

EK-B

Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi için Gerekli Tablolar

Tablo B.1 Parçaların Hareket Yönlerine Göre Hitachi Montaj Değerlendirme Ceza Puanları ve Sembolleri [20]

Sembol	Ceza Puanı	Operasyonun Tanımı
↓	0	Aşağıya doğru bastır
↑	30	Yukarı kaldır
↔	20	Yatay olarak hareket ettir
↗ ↘	30	Diyagonal yukarı aşağı hareket
∩C	30	Çevirme
R	40	Tüm mekanizmayı çevir veya kaldır

Tablo B.2 Fikstür ve Form Gereksinimlerine Göre Hitachi Montaj Değerlendirme Ceza Puanları ve Sembolleri [20]

Sembol	Ceza Puanı	Operasyonun Tanımı
f	20	Diğer parça birleştirilene kadar sabit tut
F	40	Birden çok parça birleştirilene kadar sabit tut
G	40	Esnek parçanın esnetilerek yerleştirilmesi
P	20	Düğümleme veya kesme (kablo,...)

Tablo B.3 Ekleme Yöntemlerine Göre Hitachi Montaj Değerlendirme Ceza Puanları ve Sembolleri [20]

Sembol	Ceza Puanı	Operasyonun Tanımı
B	20	Yapıştırıcı ile yapıştırmak veya yağlamak
W	20	Kaynak yapma
S	30	Lehim
M	60	Makine yardımı ile montaj

Tablo B.4 Hitachi Montaj Değerlendirme Yöntemine Göre Ceza Puanı Olmayan Diğer Semboller [20]

Sembol	Ceza Puanı	Operasyonun Tanımı
—	0	Montaj için temel parça
I	0	Montaj yollarını korumak için boru

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Oktay TENKEKİ

Doğum Tarihi ve Yeri: 03.05.1986 BURSA

Yabancı Dili: İngilizce

E-posta: okytay_156@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Konstrüksiyon	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Mak.Müh	Uludağ Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Milli Piyango Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008-2010	Delphi Automotive Systems Ltd.Şti.	Proses Müh. (part-time)