

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ MÜHENDİSLİKTE
MONTAJA VE BAKIMA UYGUN TASARIM VE
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Müh. Altuğ ÖZDEMİRKİRAN**

Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONSTRÜKSİYON

OCAK 2008

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ MÜHENDİSLİKTE
MONTAJA VE BAKIMA UYGUN TASARIM VE
UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Müh. Altuğ ÖZDEMİRKIRAN
(503041219)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2008

Tez Danışmanı : Doç. Dr. C. Erdem İMRAK
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ (İ.T.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI (İ.Ü.)

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Eşzamanlı mühendisliğin tasarım araçlarından olan montaja uygun tasarım (MUT) ve bakıma uygun tasarım (BUT) yöntemleri ürün geliştirme faaliyetleri içinde önemli bir yere sahiptir. Yeni ürün geliştirme faaliyetlerinde bu yöntemlerin kullanılması ürün geliştirme sürelerini kısaltmakta, ürün tasarım maliyetlerini azaltmakta ve geliştirilen ürünün kalite ile güvenilirliğini arttırmaktadır. Bu tezde yapılmak istenen de bu yöntemlerin ortaya koyduğu kriterleri belirlemek ve ürün geliştirme sürecine yaptığı katkıları uygulamalarla pekiştirilmeğdir.

Öncelikle bu tezi hazırlarken araştırmalarımnda bana sabırla yol gösteren, benden değerli birikimlerini, düşüncelerini ve zamanını esirgemeyen danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. C. Erdem İMRAK'a teşekkür ederim.

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

Ocak 2008

Mak. Müh. Altuğ ÖZDEMİRKIRAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi

1. GİRİŞ	1
2. ÜRÜN GELİŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	4
2.1. Sıralı (Ardışık) Mühendislik.....	4
2.2. Eşzamanlı Mühendislik.....	5
2.3. Eşzamanlı Mühendisliğin Tanımları.....	7
2.4.Eşzamanlı Mühendislik Yönteminin Uygulanmasını Gerektiren Faktörler.....	8
2.4.1. Eşzamanlı Mühendislik Yönteminin Faydaları ve Zorlukları.....	11
2.5. Eşzamanlı Mühendislikte Uygulama Teknikleri.....	12
2.5.1. Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY)	12
2.5.2. Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (OHTEA).....	15
2.5.3. Taguchi Yöntemi.....	19
2.5.4. Grup Teknolojisi	21
2.5.5. Aksiyomatik Tasarım	21
2.5.6. Bilimsel Tasarım	22
2.5.7. Bilgisayar Destekli Tasarım	22
2.5.8. Üretim Yöntemi Tasarım Kuralları	23
2.5.9. Üretime Uygun Tasarım (ÜUT).....	23
2.5.10. Montaja Uygun Tasarım (MUT).....	24
2.5.11. Demontaja ve Geri Dönüşüme Uygun Tasarım.....	25
2.5.12. Çevreye Uygun Tasarım (ÇUT).....	26
2.5.13. Kaliteye Uygun Tasarım (KUT)	27

2.5.14. Bakıma Uygun Tasarım (BUT).....	28
2.5.15. Güvenilirliğe Uygun Tasarım (GUT)	28
3. MONTAJA UYGUN TASARIM (MUT).....	30
3.1. Montaj Teknolojisine Genel Bakış.....	30
3.2.1. Tasarım Prensipleri ve Kurallarına Sahip MUT Yöntemleri	36
3.2.2. Nicel Değerlendirme Prosedürleri Uygulayan MUT Yöntemleri.....	37
3.2.3. Bilgi Tabanlı Tasarım Yaklaşımını Kullanan MUT Yöntemleri	37
3.2.4. Bilgisayar Destekli MUT Yöntemleri.....	38
3.3. MUT Yöntemlerinde Montaj Edilebilirlik Kriterleri.....	39
3.4. IPA Stuttgart Yöntemi.....	41
3.5. Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi.....	42
3.6. Lucas MUT Değerlendirme Yöntemi.....	47
3.7. Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi.....	51
3.8. MUT Yöntemlerinin Ortak Kriterleri ve Bazı Örnekler.....	57
4. BAKIMA UYGUN TASARIM (BUT)	64
4.1. Bakım Kavramı ve Tekniği Hakkında Genel Bilgiler.....	64
4.2. Bakıma Uygun Tasarım (BUT).....	67
5. MONTAJA VE BAKIMA UYGUN TASARIM UYGULAMALARI.....	70
5.1. Sistem Hakkında Bilgiler ve Uygulamalar.....	70
5.1.1. Arka Bıçak Alt Montaj Grubunda Yapılan Uygulama	72
5.1.2. Paket Taşıyıcı Alt Montaj Grubunda Yapılan Uygulama	76
5.1.3. Paket Arka Tamponu Alt Montaj Grubunda Yapılan Uygulama	80
5.1.4. Kulak Isıtıcı Contalarına Yapılan Uygulama.....	83
5.1.5. Ön bıçak Sürücü Millerine Yapılan Uygulama.....	85
5.1.6. Kağıt Çekici Dişlilere Yapılan Uygulama	87
5.1.7. Yanal Yapıştırma Parçasına Yapılan Uygulama.....	89
6. SONUÇLAR	93
KAYNAKLAR	95
EK A.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

BDM	: Bilgisayar Destekli Mühendislik
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BDÜ	: Bilgisayar Destekli Üretim
MUT	: Montaja Uygun Tasarım
BUT	: Bakıma Uygun Tasarım
ÜÜT	: 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
RÖG	: Risk Öncelik Göstergesi
HAOZ	: Hatalar Arası Ortalama Zaman
ÜOOZ	: Ürün Onarmanın Ortalama Zamanı
CAD	: Computer Aided Design
DFA	: Design For Assembly
DFMt	: Design For Maintainability
DARPA	: Defence Advance Research Projects Agency
IDA	: Institute Defence Analyses

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Tasarım OHTEA örnek çalışma sayfası [5].....	18
Tablo 3.1 : Vida bağlantılarının relatif montaj maliyetleri [10].....	39
Tablo 3.2 : Hitachi değerlendirme sembolleri ve ceza puanları [10]	44
Tablo 3.3 : Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme örneği [10]	45
Tablo 3.4 : Lucas MUT değerlendirme yöntemi, montaj akış diyagramı örneği [9].....	49
Tablo 3.5 : Lucas MUT değerlendirme yöntemi, yeniden tasarım örneği [9]	51
Tablo 3.6 : Üç pimli bir elektrik fişinin MUT indeksi tablosu [13].....	54
Tablo 3.7 : Çeşitli parçalar için alfa ve beta dönел simetri açıları [13].....	56
Tablo 5.1 : Arka bıçak orijinal tasarımının MUT değerlendirme tablosu.....	73
Tablo 5.2 : Arka bıçak yeni tasarımının MUT değerlendirme tablosu	75
Tablo 5.3 : Arka bıçak alt montajı için orijinal ve yeni tasarımın karşılaştırılması.	75
Tablo 5.4 : Paket taşıyıcısı orijinal tasarımının MUT değerlendirme tablosu	77
Tablo 5.5 : Paket taşıyıcısı yeni tasarımının MUT değerlendirme tablosu.....	79
Tablo 5.6 : Paket taşıyıcı alt montajı için orijinal ve yeni tasarımın karşılaştırılması	79
Tablo 5.7 : Paket arka tamponu orijinal tasarımının MUT değerlendirme tablosu..	81
Tablo 5.8 : Paket arka tamponu yeni tasarımının MUT değerlendirme tablosu	82
Tablo 5.9 : Paket arka tamponu alt montaj grubu için orijinal ve yeni tasarımların karşılaştırılması	83
Tablo 5.10: Ön bıçak sürücü mili orijinal ve yeni tasarımların karşılaştırılması.....	86
Tablo 5.11: Yatay yapıştırma parçasının orijinal ve yeni malzemelerinin karşılaştırılması	90
Tablo A.1 : Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi elle taşıma tablosu.....	97
Tablo A.2 : Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi elle ekleme tablosu.....	98

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Sıralı mühendisliğin akış şeması [1]	4
Şekil 2.2 : Eşzamanlı mühendisliğin akış şeması [1]	6
Şekil 2.3 : Eşzamanlı mühendislik ortamının disiplinler arası çalışma yapısı [1].....	8
Şekil 2.4 : Bir ürünün yaşam döngüsündeki karakteristik maliyet eğrileri [1].....	9
Şekil 2.5 : KFY analiz modeli [4].....	13
Şekil 2.6 : Geleneksel yaklaşımda kalite kaybı [1].....	20
Şekil 2.7 : Kuadratik kalite kaybı fonksiyonu [1]	20
Şekil 2.8 : Bir alt montaj grubunun geleneksel ve MUT yöntemi uygulanmış tasarımlarının karşılaştırılması [8].	25
Şekil 3.1 : Esnek montaj sistemine ait bir örnek [10].....	30
Şekil 3.2 : Montaj proseslerine ve parça sayısına göre montaj maliyetleri [13].....	31
Şekil 3.3 : Montaj teknolojisi	32
Şekil 3.4 : MUT yöntemiyle yeniden tasarlanmış bir ürün [11].....	34
Şekil 3.5 : Üretime ve montaja uygun tasarımın tipik adımları [12].....	35
Şekil 3.6 : Montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi akış şeması [10].....	43
Şekil 3.7 : Alt montaj grubunun orijinal tasarımı [10]	46
Şekil 3.8 : Alt montaj grubunun yenilenmiş tasarımı [10]	46
Şekil 3.9 : Lucas MUT değerlendirme yönteminin yapısı [10].....	47
Şekil 3.10: Lucas MUT değerlendirme yönteminin prosedürleri [10]	48
Şekil 3.11: Üç pimli bir elektrik fişinin montaj resmi [13]	53
Şekil 3.12: Parça kalınlığının elle taşıma zamanına etkisi [13].....	55
Şekil 3.13: Parça boyutlarının elle taşıma zamanına etkisi [13].....	55
Şekil 3.14: Parça sayılarının azaltılmasına ait örnek [10]	58
Şekil 3.15: Parça basitleştirilmesine ait bir örnek [10].....	58
Şekil 3.16: Montaj hareketlerinin azaltılmasına ait bir örnek [10].....	59
Şekil 3.17: Montaj yönlerinin azaltılması [10].....	59
Şekil 3.18: Yönlendirme amaçlı pah kırmaların yapılması [13].....	60
Şekil 3.19: Montaj yapılacak yüzeye kolay erişim örneği [10].....	60
Şekil 3.20: Parçaların eşzamanlı eklenmesinden kurtulmak için tasarım değişikliği uygulaması	61
Şekil 3.21: Ayar gerektirmeyen tasarım örneği [13]	61
Şekil 3.22: Gereksiz dar toleransların ortadan kaldırılması [10].....	62
Şekil 3.23: Çeşitli cıvatalı bağlantıların maliyet karşılaştırmaları [10].....	62
Şekil 3.24: Kullanılan takım sayısı ve çeşitliliğinin standardizasyonu [10].....	63
Şekil 5.1 : Dolum makinesine ait fonksiyon akış şeması	71
Şekil 5.2 : Arka bıçak alt montaj grubu orijinal tasarımı	72
Şekil 5.3 : Arka bıçak alt montaj grubu yeni tasarımı	74
Şekil 5.4 : Paket taşıyıcı alt montaj grubu orijinal tasarımı.....	76
Şekil 5.5 : Paket taşıyıcı alt montaj grubu yeni tasarımı	78
Şekil 5.6 : Paket arka tamponu alt montaj grubu orijinal tasarımı	80

Şekil 5.7 : Paket arka tamponu alt montaj grubu yeni tasarımı	82
Şekil 5.8 : Sol ve sağ kulak ısıtıcı contası orijinal tasarımı	84
Şekil 5.9 : Kulak ısıtıcı contası yeni tasarımı	84
Şekil 5.10: Ön bıçak sürücü milleri yeni tasarımı	86
Şekil 5.11: Kağıt çekici dişlilerin orijinal tasarımı	87
Şekil 5.12: Kağıt çekici dişlilerin yeni tasarımı	88
Şekil 5.13: Yanal yapıştırma parçası yeni tasarımı	89
Şekil 5.14: Yanal yapıştırma orijinal tasarımına ait bir görünüş	91
Şekil 5.15: Yanal yapıştırma yeni tasarımına ait bir görünüş.....	91

SEMBOL 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

BİLGİSAYAR DESTEKLİ MÜHENDİSLİKTE MONTAJA VE BAKIMA UYGUN TASARIM VE UYGULAMASI

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, eşzamanlı mühendislik felsefesinin önemli tasarım araçlarından olan montaja uygun tasarım (MUT) ile bakıma uygun tasarım (BUT) yöntemlerinin tanımlanması, bu yöntemlerin önerdiği tasarım kriterlerinin açıklanması ve bu yöntemler kullanılarak yapılan çeşitli uygulamalardan elde edilen pratik sonuçların teorik olarak açıklanan tasarım kriterleriyle karşılaştırılıp bu kriterlerin geçerliliğinin ortaya konulmasıdır.

Altı bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde günümüzün rekabetçi koşullarında ürün tasarımı sürecini etkileyen temel faktörlerden bahsedilmektedir.

İkinci bölümde öncelikle eşzamanlı mühendisliğin sıralı (ardışık) mühendislikten farkı açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümde eşzamanlı mühendisliğin tasarım sürecine bakışı, uygulama alanları ve tasarım araçları hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde MUT yönteminin genel yapısı, avantajları ve dezavantajları açıklanmış, konunun devamında IPA Stuttgart yöntemi, Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi, Lucas MUT değerlendirme yöntemi ve Boothroyd & Dewhurst MUT yöntemi gibi iyi bilinen uygulama tipleri ayrıntılarıyla açıklanmış ve örnekler verilmiştir. Bu bölümün son kısmında da incelenen uygulama tiplerine göre MUT yönteminin tasarım kriterleri örnekler eşliğinde sıralanmıştır.

Dördüncü bölümde ise eşzamanlı mühendislik felsefesinin çok önemli diğer bir tasarım aracı olan bakıma uygun tasarım (BUT) yöntemi üzerinde durulmuştur. Bu yöntemin niceliksel ve niteliksel özelliklerinden bahsedilip yöntemin tasarım kriterleri açıklanmıştır.

Beşinci bölümde gıda sanayinin önemli bir kolu olan meyve suyu dolum fabrikalarının sıvı dolum ve paketlenme sistemlerinde kullanılan makinelerin alt montaj gruplarında Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi ve BUT yöntemi dikkate alınarak ve 3B BDT programı olan Solidworks 2006 yazılımı kullanılarak yapılan çeşitli tasarım yenileme uygulamaları anlatılmış, ayrıca orijinal ve yeni tasarımlar montaj süreleri, montaj kolaylığı, parça sayısı ve çeşitliliği, bakıma uygunluk, kullanılması gereken alet sayısı ve bu aletlerin karmaşıklığı gibi konularda karşılaştırmalar yapılmıştır.

Altıncı ve son bölümde de uygulamalardan elde edilen sonuçlar ışığında MUT ve BUT yöntemlerinin ortaya koyduğu tasarım kriterlerinin geçerliliği tartışılmış ve bu yöntemleri kullanmanın ürün tasarım sürecine yaptığı pozitif etkilerden bahsedilmiştir.

DESIGN FOR ASSEMBLY AND MAINTAINABILITY IN COMPUTER AIDED ENGINEERING AND ITS APPLICATION

SUMMARY

The object of this study is definition of design for assembly (DFA) and design for maintainability (DFMt) methods which are some of the most important design tools of concurrent engineering philosophy, explanation of design criterias are suggested by these methods, comparison of theoretical design criterias with practical results which are got by various applications using these methods and discussion of these criterias' validity.

In the first chapter of this study that includes six chapters, it is mentioned about the basic factors affect product design processes under the current competitive conditions.

In the begining of the second chapter, differences between concurrent engineering and sequential engineering have been explained and then it was informed about concurrent engineering's point of view to the design processes, application environments and design tools.

In the third chapter, advantages, disadvantages and the general structures of DFA method have been explained and then it was also informed about IPA Stuttgart method, Hitachi assemblability evaluation method, Lucas DFA evaluation method, Boothroyd&Dewhurst DFA method which are the most well known ones. At the last phase of this chapter, design rules of DFA method were listed according to the studied methods using the samples.

In the fourth chapter another important tool of concurrent engineering philosophy, DFMt has been studied. Firstly the qualitatives and quantitatives attributes were mentioned and then design rules of it have been listed.

In the fifth chapter, taking into consideration of DFMt and Boothroyd&Dewhurst DFA method and using subassemblies of one industrial machine which is used in beverage filling and packaging systems of fruit juice factories are accepted as very important brunch of food industry, some sample applications has been done and some parts or some subassemblies has been redesigned using Solidworks 2006 as 3D CAD software. At the end of this chapter, the original and redesigned parts have been compared at the point of assembly times, ease of assembly, part varieties and quantities, convenience of maintainability, required equipment quantities and complexity.

In the sixth chapter, under the lights of acquired application results, validity of DFA and DFMt criterias have been discussed and during the product design process, the positive effects of using these methods have been mentioned.

1. GİRİŞ

Günümüzde tasarım ve üretim tekniklerindeki gelişmeler, teknolojiye 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.

Geride bıraktığımız yirmi beş-otuz yıl, 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.

Tasarım ve üretim yöntemlerindeki gelişmeler sonucu oluşan uluslararası rekabet ortamında firmalar ürün geliştirme yöntemlerini gözden geçirmek zorunda kalmışlardır. Bu anlamda günümüzde dikkat çeken ürün geliştirme yöntemlerinden birisi de eşzamanlı mühendislik olmuştur. Yeni bir kavram olmamakla birlikte yıllarca bir isim verilmeksizin özellikle otomotiv endüstrisi ve elektronik parça üreticileri tarafından benimsenip uygulanan bu yöntem, tasarımı, üretimi ve ürünün pazardaki yerini alıncaya kadar geçirdiği diğer tüm süreçleri birleştirmeyi hedefleyen bir yöntemdir.

Geçen zaman içinde eşzamanlı mühendislik yönteminin otomotiv endüstrisine ve elektronik parça üretimi yapan şirketlere yaptığı katkının daha iyi anlaşılmasıyla

birlikte artık günümüzde bu yöntem ve bu yöntemin teknikleri dünya ölçeğinde çok çeşitli sektörlerde ve şirketlerde kullanılır olmuştur.

İşte yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı da bu çalışmanın temeli eşzamanlı mühendislik kavramı üzerine kurulmuştur. Bu çalışmanın yapılmasının amacı, eş zamanlı mühendislik yöntemlerinin ortaya koyduğu yeni ürün geliştirme sürecine ait tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve bu kriterlerin belirlenmesinden sonra bilgisayar destekli tasarım (BDT) programlarıyla yapılan örnek tasarımların gıda sanayinde var olan bir sisteme uygulanması ardında da bu kriterlerin geçerliliğin irdelenmesidir.

Bu amaçla ikinci bölümde öncelikle ürün geliştirme teknikleri anlatılacak 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 olan kalite fonksiyon yayılımı (KFY), olası hata türleri ve etkileri analizi (OHTEA), Taguchi tekniği, grup teknolojisi, bilgisayar destekli tasarım (BDT), aksiyomatik tasarım, üretime uygun tasarım (ÜUT), montaja uygun tasarım (MUT), kaliteye uygun tasarım (KUT), demontaj ve geri dönüşüme uygun tasarım, bakıma uygun tasarım (BUT), çevreye uygun tasarım (ÇUT), güvenilirliğe uygun tasarım (GUT) gibi teknikler açıklanacak ve ilerleyen bölümlerde bu tekniklerden montaja uygun tasarım (MUT) ve bakıma uygun tasarım (BUT) detaylı olarak incelenecektir.

Üçüncü 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.

Dördüncü bölümde ise BUT yönteminin uygulanma nedenleri, uygulanmasının gerekliliği, bu yöntemle ilgili olarak dikkate alınması gerekenler anlatılıp bu yöntemin temel kriterleri açıklanacaktır.

Beşinci bölümde ise bu bölüme kadarki elde edilen teorik bilgiler ışığında yapılan uygulama çalışmaları anlatılacaktır. Bu amaçla gıda sanayinde kullanılan bir sıvı paketlenme makinesinin alt montaj grupları incelenmiş ve orijinal tasarımların fonksiyonelliği korunmak kaydıyla gerekli parçalar, Boothroyd&Dewhurst MUT ve BUT yöntemleri çerçevesinde, BDT'nin önemli 3B programlarından olan Solidworks 2006 yazılımı kullanılarak yeniden tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar orijinal tasarımların varolan sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

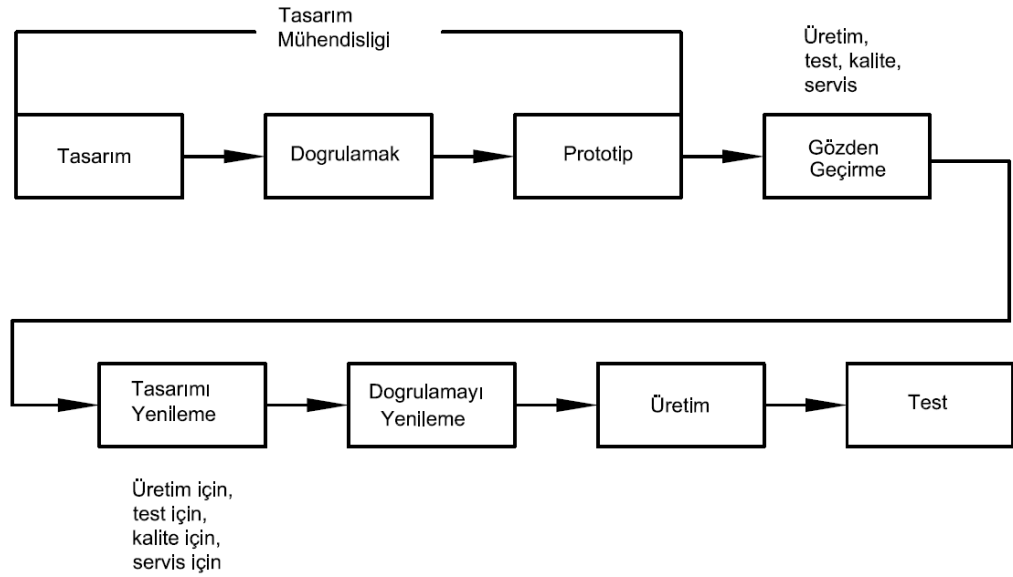
Son bölümde ise yapılan uygulama çalışmaları doğrultusunda eski tasarımlar ve yeni tasarımlar arasında üretim maliyeti açısından, montaj maliyeti açısından, montaj verimliliği açısından, bakıma uygunluk açısından, parçaların güvenilirliği açısından çeşitli kıyaslamalar yapılacak ve önceki bölümlerde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

2. ÜRÜN GELİŞTİRME YÖNTEMLERİ

Tasarım mühendisliğinin sistematik konstrüksiyonla ürün geliştirme çalışmalarında iki tip yöntemden söz edilebilir. Bunlardan ilki sıralı (ardışık) mühendislik, ikincisi ise eşzamanlı mühendisliktir. Aşağıda bu iki yöntem arasındaki temel farklılıklar ele alınacak ve ürün geliştirme sürecine bakış açıları irdelenecektir.

2.1. Sıralı (Ardışık) Mühendislik

Sıralı mühendislik, ürün tasarlanıp doğrulanıp ve prototip haline getirildikten sonra tasarımın yalnızca tasarım girdilerini tedarik eden departmanlar tarafından incelendiği bir yöntemdir [1]. Sıralı mühendisliğin akış şeması **Şekil 2.1**'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Sıralı mühendisliğin akış şeması [1]

Sıralı mühendislikte tasarım, üretim, müşteri servisi gibi çeşitli fonksiyonlar birbirinden ayrılmıştır. Bu yöntemde bilgi akışı adım adım gerçekleşir. Ayrıca sıralı mühendislikte ürünün nasıl üretileceği ve bunun maliyetinin ne olacağı ürün geliştirmenin bir sonraki aşamasına kadar sorulmaz. Örneğin, prototip bir simülasyon

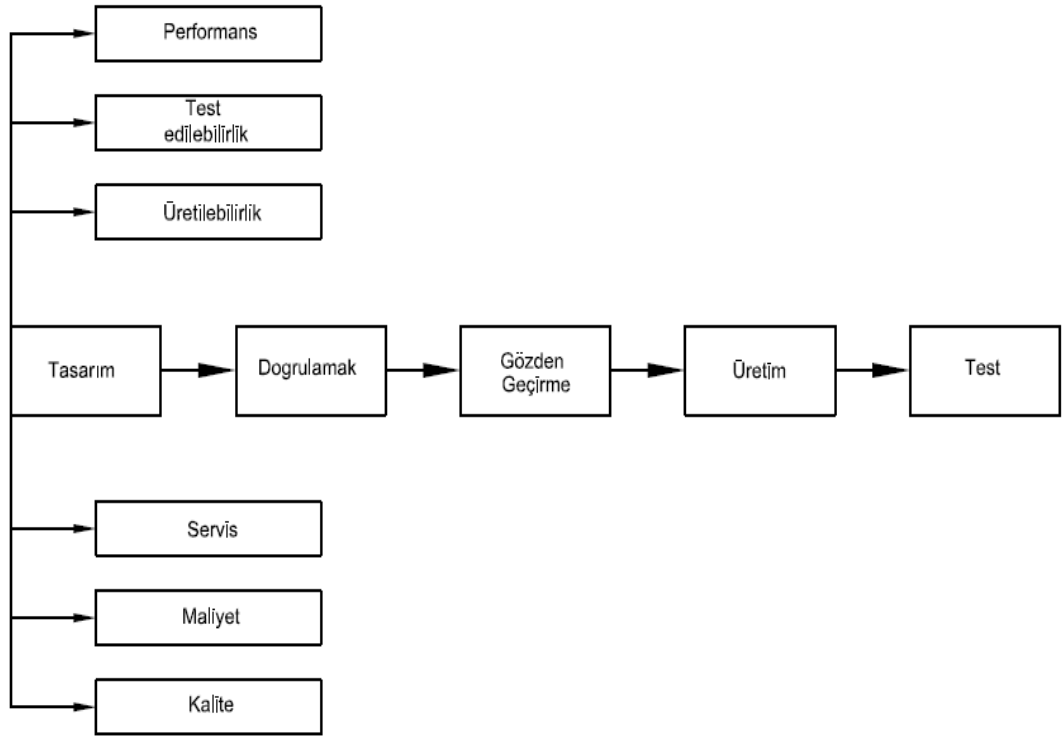
programı yada başka bir yöntemle doğrulama işlemi yapılır; bunun devamında bu prototip üretim, kalite ve servis açısından yeniden gözden geçirilir. Genellikle yeniden gözden geçirme aşamasından sonra bazı değişiklikler önerilir. Eğer tasarım için önerilen değişiklikler gerçekleştirilirse bu maliyette artışa ve ürünün piyasaya çıkma süresinin uzamasına neden olur. Eğer ürünün piyasaya bir an evvel sürülmesi için yapılan pazar baskılarından dolayı bu değişiklikler yapılmazsa sürecin üretim, kalite gibi bölümlerinin sorumluları olası problemlere karşı uyarılırlar ama seçilen yol ne olursa olsun ürünün tasarlanıp pazarlanmasındaki sorunlar tamamen giderilemez.

2.2. Eşzamanlı Mühendislik

Mühendislik tasarımı, bir sistem veya ürün yada arzulanan ihtiyaçları karşılama işlemi ve sürecidir. Sıralı mühendislikte tasarım sadece ürün fonksiyonelliğini dikkate alarak tamamlanır. Daha sonra yapılan tasarım, tasarım departmanından proses departmanına oradan da üretim departmanına gönderilir. Tüm bu aktiviteler mantıksal ve ardışık bir sıra içinde tasarımcıya hiçbir geri dönüş, geri besleme olmaksızın tamamlanır. Bazen tasarlanan ürünün üretilmesi oldukça zordur ve üretim maliyeti gereksiz derecede yüksektir. İşte bu tip problemler için önerilen çözüm eşzamanlı mühendislik ile tasarım yöntemidir.

Genel anlamda eşzamanlı mühendislik, üretim maliyetlerini azaltmak, kaliteyi arttırmak ve ürün geliştirme zamanını azaltmak için tasarım gereklilikleriyle birlikte üretim ve montaj gerekliliklerini de eşzamanlı olarak dikkate alan bir yöntemdir [1]. Bu tanım eşzamanlı mühendisliğin ürün geliştirme ve tasarımı faaliyetlerini sürdürürken üretim proseslerini, ürünün bakım sürecini, hatta pazarlanması gibi faktörleri de eşzamanlı olarak ele aldığını gösterir. Bu değerlendirme biçimi, ürünün tasarım aşamasından ürün marketlerdeki yerini alıncaya kadar ki süreci tek ve bütünlük bir aktivite olarak kabul etmeyi hedefler. Bu da sıralı mühendislik ile eşzamanlı mühendisliğin temel farklılığını ortaya koyar. **Şekil 2.2'**den de görüldüğü gibi ürün tasarımı aşamasında eşzamanlı mühendislik alışlagelmiş boyut, performans, ağırlık ve maliyet gibi parametrelerle birlikte üretilebilirlik, test edilebilirlik, servis edilebilirlik gibi parametreleri de dikkate alacak şekilde disiplinler arası bir bütünlük içerir. Başka bir deyişle, eşzamanlı mühendislikte

tasarım basamakları arasındaki bilgi akışı birbirine bağlı birbirinden haberdardır denilebilir.



Şekil 2.2: Eşzamanlı mühendisliğin akış şeması [1]

Tasarım prosesi ile diğer fonksiyonlar arasındaki bu ilişki problemleri daha tasarım aşamasının erken safhalarında bulup çözmeye yardımcı olur. Böylelikle final tasarımı doğrulama aşamasını geçtiğinde zaten üretilebilirliği, test edilebilirliği, servis edilebilirliği ve yüksek kalitesi onaylanmış olmaktadır.

1980’lerin başında firmalar, ürün geliştirmede üç temel baskının etkisini hissetmeye başlamışlardır. Bunlar,

- En son ve yenilikçi teknolojiler,
- Artmakta olan ürün karmaşıklığı,
- Daha geniş organizasyonlar

olarak sıralanabilirdi. Firmalar, yeni ürün geliştirme yöntemleri araştırmak için zorlanıyorlardır. Eşzamanlı mühendisliğin zaman çizgisindeki en önemli olaylardan bir tanesi 1982’de bir araştırma kuruluşu olan DARPA’nın (Defence Advance Research Project Agency) tasarım prosesinde eşzamanlılığın yollarını aramak için bir

Çalışma başlatmasıdır. Beş yıl sonra bu çalışma sonuçlarının basılması, diğerk gruplar için ileriki çalışmalarda temel teşkil edecek önemli bir kaynak olmuştur. 1986’da IDA (Institute for Defence Analyses) raporu R-338, hem ürünün hem de onun seri üretiminin tasarımını sağlayacak sistematik yöntemi açıklamak ve prosesleri desteklemek için, eşzamanlı mühendislik terimini yaratmıştır. İşte bu raporla birlikte eşzamanlı mühendisliğin ilk tanımı ortaya çıkmıştır [2].

2.3. Eşzamanlı Mühendisliğin Tanımları

Literatür araştırmaları sırasında görülmüştür ki bu yöntem açıklanırken simultane mühendislik, bütünleşik ürün geliştirme, paralel mühendislik, eşzamanlı mühendislik gibi aynı kavramı ifade eden değişik terimler kullanılabilmektedir. Bu nedenle eşzamanlı mühendislik yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi için bugüne kadar araştırmacıların bu konuyla ilgili yaptıkları tanımlamalara bakmakta fayda vardır.

Pennell ve Winner (1989) için eşzamanlı mühendislik, ürün tasarımına ve bununla ilişkili olarak sayılabilecek üretim, kalite kontrol, pazarlama, müşteri istekleri, depolama, sevkıyat gibi konulara bir bütün olarak bakan sistematik bir yaklaşımdır [1].

Creese ve Moore (1990) eşzamanlı mühendisliği ürün geliştirme faaliyetlerinin konsept oluşturma aşamasından ürünün marketlerdeki yerini alıncaya kadarki sürecini kontrol altında tutan bu süreçte ürün kalitesini arttırırken maliyetleri ve ürünün geliştirilmesi için harcanan zamanı azaltmayı hedefleyen bir yönetim ve mühendislik felsefesi olarak tanımlar [1].

Shiuna (1991) açısından eşzamanlı mühendislik, firmanın kaynaklarının ve onun tasarım, geliştirme, pazarlama, üretim, servis ve satıştaki tecrübesini tasarım çevriminde mümkün olduğunca erken bir araya getirerek başarılı yeni ürünler yaratma uğraşıdır [2].

Cartin (1993) ise eşzamanlı mühendisliği pazar veya müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak düzeyde yüksek kaliteli, düşük maliyetli ürünlerin tasarımı, üretime, geliştirmesi ve dağıtılması için uygulanabilecek; bununla birlikte toplam kalite yönetimi araçları ve teknikleri ile bilgisayar destekli mühendislik (BDM), bilgisayar destekli tasarım (BDT) ve bilgisayar destekli retim (BD) gibi modern mühendislik tekniklerinin uygulanmasını içeren bir yöntem olarak ifade eder [2].

Son olarak Aparicio (1996) eşzamanlı mühendisliği tasarım aşamasında ürüne ait tüm özelliklerin eşzamanlı olarak göz önünde tutulduğu bir felsefe olarak tanımlarken bu felsefenin, ürünün kalitesini arttırmayı ve ürün geliştirme zamanını ile ürün maliyetlerini azaltmayı hedeflediğini ortaya koyar [3].

2.4. Eşzamanlı Mühendislik Yönteminin Uygulanmasını Gerektiren Faktörler

Eşzamanlı mühendislik felsefesinin ardında yatan temel neden, toplam maliyeti olabildiğince düşük tutmak kaydıyla estetik, verim, pratiklik, kolay montaj ve üretim kalitesi gibi aktiviteleri dikkate alarak olası en iyi tasarımı yapma çabasıdır [4]. Eşzamanlı mühendislik bu çabayı olumlu sonuçlandırabilmek için geliştirdiği disiplinler arası, geri beslemesi yüksek olan bilgi akışını kullanır. **Şekil 2.3** bahsedilen disiplinler arası yapıyı çok iyi özetlemektedir.

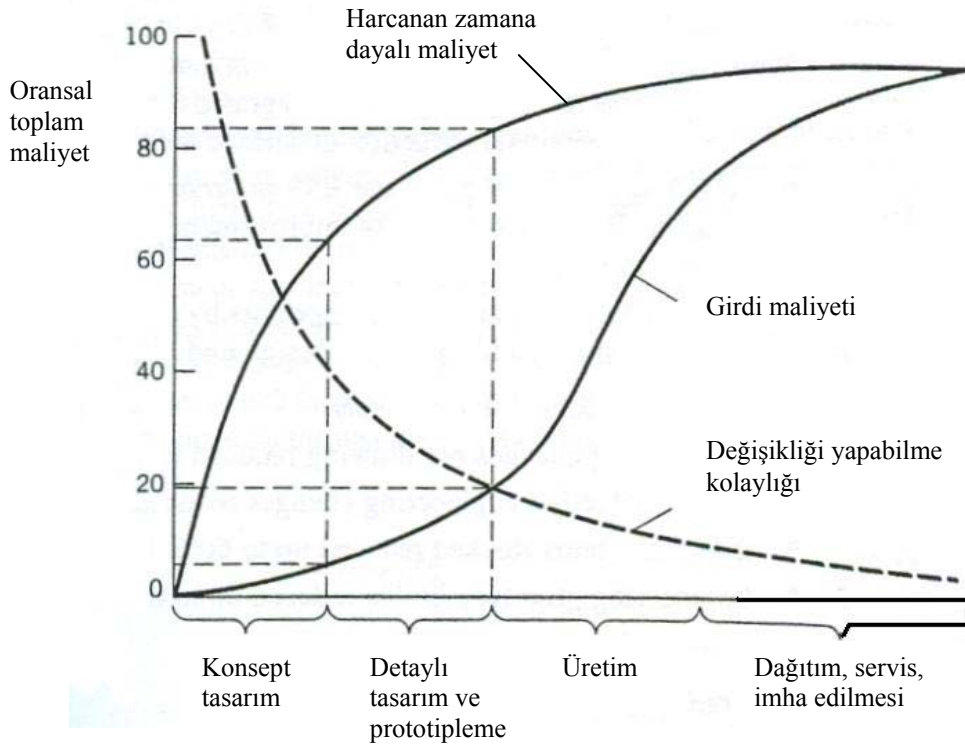


Şekil 2.3: Eşzamanlı mühendislik ortamının disiplinler arası çalışma yapısı [1]

Günümüz piyasası, artan ürün çeşitliliği ve teknik anlamdaki gelişmişlik, taleplerdeki daralma, birbirinden farklı üretim ortamları, artan global rekabet, organizasyonların karlılığındaki azalma gibi kriterlerle karakterize edilir. Bu kompleks ortam şartlarında ayakta kalabilmek, organizasyonların üretkenliklerini, kalitelerini ve

esnekliklerini geliştirebilmesine bağlıdır. O zaman sorulması gereken soru bu hedeflerin nasıl başarılabileceği olmalıdır. İşte bu noktada cevap yine eşzamanlı mühendisliktir. Eşzamanlı mühendislik tasarım, analiz, ürünlerin mühendislik fonksiyon ve proseslerinin tam anlamıyla bütünleştirilmesi hedefini güder ve bu yönde çaba sarf eder. İşte bu süreci bütünleştirme çabasının sonuçları da karşımıza maliyetlerdeki azalma, ürün geliştirme sürelerinde azalma ve kalitedeki artış olarak çıkar [1].

Birçok çalışma göstermiştir ki ürün maliyetinin büyük bir bölümü orijinal tasarımın tamamlanmasından önceki ilk dönemlere aittir. Ürün geliştirme sürecinin tipik karakteristik eğrileri harcanan zamana dayalı maliyeti, girdi maliyetlerini ve değişikliği yapabilme kolaylığı **Şekil 2.4**'de gösterilmiştir. Bu grafikten anlaşılabileceği gibi kayda değer orandaki maliyet tasarım aşamasına aittir. İşte bu yüzden bir ürünün yaşam döngüsü boyunca varolan çeşitli faaliyetleri arasından tasarım aşamasına bu kadar önem verilmektedir.



Şekil 2.4: Bir ürünün yaşam döngüsündeki karakteristik maliyet eğrileri [1]

Bunların ötesinde eşzamanlı mühendislik yönteminin uygulanmasını gerektiren nedenler şöyle sıralanabilir;

Günümüzün değişmekte olan eşzamanlı mühendislik ortamı: Günümüz sanayi ve ticaret dünyasındaki en sihirli sözcük rekabettir. Sanayileşmiş ülkelerin sayısının giderek artması ve çok uluslu şirketlerin büyümesiyle global rekabet şartları giderek ağırlaşmıştır. Teknolojik gelişmenin yaygınlaşmadığı 1960'lı yıllarda rekabet gücünün temel ögesi üretim üstünlüğü olmuştur. Global pazarlara büyük hacimlerde kütle üretimlerle girebilen firmalar rekabette öne geçerken 1990'lı yıllarda bu rekabette kaliteli ürünü ucuza üreten ve pazara yeni ürünlerini en hızlı sunabilen firmalar rakiplerini geride bırakmışlardır. İşte kaliteyi ucuza ve hızlı üretme ihtiyacı tasarımın öneminin artmaya başlamasına neden olmuştur. Günümüzde ise müşteri beğenisini kazanan yeni, farklı ve çeşitli fonksiyonlar sunan ürünleri, en çabuk şekilde pazara çıkarabilmek rekabette dayanıklılığın sembolü olurken diğer taraftan da bu şekilde tüketicinin tatmini sağlanmaktadır [2].

Teknoloji: Günümüzde pratik amaçlar için uygulanan bilginin ve teknolojinin hızı kontrol dışı olarak artmaktadır. Bu yüzden firmalar, yeni uygulamalar ve ürünlerle sonuçlanan yeni bir teknolojiyi oluşturacak bilgiyi yakalayabilmek, sunabilmek, temsil edebilmek, yönlendirebilmek, yeniden kullanabilmek ve birleştirebilmek için çaba sarf etmelidir. Gelişen teknolojinin, şimdi ve gelecek için oldukça başarılı olması ve tam zamanında ortaya çıkması için, bir firma uzun vadeli global vizyon yaratmak, ürün geliştirme faaliyetleriyle Ar-Ge faaliyetlerini bütünleştirmek gibi engelleri aşmak zorundadır [2].

Araçlar: Tasarım araçlarındaki ve teknolojilerindeki gelişme, daha iyi ürünlerin daha hızlı üretilmeleri ile rekabet edilebilir taleplere cevap vermek için gereklidir. Araçların verimli ve standardize edilmiş olarak kullanılmasının artması işlerin, hata yapmaksızın, tekrara gitmeksizin ve zaman kaybetmeksizin yapılmasını sağlar [2].

Görevler: Tasarım araçlarındaki ve teknolojilerindeki gelişme, çalışanların iş sorumluluklarında değişimler ortaya çıkarmıştır. Kapasiteleri ve sınırları verilen bir araç, çalışanın belli bir alanda yoğunlaşmasına yardımcı olabilir veya işi çeşitlendirebilir. Verilerin ürün geliştirme ortamına yönelik olarak özgür ve yaratıcı bir şekilde akışına izin verecek iletişim yolları yok ise, gücün yoğunlaşması ve bilginin birbirini takip etmesi zor olabilir. Tasarım hatalarının erken bir şekilde teşhis

edilmesi ve etkilerinin en aza indirgenmesi gibi karmaşık görevlerin iyi yönetilememesi ve tamamen ürün geliştirme prosesi ile bütünleştirilmemesi problem yaratır [2].

Yetenek: Gelecekteki büyüme için dışarıdaki ürün geliştirme ortamına ulaşmak ve bu konuda yetenek geliştirmek firmaların sorumluluğudur. İhtiyaç duyulan yetenek seviyeleri teknoloji geliştikçe yükselmektedir. Ürün geliştirme ortamı, firmaya bağlı kalacak potansiyel çalışanlarını eğitim programına almayı kapsamalıdır. Firmanın faaliyetleri içinde, konumlarının nerde olduğunu bilmeksizin ürün tasarımı yapan mühendislerden gelen şikayet, başarılı bir ürün geliştirme ortamında duyulmaz. Üretim ve tasarım mühendisleri pazarlama ve yönetim departmanlarıyla birlikte çalışır. Bunun sonucunda mühendislik çalışmaları daha geniş bir alana oturur ve yapılan çalışmaların sonucu daha tatmin edici, iddialı olur [2].

Zaman: Bir firmanın başarısı için geleneksel model “ en düşük maliyet ile en yüksek faydanın sağlanması “ şeklindedir. Yeni model ise “ en kısa zamanda en düşük maliyet ile en yüksek faydanın sağlanması “ şeklinde ifade edilir. Rekabet ile ilgili avantaj sürekli olarak yönetim kararları vermede, yeni ürünler geliştirmede ve siparişleri müşterilere ulaştırmada daha yüksek hız gerektirir. Toplam çevrim zamanı sadece tasarım ve üretimi değil, ürünün tasarımından tesisine, dağıtımına kadar tüm projeleri içerir. Bu zamanı %50'lere hatta daha aşağılara düşürmek maliyette, kalitede ve üretkenlikte iyileşmeleri hızlandıracaktır. Rekabet edebilirlik geçmişe kıyasla daha da önemlidir. Ürün ve servisler artan bir sıklıkla ve çeşitte pazara ulaşır. Ürün geliştirme çevrimleri daha kısadır. Yani firmalar, ürün geliştirme ortamlarını hızlı tepki için yapılandırmak zorundadırlar [2].

2.4.1. Eşzamanlı Mühendislik Yönteminin Faydaları ve Zorlukları

Eşzamanlı mühendislik yeni bir yöntem olmayıp her biri bir süredir kullanımda olan birçok yöntemin sistematik bir şekilde bir araya gelmesi ile oluşturulan bir kavramdır. Bu yöntem ürün geliştirme prosesinin parçalara ayrılmış adımlarından çok sürecin ve prosesin bir bütün olarak ele alınmasını sağlar ki bu da birçok faydayı beraberinde getirir. Bu faydalar kısaca;

- Müşteri ihtiyaçlarını karşılayan düşük maliyetli, yüksek kaliteli ürünlerin geliştirilmesi
- Mühendislik proseslerindeki gelişmeler

- Ürün geliştirme sürelerinin kısalması
- Ürünün pazara ulaşım sürelerinde gelişmelerin sağlanması
- Artan çeşitlilikle birlikte oluşan yüksek satış miktarları ve bununla orantılı artan karlar
- Az sermaye ile gerçekleştirilebilecek donanımsal harcamalar
- Otomasyon sistemlerinin kullanımındaki artışlar
- Tasarım yenileme aşamasındaki değişiklik oranlarının azalması
- Tedarikçi ve parça çeşitliliğinin azalması

olarak sıralanabilir [1,5].

Öte yandan eşzamanlı mühendisliğin bütünleşik, sistematik ve kompleks bir yöntem olmasından kaynaklanan zorluklarda yok değildir. Bu zorluklar kısaca;

- Tasarım proseslerinin karakteristiklerinden dolayı süreç alt gruplara ayrılabilir, dolayısıyla bu alt grupların kendi içlerinde optimizasyonlarına odaklanmaları sonucu eşzamanlı mühendisliğin temel hedeflerinden uzaklaşılabilmesi
- Ürün oluşturma sürecindeki farklı faktörlerden gelen çok çeşitli sayıdaki nitel ve nicel bilgilerden dolayı tasarımcılar alt gruplara konsantre olabilirler ki bu da eşzamanlı mühendisliğin ana hedeflerinden uzaklaşılabilmesi
- Ürün oluşturma sürecindeki fonksiyonlar firma yapısına göre birbirinden ayrı olabilir. Yani farklı bölümlerin farklı fonksiyonlardan sorumlu olması bilgi aktarımında anlaşmazlıklara, gecikmelere neden olur ki bu da eşzamanlı mühendislikten beklenen verimliliğin azalması

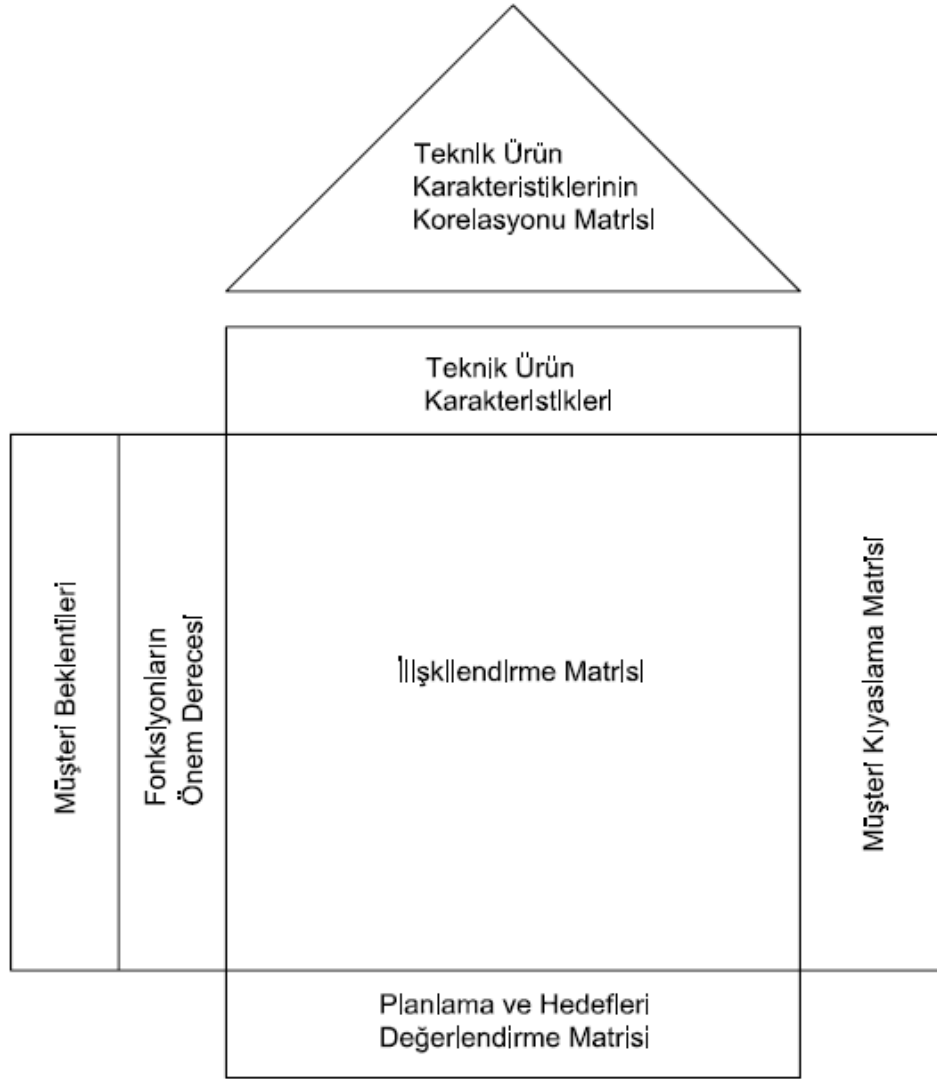
olarak sıralanabilir [1].

2.5. Eşzamanlı Mühendislikte Uygulama Teknikleri

2.5.1. Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY)

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) altı Japon Kanji karakteri olan Hin Shitsu Ki No Ten Kai teriminin çevirisidir. Bu altı Kanji karakterinden Hin Shitsu kalite, özellik, nicelik ve nitelik, Ki No yapı, fonksiyon, Ten Kai ise yayılım anlamına gelmektedir

[6]. İlk olarak Japonlar tarafından kullanılan KFY'nin tarihçesine bakıldığında, müşteri şikayetlerinin giderilmesine yönelik sebep sonuç ilişkisi tablolarının hazırlanmasıyla yola çıkıldığı ve bunun sürekli olarak tekrar edilmesiyle iyi bir analiz şeklinin oluştuğu söylenebilir.



Şekil 2.5: KFY analiz modeli [4]

Genel anlamda KFY için, müşteri girdilerinin tasarım, üretim ve servise kadar iletildiği, biçimi eve benzeyen bir dizi matris kullanılarak fonksiyonlar arası bir takım tarafından yapılan hizmet veya ürün geliştirme süreci olduğu söylenebilir. KFY yöntemi, ürünlerin veya hizmetlerin müşteri gereksinimlerine göre tasarlanması gerektiği felsefesine dayanmaktadır. KFY sayesinde ürün geliştirmeye süreçlerinde

%30 ile %50 arasında, yeni ürünü devreye alma sürecindeki maliyetlerde ise %20 ile %60 arasında tasarruf sağlandığı söylenebilir [6]. KFY yönteminin temel adımları **Şekil 2.5**'te şematik olarak gösterilmiş ve ayrıca aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Müşteri Beklentileri Listesi: Birinci aşama hedef pazarın belirlenmesidir. Bu amaçla anket çalışması yapılarak müşterilerin istek ve ihtiyaçları belirlenir. Müşteri beklentileri, müşterinin ürün ya da ürün özelliklerine ilişkin isteklerdir ve bu isteklerin tüketicilerin kendi kelimeleri ile ifade edilmesi önemlidir.

Önem Derecesi: Bu aşamada, anketler aracılığı ile ve müşterilerle yapılan birebir görüşmeler vasıtasıyla müşterilerin isteklerinin önem seviyeleri hakkındaki görüşleri elde edilir. Çeşitli değerlendirme tabloları kullanılarak müşteri isteklerinin önem seviyeleri belirlenir. Ayrıca bu önem seviyeleri yüzdesel olarak da belirlenebilir.

Teknik Ürün Karakteristikleri Matrisi: Matrisin teknik kısmına başlamanın ilk adımı, müşterilerin düşüncelerinin teknik ihtiyaçlara dönüştürülmesidir. Teknik ihtiyaçlar ölçülebilir nitelikte olmalı ve müşterinin sesi ile doğrudan ilişkili olmalıdır. Teknik ihtiyaçlara bir takım mühendislik hesaplar, deneysel çalışmalar veya bilgisayarlı simülasyon programları vasıtasıyla çözüm bulunur.

İlişkilendirme Matrisi: Müşteri istekleri ile teknik özellikler arasındaki ilişkiler belirlenirken matrisin her hücrenin 'neyi'-'nasıl' etkilediği sorusu sorularak bu işleme başlanır. Bu sorunun cevabı hayır ise o hücre boş bırakılır, yani ilişki yok demektir. Evet ise ilişkinin derecesi zayıf, orta veya güçlü şekilde belirtilir.

Kararlar, ilişkilerin gücünü belirtecek semboller kullanılarak matrise kaydedilir. İlişkilerin belirlenmesindeki amaç, müşteri düşünceleri ile önemli oranda ilişkili olan teknik ihtiyaçları vurgulamaktır. Daha sonra doldurulmuş olan matris, müşteri düşüncelerinin öncelikli olanlarını belirlemek için analiz edilir.

Korelasyon Matrisi: Birçok teknik ihtiyaç, diğer teknik ihtiyaçlar ile ilişkili olabilir. Bu teknik ihtiyaçlardan birinin geliştirilmesi amacıyla yapılan bir çalışma, ilgili ihtiyaca yardımcı olabilir ve bunun sonucunda olumlu veya yararlı bir etki ortaya çıkar. Diğer taraftan, bir ihtiyacı geliştirmek için yapılan çalışma ilgili ihtiyacı olumsuz yönde de etkileyebilir.

Korelasyon matrisinde teknik ihtiyaçlar arasındaki ilişkinin önemine göre, bu ilişkinin olumlu ya da olumsuz olmasına göre şekilsel olarak anlaşılabilen bir

değerlendirme biçimi kullanılır. Teknik ihtiyaçlar arasındaki bu ilişkiler belirlenerek kalite evinin çatısına yerleştirilir

Müşteri Kıyaslama Matrisi: İlk olarak kıyaslama çalışması için şirkete rakip görülen firmalardan numune ürün temin edilir. Elde edilen müşteri beklentileri diğer firmaların ürünleri ile kıyaslanır. Değerlendirmeyi yapacak kişilerden, ürünlerden beklentilere göre belirli değerleri puanlandırılması istenir.

Planlama Matrisi ve Hedef Değerler Listesi: Bu matriste teknik özellikler listesinin kıyaslama çalışması yapılır. Ayrıca her bir teknik ihtiyacın, müşteri beklentilerinin karşılanmasındaki mutlak ve bağıl önem dereceleri formüllerle hesaplanır ve teknik özelliklerin birbirine göre önem dereceleri ortaya çıkar. Bunlara ek olarak, teknik özelliklerin değişiminin ne kadar zor olduğunu gösteren teknik zorluk derecesi matrisi de bu aşamada tamamlanır. Son olarak da bütün matrisleri gözden geçirilerek hedef değerler belirlenir.

Özetle KFY'nin faydaları;

- Yeni ürün geliştirme zamanını kısaltması
- 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 sıralanabilir [4,6].

2.5.2. Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (OHTEA)

Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (OHTEA) endüstride yaygın olarak kullanılan, bir sistemin bileşenleri üzerinde etki edebilecek hata türlerini, bu hataların nedenlerini ve etkilerini sistematik olarak inceleyen bir analiz yöntemidir.

Bu yöntem güvenilirlik programları içerisinde güvenilirlik değerlendirmeleri ile tahminleri ve güvenilirlik tasarımı faaliyetleri çerçevesinde kullanılmaktadır. Kalite güvence sistemi kapsamında ise hata önleyici ve kaliteyi geliştirmeye yönelik bir teknik olarak tasarım doğrulama ve gözden geçirme ile ilgili önemli kullanım alanına sahiptir. OHTEA kuvvetli bir analiz tekniği olması ve belirtilen kullanım özellikleri

nedeniyle mekanik sistem tasarımıda tasarım geliştirme ve kontrol faaliyetleri kapsamında bir tasarım aracı olarak uygulanabilme imkanına sahiptir.

OHTEA bahsedilen genel amaçların yanında teknik sistemlerde meydana gelebilecek birçok problemin tanımlanmasında elverişlidir. Teknik sistemlerin karmaşıklık derecesine bağlı olarak çoğu zaman analiz, sistemi alt yapılarına ayrıştırarak uygulanır. Teknik sistemin çeşitli düzeyleri için analiz yapılabilir. Bu teknik, bir projenin kısmen planlama gibi başlangıç aşamalarında uygulansa da genel olarak tasarım, geliştirme gibi aşamalarda uygulanmaktadır. Tümdengelim yöntemleri kullanılır, sistemin güvenilirliğinin tahmin ve tayin edilmesinde temel düzeylerden en üst düzeye kadar genişleyerek analiz yürütülür.

Genel olarak ifade edilecek olursa bir OHTEA çalışması;

- Sistem bileşenlerine ait hata türlerinin her birinin, sistemin fonksiyonları üzerine etkisini tayin eder
- Sistemin güvenilirlik, elverişlilik (kullanımda olma), emniyet karakteristikleri üzerine hata türlerinin belirgin etkilerini tanımlar.

diyebiliriz [6]. Ayrıca uygulamada hedeflenen sonuçlar, hata türlerinin ortaya çıkmasının önlenmesi, nedenlerinin ortadan kaldırılması ve bunlara yönelik faaliyetlerin belirlenmesi olduğu için bu tekniklerin uygulanması sonucunda ürünün kalite düzeyinin yükselmesi sağlanmış olacak ve sistemin güvenilirlik değerleri artırılmış olacaktır.

OHTEA yöntemimin amaçları ise;

- Sistem üzerinde olumsuz etki yapan hataları tanımlamak
- Sistemin emniyet ve güvenilirliğini belirlemek
- Hataların teşhis edilmesine imkan sağlamak
- Sistem güvenliği ve emniyetini geliştirmek
- Sistemin tamir, bakım gibi olanaklarının arttırılmasını sağlamak
- Tasarımın doğrulanması ve gözden geçirilmesi yoluyla en az hatalı tasarım gerçekleştirilmesine imkan sağlamak

şeklinde özetlenebilir [6].

OHTEA yöntemi sıklıkla iki tipte uygulanır. Bunlar Proses OHTEA ve Tasarım OHTEA'dır.

Proses OHTEA, proses boyunca hataya neden olabilecek olası durumları değerlendirir. Proses OHTEA'nın ana hedefi, potansiyel üretim hatalarının etkilerini, ölçülebilen kontrol dileyen izlenebilen önemli karakteristiklerini tanımlayarak en aza indirmek veya mümkünse ortadan kaldırmaktır. Proses OHTEA, kalite kontrol ve proses planlama departmanlarıyla çok sıkı ilişkiler içinde çalışarak üretime geçilmeden önceki süreçte uygulanabilir [1].

Tasarım OHTEA, ürün tasarımı sırasında ele alınan konularda muhtemel hata türleri, neden ve etkileri analiz edilir. Tasarım OHTEA'nın inceleme konuları arasında parça ve malzemeler, şekil v boyutlar, fonksiyonellik, toleranslar, bakım kolaylığı, ısıt işlem, ürün güvenliği, kullanım koşulları gibi onular vardır. Tasarım OHTEA'nın çalışmaları tasarım geliştirme aşamasında test ve denemelerden önce yapılması gerekir. Ürün tasarımının gelişmesine paralel olarak Tasarım OHTEA çalışmaları sürekli güncelleştirmeye ve geliştirmeye tabi tutulur. Örnek bir Tasarım OHTEA çalışma sayfası **Tablo 2.1**'de gösterilmiştir.

Tasarım OHTEA;

- Yeni ürün veya parçalarda değişiklik yapmak
- Mevcut ürün veya parçalarda değişiklik yapmak
- Mevcut ürün veya parçaların yeni bir uygulamada kullanılması

gibi koşullarda uygulanabilir [6].

Bir OHTEA çalışması analiz, değerlendirme ve iyileştirme çalışmalarından oluşur. Analiz aşamasında ilk önce sistem ve alt sistemler tanımlandıktan sonra parça ya da fonksiyonlar tabloya işlenir. İkinci aşamada olası hata türleri, hatanın nedenleri ve hatanın etkileri araştırılıp tabloya işlenir. Üçüncü aşamada her bir olası hata için tasarım doğrulama ve kontrol amacıyla yapılacaklar belirlenir ki bunlar hesaplamaların gözden geçirilmesi, fizibilite çalışmalarının gözden geçirilmesi, laboratuvar çalışmalarının gözden geçirilmesi gibi çalışmalardır.

Tablo 2.1: Tasarım OHTEA örnek çalışma sayfası [5]

OLASI HATA TÜRLERİ ve ETKİLERİ ANALİZİ (OHTEA)

ÖRNEK ÇALIŞMA SAYFASI

Sistem	
Alt sistem	
Parça	
Tasarım Lideri	
Çalışma Takımı	
Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Tasarım OHTEA)	
Tarih	
OHTEA No	
Hazırlayan	
OHTEA Tarihi	
Revizyon Tarihi	
Sayfa	/

[illegible]

Değerlendirme aşamasında hata olasılığı, hatanın önem derecesi (kritiklik) ve hatanın tespit edilebilme dereceleri değerlendirilir. Hata olasılığının belirlenmesinde kalite kontrol kayıtları, geçmiş veriler kullanılmalıdır ve her bir olasılık için tablolar yardımıyla puanlama yapılır. Hatanın önem derecesi belirlenirken olası hatanın bir sonraki işlemde ya da sistemde meydana çıkaracağı sonuçlardan kullanıcının etkilenme derecesine göre her bir olasılık için tablolar yardımıyla puanlama yapılır. Tespit edilme derecesi ise olası hatanın bir sonraki aşamaya ulaşmadan tespit edilebilme derecesine göre tablolar yardımıyla puanlama yapılarak bulunur. Bütün bu değerlendirme çalışmalarından elde edilen değerler tabloya işlenir. Bu noktadan sonra olası hatanın nicel değerlendirilmesi “ Risk Öncelik Göstergesi “ ile bulunur.

Risk Öncelik Göstergesi;

$$RÖG = \text{Olasılık} \times \text{Önem Derecesi} \times \text{Tespit Değeri} \quad (2.1)$$

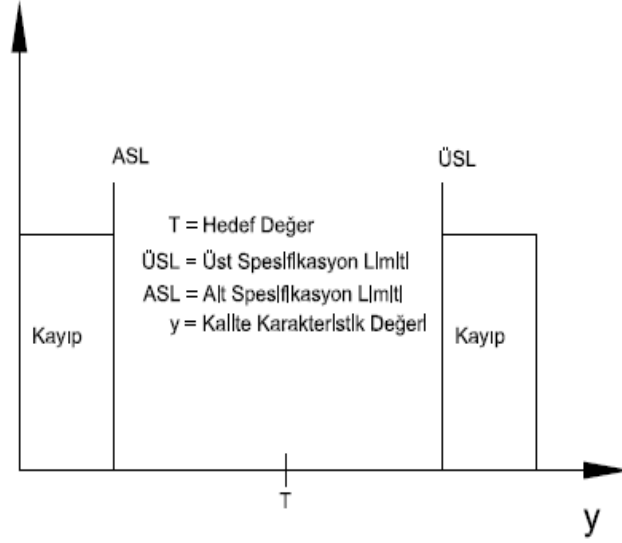
şeklinde bulunur [6].

İyileştirme aşamasında düzeltici faaliyetler için hareket planı, sorumlular ve gerçekleştirme süreleri tanımlanır. Bunların sonucunda elde edilen yeni RÖG hesaplanır. Bu aşmalar kayda değer bir gelişmenin sağlandığı yere kadar tekrarlanır.

2.5.3. Taguchi Yöntemi

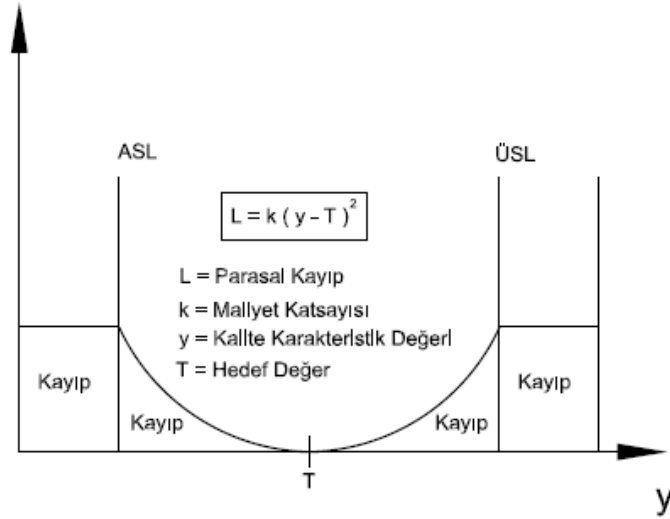
Taguchi tekniği, Genichi Taguchi tarafından endüstriyel anlamda optimum maliyet ve sürede kaliteli ürün tasarımını gerçekleştirmeye yönelik olarak istatistik teknikleri, verileri ve mühendislik bilgilerini kullanarak tasarım sentezinde büyük önemi olan deneysel çalışmaların tasarlanmasına dayanır.

Taguchi tekniğinin temel felsefesi kayıp fonksiyonu ve güçlendirilmiş tasarım olmak üzere iki dayanak üzerine kurulmuştur. Taguchi tekniğini diğer kalite yöntemlerinden ayıran en önemli fark tasarım aşamasında müşteri istekleri doğrultusunda belirlenmiş veriler ve teknolojik olanaklar ışığında istenilen en iyi üretimi en uygun fiyata ve en kısa sürede hatasız öngörülen kalitede üretebilmek için yapılan çalışmaları hedeflemesidir [6].



Şekil 2.6: Geleneksel yaklaşımda kalite kaybı [1]

Taguchi'ye göre kalite, geleneksel tanımdan farklı olarak üretilen ürünle müşteri istek ve beklentilerinin karşılanmasıdır ve bu anlamda kalitenin değerlendirilmesine yardımcı olacak kayıp fonksiyonu tanımlanmıştır. Taguchi müşteriden gelen her şikayetin ve müşteriye yansıyan her ek maliyetin kaliteye kayıp olarak yansıdığını ve kayıp spesifikasyonlarından sapma olarak değil spesifikasyon aralığının ortasında yer alan sapmaların parasal değerini ölçme olanağı verdiğini söyler [6].



Şekil 2.7: Kuadratik kalite kaybı fonksiyonu [1]

Şekil 2.6'te grafikleştirilen geleneksel kalite anlayışına göre spesifikasyon limitlerindeki ürünler iyi kalitede sayılır ve kalite kaybı sadece spesifikasyon

limitlerinin dışına çıktığında oluşur. **Şekil 2.7**'te grafikleştirilen Taguchi 'nin yenilikçi kuadratik kayıp fonksiyonuna göre ise hedef değerden sapmanın başlamasıyla kalite kaybı da başlar ve kalite karakteristiğinin spesifikasyon limitlerinde ise kayıp ürünün üretim ya da imha etme maliyetlerine eşittir [1].

Diğer yandan Taguchi'nin güçlendirilmiş tasarım felsefesi, kontrol edilemeyen tüm tasarım faktörlerini hata olarak tanımlar. Bu felsefe ürünün hataya maruz kaldığında dahi fonksiyonunu yerine getirebilmedir düşüncesini savunur ve buna uygun ürün tasarımını hedefler.

2.5.4. Grup Teknolojisi

Grup teknolojisinde parçanın özellikleri çok kapsamlı kodlarla bir sisteme bağlanmaktadır. Bu kodlar, tekrar kolay ele alınması için parçaların sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Grup teknolojisi, ürün kalitesinde ve tasarım veriminde yeterli gelişmeyi sağlamak için kullanılmaktadır. Bu tasarım yöntemi sırasında mühendis, şirket tarafından üretilen tüm parçaları inceleyerek parçanın özelliklerinin önceden belirlenip belirlenmediğini kontrol etmektedir. Eğer mevcutsa, yeni tasarıma gerek görülmemektedir. Elde mevcut eski tasarımda değişiklikler yapılarak yeni tasarım elde edilmektedir.

Sonuçlandırılan kod, insan tarafından hesaplanan ile aynı olmayabilir. Ama yazılım kullanılması tutarlılığı açısından değerlendirildiğinde bir avantajdır. Çünkü verilen parça için hep aynı bulunmaktadır ama insan için bu her zaman doğru olmamaktadır. Koddaki tutarsızlık grup teknolojisi için tek ve en büyük sorundur.

2.5.5. Aksiyomatik Tasarım

Aksiyomatik tasarım yaklaşımı, iyi bir tasarım uygulaması için birtakım temel tasarım prensiplerinin olduğunu varsayan bir yaklaşımdır. Bu yöntem yaklaşık yirmi beş yıl önce MIT'de bir grup bilim adamı tarafından açıklanıp kullanılmaya başlanmıştır [7]. Aksiyomatik tasarımın temel prensipleri, iyi bir tasarım için bilimsel bir ön hazırlık görevini yerine getirecek kurallar olarak düşünüldüğü yaratılmıştır. Bu yöntemde tasarımla ilgili kararlar hiyerarşik bir yapı içinde alınır. Bunun için iki adımdan oluşan bir yol izlenir. Önce yapılacak tasarım için gerekli olan fonksiyonlar tanımlanır ve sonrasında her bir fonksiyona karşılık gelen fiziksel gerçeklikleri kullanarak tasarım ilerletilir.

Bu yöntemde uygulanan iki temel aksiyom,

- Bağımsızlık aksiyomu, iyi bir tasarımda tasarımın gerektirdiği fonksiyonelliklerin birbirinden tamamen bağımsızlığının sağlanması gerektiğini savunur ki buradaki fonksiyonsal gereklilikler tasarımın sağladığı en az sayıdaki gereklilik
- Bilgi aksiyomu, iyi bir tasarımın en az bilgi içeriğine sahip olması gerektiğini savunur ki buradaki bilgi içeriği ifadesi fonksiyonsal gereklilikleri anlatan bilgi

olarak tanımlanır [7].

2.5.6. Bilimsel Tasarım

Aksiyomatik tasarıma en ilginç alternatif bilimsel tasarımdır. Bilimsel tasarıma göre tasarım örneklerle geliştirilmektedir. Kabul edilen tasarımları içeren bir katalog, tasarım koordinatörüne verilerek yaratıcılığı kullanılabilir. Örnek olarak bir tasarımın gerçekleştirilmesi düşünüldüğünde ilk önce ihtiyaçlar belirlenmektedir. Belirlenen fonksiyonlar tasarım koordinatörünün elinde bulunan kataloglardan seçilerek ihtiyaçlara göre kullanılmaktadır. Kataloglar şekle, enerjiye veya mekanik tiplere göre sınıflandırılmıştır. Ürünler sadece fonksiyonlar için tasarlanmaktadır; üretilebilirliği düşünülmemektedir. Bu nedenle bu teknik eşzamanlı mühendisliğe pek uygun değildir. Bilimsel tasarım genellikle Avrupa’da kullanılmakta ve özellikle Almanya’da bu teknikle tasarımlar gerçekleştirilmektedir [3].

2.5.7. Bilgisayar Destekli Tasarım

Taguchi tekniği olsun montaja uygun tasarım tekniği olsun yada diğerleri olsun tasarım koordinatörü için bilgisayarda uygulanabilir. Bunlar genellikle üretimin bir aşamasında bile tasarım koordinatörünün gereksinimi olan tavsiyeleri içeren özel üretim yöntemleridir. Örnek olarak metal döküm işlemiyle yapılan parçaların tasarımı verilebilir. Tasarım koordinatörü tüm parçaları metal döküm yöntemini kullanarak bilgisayar ortamında tasarlamaktadır. Böyle bir sistem belirlenmekte ve geliştirilmektedir. Bu program, geometriyi tanımlamak için girdi taslaklarına izin veren, malzeme tipi hakkındaki sorulara kullanıcının cevap vermesini sağlayan parçanın özellikleri hakkında bilgi içeren bir programdır. Ürünün fonksiyonelliği,

üretilebilirliği ve tasarımın ihtiyaçları arasında hesaplamalar yapıp bilgisayar ortamında detaylandırılmaktadır [3].

2.5.8. Üretim Yöntemi Tasarım Kuralları

Üreticilerin amacı, tasarım kağıt üzerinde değişmeyecek hale gelmeden önce tasarım yöntemiyle ilgili sınırlamaların tasarım koordinatörleri tarafından fark edilmesini sağlamaktır. Üretim yöntemi tasarım kuralları, belirli endüstrilere özgü tasarım yönteminin kurallarıdır veya önerileridir. Örnek olarak otomotiv endüstrisi araba şasisini üretirken saç şekillendirmede bu tasarım kurallarını kullanmaktadırlar. Minimum eğrilik yarıçapı, kalıptaki maksimum bükme açısı, şekillendirme ve yüzey işleme arasındaki ilişki kurallarla belirlenmelidir. Tasarım koordinatörü, çok geç olmadan veya değişikliklerin yapılması çok pahalı olduğundan tasarım yöntemi esnasında bu kuralları göz önünde bulundurmalıdır [3].

2.5.9. Üretime Uygun Tasarım (ÜUT)

Belirli bir parçanın üretiminde uygun proseslerin seçimi, parçada aranan özelliklerle çeşitli proses kabiliyet ve kapasitelerinin karşılaştırılması sayesinde yapılır. Belirli bir malzemede tasarımcının seçimini etkileyen faktörler hammadde seçimi, proses seçimi, standart parça kullanımı çok amaçlı parça geliştirilmesi, ayrılabilir bağlantı elemanlarının kullanımından kaçınılması ve montaj yönünün azaltılması gibi sıralanabilir. Bütün parçaların mümkün olduğunca tek bir yönden montaj edilmesine çalışılmalıdır. Fazla yön olması zaman kaybı, gereğinden fazla transfer hareketi, gereğinden fazla kontrol noktalarının olması demektir. Olabilecek en iyi montaj, bütün parçaların yukarıdan aşağıya doğru birbirine eklenebildiği ve istiflemenin Z-ekseninde olduğu montajdır.

Bünyesinde maliyet tahmini yapacak fonksiyonu bulunan BDT / BDÜ sistemlerinin varlığı sayesinde ÜUT örnekleri büyük bir verimlilikle uygulanabilir hale gelmiştir. Tasarımcılar, BDT modellerini kullanarak tasarımlarının görsel tanımlamalarını geliştirebilirler. BDT modellerinden alınan parça verilerinin geliştirilmesiyle ürünlerin maliyetlerinin tahmini yapılabilir. Bu bilgiler tasarımcı tarafından hemen alınıp incelenir. ÜUT yönteminin ana hatlarını kullanarak BDT modelleri değiştirilerek tasarımcıya alternatif tasarımlar içinden maliyet verilerine göre en uygun tasarımı seçme şansı verilir [8].

2.5.10. Montaja Uygun Tasarım (MUT)

MUT araştırmaları ilk kez Boothroyd ve Dewhurst tarafından yapılmıştır ve bu araştırmaları, düşük maliyetli montajın ekonomik olarak montaj edilebilecek parça tasarımı ve uygun montaj sisteminin seçilmesiyle başarılabileceği önermesi üzerine kurulmuştur. İlerleyen zamanda Boothroyd ve Dewhurst 1986 çıkarttıkları başvuru kitabında da temeli her bir parçanın montaj konumuna taşınması ve birbirine eklenmesine dayanan teknikleri ortaya koymuşlardır. Kitapta vurgulanan nokta, montaj maliyetlerini en aza indirme çabasıydı.

Boothroyd ve Dewhurst'ın 1987'de ortaya koydukları MUT yönteminin ilkeleri,

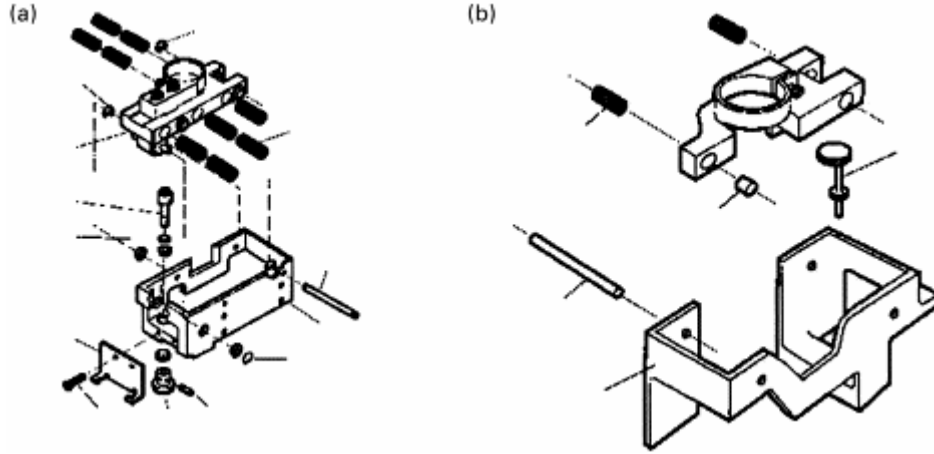
- Tasarımcının her bir parça için bu parçanın neden elenemeyeceğini veya diğer parçalarla neden birleştirilip tek parça olarak kullanılamayacağını sorgulaması
- Özel olarak bu amaç için geliştirilmiş belli işlemlerin standart zamanlarını içeren veritabanlarını kullanarak gerçek montaj zamanının bulunması
- Tasarımın verimlilik indeksinin elde edilmesi
- Üretim ve kalite problemlerine neden olabilecek montaj zorluklarının tanımlanması

olarak özetlenebilir [8].

1970'lerden günümüze kadarki geçen sürede birçok MUT yöntemi geliştirilmiştir. Boothroyd ve Dewhurst yönteminin dışında ileride ayrıntı olarak anlatılacak olan Lucas yöntemi de önemli bir yöntemdir. Ayrıca endüstriyel kuruluşların kendileri için geliştirdikleri MUT değerlendirme yöntemleri vardır. Bunlardan biri Hitachi şirketinin geliştirdiği, montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi ismini verdikleri sistem, bir diğeri Sony şirketinin geliştirdiği, montaja uygun tasarımda maliyet verimliliği yöntemi ya da yine General Electric şirketinin mühendislik ve üretim departmanlarının geliştirdiği, elle ve otomasyon sistemi montajlar için parçaların yeniden tasarlanmasını değerlendiren yöntem örnek olarak verilebilir [8].

Bir montajda ürünün ya da alt montaj grubunun maliyetini etkileyen iki temel faktör vardır. Bunlar toplam parça sayısı ve taşıma, ekleme ve sabitleme işlemlerinin kolaylığıdır. **şekil 2.8** aynı fonksiyonu gerçekleştiren bir alt montaj grubunun hem

geleneksel yöntemle hem de MUT yöntemi uygulanmış haliyle yeniden tasarlanmış durumunu göstermektedir.



Şekil 2.8: Bir alt montaj grubunun geleneksel ve MUT yöntemi uygulanmış tasarımlarının karşılaştırılması [8].

Aşağıda MUT yönteminin önemli kriterleri;

- Parça sayısını, olası montaj çeşitliliğini, olası montaj yönünü azaltmak
- Montajda otomatik hizalamayı, montajın yapılacağı yüzeye kolay erişmeyi, simetrikliği ya da aşırı asimetrikliği, parçaların basit taşıma ve eklenmesini sağlamak
- Görsel engellerden, eşzamanlı bağlantı işlemlerinden, ön ayar gerektiren işlemlerden, montaj hatasına neden olacak işlemlerden kaçınmak

olarak sıralanabilir [8].

2.5.11. Demontaja ve Geri Dönüşüme Uygun Tasarım

Kullanılıp ıskartaya çıkartılmış ürünlerin miktarındaki dramatik artış, özellikle endüstriyelleşmiş ülkelerde geri dönüşüm işleminin vurgulanmaya başlanmasına sebep olmuştur. Ayrıca geri dönüşümün bir diğer önemli yararı da “yeşil” kavramına yaptığı vurgudur. Özellikle çevresel kaygılardan dolayı birçok kullanıcı artık çevre dostu, doğaya daha az zarar veren geri dönüşüme uygun ya da geri dönüştürülmüş ürün kullanmayı tercih etmektedir. Bunlarla beraber geri dönüşüme uygun tasarımda hala tam olarak çözilemeyen iki sorun vardır. Bunlar en uygun söküp parçalama tekniğinin seçimi ve geri dönüşüm maliyetleridir. Diğer taraftan kullanılmış

parçaların yeniden işleme teknolojisi kullanılarak ekonomik anlamda geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılabilmesi arzusundan dolayı demontaj kavramı da geri dönüşümle beraber dikkatleri üzerine çeken diğer bir faktör olmuştur.

Demontaj kavramı, bir montajdan istenilen parçaların sistematik bir yolla ayrılıp alınması işlemi olarak tanımlanabilir [8]. Ana hatlarıyla bakıldığında iki tip demontaj yönteminden bahsedilebilir. Bunlardan birincisi birbirine sökülebilir bağlantılarla montaj edilmiş sistemler için uygulanabilen ters montaj yöntemi, ikincisi ise demontaj işleminin kaba kuvvet uygulanarak yapılması yöntemidir. Kaba kuvvet uygulanarak yapılan demontajda iki ayrı zorluktan söz edilebilir. Birincisi demontaj için planlanmış sağlıklı bilgiye ulaşamamak ya da ürünlerin zaten üretilirken kolay demontajı düşünmeden üretilmeleri, ikincisi ise demontaj sırasına karar verilmesidir.

Demontaj yöntemiyle ilgili bugüne kadar iki yaklaşım geliştirilmiştir. Birinci yöntem 1991’de Subramani ve Dewhurst’un geliştirdiği yöntemdir. Bu yöntem,

- Bütün bağlantıların açılması,
- Demontaj sırasında istenilen paraların bulunması
- İstenilen parçanın demontajı

olarak özetlenebilir [8]. İkinci yöntem 1995’te Gu ve Yan’nın geliştirdiği yöntemdir. Bu yöntem dört temel adımda gerçekleştirilir. Bu adımlar,

- Ürün bağlantı şekillerinin grafikleştirilmesi
- Montajın alt montaj gruplarına ayrıştırılması
- Her alt montaj grubunun demontaj sırasının oluşturulması
- Alt montaj grupları için oluşturulan grafiklerin kullanılarak tüm sistemin demontaj sırasının oluşturulması

olarak özetlenebilir [8].

2.5.12. Çevreye Uygun Tasarım (ÇUT)

Genel anlamda ÇUT, yeni ürün ve proses geliştirme süreçleri boyunca tasarımın çevre sağlığını ve güvenliğini dikkate alan sistematik bir düşünce yapısıdır. ÇUT’un faaliyet alanı çevresel risk yönetimi, ürün güvenliği, meslek sağlığı ve güvenliği, kirlenmenin önlenmesi, ekolojik dengenin korunması, doğal kaynakların korunması,

doğaya ve çevreye zarar verecek kazaların önlenmesi, atık yönetimi gibi birçok disiplini bünyesinde barındırır. ÇUT'un üç temel hedefi,

- Yenilenemeyen kaynakların kullanımının azaltılması
- Yenilenebilir kaynakların kullanımının ve verimliliğinin artırılması
- Çevreye toksit salınımının azaltılması

olarak açıklanabilir [8].

ÇUT tekniği birçok tasarım ve çevresel etki değeri, veri ile veri yönetimi, tasarım optimizasyonu gibi veri tabanlı aktivitelerin koordineli olarak çalışmasını gerektirir. Çevresel etki değeri, herhangi bir çevresel kriterin performans seviyesinin algoritmik açıklaması olarak tanımlanabilir. Çevresel kriter denilen kavram ise bir ürünün çevresel niteliğidir. Bu çevresel kriterlerin tümü, ürün geliştirilirken karar verme mercilerinin yardımıyla sayısal hale getirilip somutlaştırılabilir [8].

2.5.13. Kaliteye Uygun Tasarım (KUT)

Araştırma ve istatistiksel kalite kontrol hiçbir şekilde zayıf bir tasarımın eksikliklerini tamamen ortadan kaldıramaz, kalite ancak tasarlanan bir ürünün unsuru olabilir. KUT'un hedefleri,

- Müşteri ihtiyaçlarını karşılayan ürün tasarlamak
- Ürünün üretimindeki ve kullanıldığı çevrelerdeki potansiyel çeşitliliğin etkilerini en aza indiren dayanıklı ürünler tasarlamak
- Ürünün güvenilirliğini, performansını ve müşterinin beklentilerini aşacak şekilde teknolojisini sürekli olarak arttırmak

olarak sıralanabilir [8].

KUT'un yaygınlaşmasını sağlayan iki ana teknik önceki bölümlerde de bahsedilen Taguchi tekniği ve KFY yöntemidir.

Taguchi yöntemi ürün ve proses gelişiminde, temel fonksiyonların hesaplanmasında bilimsel ve mühendislik prensiplerinin kullanılmasını içeren sistem tasarımı adımı, sistem parametrelerinin belirlenebilmesi için parametre tasarımı adımı, parametreler için en iyi toleransların tanımlanmasını ve kullanılmasını içeren tolerans tasarımı adımı olmak üzere üç konuyu dikkate alır [8].

KFY yöntemi ise KUT'un diğer bir önemli tekniktir. Çünkü KFY müşteri isteklerini ve beklentilerini üretim aşamasından önce belirlenip tasarım ekibine aktarır ki bu da iyi ve kaliteli bir tasarım için önemlidir. Ayrıca KFY'nin kullandığı kıyaslama aracı, ürünün rakipleri arasındaki yerini, eksikliklerini, avantajlarını gösterdiği için KUT yönteminin çok önem verdiği bir araçtır.

2.5.14. Bakıma Uygun Tasarım (BUT)

Bakıma uygun tasarım ilkesi müşteri hizmet faaliyetlerini azaltmak, müşteri memnuniyetini arttırmaktır. BUT'un geçerli temel kuralları ise,

- Bileşenlerin bakım kolaylığının olması
- Ortak yedek parça kullanımı
- Uzaktan teşhis olanağı sunması
- Kullanıcıya teşhis olanağı sunması
- Önleyici bakım kavramına önem vermesi

olarak özetlenebilir.

Bir ürünün bakımı ile ilgili faaliyetlerin tasarım aşamasında düşünülüp optimum bakım sürelerinin saptanması, ürünün performansına etki eden en önemli aktivitelerdendir. Böylece değişmesi gereken yedek parça veya malzemelerle ilgili olarak müşterinin bilgilendirilmesi sağlanırken, satış sonrası servis hizmetlerinin planlanması ile ürünün beklenmedik arızalar oluşturmaya engel olunabilir [9].

2.5.15. Güvenilirliğe Uygun Tasarım (GUT)

Genel hatlarıyla güvenilirlik kavramı, ürünün belirli sürelerde, belirli koşullar altında kendisi için belirlenmiş fonksiyonu hatasız olarak gerçekleştirmesi olasılığı olarak tanımlanır. Güvenilirlik kavramı dört temel faktörü kapsar. Bunlar,

- Olasılık
- Özelleştirilmiş bir fonksiyon
- Tahsis edilen çevre
- Süre

olarak sıralanabilir [8].

Tasarım aşamasındaki sistem güvenilirliği düşüncesi, güvenilirliğin tahsis edilmesiyle sağlanır. Güvenilirliğin tahsisi denilen kavram ise ya bir alt sistemin içindeki ürünün hedef olarak alınan güvenilirlik kıstaslarının sağlanması ya da her bir alt sistemdeki parça düzeyindeki alt hedef güvenilirlik kıstasının sağlanması olarak açıklanabilecek bir prosedürdür. Güvenilirliğin sağlanmasındaki amaç, ürün yapısındaki her seviyede hedef güvenilirlik kavramını kurmaktır.

Mekanik sistemlerin güvenilirliği açısından bakıldığında, meydana gelen hatalar ürünün yaşlanması, malzemelerin aşınmasından, ya da aşırı gerilmelerden dolayı olur. Ayrıca yaşlanma ve aşınma denilen kavramlar iç gerilmelere açısından ürünün dayanımını azaltan faktörlerdir. Bu nedenle mekanik sistemlerin güvenilirlik analizleri, gerilme ve dayanım analizleri üzerine kurulmuştur. GUT'un ana hatları,

- Basitlik
- Tercihli tasarımların ve uygun parçaların kullanılması
- Gerilme ve dayanım analizlerinin yapılması
- Yerel çevrenin kontrolü
- Kritik hata türlerinin tanımlanması ve bunların önlenmesi
- Olası hataların araştırılıp bulunması
- Önleyici bakıma önem verilmesi
- Tolerans değerlendirilmelerinin yapılması

olarak sıralanabilir [8].

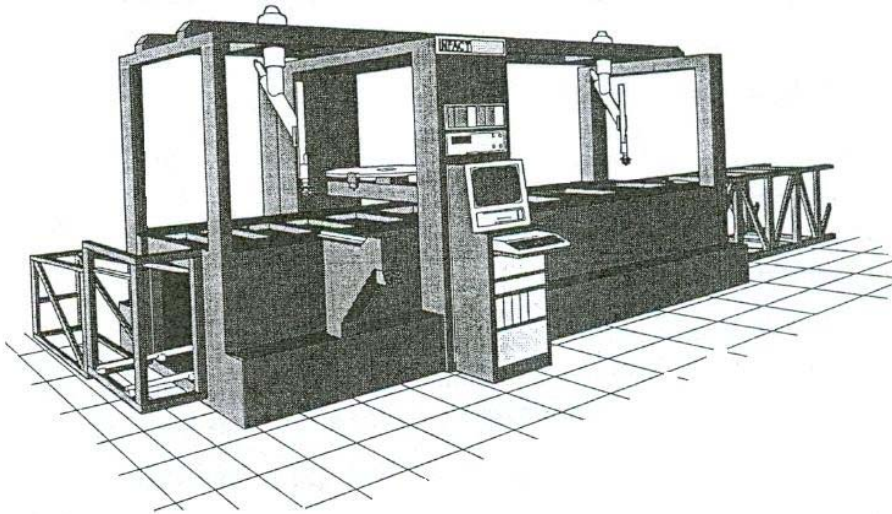
3. MONTAJA UYGUN TASARIM (MUT)

3.1. Montaj Teknolojisine Genel Bakış

Herhangi bir tasarım ya da tasarım aktivitesinde iki temel hedef vardır. Bunlar gerekli ve beklenen fonksiyonelliğin sağlanması ve maliyetin azaltılmasıdır. Bu iki hedef, montaj yöntemi ve montaj maliyetlerini göz önüne almadan başarılamaz. İşte bu yüzden montaj işlemi, ürün tasarım ve üretim yöntemlerinde karar verme pozisyonundaki sorumluların dikkate alması gereken önemli ve vazgeçilemeyecek bir unsurdur.

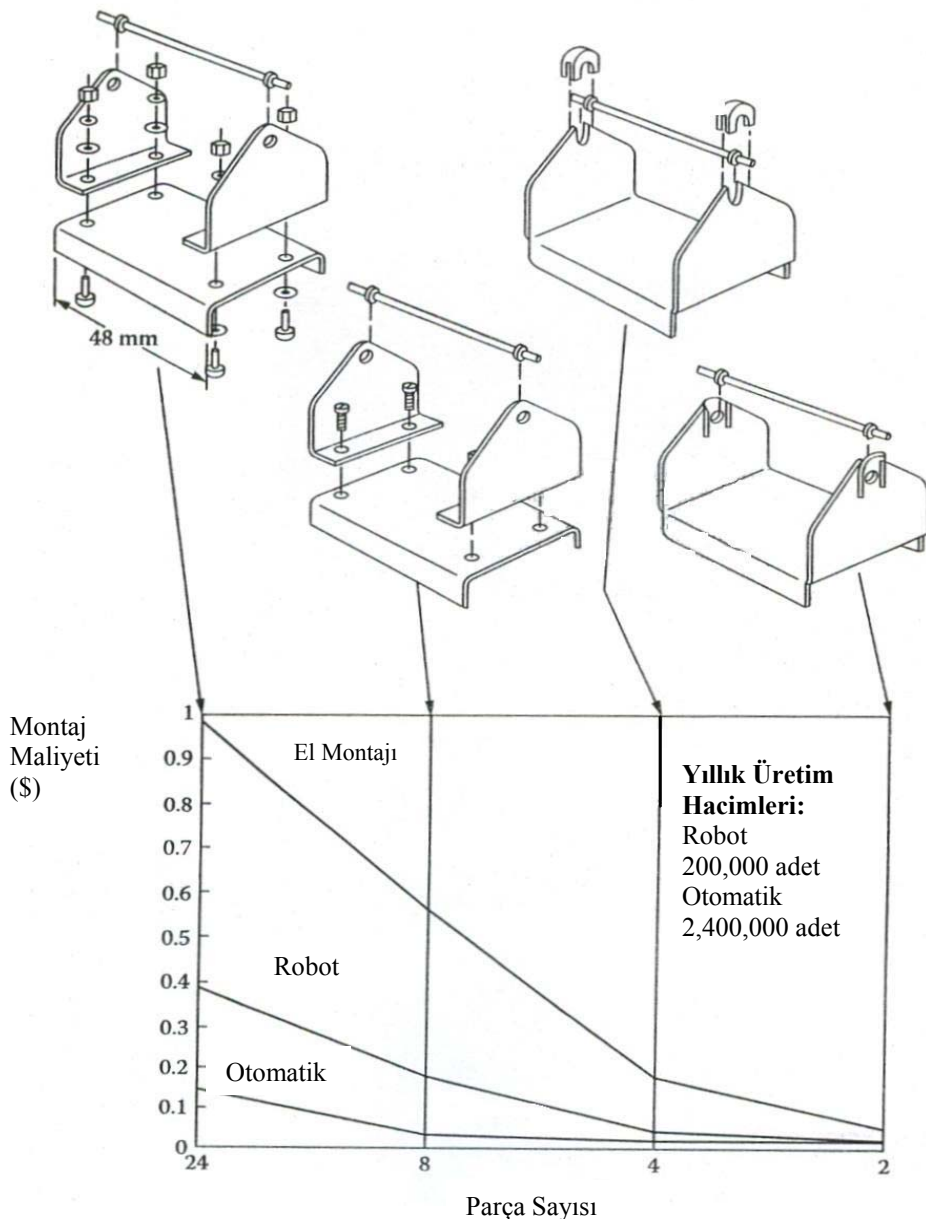
Günümüz montaj teknolojisi, seçilen montaj prosesine ve montaj yöntemine göre ikiye ayrılır. Montaj prosesine göre ise el ve otomasyon montaj sistemlerinden söz edilebilir.

El montajı ister tek istasyonlu ister bir hat isterse hibrit yöntemlerle yapılsın, araştırması ve kurulması detaylı çalışma gerektiren bir yöntemdir. Bu yöntemde farklılık yaratacak teknolojik gelişmeler kolay kolay olmaz. Aslında oluşan gelişmelerde üretim sisteminden, malzeme akışındaki düzelmelerden ya da hizmetsel kayıplardaki azalmalardan kaynaklanır.



Şekil 3.1: Esnek montaj sistemine ait bir örnek [10]

Otomasyon montaj ise kendi içinde özel amaçlı otomasyon montajı ve esnek montaj olmak üzere ikiye ayrılır. Otomasyon sistemlerde genel olarak her bir üniteye görevi ve sorumluluğu belli bir tip montaj aktivitesi yapılır. Özel amaçlı otomasyon sistemleri, seksen yıla yaklaşan bir süreden beri kullanılan pek fazla teknolojik değişikliğin görülmediği sistemlerdir. Buna karşın iyi ve uygun koşullarda çalışan özel amaçlı otomasyon makineleri, maliyet verimliliği açısından çok rekabetçi sistemlerdir. Esnek montaj sistemi ise kendine özgü tasarım kuralları olan, kendine özgü ekipmanları olan ve birden çok montaj aktivitesiyle sorumlu olan sistemlerdir. **Şekil 3.1** 'de esnek montaj sistemine ait bir örnek verilmiştir.

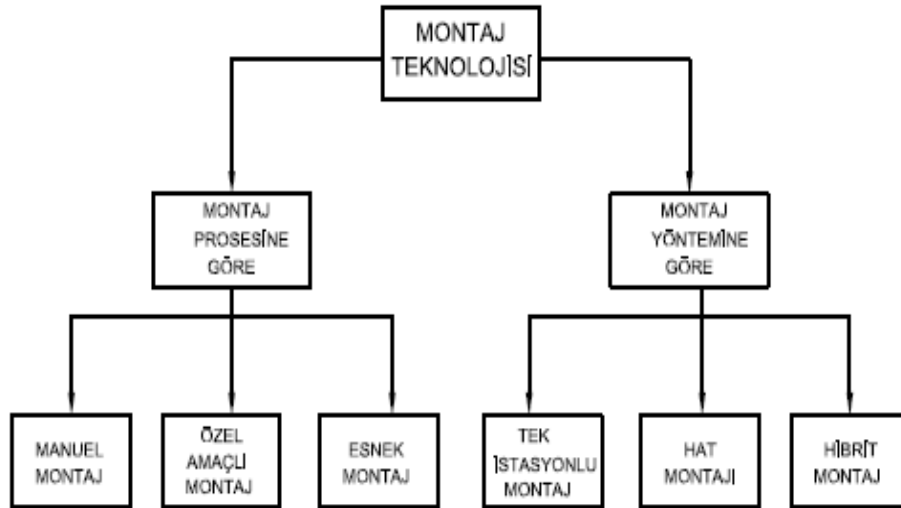


Şekil 3.2: Montaj proseslerine ve parça sayısına göre montaj maliyetleri [13]

Montajda oluşabilecek hatalar düşünüldüğünde elle montajdaki hata en son eklenen parçadaysa hatanın telafisi kolay, hata önceki parçalardaysa hatanın telafisi olasıdır fakat çok pahalıdır. Özel amaçlı otomasyon sistemlerinde hata tespiti kolay ama hatanın telafisi çok zordur. Esnek montaj sistemlerinde ise hata tespiti genelde kolay ama hatanın telafisi bazı durumlarda mümkün iken bazı durumlarda mümkün olamamaktadır. Montaj proseslerine göre montaj tiplerindeki montaj maliyet eğrilerini gösteren grafik **Şekil 3.2**'de verilmiştir.

Diğer taraftan ise montaj sistemleri montaj yöntemine göre tek istasyonlu montaj, hat montajı ve hibrit montaj olmak üzere üç çeşittir. Tek istasyonlu montaj, tüm montaj faaliyetlerinin tek bir yerde yapıldığı montaj tipi iken hat montajı ise her bir işlem noktasında yalnız bir çeşit aktivitenin yapıldığı, montaj edilecek parçaların hareketli olarak işlem noktalarına geldiği ve montajın bu şekilde tamamlandığı sistemdir. Hibrit sistem ise tek istasyon ve hat montajının birleştirilmesiyle oluşmuş sistemlerdir.

Montaj sistemlerinin genel yapısı **Şekil 3.3**'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Montaj teknolojisi

Ürün tasarımında montaj yöntem ve proseslerine bağlı olan ve olmayan çeşitli faktörler vardır. Bunlar arasında montaj yöntemi ve proseslerinden bağımsız olan ürün tasarım faktörleri;

- Üründeki operasyon sayısı
- Montaj öncelik sırası
- Standardizasyon

olarak sıralanırken, montaj proseslerine bağlı olan tasarım faktörleri;

- Yıllık üretim sayısı
- Gerekli hizmet ve ekipman sayısı
- Parça büyüklüğü ve ağırlığı

iken diğer taraftan montaj yöntemine bağlı olan tasarım faktörleri ise;

- Olası montaj hatalarını düzeltme kolaylığı
- Ekipman karmaşıklığı ve ekipman değişim süresi

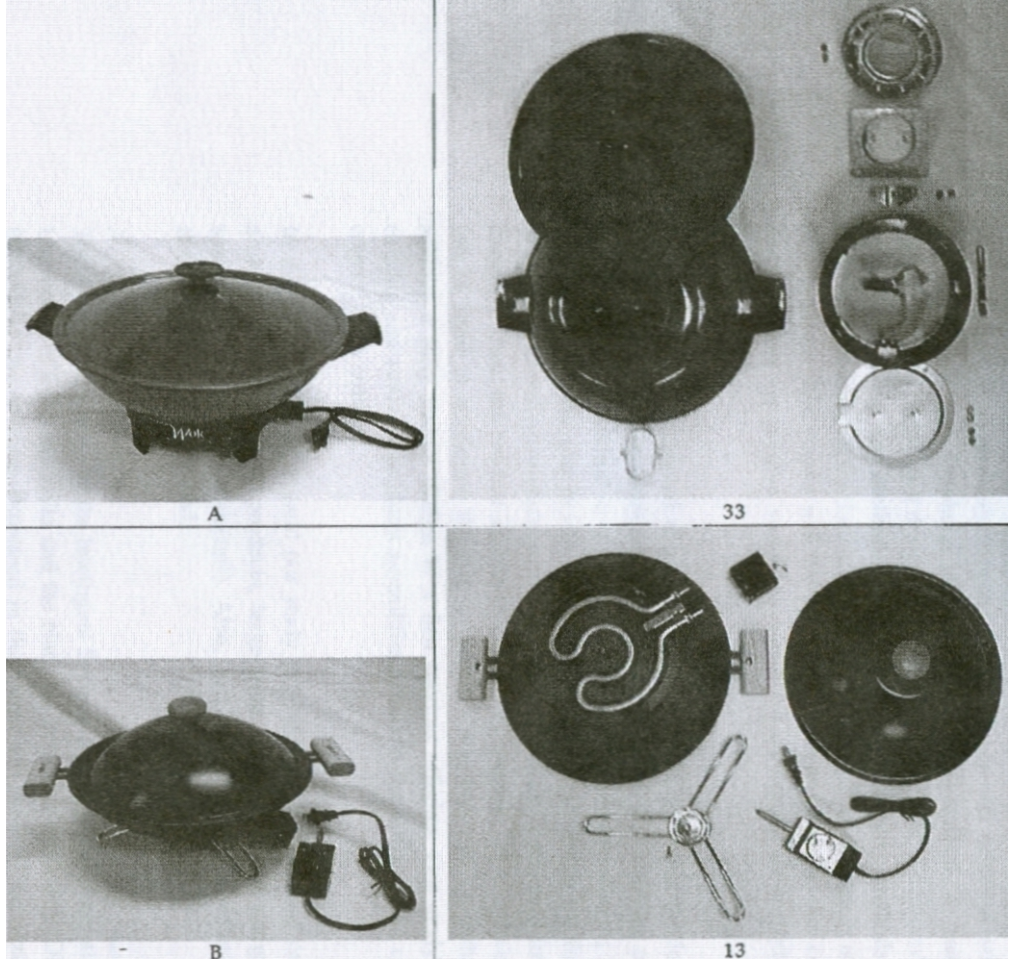
olarak özetlenebilir.

3.2. MUT Metodolojisi

Teknoloji ve pazardaki hızlı değişiklikleri takip ederek müşteri beklentilerini karşılayabilecek ürün geliştirme aktivitesi, günümüzde zaman ekseninde yapılan önemli yarışları beraberinde getirmektedir. Bu yarışta yeni ürün ve prosesleri çabuk tasarlamak, geliştirmek, üretmek, satmak, dağıtmak stratejik bir öneme sahiptir. Bu gibi zor pazar koşullarında firmaların ayakta kalabilmeleri için kullandıkları yöntemlerden biri MUT'dur.

MUT, ürünün kolay montaj edilebilmesi ve montaj zamanı ile montaj maliyetlerini azaltmak için ürün tasarımlarını inceleyen sistematik bir yöntemdir. Ürün tasarımları MUT yöntemiyle geliştirilirken parça sayısının azaltılmasına ve kullanılan parçaların montaja uygun hale getirilmesine çalışılır. MUT tekniklerinin uygulanması, montaj ve üretim maliyetlerinin azaltılmasında geçtiğimiz yirmi beş yılda önemli bir rol oynamıştır. Bu yöntem hem el montajı hem de otomasyon sistemlere uygulanabilen, ürünün tasarım aşaması boyunca uygulanarak montaj maliyetlerinin azaltılmasını sağlayan, üretimdeki değişikliklerin ürünün maliyetini daha az etkilemesine yardımcı olan etkili ve verimli bir yöntemdir [11]. **Şekil 3.4'**te görülmekte olan elektrikli bir yemek tenceresine ait başarılı bir MUT uygulamasında otuz üç parçalık ürün yeniden tasarlandıktan sonra parça sayısı on üçe düşürülmüştür.

MUT için bir başka yaklaşım türü ÜUT'nin yardımıyla da açıklanabilir. ÜUT'nin amacı ürün tasarımının ve proses planlamanın bir arada kullanılabileceği bir aktivite yaratmaktır. ÜUT, üretim sistemindeki unsurlar arasındaki iletişimin oluşturulmasına yardımcı olmak ve üretimin gerçekleştirildiği sürecin her aşamasında tasarımın değiştirilebilmesi için gerekli olan esnek yapıyı sağlamak gibi altını kalınca çizdiği bir takım prensipleri kapsar [10]. İşte bu açıdan bakıldığında MUT'un ÜUT'yi oluşturan önemli unsurlardan biri olduğu ve amacının montaj kalitesini gözetmek şartıyla, parça sayısını azaltarak ürün yapısını basitleştirmeye çalıştığı söylenebilir.



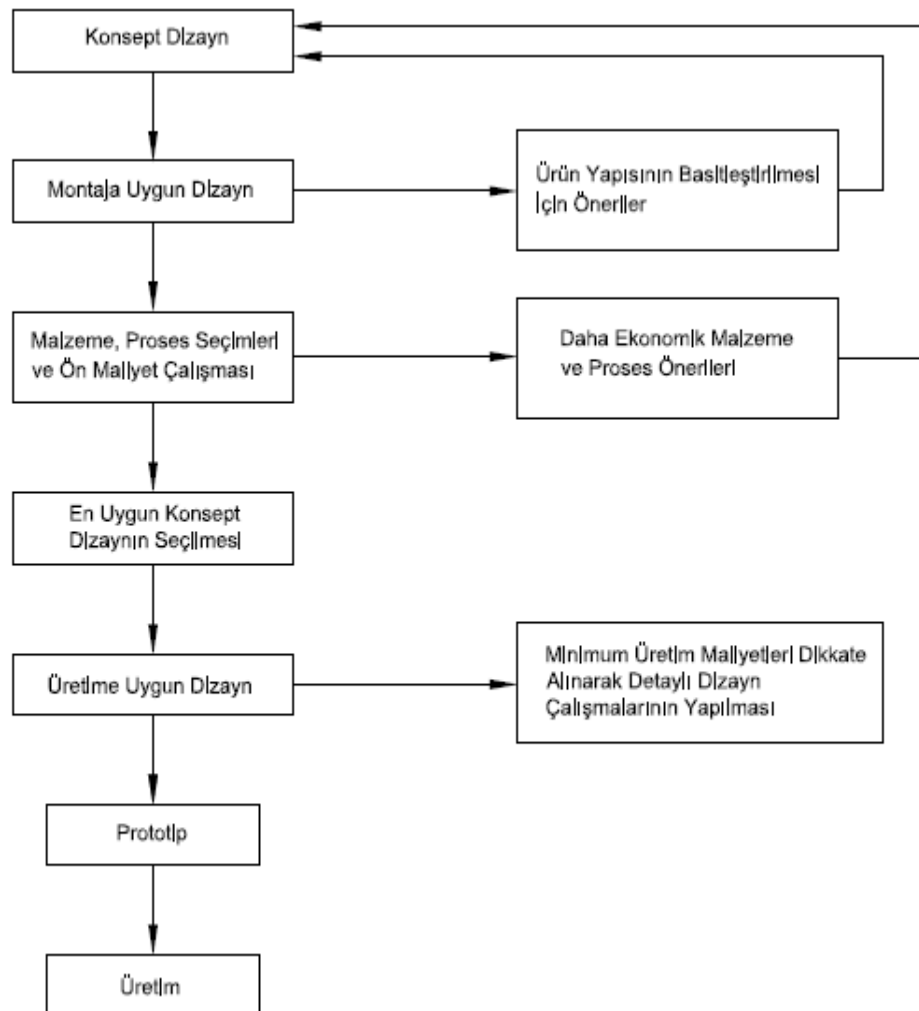
Şekil 3.4: MUT yöntemiyle yeniden tasarlanmış bir ürün [11]

Şekil 3.5'te ürün tasarım sürecinde MUT ile ÜUT arasındaki yakın ilişki açıklanmaktadır.

Bugüne kadar çeşitli MUT teknikleri geliştirilmiştir. Yöntem ne olursa olsun bir MUT tekniğinde olması gereken temel özellikler;

- Montaj edilebilirliği değerlendirecek ve montaj edilebilirliği geliştirmek için gerekli prosedürleri elde etmede yeterli yaratıcılığa sahip olan bütün ve tam bir teknik olması
- Üzerinde durulan konuyla ilgili tüm noktaları dikkate alan, prosedürlerin adım adım ilerlediği sistematik bir teknik olması
- Doğru, tam ve objektif olarak montaj edilebilirliği ölçebilecek bir teknik olması
- İyi kaliteye sahip ve kullanıcı dostu bir teknik olması

olarak sıralanabilir [11].



Şekil 3.5: Üretime ve montaja uygun tasarımın tipik adımları [12]

Günümüzde kullanılan MUT yöntemleri 4 temel sınıfta toplanabilirler. Bunlar,

- Tasarım prensipleri ve kurallarına sahip MUT yöntemleri
- Nicel değerlendirme prosedürlerini uygulayan MUT yöntemleri
- Bilgi tabanlı tasarım yaklaşımını kullanan MUT yöntemleri
- Bilgisayar destekli MUT yöntemleri

olarak kategorize edilebilirler [10].

3.2.1. Tasarım Prensipleri ve Kurallarına Sahip MUT Yöntemleri

Tasarım prensip ve kuralları, deneysel gerçeklerin doğrulanması ya da mühendislerin zaman içinde yaptıkları iyi ve kötü tasarım olarak adlandırılan sayısız örneklerin değerlendirilmesi sonucu oluşmuştur. Bu insan merkezli bilgiler, iyi olarak tanımlanan prensip ve kuralların geliştirilmesine yardımcı olur fakat bunlardan işe yarayan başarılı bir MUT tekniği yaratabilmek, birçok veri parçasının birbirleriyle bağlantılı olan önemlerini açıklayıp bunları kullanılabilecek bilgiye dönüştürülmesiyle mümkündür.

Andreasen (1983,1985)'in çalıştığı tasarım kuralları, montaja uygun tasarıma girişte kullanılan çok yararlı kurallar olmuştur. Bu kurallar kısaca,

- Ürün çeşitliliği
- Ürün yapısı
- Parçalar

olarak sıralanabilir [10].

Suh (1982,1988)'un geliştirdiği tasarım prensip ve kuralları, iyi bir tasarım için kullanılabilecek geçerli kurallar olarak kabul görür. Aksiyomatik tasarım denilen tasarım yönteminin de temelini oluşturan bu prensipler iki temel aksiyomla açıklanabilir. Bunlar,

olan fonksiyonlar tanımlanır ve sonrasında her bir fonksiyona karşılık gelen fiziksel gerçeklikleri kullanarak tasarım ilerletilir.

Bu yöntemde uygulanan iki temel aksiyom,

- Bağımsızlık aksiyomu, iyi bir tasarımda tasarımın gerektirdiği fonksiyonelliklerin birbirinden tamamen bağımsızlığının sağlanması gerektiğini savunur ki buradaki fonksiyonsal gereklilikler tasarımın sağladığı en az sayıdaki gereklilik
- Bilgi aksiyomu, iyi bir tasarımın en az bilgi içeriğine sahip olması gerektiğini savunur ki buradaki bilgi içeriği ifadesi fonksiyonsal gereklilikleri anlatan bilgi

olarak tanımlanır [7].

3.2.2. Nicel Değerlendirme Prosedürleri Uygulayan MUT Yöntemleri

Nicel değerlendirme prosedürleri, tasarımcıya yaptığı tasarımların montaj edilebilirliğini değerlendirme şansını verir. Bu nicel ölçümler, MUT yöntemlerinin daha doğru ve tekrarlanabilir olmasını sağlar. Şu anda varolan nicel değerlendirmeler, tasarımcının montaj proseslerini adım adım hesaplamasında yardımcı olur. Her bir montaj operasyon, operatör veya montaj sisteminin yerine getirdiği prosesin kolaylığının değerlendirmesine tabidir [11].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan, nicel değerlendirme prosedürleri uygulayan birçok MUT yöntemi vardır. Boothroyd&Dewhurst yöntemi, Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi, Xerox üretilebilirlik indeksi, IPA Stuttgart yöntemi bunlara örnek olarak verilebilir. İlerleyen bölümlerde Boothroyd&Dewhurst yöntemi ve Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi detaylı olarak incelenecektir.

3.2.3. Bilgi Tabanlı Tasarım Yaklaşımını Kullanan MUT Yöntemleri

Yapay zekadaki hızlı gelişmeler sayesinde mühendislik ortamlarında yer almaya başlayan bilgi tabanlı sistemlerin amacı bilgiyi depolayıp anlamlandırabilmektir. Bilgi tabanlı teknolojiler, iyi bir algoritmik tabanın olmadığı yerlerde kullanıcıya müdahale edip bir şeyler yapma şansını verir.

Bilgi tabanlı sistemlerin temel amacı, bilgi bazlı yönetim, araştırma mekanizmaları, anlam çıkarma gibi bilgiyi işleme olanaklarıyla geleneksel bilgisayar olanaklarını bütünleştirmektir [10].

MUT için bilgi tabanlı tasarım yöntemlerinin özellikleri,

- İfadeler, bilgilerin bir araya toplanması amacıyla depolanması ve ileride problemleri çözmek için kullanılması
- Tam olarak bilinmeyen unsurların tanımlanması
- Tasarım kararlarının sonucunda montaj giderleri için çeşitli tavsiyeler verilmesi ve yeniden tasarım için öneriler sunulması
- Soru ve cevapların açıklamasının yapılması
- Bilgi tabanlı sistemlerin ifadesel dilinin, prosedürel bir dilden daha ayrıntılı olması

olarak özetlenebilir [10].

Bilgi tabanlı tasarım yaklaşımını kullanan MUT yöntemleri içinde en bilineni Lucas MUT değerlendirme yöntemidir. İlerleyen bölümlerde bu yöntem detaylı olarak incelenecektir.

3.2.4. Bilgisayar Destekli MUT Yöntemleri

Geleneksel ve bilgi tabanlı MUT yöntemleri, kullanıcıların parça geometrisi, boyut, taşıma, ekleme gibi konularda cevapların arandığı tartışma toplantıları içerir. Son zamanlarda ise kullanıcı girdilerini azaltmak için MUT sistemlerinin BDT ile birleştirildiği montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemleri de geliştirilmektedir. Bu yöntemlerde kritik nokta, teknik amaçlar ile prosedürlerin sunumu ve 3B modellerden montaj edilebilirlik verilerinin elde edilmesidir [10,11].

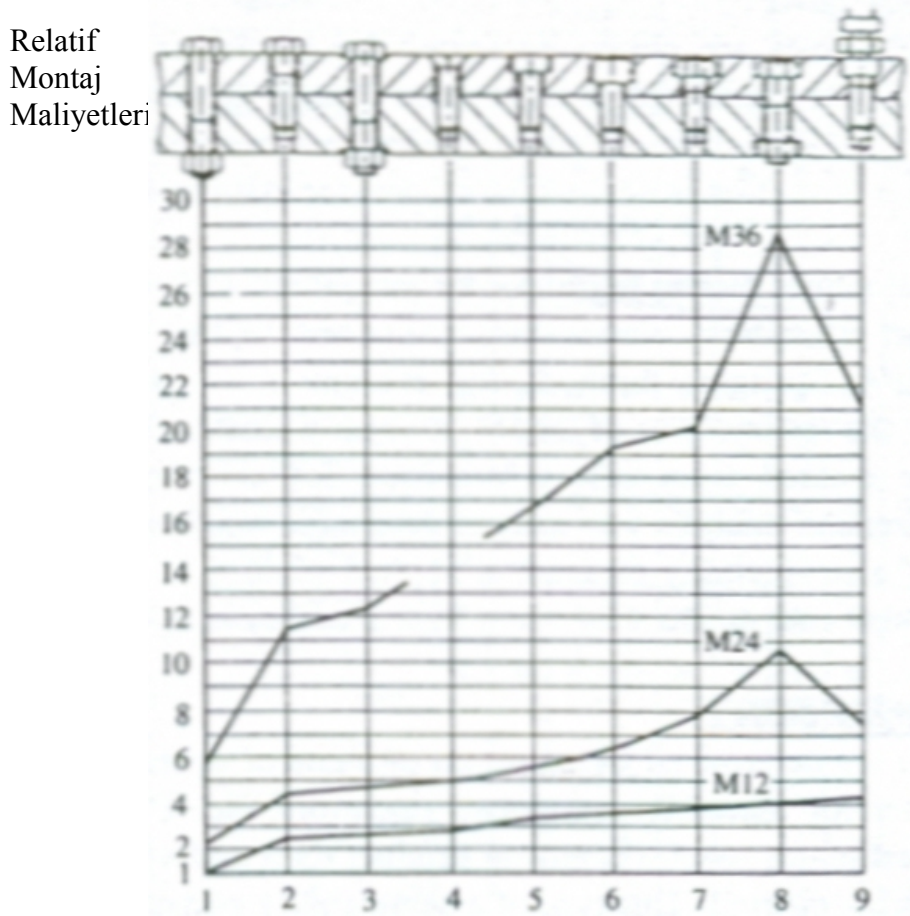
Bu yöntemde ürün ile ilgili veriler, parça ve montaj modellerinden elde edilir. MUT yöntemiyle parça modelinin ihtiyacı olan tüm verilerin elde edilmesi olası değildir. Atalet momenti, ağırlık merkezi, ağırlık gibi özelliklerin tespiti bu verilerin MUT yöntemine eklenebilmesi için unsur işleme çok önemli bir özelliktir. Unsur kavramı, bir varlık olarak değerlendirilen ve tasarım, proses planlama, üretim, montaj, maliyet tahminleşmesi gibi diğer mühendislik disiplinlerinde bir anlamı olan şekil veya ürün karakteristiğidir [10]. Ayrıca montaj edilebilirlik değerlendirmesi için parçalar arası etkileşimler, parça lokasyon ve yönelimleri, tolerans, mafsallık serbestlik derecesi, montaj emirleri gibi bilgilerin sağlanmasına yardımcı olur.

3.3. MUT Yöntemlerinde Montaj Edilebilirlik Kriterleri

Montaj edilebilirlik kriterleri nitel ve nicel ölçüm kriterleri olmak üzere ikiye ayrılır. Nitel ölçüm kriterlerinin içinde maliyet yapısı, tasarım normları ve relatif maliyet denilen unsurlar bulunur.

Maliyet yapısı, maliyet üzerinde en büyük etkiye sahip olan maliyet tiplerinin belirlenmesi için kullanılır. Tasarım normları, nitel montaj edilebilirlik ölçüm kriterlerinin en çok kullanılanıdır. Bu tasarım normları önceki tasarımlardan kalan tecrübeleri, montaj süreci egzersizlerini ve MUT'un temel formunu kapsar. Relatif maliyetler ise, bir aktivitenin maliyetleri ile baz alınan bazı durumların maliyetlerine bölünmesiyle elde edilen bir orandır. Relatif maliyetlerin en önemli avantajı, daha hızlı ve kolay bir şekilde daha az maliyetli alternatifleri bulmayı sağlar [10]. Tablo 3.1'de bazı vida bağlantı tiplerinin relatif maliyetlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.1: Vida bağlantılarının relatif montaj maliyetleri [10]



Nitel montaj edilebilirlik ölçüm kriterlerinin avantajları,

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

sayılabilirken dezavantajları ise,

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

olarak özetlenebilir [10].

Nicel ölçüm kriterlerinin içinde global montaj maliyetleri, detaylandırılmış montaj maliyetleri, montaj endeksleri, montaj puanlayıcılar ve bilgi denilen unsurlar bulunur.

Global montaj maliyetleri detaylı maliyet tahmininin yapılmasının zor olduğu ya da yüksek hassasiyette bir maliyet tahminine ihtiyaç duyulmadığında uygulanır. Detaylandırılmış montaj maliyeti eksiksiz ürün verilerine ve bilinen montaj metoduna ihtiyaç duyar. Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi bu maliyet tipini kullanır. Detaylandırılmış montaj maliyeti yapılırken verilerin güncellenmesi yapılan işin doğruluğu ve güvenilirliği için çok önemlidir. Montaj endeksleri işlemin zorlunu göstermesi açısından önemlidir. Lucas MUT yöntemi montaj endeksi olarak montaj maliyeti , harcanan zaman gibi endeksleri kullanırken, Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi ise ceza puanlarını kullanır. Montaj puanlayıcılar ise etki faktörlerine puan atayarak montaj edilebilirliğin hesaplanmasında çokça kullanılan bir yöntemdir.bu yöntem hızlı ve kolaydır ama diğer taraftan da aynı kural için farklı insanlar farklı yorumlar yapabilirler bu da bu kriterin objektif bir kriter olmasını engeller [10].

3.4. IPA Stuttgart Yöntemi

IPA Stuttgart yöntemi, Fraunhofer Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiş, sistematik bir yöntemdir. Nicel değerlendirme prosedürlerini uygulayan bir MUT yöntemi olan IPA, bütün tasarım prosesleri boyunca ürün gelişimini ve montaj edilebilirliğin değerlendirmesini esas alan bir yöntemdir.

Bu yöntemde montaj odaklı tasarım prosesleri tanımlanır ve teknik gereksinimler tasarım prosesinin değişik aşamalarında sistematik olarak uygulanır.

Montaj odaklı tasarım prosesleri göstermiştir ki çok sayıdaki yardımcı uygulamalar arasında en önemlileri tasarım kuralları ve montaj edilebilirliğin değerlendirilmesidir. Tasarım proseslerinin çeşitli aşamalarında, ürün tasarımını montaj açısından etkileyen farklı kurallar olabilir. Tasarım proseslerinin her bir aşaması tamamlandıktan sonra montaja uygunluğunun değerlendirmesi yapılır. Montaja odaklı bu gözden geçirme ürünün zayıf yönlerinin bulunup geliştirilmesini sağlar [10].

IPA yönteminin tasarım kurallarının içeriği,

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

olarak özetlenebilir.

Tasarım prosesinin değişik aşamalarında ürünlerin montaja uygunluğunun değerlendirilmesi gerekir ki her bir basamağı etkileyen faktörler hesaplanabilsin. IPA yöntemi bu faktörlerin değerlendirmesinin konsept ve ön tasarım aşamalarında yapılmasına izin verir. Bunun için kontrol listeleri kullanılırken daha detaylı bilgi ve değerlendirme gerektiğinde ise değerlendirme prosedürleri kullanılmalıdır. Bu prosedürlerin temeli değer analizi üzerine kurulmuştur ve burada bir parçanın fonksiyonelliği ile montaj için gerekli olan ilişkiler göz önünde tutulur.

IPA Stuttgart yönteminin yeni versiyonlarında montaj edilebilirliğin nicel ölçümleri gibi parça bazında montaj maliyetleri de hesaplanır. Toplam montaj maliyetleri de hareket ettirme ve ekleme maliyetlerini de içerir.

IPA yönteminin temel uygulama adımları,

- Fonksiyonel bir yapının kurulması
- Fonksiyon içeriklerinin ve fonksiyonların ağırlıklarının hesaplanması
- Alt montaj yapılarının kurulması
- Farklı parçalara farklı fonksiyonel ilişkilerin verilmesi
- Montaj sırasının belirlenmesi
- Montaj giderlerinin belirlenmesi
- Montaja uygunluk ölçüm değerlerinin belirlenmesi
- Montaj giderleriyle ilgili olan teknik problemlerin tanımlanması

olarak özetlenebilir [10].

3.5. Hitachi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemi

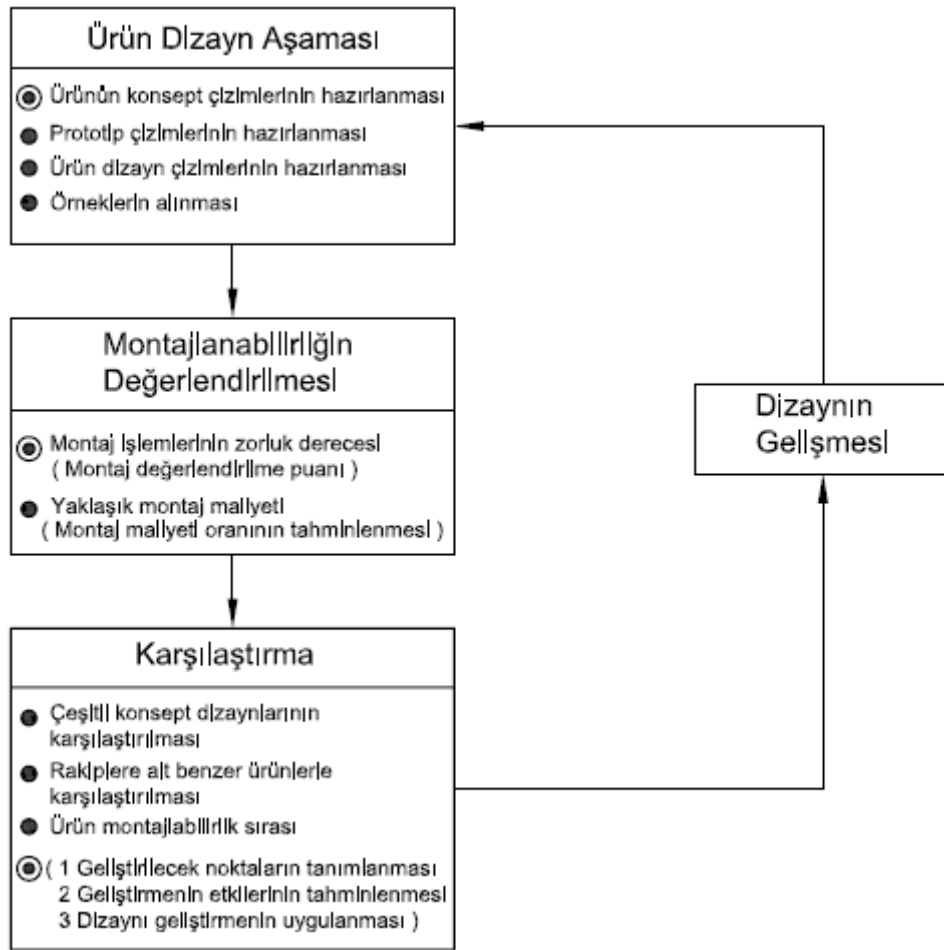
Hitachi şirketinin, kendi ürünlerindeki montaj edilebilirliğin iyileştirilmesi için 1976'da geliştirdiği montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi olarak adlandırılan efektif yöntem, nicel değerlendirme prosedürlerini kullanan bir MUT yöntemidir. İlerleyen yıllarla birlikte değişik deneyimlerin ışığında geliştirilen yöntemin son versiyonlarında yönteme birçok yeni ek eleman eklenmiştir ki bunlardan en dikkat çeken, her bir parçanın montaj maliyetini hesaplayan prosedürdür. Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminin temel amacı, tasarım prosesinin olası en erken adımda tasarımın zayıf noktalarını tanımlayarak tasarım çalışmalarını yenileyip geliştirebilmektir. Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi bunu iki temel veriyi kullanarak yapar. Bu veriler,

- Operasyonların zorluğunu belirleyip tasarım kalitesine değer biçmek amacıyla kullanılan ve montaj edilebilirliğin değerlendirme oranı olarak tanımlanan E
- Montaj maliyetinin unsurlarını belirlemek için kullanılan ve montaj maliyet oranı olarak adlandırılan K 'dır [10].

Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi hem montajın maliyetini hem de kalitesini göz önüne alırken diğer taraftan da düşük maliyetli bir tasarımın en düşük

maliyetli tasarım olamayabileceğini ayrıca en mükemmel tasarımın da aşırı maliyetli olabileceğini savunur.

Şekil 3.6'da verilen bilgi akış şeması bu sistemin daha iyi anlaşılabilmesi açısından önemlidir. Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi kavramsal çizimlerle başlarken, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında başlangıç verilerindeki çokluğun yöntemin verimliliğine yansıtacağı söylenebilir. Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminin başarılı yönlerinden biri kendi ürünleri ve rakip ürünlerin kalitesi hakkında akla yatkın sonuçlar ve karşılaştırmalar ortaya koyabilmesidir.



Şekil 3.6: Montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi akış şeması [10]

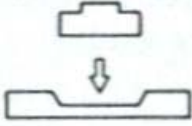
Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminin temel prosedürleri, aşağıda sıralanmıştır.

- İlk olarak montaj operasyonları yirmi adet montaj elemanına göre sınıflandırılır ve her elemana kendi içeriğini kolayca anlatabileceği çeşitli

semboller atanır. Bu görevler özellikle ekleme ve bağlama işlemleriyle ilişkilendirilir ki zaten Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemini tartışılan kısmı budur. Elle montajda parçaların taşınması önemli bir işlem olmasına karşın Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi bu fonksiyonu göz ardı eder. Otomasyon montaj sistemleri açısından da parçaların montaj edilirken birbirlerine göre olan konumlarının önemli olması ama montaj sırasının dikkate alınmaması yöntemin kullanılabilirliğini zorlaştıran bir durumdur.

- Montaj görevlerinin her birine, görevin zorluk derecesine göre bir ceza puanı verilir. Bu ceza puanları dikkate alınan belli verilerin analizinden elde edilirken bu puanlar teknoloji ve yöntemlerdeki değişme ve gelişmeler göre sürekli yenilenir. Daha sonra bu cezalar, ceza puanına göre karşılaştırılır ve görevler sıraya konur. **Tablo 3.2**'de bazı örnek ceza puanları verilmiştir.

Tablo 3.2: Hitachi değerlendirme sembolleri ve ceza puanları [10]

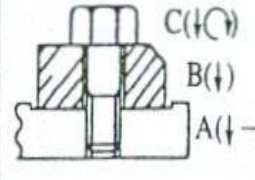
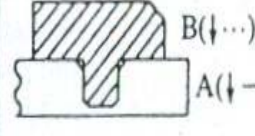
OPERASYON		Değerlendirme Sembolü X	Ceza Puanı
	Aşağı doğru hareket	↓	0
	Lehimleme	S	20

- Temel montaj görevlerini etkileyen çeşitli faktörler katsayılarla ceza puanlarına yansıtılır.
- Her parça için uygun olan ilave bağlantı koşulları farklı sembollerle gösterilir.
- Her parça için hesaplanan cezaların toplamı katsayıların eklenmesiyle yenilenir ve sonra en iyi sonuç olan 100 puandan çıkarılarak sonuç elde edilir.

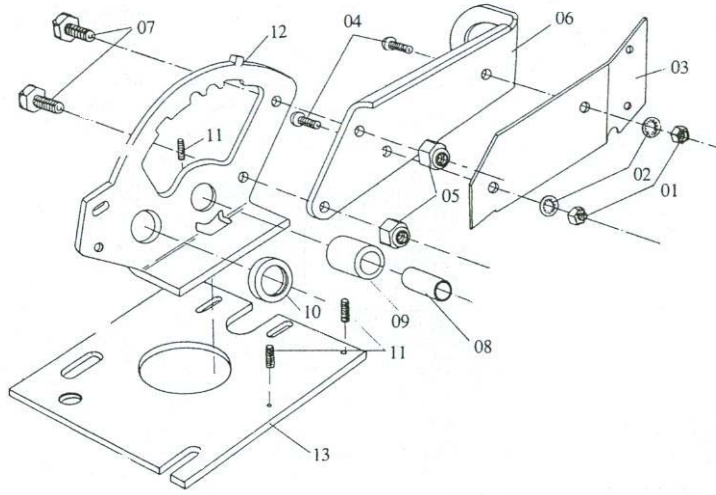
- Toplam montaj edilebilirlik puanı, parçaların montaj edilebilirlik değerlendirme puanlarının toplanıp parça sayısına bölünmesiyle elde edilir ki bu da tasarım verimliliğinin önemli bir ölçüsü olarak kabul edilir. En iyi puanın yüz olduğu koşullarda 80 ve üzeri puanlar kabul görmektedir [10].

Montaj edilebilirlik değerlendirme puanı tek olarak düşünüldüğünde parça sayısını azaltmak her zaman yararlı olmayabilir. Tam tersine eğer eklenecek parçanın değerlendirme puanı varolan ortalama puanından yüksek ise bu durumda parça sayısının artması verimliliğin artacağını gösterir ki bu da başta anlatılan hedeflerle çelişmektedir. Bu karmaşıklığı ortadan kaldırmak için ek olarak bir de montaj maliyet oranı tanımlanır ki bu kavram yeniden tasarlanan ürünün maliyetinin orijinal ürün maliyetine oranlanmasıyla bulunur ve bu oranın 0.7 den küçük olması istenir. Ayrıca tahmin edilen maliyet oranları ile güncel maliyet oranları devamlı karşılaştırılır ve sapma %5 'i aşarsa hatalar belirlenir ve iyileştirmeler yapılır [10].

Tablo 3.3: Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme örneği [10]

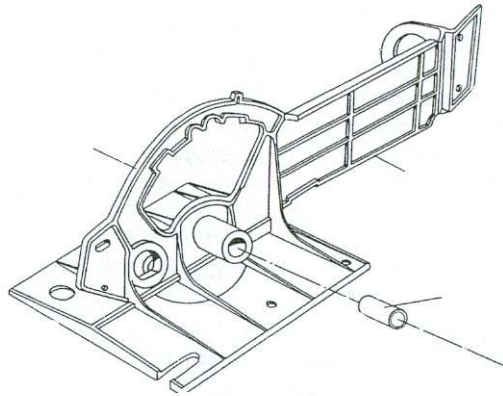
	Montaj Operasyonları		E _i	E	K	
Yapı 1		A yerleştir	100	73	1	B
		B aşağı bırak, merkezleme için sıkıca tut	50			
		C sık	65			
Yapı 2		A yerleştir	100	88	0.8	C
		B aşağı bırak, merkezleme tırnakla olur	100			
		C sık	65			
Yapı 3		A yerleştir	100	89	0.5	B
		B aşağı bırak, A'ya sıkıca presle	80			

Tablo 3.3'teki E_i parçaların montaj edilebilirlik değerlendirme puanını belirtirken, E sistemin montaj edilebilirlik değerlendirme puanını belirtmektedir ayrıca K ise montaj maliyet oranını belirtir. Birinci yapıda B'nin parça değerlendirme puanı düşük olduğu için yapının ortalama değerlendirme puanı düşüktür ve ayrıca maliyet oranının yüksek olduğu görülmektedir. İkinci yapıda B parçasının merkezlenmesi A'daki tırnak yardımıyla kolaylaştığı için ortalama değerlendirme puanı artmıştır. Üçüncü yapıda civatanın da ortadan kalkmasıyla ise hem sistemin ortalama değerlendirme puanı biraz daha artmıştır hem de maliyet oranı istenilen oranlara düşmüştür.



Şekil 3.7: Alt montaj grubunun orijinal tasarımı [10]

Şekil 3.7'deki diğer bir örnekte ise orijinal tasarımda on sekiz parça olan alt montaj grubu Hitachi montaj edilebilirlik değerlendirme yönteminin uygulanıp tasarımın yenilenmesi sonucunda oluşan iki parçalı yeni tasarım **Şekil 3.8**'de gösterilmiştir.

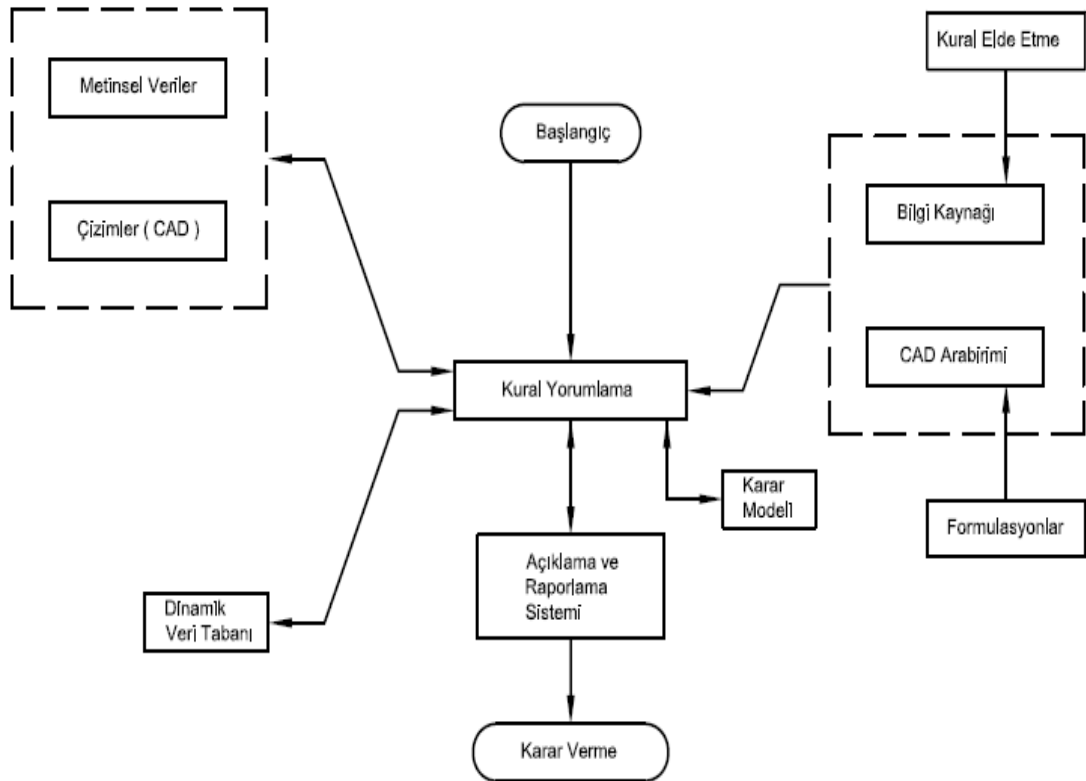


Şekil 3.8: Alt montaj grubunun yenilenmiş tasarımı [10]

3.6. Lucas MUT Değerlendirme Yöntemi

Bilgi tabanlı bir değerlendirme tekniği olan Lucas MUT değerlendirme yöntemi, Hull Üniversitesi ile Lucas organizasyonunun ortak çalışmasıyla oluşturulmuştur. Bu yöntem “montaj sırası akış diyagramı” temeli üzerine kurulmuştur.

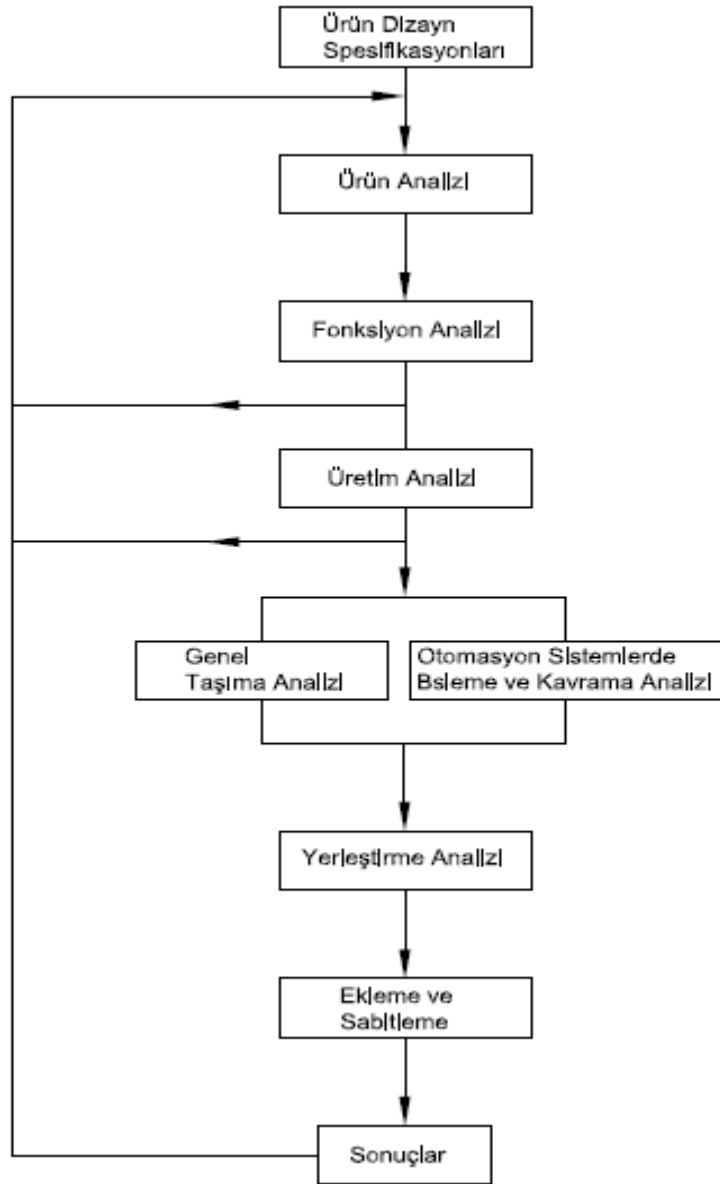
Lucas MUT değerlendirme yöntemi, BDT sistemleriyle birleştirilebilir bir sistem olma özelliğine de sahiptir. Çünkü az zaman ve emek sarf ederek işin analiz kısmı için gerekli bilgilerin büyük bir kısmı elde edilebilir. İşte bu yüzden BDT sistemleriyle bütünleşik olarak çalışabilen bu yöntem, tek başına çalışarak ürünlerin verimliliğini arttırmaya çalışan sistemlere göre daha avantajlıdır [10]. **Şekil 3.9'**da bilgi tabanlı değerlendirme yöntemi olan Lucas yönteminin yapısı ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.9: Lucas MUT değerlendirme yönteminin yapısı [10]

Şekil 3.10'da açıklanan Lucas MUT değerlendirme prosedürünün önemli analizlerinden biri fonksiyon analizidir. Fonksiyon analizi yapılırken değer analizinin kriterleri uygulanır ve aktiviteler fonksiyon önem derecesine göre sınıflandırılırken parçaların bağlı hareketleri, malzeme özellikleri, montaj edilebilirlikleri gibi konular

sisteme birer veri olarak girilir. Daha sonra aktiviteler temel olanlar ve temel olmayan aktiviteler olarak ayrılırlar. Temel aktiviteler A kategorisinde toplanırken temel olmayan aktiviteler ise B kategorisinde toplanırlar. Bu bilgiler montaj sırası akış diyagramına kaydedilir. Tasarım verimliliği denilen kavram, A kategorisindeki yer alan aktivitelerin bütün aktivitelere bölünmesiyle bulunan bir değerdir ve bunun için kabul edilen başlangıç %60'dır [10].



Şekil 3.10: Lucas MUT değerlendirme yönteminin prosedürleri [10]

Tablo 3.4: Lucas MUT değerlendirme yöntemi, montaj akış diyagramı örneği [9]



Lucas MUT değerlendirme yöntemi, elle montaj ve otomasyon sistemler için farklı terimler kullanır. Parçalar montaj işleminin yapılacağı bölgeye el yardımıyla getiriliyorsa bu işlem için taşıma terimi, eğer parçalar montaj işleminin yapılacağı bölgeye otomatik sistemlerle getiriliyorsa bu işlem için besleme terimi kullanılır. Taşıma ya da otomatik besleme analizi her bir parça için sorular içerir. İşte bu soruları cevaplayabilmek için besleme analizi kullanılır.

Değerlendirme prosedüründeki bir sonraki aşama parçanın sevki esnasında problem yaratabilecek karakteristiklerin belirlenmesidir. Bu karakteristiklerin belirlenmesinden sonra her parçaya bir besleme indeksi atanır ve bu değer 1.5 den az olması istenir [10]. Bütün parçaların besleme indeksleri hesaplandıktan sonra besleme oranları hesaplanır. Besleme oranı, tüm parçaların besleme indeksleri toplamının A kategorisindeki parçalarının toplam sayısına bölünmesiyle elde edilen bir orandır. Besleme oranının da 2.5 den büyük olmaması istenir.

Besleme analizinden sonra bağlantı analizi yapılır. Bağlantı analizinin amacı, pahalı olan bağlantı tiplerinin tanımlanması ve maliyetleri düşürmek için nasıl değişiklikler yapılabileceğinin tartışılıp bulunmasıdır. Bağlantı analizinde yine bir bağlantı indeksi hesaplanır ve bu indeks 1.5 un üzerinde olmaması istenir [10]. Bağlantı oranı kavramı, her bir parçanın bağlantı indekslerinin toplamının A kategorisindeki parçalarının toplam sayısına bölünmesiyle elde edilen bir orandır. **Tablo 3.4**'te el montajı yöntemiyle montaj edilen bir pompanın montaj sırası akış diyagramı gösterilmiştir.

Bu tablodan da görüldüğü gibi çok sayıda B kategorisinde olan parça mevcuttur ve bunların çoğu bağlantı elemanıdır. **Tablo 3.5**'te yeniden tasarlanan pompanın montaj sırası akış diyagramı incelendiğinde ise sistemin basitleştirildiği ve bağlantı elemanlarının oldukça azaldığı görülmektedir. Bu tip değişikliklerle hem B kategorisindeki parça sayısı 21'den 2'ye indirilmiştir hem de besleme ve bağlantı oranları kabul edilebilir seviyelere getirilmiştir.

Tablo 3.5: Lucas MUT değerlendirme yöntemi, yeniden tasarım örneği [9]

[illegible]

3.7. Boothroyd & Dewhurst MUT Yöntemi

MUT yöntemleri içinde belki de en çok bilineni Boothroyd ve Dewhurst'un geliştirdiği yöntemdir. Nicel değerlendirme prosedürlerini kullanan bir yöntem olan Boothroyd&Dewhurst yöntemi hem el rehberleriyle hem de geliştirilen yazılımlarıyla uygulama alanı bulan, elle montaj, özel amaçlı otomasyon sistemlere ve robot montaj sistemlerine uygulanabilen bir yöntemdir.

1970’li yılların sonlarına doğru başladıkları çalışmalarını 1980’li yılların ortalarında tamamlayıp açıklayan Boothroyd ve Dewhurst, geliştirdikleri MUT prosedürlerinin tasarım kurallarını,

- Uygun montaj sisteminin seçilmesi
- Toplam parça sayısının azaltılması
- Taşıma, ekleme ve bağlama proseslerinin kolaylaştırılması

olarak özetlemişlerdi [10].

Boothroyd ve Dewhurst tarafından geliştirilen MUT yönteminin ilkeleri,

- Tasarımcının her bir parça için bu parçanın neden elenemeyeceğini veya diğer parçalarla neden birleştirilip tek parça olarak kullanılamayacağını sorgulaması
- Özel olarak bu amaç için geliştirilmiş belli işlemlerin standart zamanlarını içeren veritabanlarını kullanarak gerçek montaj zamanının bulunması
- Tasarımın verimlilik indeksinin elde edilmesi
- Üretim ve kalite problemlerine neden olabilecek montaj zorluklarının tanımlanması

olarak özetlenebilir [8].

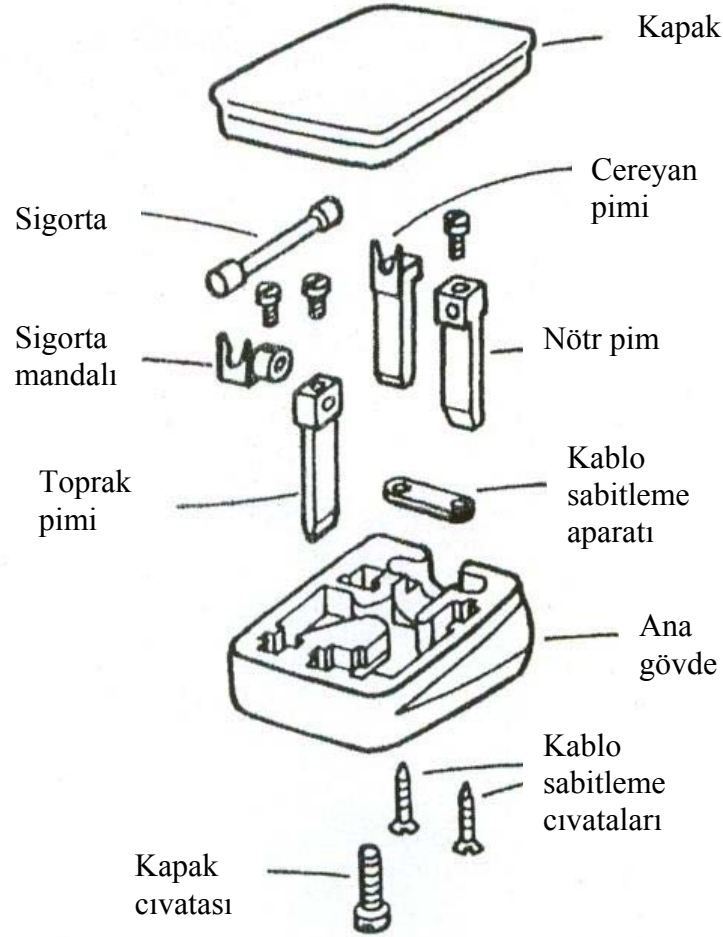
Bu yöntemin en güçlü taraflarından biri ürünün fonksiyonelliğini korumak kaydıyla parça sayısını azaltma çabasıdır. Bunu sağlamak için her parça için aşağıdaki sorular sorulur,

- Değerlendirilen parça diğer parçalara göre relatif harekette bulunuyor mu?
- Değerlendirilen parçanın diğer parçalara göre başka bir malzemeden yapılması mı gerekiyor ?
- Değerlendirilen parçanın montaj ve demontaj işlemlerini engellememesi için diğer parçalardan ayrı mı olması gerekiyor ?

İşte bu soruların hepsinin cevabı hayır ise bu parça elenebilir ya da diğer parçalarla bütünleştirilebilir [4,7].

Boothroyd&Dewhurst MUT yönteminin ikinci önemli özelliği ise yapılan taşıma, ekleme işlemlerine göre her parça için ayrı ayrı tanımlanabilen ceza işlemleridir [10].

Bu ceza sistemiyle yeniden tasarım aşamalarında hangi parçanın hangi özelliği üzerinde odaklanacağı tespit edilir. **Şekil 3.11**'de üç pimli bir elektrik fişinin montaj resmi görülmektedir.



Şekil 3.11: Üç pimli bir elektrik fişinin montaj resmi [13]

Tablo 3.6'da ise bu ürünün Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemiyle yapılmış indeks çalışmasına ait tablo görülmektedir. Üçüncü sütundaki aktivitenin tekrar sayısı ilgili parçanın montajda kaç tane olduğunu bir satırda göstermek ve böylece satır sayısını azaltmak içindir.

Dördüncü sütunda yer alan elle taşıma kodu, Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemde varolan ve **Tablo A.1**'deki elle taşıma tablolarından seçilir. Bu tablolar bir matris şeklindedir. Düşeydeki değerlerden elle taşıma kodunun birinci rakamı seçilirken yataydaki değerlerden de elle taşıma kodunun ikinci rakamı seçilir. Tablodan uygun değerlerin seçilmesinde parça boyutları, kalınlığı, parça ağırlığı, parçanın elle tutulup döndürülme kolaylığı, parçayı tutmak için ek bir aletin gerekip gerekmemesi, parça

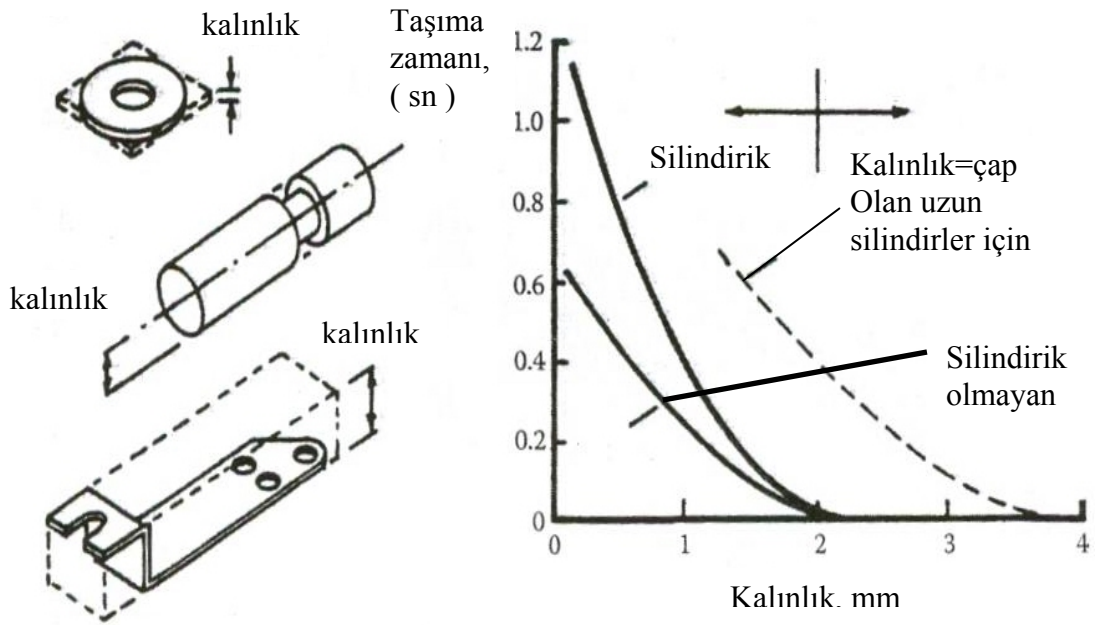
simetrisi gibi değerler göz önüne alınır. **Şekil 3.12** ve **Şekil 3.13**'de parça kalınlığı ve boyutlarının elle taşıma zamanına etkileri gösterilmektedir. Ayrıca parça simetrisi elle taşıma kodunun belirlenmesinde çok önemlidir. Eklenecek parçanın yönelimi ve hizalanması elle taşıma esnasında iki operasyonla sağlanır. Bunlar, parça eksenin ekleme eksenine hizalanması ve parça eksenini ekleme eksenine göre döndürülmesidir.

Tablo 3.6: Üç pimli bir elektrik fişinin MUT indeksi tablosu [13]

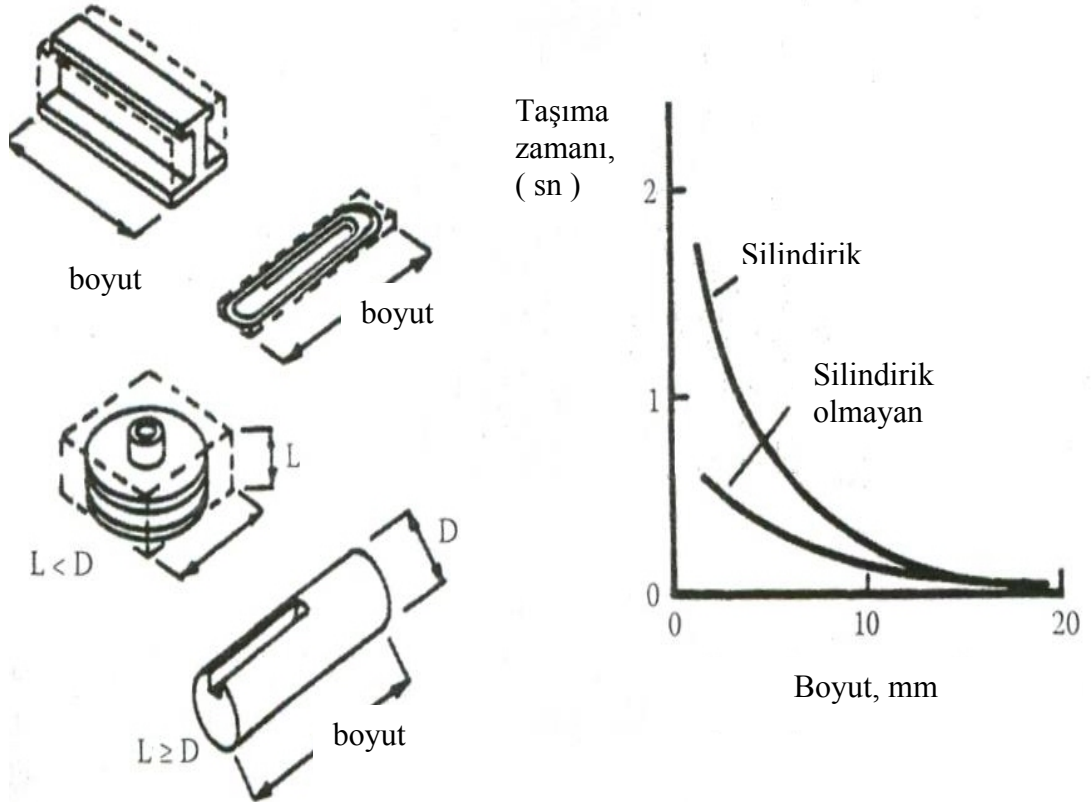
Parça Numarası	Parça Adı	Parça Tekrar Sayısı	Elle Taşıma Kodu	Elle Taşıma zamanı (sn.)	Elle Ekleme Kodu	Elle Ekleme zamanı (sn.)	Toplam Montaj zamanı (sn.)	Elle Montaj Maliyeti (cent)	Minimum Parça Sayısı
1	Ana gövde	1	30	1.95	00	1.5	3.5	2.9	1
2	Sigorta mandalı	1	35	2.73	00	1.5	4.2	3.5	1
3	Cereyan pimi	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 cıvatası	1	10	1.50	38	6.0	7.5	6.3	0
TOPLAM							43.2	36.2	7
MUT İndeksi = $7 \times 2.88 / 43.1 = \% 47$									

Bunun için Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi iki tane simetri tanımlar ki bunlar Alfa simetrisi ve Beta simetrisidir.

- 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 [13].



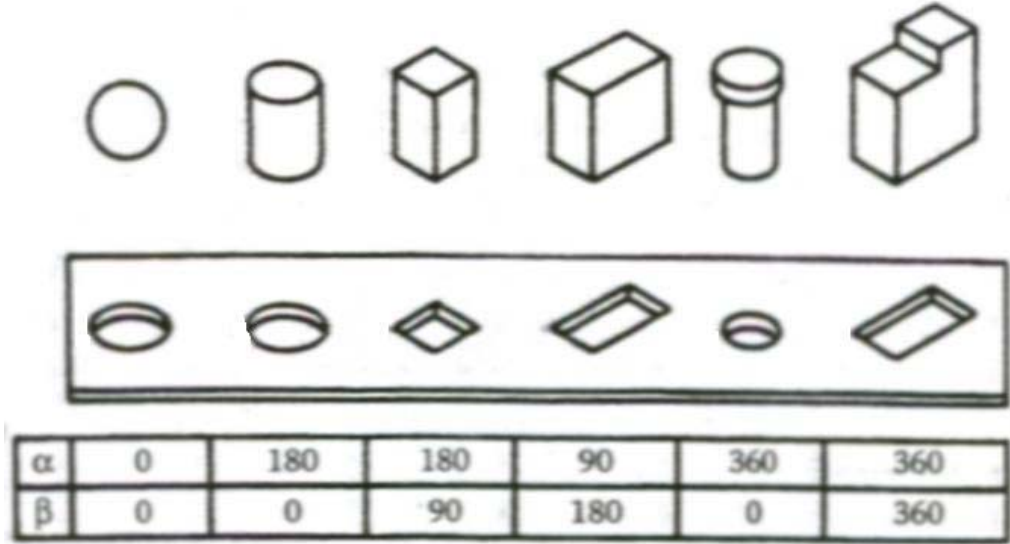
Şekil 3.12: Parça kalınlığının elle taşıma zamanına etkisi [13]



Şekil 3.13: Parça boyutlarının elle taşıma zamanına etkisi [13]

Tablodan uygun değerlerin seçilmesinde yukarıda sayılanlar kadar alfa ve beta simetri açıları da çok önemlidir. **Tablo 3.7**'de bazı parçalar için alfa ve beta dönel simetri açıları verilmiştir.

Tablo 3.7: Çeşitli parçalar için alfa ve beta dönel simetri açıları [13]



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

Beşinci sütundaki elle taşıma zamanı, elle taşıma kodunun belirlendiği tabloda düşey ve yatayda seçilen kodların kesiştiği yerden okunarak MUT indeks tablosuna işlenir.

Altıncı sütundaki elle ekleme kodu, elle taşıma kodundakine benzer matris şeklindeki yine **Tablo A.2**'de verilen elle ekleme tablolarından seçilir. Düşeydeki değerlerden elle ekleme kodunun birinci rakamı seçilirken yataydaki değerlerden de elle ekleme kodunun ikinci rakamı seçilir. Tablodan uygun değerlerin seçilmesinde montaj işleminin yapılacağı bölgeye ulaşılabilirlik, montaj bölgesinin görsel durumu, aletlerin montaj altında çalışabilme kolaylığı, montaj işleminde ekleme ve pozisyonlamanın kolaylığı gibi değerler göz önüne alınır.

Yedinci sütundaki elle ekleme zamanı, elle ekleme kodunun belirlendiği tabloda düşey ve yatayda seçilen kodların kesiştiği yerden okunarak MUT indeks tablosuna işlenir.

Sekizinci sütundaki toplam montaj zamanı, elle taşıma zamanı ve elle ekleme zamanlarının toplanıp elde edilen sayının o parçanın kullanıldığı adetle çarpılması sonunda bulunan değerdir.

Dokuzuncu sütundaki elle montaj maliyeti, sadece toplam montaj zamanına bağlıdır ve toplam montaj zamanının bir fonksiyonudur.

Onuncu sütundaki minimum parça sayısı, ürünün fonksiyonelliğini korurken daha az parçayla nasıl yapılabilir kaygılarıyla hazırlanan, parçaların önemine göre montajdan elenip elenmeyeceğine karar verildiği sütundur.

Tablo 3.6'nın sonunda hesaplanan MUT indeksi,

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,

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

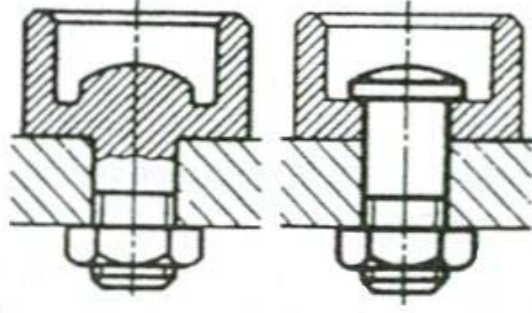
olarak tanımlanır [13].

3.8. MUT Yöntemlerinin Ortak Kriterleri ve Bazı Örnekler

Bu noktaya kadar MUT metodolojisi ile nicel değerlendirme prosedürleri ve bilgi tabanlı yaklaşımları kullanan çok bilinen bazı MUT yöntemleri ayrıntılı olarak açıklanmaya çalışıldı. Bu bölümde ise bu noktaya kadar açıklanan farklı MUT yöntemlerinden edinilen bilgilerle MUT'un genel geçer ortak kriterleri sıralanacak ve bu kriterlere ait bazı örnekler verilecektir.

MUT yöntemlerinin ortak kriterleri;

- Tasarlanan parçalara birden fazla fonksiyonlar verilmeli, özellikle bağlantı elamanlarının önemleri gözden geçirilmeli ve dolayısıyla parça sayılarının azaltılmasına çalışılmalıdır. Bu özelliğin daha iyi anlaşılması için **Şekil 3.14'**e bakılabilir.
- Birbirinden farklı tasarıma ve yapıya sahip parçaların sayısı ve dolayısıyla tasarım çeşitliliği azaltılmasına çalışılmalıdır.



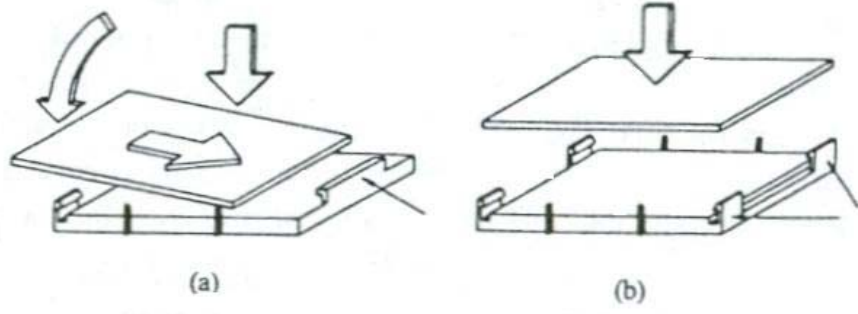
Şekil 3.14: Parça sayılarının azaltılmasına ait örnek [10]

- Üretim yöntemleri, yıllık üretim miktarları gibi faktörler göz önüne alınıp parçaların basitleştirilmesine gidilmelidir. **Şekil 3.15** bu durumu görsel olarak bir örnekle açıklamaktadır.

Yüksek üretim hacimleri	Düşük üretim hacimleri
Bazı parçalar daha basit parçalara ayrılabilir mi ?	

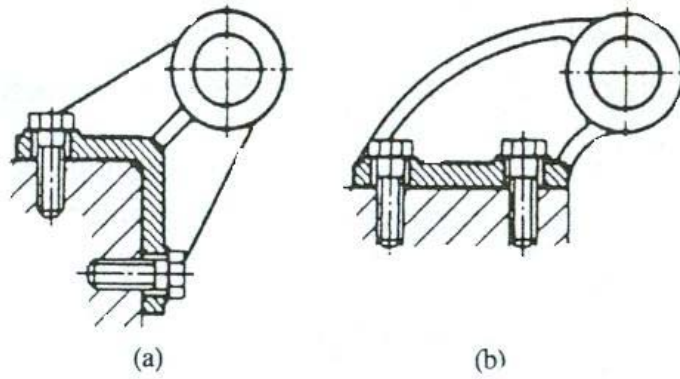
Şekil 3.15: Parça basitleştirilmesine ait bir örnek [10]

- Parçaların taşınması, iletilmesi ve montaj edilmesini göz önüne alarak bu hareketleri basitleştirici tasarımlar yapılmalıdır. Ayrıca tasarlanan parçaların otomasyon sistemlerle taşınabilmesi bu parçaların aynı zamanda elle montaj uygulamalarında da kolay taşınabileceğini gösterir. Açıklayıcı bir örnek **Şekil 3.16** 'da gösterilmiştir. (b)'deki tasarımın montajı (a)'dakine göre çok daha kolaydır.



Şekil 3.16: Montaj hareketlerinin azaltılmasına ait bir örnek [10]

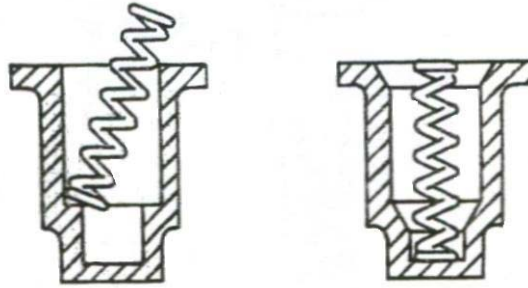
- Parçalar montaj edilirken diğer parçalarla kolay hizalanabilmelidirler.
- Parçalar MUT yöntemleri kullanılarak tasarlanıyorsa montaj yönlerinin azaltılmasına özen gösterilmelidir. **Şekil 3.17'**de bu kritere ait karşılaştırılmalı bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.17: Montaj yönlerinin azaltılması [10]

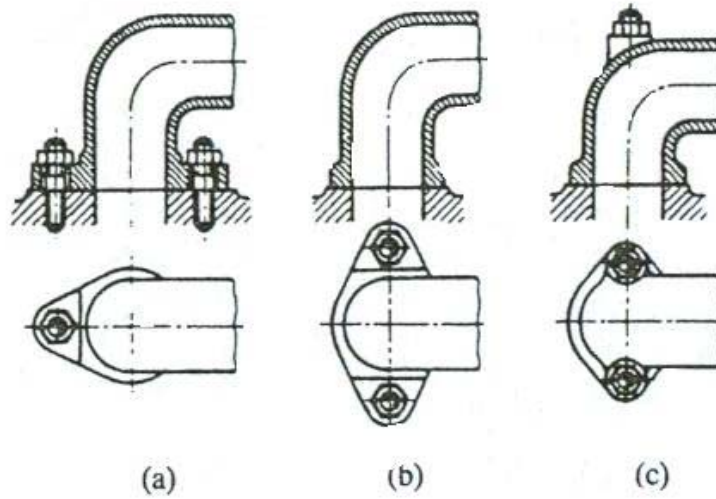
- Parçaların simetrikliği sağlanmalı ya da asimetrikliği göz önüne çıkartılmalıdır.
- Parçaların montajı yapılırken montaj bölgesinde görsel engellerin olmamasına çalışılmalıdır.
- Yer değiştirme yapabilecek ya da yuva yapabilecek parçaların tasarlanmasından olabildiğince kaçınılmalıdır.
- Yüksek güvenilirlikli tasarım yapılabilmesi için yeni ve denenmemiş malzemeler yerine, standardize edilmiş, tanımlaması ve testleri yapılmış malzeme ve parçalar kullanılmalıdır.

- Montaj hatalarını ortadan kaldırmak için parçalar tasarlanırken eş çalışacağı parçalara yönlendirme yapabilmek için keskin köşeler azaltılmalı, gerekli pah kırmalar ve yuvarlatmalar yapılmalıdır. **Şekil 3.18** bu kritere ait bir örneği göstermektedir.



Şekil 3.18: Yönlendirme amaçlı pah kırmaların yapılması [13]

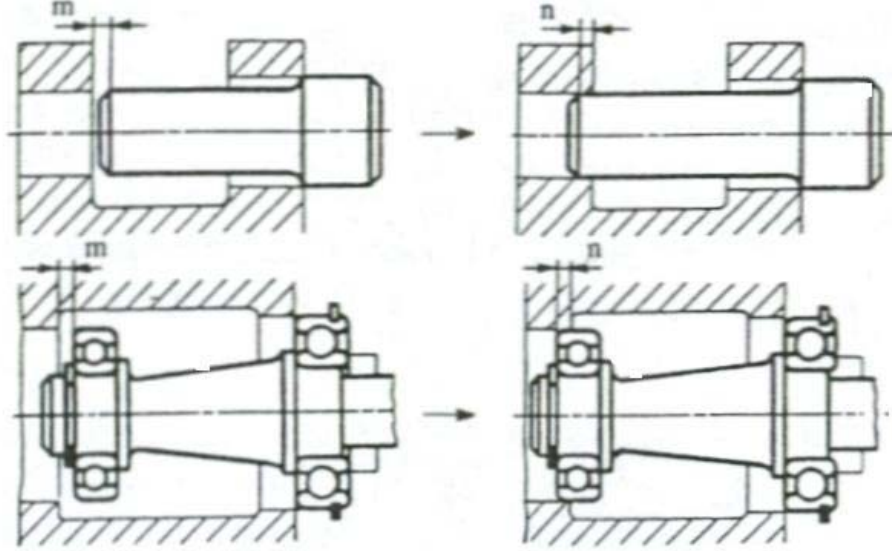
- Montaj yapılacak yüzeye erişim kolay olmalıdır. **Şekil 3.19.(a)**'daki örnekte cıvatalardan birine olan erişim çok zordur ama tasarım değişiklikleriyle bu zorluğun (b) ve (c)'de düzeltildiği görülmektedir.



Şekil 3.19: Montaj yapılacak yüzeye kolay erişim örneği [10]

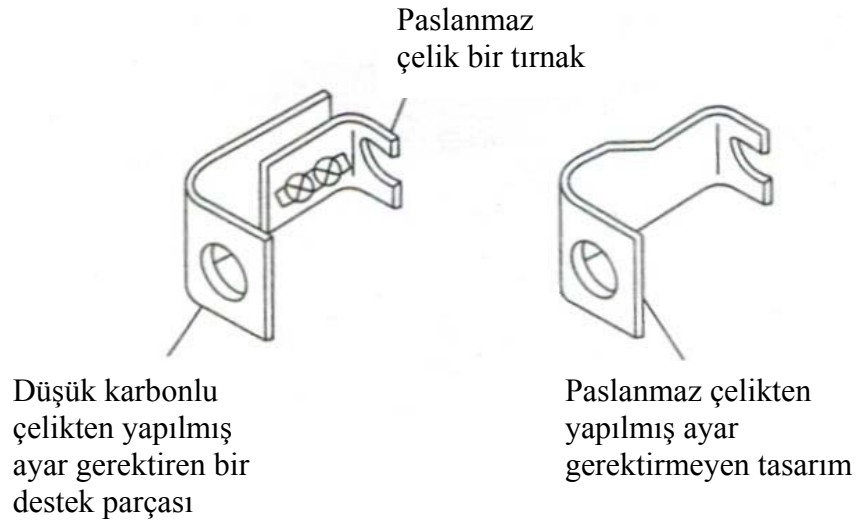
- Temel ve büyük parçaların montajı yapılırken kullanılan fikstürlerden olabildiğince kaçınılmalıdır.

- Parçaların eşzamanlı ekleme ve sabitleme durumundan korunmalı, gerekiyorsa tasarım yenilenmelidir. **Şekil 3.20** burada kriterde anlatılmak istenen zorluğun iyi bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olur.



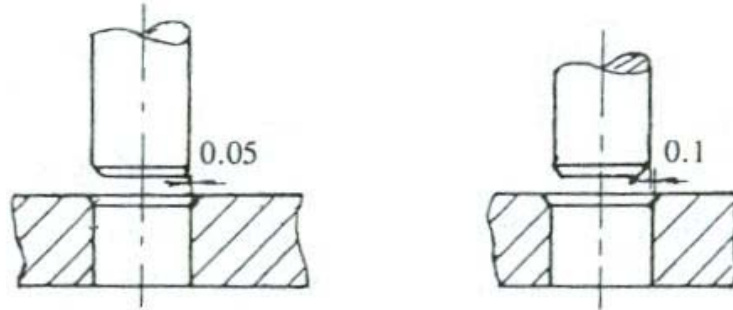
Şekil 3.20: Parçaların eşzamanlı eklenmesinden kurtulmak için tasarım değişikliği uygulaması [10]

- Ayar gerektiren tasarımların ve parçaların kullanılmasından olabildiğince uzak durulmalıdır. **Şekil 3.21** bu kriteri özetleyen iyi bir örnektir.



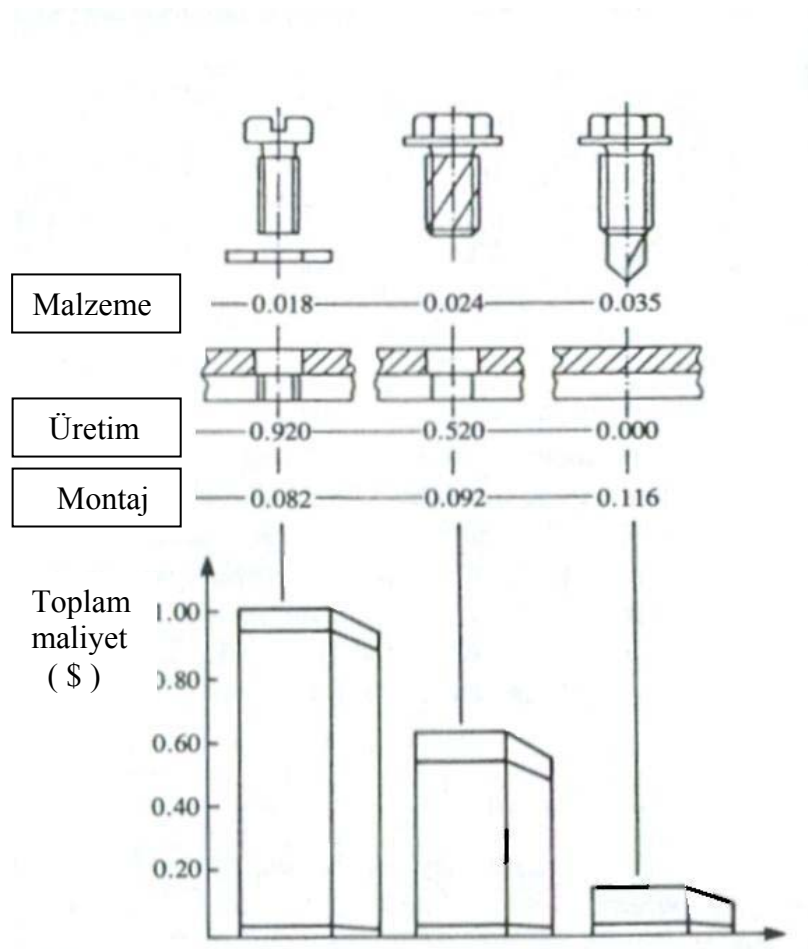
Şekil 3.21: Ayar gerektirmeyen tasarım örneği [13]

- Montaj ve parçaların fonksiyonelliğini zorlaştıracak, üretim ve montaj maliyetlerini arttıracak dar tolerans ve yüzey finish işlemlerinden olabildiğince kaçınılmalıdır. Bu kriteri daha iyi açıklamak için aşağıda **Şekil 3.22** gösterilmiştir.



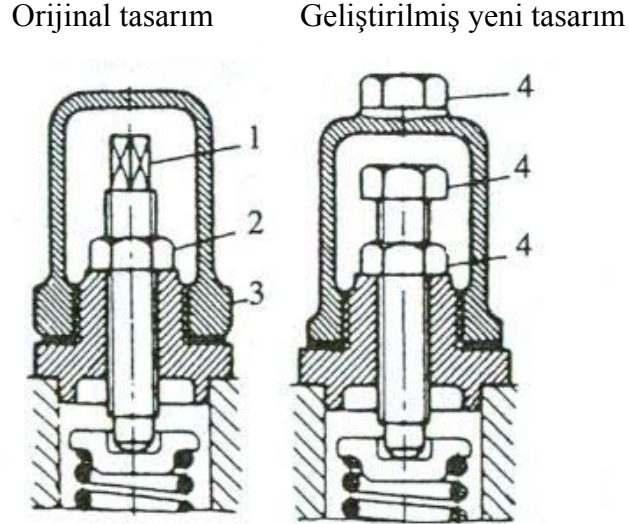
Şekil 3.22: Gereksiz dar toleransların ortadan kaldırılması [10]

- Pahalı olan ve zaman alan çözülebilir bağlantı türlerinden olabildiğince kaçınılmalıdır. **Şekil 3.23** çeşitli cıvatalı bağlantı tiplerinin maliyetini göstermektedir.



Şekil 3.23: Çeşitli cıvatalı bağlantıların maliyet karşılaştırmaları [10]

- Montaj esnasında kullanılacak takım sayısı ve çeşitliliği azaltılmalıdır. Takım çeşitliliği ve sayısındaki fazlalık montaj maliyetlerin arttırmaktadır. Bu kriteri görsel açıklaması **Şekil 3.24**'te yapılmaktadır.



Şekil 3.24: Kullarılan takım sayısı ve çeşitliliğinin standardizasyonu [10]

- Parçalar arası boşluklar hesaplanırken montajda kullanılacak takım türleri dikkate alınmalı ve özel takımların kullanılmasından kaçınılmalıdır.

4. BAKIMA UYGUN TASARIM (BUT)

4.1. Bakım Kavramı ve Tekniği Hakkında Genel Bilgiler

Hiçbir makine sorunsuz ve sürekli olarak çalışamaz ama bütün makineler kendileri için planlanan fonksiyonları olabildiğince uzun süre yerine getirebilecek şekilde tasarlanmalıdırlar. Bu süre boyunca makineler veya makine parçaları bozulabilir, bozulanlar da ya onarılır ya da yenisiyle değiştirilir.

Geleneksel mühendislik anlayışına göre yüksek güvenilirlik ilkesini dikkate alarak tasarlanan parçalar, makineler ya da sistemlerden genel olarak iyi bir performans ve verim alınacağı öngörülür. Sistem güvenilirliğinin değeri, sadece yeni parçaların arızalanma sürelerinin uzaması değil aynı zamanda arızayı önleyici bakımın yapılmasıyla da arttırılabilir.

Genel amaçlı bakım operasyonları dikkate alındığında iki temel tip bakımdan söz edilebilir ki bunlar önleyici bakım ve düzeltici bakımdır. Önleyici bakım, sistemlerin ve makinelerin düzeltici bakıma olan gereksinimleri ortadan kaldırarak bunların iyi koşullarda ve iyi bir performansla çalışmalarını amaçlar. Makine ve sistemlerin ömürlerini uzatmak için parçaların hata vermeleri beklenmeden belirli aralıklarla, sistematik olarak kontrol edilmesi ve gerekli ise değiştirilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca günümüzde bakım kavramı, kayıp zamanı azaltma çabasından çok sistem ve parça güvenilirliğine önem vermektedir. Bu nedenle önleyici bakım tüm sistem veya makinelerin güvenilirliğini arttıran bir yöntemdir. Düzeltici bakımda ise parça, makine ve sistemlere bunlarda arıza olmadığı sürece müdahale edilmez, ne zaman ki ürün kendi için planlanan fonksiyonu yerine getiremeyecek duruma gelir o aşamada arızalı ya da hasarlı parçalar onarılır, yenisiyle değiştirilir.

Değiştirilen parçaların maliyeti, kullanılan bakım ekipmanlarının değeri, bakım personelinin eğitiminin maliyeti, işçilik maliyetleri gibi açılardan bakıldığında sistematik olarak yapılan bakım işlemi pahalı bir süreçtir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki A.B.D 'de savunma sistemlerine yapılan harcamaların %35'i bu sistemlerin bakımına ayrılmaktadır. Ayrıca bakım hataları yüzünden bakım

zamanları %10 - %25 arasında uzamakta veya bakım periyodundan sonraki kısa zaman diliminde oluşan hataların %20 - %25'i hatalı bakımdan kaynaklanmaktadır [14]. Bu istatistiksel veriler gösteriyor ki hatalı bakım, bakım maliyetlerini arttıran önemli bir unsurdur.

Genel bakım maliyetleri anlamında

- Arızanın onarılma maliyetleri
- Bakım amacıyla yapılan durum izleme faaliyetlerinin maliyeti
- Yasal kriterlere uymak için yapılan bakımla ilgili kalıcı maliyetler
- Özel bakım maliyetleri

gibi unsurlar sayılabilirken toplam bakım maliyetini arttıran faktörler,

- Modern makine ve sistemlerin teknik karmaşıklıklarının artması
- BDT programlarıyla yapılan tasarımlardaki donanım seçeneklerindeki aşırı çeşitlilik
- Ürün ve sistem tasarımlarında hızlı değişimler
- Bakıma ve işletmeye uygun tasarım kriterlerindeki farklılık ve rekabet durumu
- Bakım maliyetlerini göz ardı eden, üretim maliyetlerin azaltmayı hedefleyen süreçlerin artması
- Tasarım ve teknolojik gelişmelerdeki hızlı değişimlerden dolayı yetişmiş eleman istihdam etmenin ya da varolan teknisyenlerin eğitiminin maliyeti ve bu maliyetlerin artması

olarak açıklanabilir [8,14].

Makine ve sistemler hata verdiğinde uygulanması için bakım teknisyenlerine özel işlemler, yöntemler, öneriler verilmediği koşullarda yapılacak ve aslında bakım süresini uzatıp maliyetleri arttıracak bir takım genel operasyon sırası tanımlanabilir. Bunlar,

- Arızanın aranıp bulunması
- Arızanın ayrılması

- Arızalı parçalara ulaşılması
- Arızalı parçaların demonte edilmesi
- Arızalı parçaların onarılması veya yenisiyle değiştirilmesi
- Onarılmış veya yenilenmiş parçanın monte edilmesi
- İşlemin başarısının doğrulanması için test ve gözlem yapılması

olarak sıralanabilir [14].

İster güvenilirlik, ister zaman, ister maliyet hangi açıdan değerlendirirseniz değerlendirin bakım işleminin amacı, bir makine veya sistemin kendisi için planlanan fonksiyonu herhangi bir anda yerine getirebilme yeterliliğini sağlamaktır. Bu amacı karşılayan terim ise “ elde edilebilme “ terimidir. Bu terim herhangi özel bir anda bir sistemin çalışıyor olabilme olasılığı olarak ta ifade edilebilir. Elde edilebilirlik tanımı iki adet nicel sistem fonksiyonunun özelliği ile ilişkilendirilir. Bunlar güvenilirlik ve bakıma uygunluk kavramlarıdır.

Bu bölümün başlangıcında güvenilirlik kavramı, bir makine veya sistemin belirli koşullar altında, belirli bir zaman diliminde hata vermeden çalışabilme olasılığı olarak tanımlanmıştır. Güvenilirliğin ölçümü iki özellik ile sağlanır. Bu özellikler,

- Belirli bir zaman diliminde bir operasyonun başarılı olma olasılığı
- Hatalar arası ortalama zaman (HAOZ) olarak ifade edilen ve belirli bir zaman dilimindeki çalışma saatinin bu süreçte meydana gelen hata sayısına bölünmesiyle elde edilen değerdir.

Fakat şunu da belirtmek gerekir ki HAOZ’un değerini belirlemek için yapılan ölçümler, uzun zaman dilimlerinde ve sistemin ya da makinenin çalışabileceği tüm olası koşullarda elde edilen ölçümler değilse alınan sonuçlar bu konuda çalışanı yanılgıya sürükleyebilir.

Bakıma uygunluk kavramı ise sistem ya da makinelerin alıkonulması, onarılması, tekrar işleme alınmasının kolaylık derecesi olarak tanımlanır. Bu kavram bakımı etkileyen parçaya ulaşılabilirlik, parça çeşitlilikleri, parçaların kullanılma ile onarılma ortamları, bakım ekipmanlarının özellikleri ve bakım için özel eğitim gibi unsurların fonksiyonudur. Bunlara dayanarak bakıma uygunluğun ürün tasarımının bir fonksiyonu olduğu söylenebilir ve bu fonksiyon ürünü onarmanın ortalama

zamanı (ÜOOZ) olarak ifade edilebilir. Tanımlanan bu zaman ifadesi, arızanın farkına varılmasından başarılı bir onarım işleminin doğrulanmasına kadar geçen süreyi kapsar.

Elde edilebilirlik (A), hatalar arası ortalama zaman (HAOZ) ve ürün onarmanın ortalama zamanı (ÜOOZ) kriterleri arasındaki ilişki,

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

olarak ifade edilir. [14]. İşte bu elde edilebilirlik verileriyle sistemin, sistemin parçalarının, ürün tasarımının ve bakıma uygunluğun verimliliği hakkında sağlıklı değerlendirmeler yapılabilir. Genel olarak BUT uygulamaları arasında Elde edilebilirlik (A), hatalar arası ortalama zaman (HAOZ) değerleri yüksek, ürünü onarmanın ortalama zamanı (ÜOOZ) değeri küçük olana uygulamalar başarılı tasarım çalışması olarak görülürler.

4.2. Bakıma Uygun Tasarım (BUT)

Bakıma uygun tasarım, hasarlı bir sistemin belirli bir sistemin belli bir zaman kaybını göze alarak bu zaman diliminde onarılıp tekrar çalışır hale gelebilme olasılığıdır. BUT'un ana hedefi, bir ürün veya sisteme onun yararlı yaşam döngüsü boyunca mantıklı harcamalarla ve bir zorlukla karşılaşmadan bakım yapılabilmesini sağlamaktır. Bakıma uygunluk kavramının nicel ve nitel özellikleri bulunmaktadır. Hem nicel BUT hem de niteliksel BUT'un gereksinimleri bir sistem ya da ürünün bakıma uygunluk karakteristiklerinin tanımlanmasıdır. Niceliksel gereksinimler bir önceki bölümde elde edilebilirlik kavramıyla açıklanmaya çalışılmıştı. Niteliksel gereksinimlerin genel yapısı ise BUT'un kurallarından oluşur. Bu kurallar,

- Ulaşılabilirlik
- Arızayı bulup ayıklayabilme
- Değiştirilecek ünitelerin ağırlık limitleri

- Değiştirilecek ünitelerin kurulu olduğu yerden alınıp onarılacağı atölyeye ya da üretildiği yere götürebilmesine izin veren ölçüsel limitler
- Değiştirilecek üniteleri tehlikeli ortamlarda otomatik sistemlerle onarıp değiştirebilmek için robot sistemleriyle uyumlu çalışır hale getirecek tasarımın yapılması

olarak özetlenebilir [14].

BUT'ta tasarımcıya tasarım gereklilikleri hakkında yol gösterebilecek genel kriterler,

- Yapılan tasarım, bakım işlemi devam ederken ürünün zarara uğraması olasılığını engellemelidir.
- Bakım görevlilerine verilen sorumlulukların karmaşıklığı en aza indirilmelidir.
- Bakım için kullanılacak alet, ekipman ve test ekipmanlarının tipi ve sayısı azaltılmalıdır.
- Cıvata, rondela, somun, rulman gibi standart parçaların sayısı ve çeşitliliği olabildiğince azaltılmalıdır.
- Özel ekipman kullanılması ihtiyacı azaltılmalıdır.
- Parçaların referans sıfatları, her bir parçaya okunaklı ve kalıcı olacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Boyut ve şekiller çıkartılan parçaların doğru pozisyonda yerine tekrar monte edilmesini sağlayacak özellikte olmalıdır.
- Grupların hizalanmasında kılavuz pimler kullanılmalıdır.
- Çıkarılacak parçaların ağırlığının 4,5 kilogramı geçmesi durumunda parçayı tutmayı kolaylaştırıcı unsurlar olmalıdır.
- Personel yaralanmalarına neden olacak keskin köşe, keskin kenar, sivri çıkıntı gibi tehlikeli tasarımlardan kaçınılmalıdır.
- Tamamı değiştirilecek ünite gruplarının sökölüp tekrar monte edilmesinde arızalanmamış parçaların çıkarılmaması sağlanmalıdır.
- Tamamı değiştirilecek ünite gruplarının sökölüp tekrar monte edilmesi, kritik fonksiyonları engellemeyecek şekilde olmalıdır.

- Tamamı değiştirilecek ünite gruplarında sökölüp tekrar monte edilecek parçalara erişim kolay olmalıdır. Bu nedenle bu tip ünitelerin başka ünitelere bağlantısı olması yerine gövdeye veya şaseye bağlanması tercih edilmelidir.
- Ağır ünitelerin montajından kaçınılmalıdır.
- Arızanın ayıklanabilmesi için yapılan testler, kontrol hattında test edilen ünite de arızaya neden olmamalıdır.
- Planlanan limitli hareketlerle yapılacak kalibrasyon ve ayarlamalar, hasarı önlemek için gerekli bekleme ve duruşları yapabilmelidir.
- Tüm ayarlamalar, değiştirilen parçaların verdikleri tepkiye göre yapılmalıdır.
- Bağlantılar arası boşluklar bunların gözle görülebileceği ve elle ulaşılabilcek şekilde olmalıdır.
- Kablolama ve borulama işlemlerini kolaylaştırmak için belirli bir rotanın takip edilmesi gereklidir.
- Kabloların kurulumu, kontrolü ve bakımını kolaylaştıracak önlemler alınmalıdır.
- Kablo ve hatların kolay anlaşılabilmesi için kablo boyunca kodlama ve isimlendirme işlemleri yapılmalıdır.
- Elektrik, su, hava hatlarının sayısını azaltılmalı ve olanlar da iyi tanımlanmalıdır.
- Elektrik, su, hava hatlarının hareket ve taşınma kabiliyetleri artırılmalıdır [8,14].

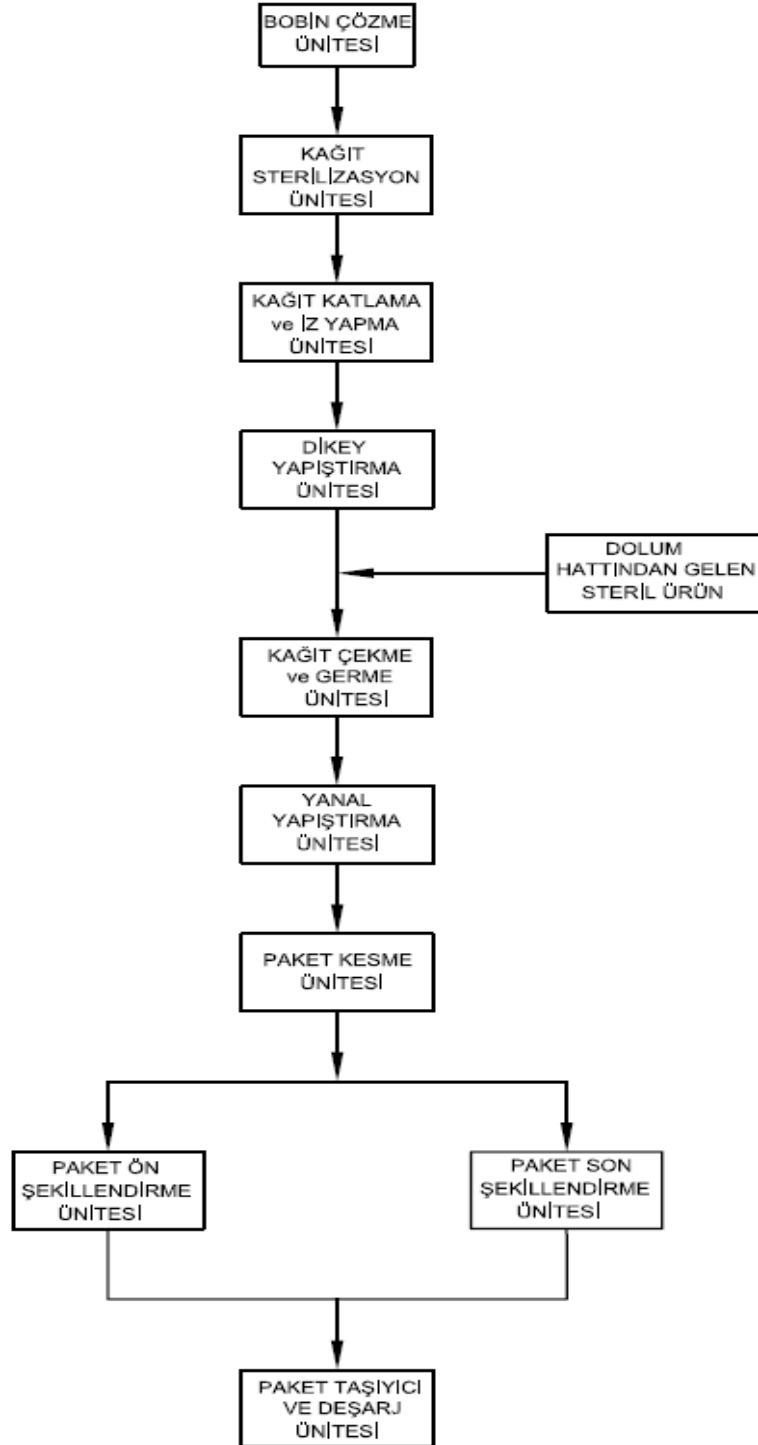
5. MONTAJA ve BAKIMA UYGUN TASARIM UYGULAMALARI

Bu çalışmanın bu bölümüne kadar eşzamanlı mühendisliğin önemli iki tasarım aracı olan MUT ve BUT ile ilgili detaylı bilgiler verilmiş, bu tasarım araçlarının önemli kriterleri belirtilmiş ve açıklayıcı örnekler üzerinde durularak konunun pekiştirilmesine çalışılmıştır. Bu bölümde ise anlatılan teorik bilgilerin, bu çalışma boyunca yapılan pratik uygulamaları üzerinde durulacak, uygulamaların tasarım verimlilikleri, maliyet analizleri incelenecek ve bunların karşılaştırılması yapılacaktır.

5.1. Sistem Hakkında Bilgiler ve Uygulamalar

Yapılan uygulamalar, gıda sanayinin önemli bir dalını oluşturan meyve suyu endüstrisinde kullanılan sıvı içecek dolum ve paketleme makinelerine aittir. Meyve suyu fabrikaları, ambalaj tedarikçilerinden aldıkları bobin halindeki ambalajları ve kendi tesislerinde çeşitli meyvelerden yapılan pulpların pastörize edilmiş meyve suyunu bu sözü geçen sıvı içecek dolum ve paketleme makinelerinde steril koşullarda doldurarak ürünlerini satışa sunarlar. Bobin halinde makineye takılan ambalaj malzemesinin makineye takılınca kadarki sevk sürelerinde steril koşullarda saklanabilmesi çok zor olduğundan, ambalaj kağıdının sterilizasyonu makine tarafından yapılmaktadır. Sterilizasyonu yapılan ambalaj malzemesi ile zaten ana dolum borusuyla makinenin içine kadar steril edilmiş olarak gelen meyve suyu makinede steril koşullarda doldurulur, paketlenir ve şekillendirilir. **Şekil 5.1**'de makineye ait genel bir akış şeması gösterilmektedir. Aşağıda ayrıntılı olarak açıklanacak olan örneklerden birincisi paket kesme ünitesindeki arka bıçak alt montaj grubuna ait bir uygulamayı, ikincisi paket deşarj ünitesindeki paket taşıyıcı alt montaj grubuna ait bir uygulamayı, üçüncüsü ve dördüncüsü son şekillendirme ünitesindeki paket arka tampon alt montaj grubu ile kulak ısıtıcı parçasının contasına ait bir uygulamayı, beşincisi paket kesme ünitesindeki ön bıçak sürücü milleri alt montaj grubuna ait bir uygulamayı, altıncısı kağıt germe ünitesindeki çekici dişli alt montaj grubuna ait bir uygulamayı ve yedincisi de yan al yapıştırma ünitesindeki

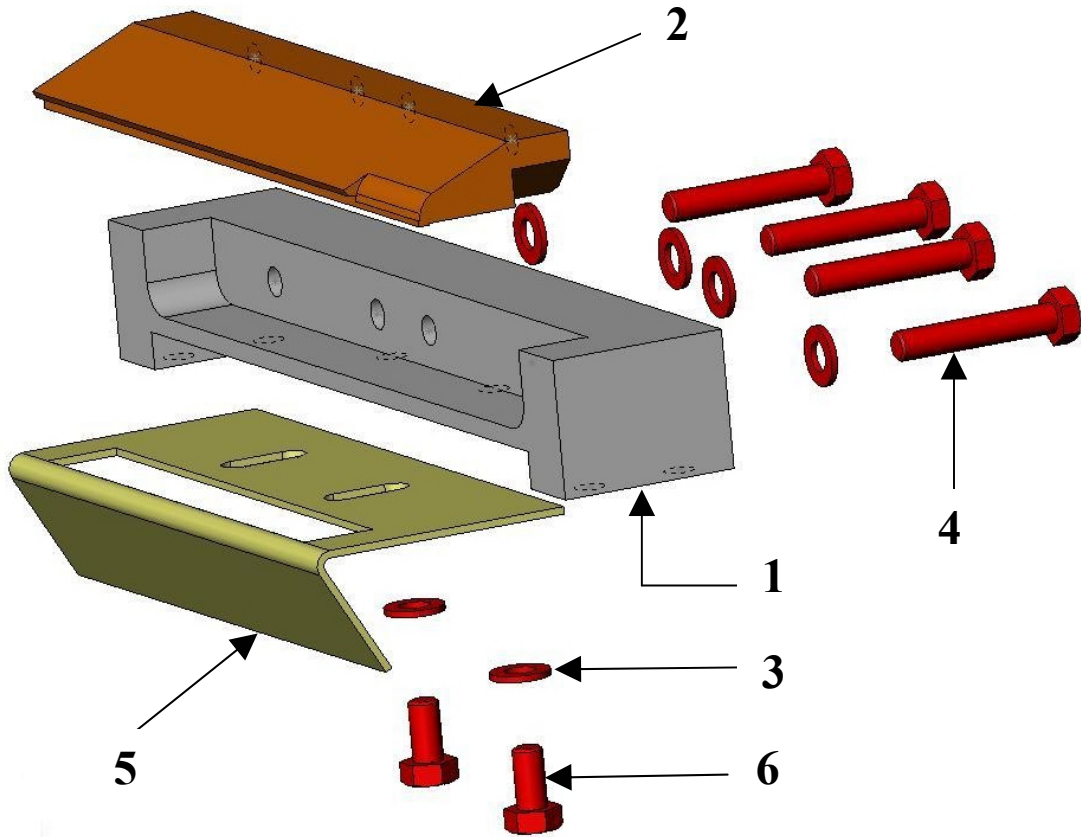
önemli bir parçaya ait uygulamayı içermektedir. Seçilmiş olan bu alt montaj grupları nicel değerlendirme prosedürlerini uygulayan Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi ve niteliksel BUT kriterleri gözetilerek yeniden tasarlanmış, fiziksel olarak denenmiş ve sağladığı pozitif katkılardan dolayı da şu anda fiilen kullanılmaktadır.



Şekil 5.1: Dolum makinesine ait fonksiyon akış şeması

5.1.1. Arka Bıçak Alt Montaj Grubunda Yapılan Uygulama

Dolum makinesinde, ambalaj kağıdı yukarıdan aşağıya doğru hareket ederken dolum borusundan gelen meyve suyu ambalajın içine doldurulur ve dikey ve yanal kapatma işlemleri yapıldıktan sonra ambalajların kesilip ürünün ayrı birer paket haline gelme aşamasında önde ve arkada çalışan iki adet bıçak grubu vardır. Burada dikkate alınan arkada çalışmakta olan arka bıçak montaj grubudur. Bu alt montaj grubundaki en kritik parça, doğal olarak kesme işlemini yapan arka bıçak parçasıdır. **Şekil 5.2** 'de



Şekil 5.2: Arka bıçak alt montaj grubu orijinal tasarımı

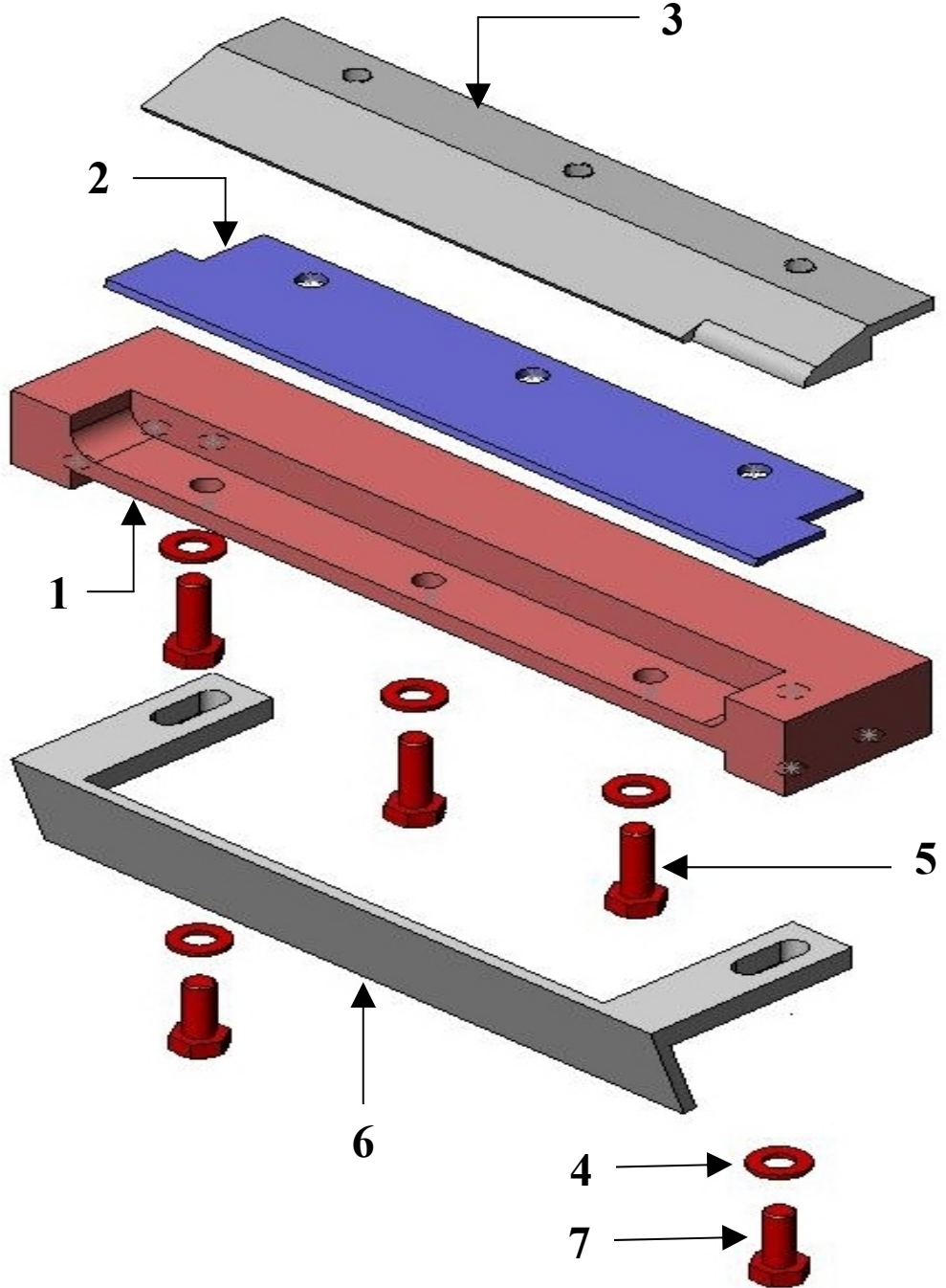
patlatılmış montaj hali gözüken arka bıçak grubunun orijinal tasarımından ve bulunduğu yere ulaşımın kötü olmasından kaynaklanan sorunlar nedeniyle bu grubun montaj ve bakım işlemleri sırasında zorluklarla karşılaşıyordu. İlk etapta orijinal tasarımın MUT verimliliğinin görülebilmesi için Boothroyd&Dewhurst MUT yönteminde kullanılan ve **Tablo 5.1**'de verilen değerlendirme tablosu hazırlanmıştır. Bu tabloda kullanılan elle montaj maliyeti hesaplanırken işçilik maliyetlerin 10 ytl/saat olarak alındığı unutulmamalıdır.

Tablo 5.1: Arka bıçak orijinal tasarımının MUT değerlendirme 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	Alt destek parçası	1	35	2,73	28	10,50	13,23	0,04	1
2	Bıçak	1	35	2,73	28	10,50	13,23	0,04	1
3	M8 Pul	10	03	1,69	00	1,50	31,90	0,10	0
4	M8 Cıvata	4	10	1,50	39	8,00	38,00	0,11	0
5	Paket Kılavuzu	1	38	3,34	26	9,50	12,84	0,04	1
6	M8 Cıvata	6	10	1,50	38	6,00	45,00	0,14	0
TOPLAM							154,20	0,46	3
MUT İndeksi = $3 \times 3 / 154,20 = \% 5,8$									

Bulunan MUT indeksi ve tablodaki değerlere bakıldığında orijinal tasarımın toplam 23 parçadan oluştuğu, bunlardan 20 tanesinin çözülebilir bağlantı elemanı olduğu, bunların toplam montaj süresinin %74,5 ‘ni iştigal ettiği görülmüştür. Bunun üzerine yapılan tasarım yenileme çalışmaları sonucunda oluşan montaj durumu **Şekil 5.3**’de gösterilmektedir. Yeni çalışmada da bazı fiziksel engellerden ve makinede varolan koşullarından dolayı cıvatalı bağlantıdan vazgeçilemediği için tasarım yenilenmesi aşamasında ilgi bıçağın tasarımı üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Bunun sonucunda **Şekil 5.3**’den de görüldüğü gibi bıçak işlevini üstlenen parça inceltilmiş üstteki parça ise sadece destek parçasına dönüştürülmüştür. Ayrıca bıçağın cıvatalarının bağlantı yönü, montaj yönünde azaltılmasını sağlayacak şekilde değiştirilmiştir. Daha sonra yeni MUT verimliliğinin görülebilmesi için aynı yöntemle **Tablo 5.2**’de verilen değerlendirme tablosu hazırlanmıştır. Bulunan yeni MUT indeksi ve tablodaki değerlere bakıldığında yeni tasarımın toplam 22 parçadan oluştuğu, bunlardan 18 tanesinin çözülebilir bağlantı elemanı olduğu, bunların toplam montaj süresinin %66,5 ‘ni iştigal ettiği görülmüştür. Diğer taraftan MUT indeksine bakıldığında orijinal tasarımda indeksinin %5,8 olduğunu yenilenen tasarımda ise bu değer çok az bir artışla %6,2 çıktığı görülür. Artışı bu kadar az bir değerde kalmasının ana

nedeni cıvatalı bağlantı sayısının azaltılamamış olmasındandır. Fakat yeni tasarıma bıçak açısından bakıldığında, eski bıçak tasarımının 1,10 kg. ağırlığında olduğu ve üretim maliyetinin 270 ytl olmasına karşın yeni bıçak tasarımının 0,15 kg. ağırlığında ve üretim maliyetinin 105 ytl olduğuna dikkat edilmesi gerekir.



Şekil 5.3: Arka bıçak alt montaj grubu yeni tasarımı

Tablo 5.2: Arka bıçak yeni tasarımının MUT değerlendirme 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	Alt destek parçası	1	35	2,73	28	10,50	13,23	0,04	1
2	Bıçak	1	35	2,73	26	9,50	12,23	0,04	1
3	Üst destek parçası	1	30	1,95	26	9,50	11,45	0,03	0
4	M8 Pul	9	03	1,69	00	1,50	28,71	0,09	0
5	M8 Cıvata	7	10	1,50	38	6,00	52,50	0,16	0
6	Paket Kılavuzu	1	30	1,95	26	9,50	11,45	0,03	1
7	M8 Cıvata	2	10	1,50	38	6,00	15,00	0,05	0
TOPLAM							144,57	0,43	3
MUT İndeksi = 3 x 3 / 144,57 = % 6,2									

Yapılan uygulamanın karşılaştırılmalı genel değerlendirilmesi **Tablo 5.3**'te özetlenmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi yapılan tasarım değişiklikleriyle parça sayısında, toplam montaj zamanında, MUT indeksinde ve montaj maliyetlerinde ufak iyileşmeler görülmekle birlikte asıl iyileşme bıçak kısmında sağlanmıştır.

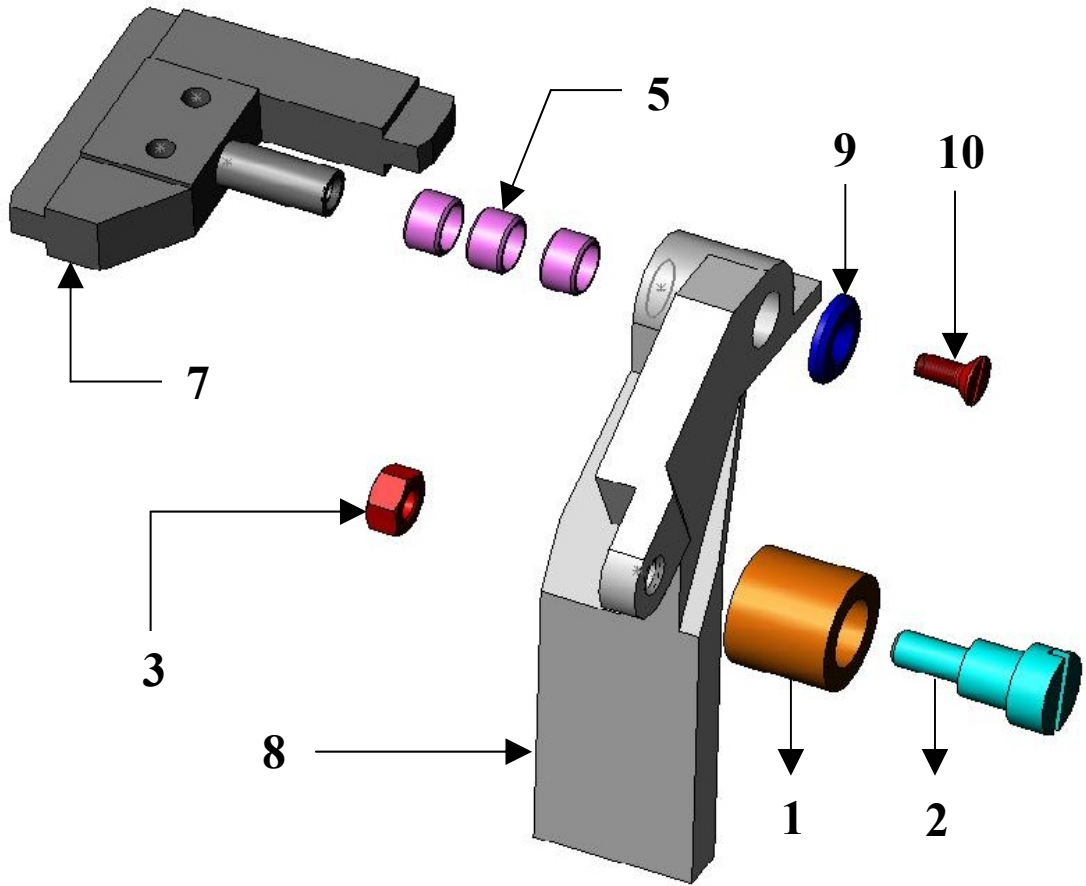
Tablo 5.3: Arka bıçak alt montajı için orijinal ve yeni tasarımın karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Toplam Zaman (sn)	MUT İndeksi	Montaj Maliyeti (Ytl)	Malzeme ve Üretim Maliyeti (Ytl)	Toplam Ağırlık (kg)
Eski Tasarım	23	154,20	%5,8	0,46	565,00	3,45
Yeni Tasarım	22	144,57	%6,2	0,43	540,00	3,15

Toplam maliyete bakıldığında yeni tasarımın malzeme ve üretim maliyetlerinde 25 ytl'lik bir azalma gözlenirken, diğer parçalara göre daha sık değiştirilen bıçak parçasının maliyeti 270 ytl'den 105 ytl'ye gerilemiş, parçanın ağırlığı da 1,10 kg.'den 0,15 kg.'ye düşmüş, bakım sırasında bıçağın değiştirilmesi hem ölçülerinden dolayı hem de sökülebilir bağlantı yönlerindeki azalmadan dolayı kolaylaştırılmıştır.

5.1.2. Paket Taşıyıcı Alt Montaj Grubunda Yapılan Uygulama

Dolumu ve tüm şekillendirilme operasyonları tamamlanmış meyve suyu paketi taşıyıcı palet ünitesinden dolum makinesinin çıkış kapısına, bir zincire bağlı olarak belli bir yörünge etrafında dönen ve paket taşıyıcı alt montaj grubu olarak adlandırılan parçalar sayesinde sevk edilir. Paket taşıyıcı alt montaj grubunun orijinal tasarımının patlatılmış montaj resmi Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Paket taşıyıcı alt montaj grubu orijinal tasarımı

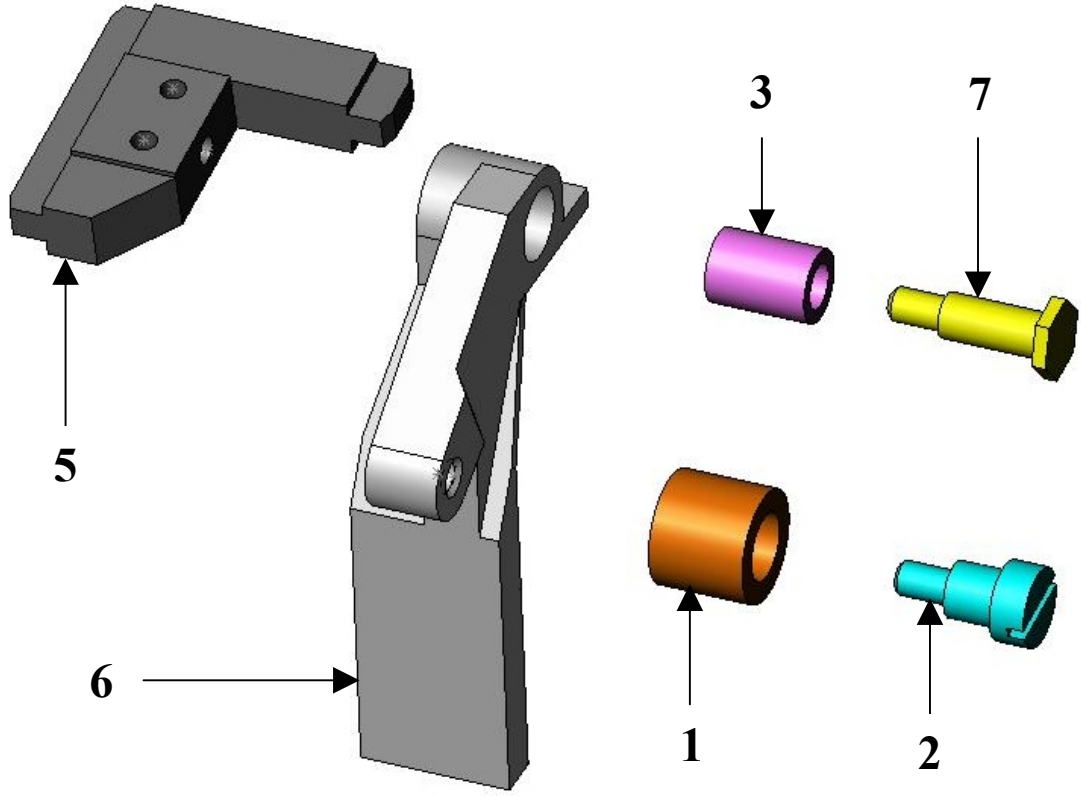
Paket taşıyıcı alt montaj grubu 7 nolu parçanın üzerinde görülmekte olan pim deliklerinden zincire bağlanmakta, üzerinde kaynak yapılan pime de 8 nolu paket taşıyıcı parçası oturmaktadır. Zamanla zincirin bollaşıp uzaması ya da başka mekaniksel nedenlerden dolayı paket taşıyıcı parçası hareket halindeyken başka parçalara çarparak çalışmaya başlar ki bu da paket taşıyıcı parçasının zorlanmasına dolayısıyla 7 nolu parçadaki pime binen yükten dolayı pimin yamulmasına ve çalışamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Arızalanan paket taşıyıcı alt montaj

grubunun olduğu yerde bakımının yapılması imkanı olmadığından grubun zincirden sökülüp ondan sonra arızanın giderilmesine çalışılmaktaydı ki bu da hiçte az olmayan bir zaman almaktaydı. Bundan dolayı tasarımda değişikliğe gidilmesi kararlaştırıldı ve ilk olarak **Tablo 5.4**'te gösterilen paket taşıyıcı alt montaj grubunun orijinal tasarımının değerlendirme tablosu hazırlandı.

Tablo 5.4: Paket taşıyıcısı orijinal tasarımının MUT değerlendirme 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	Kılavuz parçası	1	10	1,50	06	5,50	7,00	0,02	1
2	Cıvata	1	10	1,50	38	6,00	7,50	0,02	0
3	M6 Somun	1	01	1,43	38	6,00	7,43	0,02	0
4	Yönlendirme	1	-	-	98	9,00	9,00	0,03	-
5	Burç	3	01	1,43	31	5,00	19,29	0,06	1
6	Yönlendirme	1	-	-	98	9,00	9,00	0,03	-
7	Bağlantı parçası	1	10	1,50	31	5,00	6,50	0,02	1
8	Paket taşıyıcısı	1	10	1,50	16	8,00	9,50	0,03	1
9	Pul	1	11	1,8	06	5,50	7,30	0,02	0
10	M4 Cıvata	1	16	2,57	39	8,00	10,57	0,03	0
TOPLAM							93,09	0,28	4
MUT İndeksi = $4 \times 3 / 93,09 = \% 12,9$									

Şekil 5.4 ve **Tablo 5.4** incelendiğinde 10 parçadan oluşan paket taşıyıcı alt montaj grubunun orijinal tasarımında bazı parçaların ufak parçalar olmasından dolayı montajının zor olduğu, bazı gereksiz çözülebilir bağlantıların olduğu ve 7 nolu parçanın piminde sıklıkla meydana gelen arızanın çözümlenmesi için bu alt montaj grubunun tasarımı yenilendi. **Şekil 5.5**'te paket taşıyıcı alt montaj grubunun yeni tasarımının patlatılmış montaj resmi görülmektedir.



Şekil 5.5: Paket taşıyıcı alt montaj grubu yeni tasarımı

Şekil 5.5 incelendiğinde öncelikle orijinal tasarımdaki bağlantı parçasındaki pimin ayrıldığı ve pim, M4 cıvata ve pulun yerine kullanılabilecek tek bir parçanın tasarlandığı görülmektedir. Montaj zorluğu çıkartan ufak bağlantı elemanlarından kurtulmanın ötesinde bu tasarım sayesinde pimin yerini alan cıvata, yüke maruz kalıp yamulsa bile bağlantı parçasını sökmeye gerek kalmadan ve diğer parçaları demonte etmeden sökölüp yenisiyle değiştirilebilir. Yine katı yağlayıcı özelliği bulunan ufak burçların yerine montajı daha kolay olan tek parçalık teflon burç kullanılması ve M6 somunun tasarımdan kaldırılması diğer montajı kolaylaştırıcı ve zaman kazandırıcı unsurlardır.

Bir sonraki aşamada **Tablo 5.5**'te gösterilen paket taşıyıcı alt montaj grubunun yeni tasarımının değerlendirme tablosu hazırlandı. Tablo dikkatlice incelendiğinde görülecektir ki orijinal tasarıma göre toplam parça sayısı azalmış ve MUT indeksinde kayda değer miktarda bir yükselme olmuştur, bu da yapılan tasarım yenilemesinin verimli olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.5: Paket taşıyıcısı yeni tasarımının MUT değerlendirme 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	Kılavuz parçası	1	10	1,50	06	5,50	7,00	0,02	1
2	Cıvata	1	10	1,50	38	6,00	7,50	0,02	0
3	Burç	1	00	1,13	30	2,00	3,13	0,01	1
4	Yönlendirme	1	-	-	98	9,00	9,00	0,03	-
5	Bağlantı parçası	1	10	1,50	31	5,00	6,50	0,02	1
6	Paket taşıyıcısı	1	10	1,50	16	8,00	9,50	0,03	1
7	Cıvata	1	10	1,50	38	6,00	7,50	0,02	0
TOPLAM							50,13	0,15	4
MUT İndeksi = $4 \times 3 / 50,13 = \% 23,9$									

Tablo 5.6'da orijinal ve yeni tasarımın önemli kriterleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

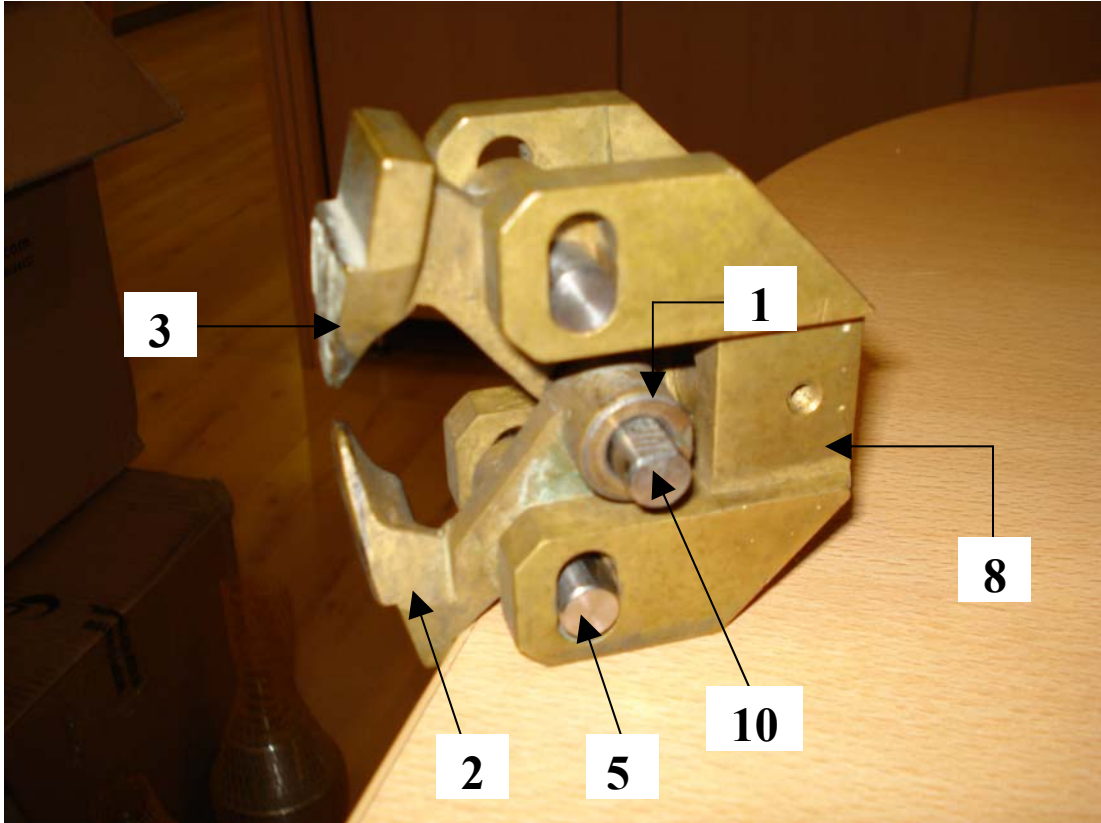
Tablo 5.6: Paket taşıyıcı alt montajı için orijinal ve yeni tasarımın karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Toplam Zaman (sn)	MUT İndeksi	Montaj Maliyeti (Ytl)	Malzeme ve Üretim Maliyeti (Ytl)	Toplam Ağırlık (kg)
Eski Tasarım	10	93,09	%12,9	0,28	259,70	0,65
Yeni Tasarım	6	50,13	%23,9	0,15	250,30	0,69

Tablo 5.6'dan anlaşılabileceği gibi paket taşıyıcı alt montaj grubunda yapılan tasarım yenilemesi sonucunda toplam parça sayısı 10 'dan 6'ya düşmüş, toplam montaj zamanı 93,09 sn.'den 50,13 sn.'ye gerilemiş ve dolayısıyla MUT indeksi iyi sayılabilecek bir artışla % 12,9 dan % 23,9'a çıkmıştır. Ayrıca toplam malzeme ve üretim maliyetleri açısından da 9,40 ytl'lik bir iyileşme olduğu gözlenirken toplam ağırlıkta ise katı yağlayıcı burç yerine teflon burç kullanılmasından kaynaklanan 0,004 kg.'lık bir artış olmuştur ki buda sisteme bir olumsuzluk yüklemeyiz.

5.1.3. Paket Arka Tamponu Alt Montaj Grubunda Yapılan Uygulama

Dolum makinesinde en önemli şekillendirme işlemlerinden biri alt kulakçıkların katlama ve yapıştırma işleminin yapıldığı kısımdır. Eğer burada kulakçıklar güzel şekillendirilmez ise kutu dolum makinesinden çıktıktan sonra ne dik olarak konveyörde ilerleyebilir ne de market bulunduğu rafta dik ve sağlam olarak durabilir. **Şekil 5.6**'da paket arka tampon alt montaj grubunun orijinal tasarımı görülmektedir.



Şekil 5.6: Paket arka tamponu alt montaj grubu orijinal tasarımı

Şekil 5.6'dan da görüldüğü gibi alt ve üst vuruş kolları taşıyıcı gövdeye kısa pimlerle bağlanmakta, vuruş kollarını birleştiren uzun pim ise paket arka tampon alt montaj grubunu gövdeye sabitlemektedir. Taşıyıcı gövde ise arka tarafına monte edilen milden aldığı doğrusal hareketi vuruş kollarına aktarmakta ve vuruş kolları da birbirlerine göre relatif hareket etmektedirler. Çok parçalı ve nispeten karmaşık bir hareketi bulunan paket arka tampon alt montaj grubunun çalışma veriminde sorunlar gözlemlendiği ve bakım esnasında bakım süresinin uzunluğundan dolayı bu grubun tasarımının yenilenmesi ihtiyacı doğmuştur. Bunun için öncelikle **Tablo 5.7**'te

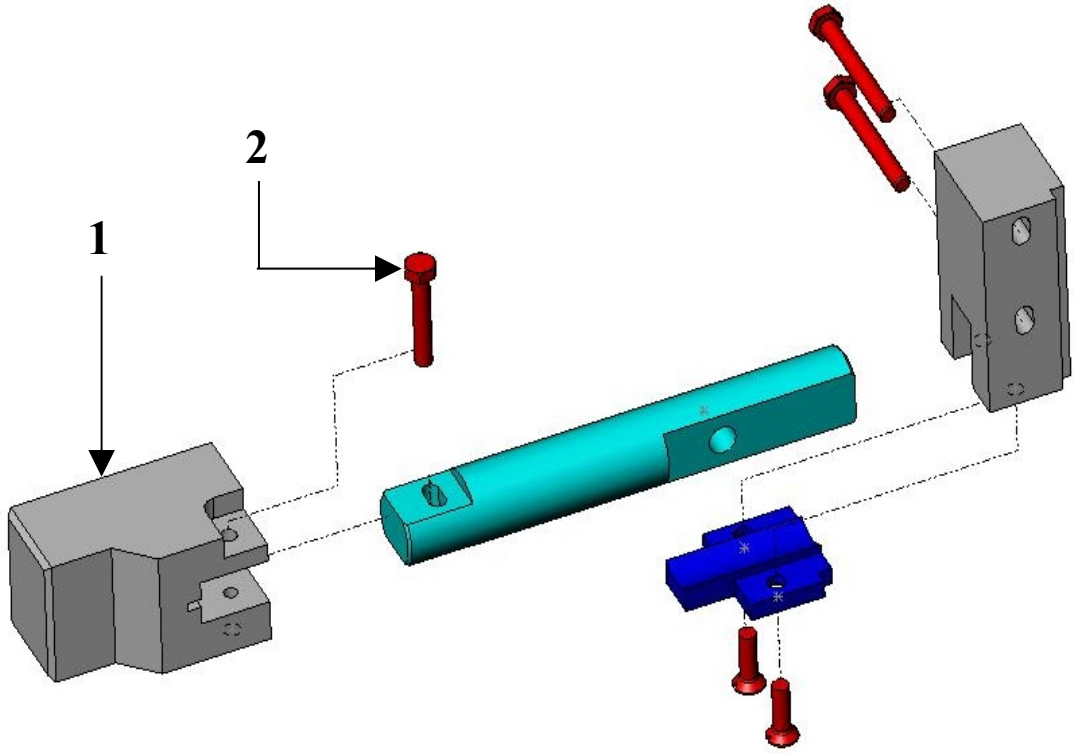
gösterilen paket arka tampon alt montaj grubunu orijinal tasarımının değerlendirme tablosu hazırlandı.

Tablo 5.7: Paket arka tamponu orijinal tasarımının MUT değerlendirme 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	Burç	4	10	1,50	31	5,00	26,00	0,08	1
2	Alt vuruş kolu	1	35	2,73	06	5,50	8,23	0,02	1
3	Üst vuruş kolu	1	35	2,73	06	5,50	8,23	0,02	1
4	Yönlendirme	1	-	-	98	9,00	9,00	0,03	-
5	Kısa Pim	2	10	1,50	30	2,00	7,00	0,02	0
6	M5 Cıvata	2	11	1,80	38	6,00	15,60	0,05	0
7	Yönlendirme	1	-	-	98	9,00	9,00	0,03	-
8	Taşıyıcı gövde	1	35	2,73	16	8,00	10,73	0,03	1
9	M6 Cıvata	1	10	1,50	38	6,00	7,50	0,02	0
10	Uzun Pim	1	30	1,95	41	7,50	9,45	0,03	0
11	M5 Cıvata	1	11	1,80	39	8,00	9,80	0,03	0
TOPLAM							120,54	0,36	4
MUT İndeksi = $4 \times 3 / 120,54 = \% 9,9$									

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi 14 parçadan oluşan paket arka tampon alt montaj grubunu orijinal tasarımının 120,54 sn.'lik toplam montaj süresinin %48,86'sını sökülebilir bağlantı elemanları ve katı yağlayıcı özelliği bulunan ufak burçların montajı oluşturmaktadır. Bunun yanında alt ve üst vuruş kollarının şekillerinin zorluğu ve birbirine merkezlenip içlerinden pimin geçirilip aynı zamanda bu pimin gövdeye de geçirilmesi gibi işlemler montajı zorlaştıran ve süreyi uzatan başka bir unsurdur. Paket arka tampon alt montaj grubunun fonksiyonu düşünüldüğünde hem parça sayısını ve montaj süresini azaltmak hem de oldukça zaman alan sökülebilir bağlantı elemanlarından kurtulmak için tasarım yenilemesine

gidildi. **Şekil 5.7'**de paket arka tampon alt montaj grubu yeni tasarımının patlatılmış montaj resmi görülmektedir.



Şekil 5.7: Paket arka tamponu alt montaj grubu yeni tasarımı

Tablo 5.8: Paket arka tamponu yeni tasarımının MUT değerlendirme 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	Gövde	1	30	1,95	06	5,50	7,45	0,02	1
2	M6 Cıvata	1	10	1,50	38	6,00	7,50	0,02	0
TOPLAM							14,95	0,04	1
MUT İndeksi = $1 \times 3 / 14,95 = \% 20,1$									

Paket arka tampon alt montaj grubu yeni tasarımı ve **Tablo 5.8'**de verilen paket arka tampon alt montaj grubunu yeni tasarımının değerlendirme tablosu incelendiğinde

çok daha az parçalı, basit bir tasarım olduğu dolayısıyla montaj sürelerinin çok azaldığı açıkça görülmektedir. Ayrıca yeni tasarımda tamponun ön yüzü meyve suyu paketin tam tabanına göre tasarlandığından ve tamponun arka yüzündeki kanallı yapıdan dolayı tampon mil üzerinde gezebilmekte olduğundan gerekli durumlarda ince ayar yapmaya izin veren bir yapıdadır. İşte tüm bunlar çok daha düzgün bir şekillendirme yapılmasına imkan verir. **Tablo 5.9**'da paket arka tampon alt montaj grubunun orijinal ve yeni tasarımları karşılaştırılmaktadır

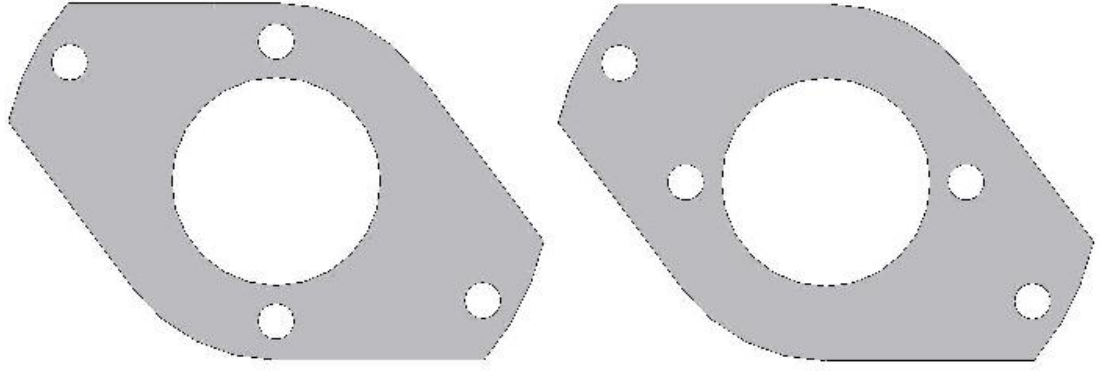
Tablo 5.9: Paket arka tamponu alt montaj grubu için orijinal ve yeni tasarımların karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Toplam Zaman (sn)	MUT İndeksi	Montaj Maliyeti (Ytl)	Malzeme ve Üretim Maliyeti (Ytl)	Toplam Ağırlık (kg)
Eski Tasarım	14	120,54	%9,9	0,36	1100	1,40
Yeni Tasarım	2	14,95	%20,1	0,04	100	0,40

Tablo 5.9'da dikkatlice incelendiğinde 14 parçalık orijinal tasarımın yeni tasarımda sadece 2 parçaya indiği, toplam montaj zamanının 120,54 sn.'den 14,95 sn.'ye düştüğü buna paralel olarak MUT indeksinin %9,9'dan %20,1'e çıktığı görülmektedir. Bunların ötesinde malzeme ve üretim maliyetleri açısından bakıldığında eski tasarımın yeni tasarıma göre 11 kat daha pahalı olduğu görülmektedir ki bu da tasarım değişikliğinin ne kadar verimli olduğunu göstermeye yeter.

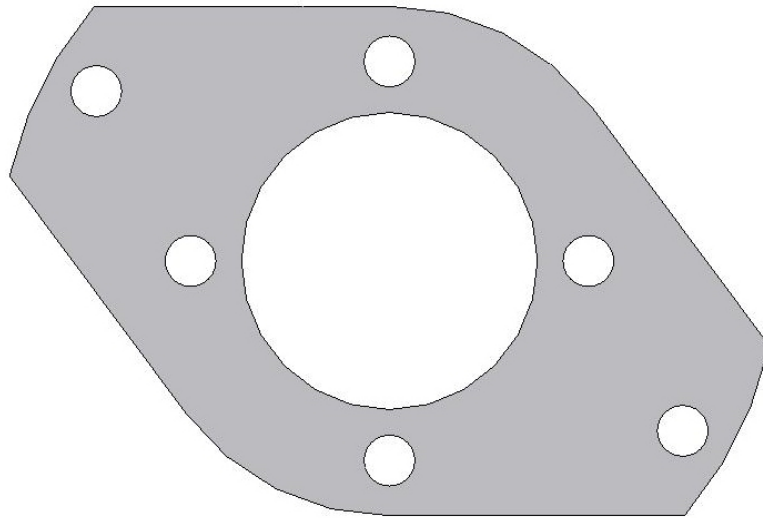
5.1.4. Kulak Isıtıcı Contalarına Yapılan Uygulama

Meyve suyu paketinin şekillendirilmesi aşamasında önemli aşamalardan biri paketin kulaklarının yüksek sıcaklıktaki basınçlı havayla temasının sağlanıp kulakların şekillendirilmesidir. Gövdeye yerleştirilmiş rezistanstan yaklaşık 150° C sıcaklığa ulaşarak çıkan basınçlı hava belirli bir yoldan geçerek kulakları ısıtır ve kulaklara fiziksel bir kuvvet uygulanarak kulaklar şekillendirilir. Bu noktada sıcak havayı paketin istenilen bölgesine sevk etmeye yarayan parçayla rezistansın yerleştirildiği gövde arasına uygun sıcaklığa ulaşmış basınçlı havanın kaybının önlenmesi için bir conta yerleştirilir. **Şekil 5.8**'de contaların orijinal tasarımları gösterilmektedir.



Şekil 5.8: Sol ve sağ kulak ısıtıcı contası orijinal tasarımı

Bu parçalar 2,5 mm. kalınlığında, Guarniflon denilen malzemeden yapılan ve yaklaşık 250° C sıcaklığa kadar dayanıklı olan parçalardır. **Şekil 5.8'**den de görüldüğü gibi parça dış hatlarına bakıldığında simetrik ama çevre bağlantı deliklerine bakıldığında parçaların simetrik olmadığı ve birbirinin yerine kullanılamayacağı görülmektedir. Simetri problemlerinden dolayı bakım esnasında teknisyenin yapabileceği yanlış montajlardan kaynaklanan zaman kayıpları olmaktaydı. Ayrıca bu parçalar, parça şekline göre yapılan kalıpların etrafına hassas şerit biçimindeki bıçakların sabitlenip tabakadan seri kesmesiyle elde edilmektedir yani bir kalıp maliyeti vardır. Bu nedenlerle parçaların tasarımı yenilendi. **Şekil 5.9'**da kulak ısıtıcı contasının yeni tasarımı görülmektedir.



Şekil 5.9: Kulak ısıtıcı contası yeni tasarımı

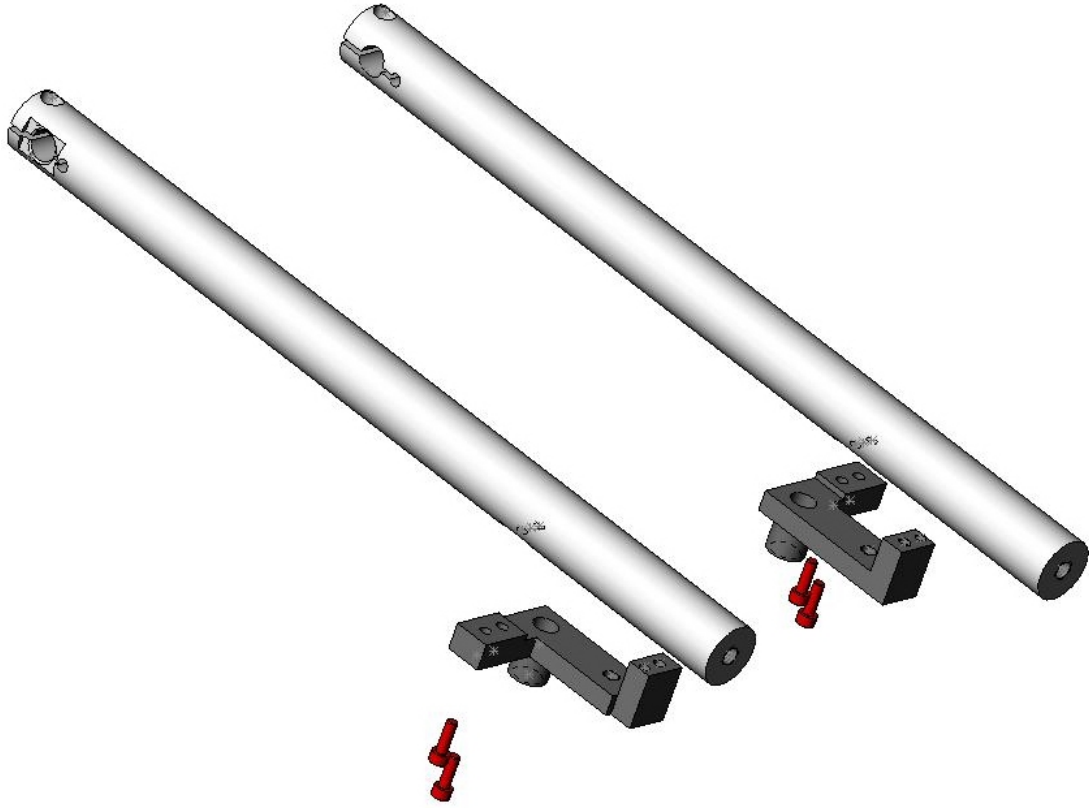
Şekil 5.9'daki kulak ısıtıcı contasının yeni tasarımına bakıldığında bu yeni tasarımla makineye monte edilen parça sayısı değişmemiştir ama MUT ve BUT'un kriterleri arasında sayılan parça çeşitliliğinin azaltılması ilkesi gözetilerek parça çeşitliliği ikiden bire indirilmiştir. Böylelikle hem bakımda oluşabilecek olası montaj hatalarından kaynaklanan zaman kayıplarının önüne geçilmiş hem de eski tasarımda 300 yıl'lık olan toplam kalıp maliyeti tek kalıba geçildiği için 150 yıl'ye düşmüştür.

5.1.5. Ön bıçak Sürücü Millerine Yapılan Uygulama

Daha önce açıklandığı gibi meyve suyu dolum makinesinde, ambalaj kağıdı yukarıdan aşağıya doğru hareket ederken dolum borusundan gelen meyve suyu ambalajın içine doldurulur ve dikey ve yanal kapatma işlemleri yapıldıktan sonra ambalajların kesilip ürünün ayrı birer paket haline gelme aşamasında önde ve arkada çalışan iki adet bıçak grubu vardır. Burada dikkate alınan ön bıçağa hareket veren ön bıçak sürücü milleridir.

İki parçalı muhafaza içine yerleştirilmiş olan ön bıçak, bu muhafazanın ön bıçak sürücü milleri üzerindeki destek parçalarına oturtulması ve muhafazanın cıvatalı bağlantı işlemiyle destek parçalarına sabitlenmesiyle monte edilmektedir. Çeşitli mekanik problemlerden dolayı birbirine paralel olarak çalışan ön bıçak sürücü millerinin paralelliklerinin bozulmasından ya da ön ve arka bıçakların istenilen biçimde çalışmamasından dolayı ön bıçak muhafazasının sabitlendiği destek parçaları zorlanmakta ve aşırı yüke maruz kaldığında da kaynak yerinden hasar görüp kırılmaktaydı. Asıl sorun hasara uğrayan mil ve destek parçalarının bakımının yapılmasında ortaya çıkmaktaydı. Çünkü yeni parçanın takılması ya da eskisinin onarılması için hasarlı parçaların sökülmesi gerekiyordu ki millerin sökülebilmesi için bunun öncesinde yaklaşık 5 saat uğraşıp millere sökülebilmesini engelleyen diğer parçaların sökülmesi gerekiyordu. Ayrıca sökülen hasarlı parçaların kaynatılıp onarılarak tekrar kullanılması çabası çoğu zaman hatanın kısa süre içinde tekrarlanmasına zemin hazırlıyordu. Bu nedenle bu parçada tasarım değişikliğine gidildi ve mil ile destek parçasının kaynaklı yapısından cıvatalı bağlantıya geçildi. **Şekil 5.10**'da ön bıçak sürücü millerinin yeni tasarımı görülmektedir. İlk etapta MUT ve BUT yöntemlerinin ortak kriteri olan parça çeşitliliği ve sayısının azaltılması prensibine ters düşülmüş olabileceği düşünülse ve orijinal tasarıma göre yeni

tasarımda parça sayısı 2’den 8’e çıksa da parçanın hasara uğraması durumunda hem maliyet hem de zamandan büyük tasarruf saplanmıştır.



Şekil 5.10: Ön bıçak sürücü milleri yeni tasarımı

Öncelikle yeni tasarımda hasar ya destek parçasında ya da civatada meydana geldiği için milde bir hasar oluşmamaktadır. Bu nedenle de düzeltici bakım esnasında milin çıkarılmasına gerek yoktur. Sadece destek parçalarının üzerine oturan ön bıçağı barındıran muhafaza çıkartılır daha sonra milin hasarlı destek parçası onarılır ya da yenisiyle değiştirilir yani düzeltici bakım süresinde çok önemli zaman tasarrufu sağlanmış olur.

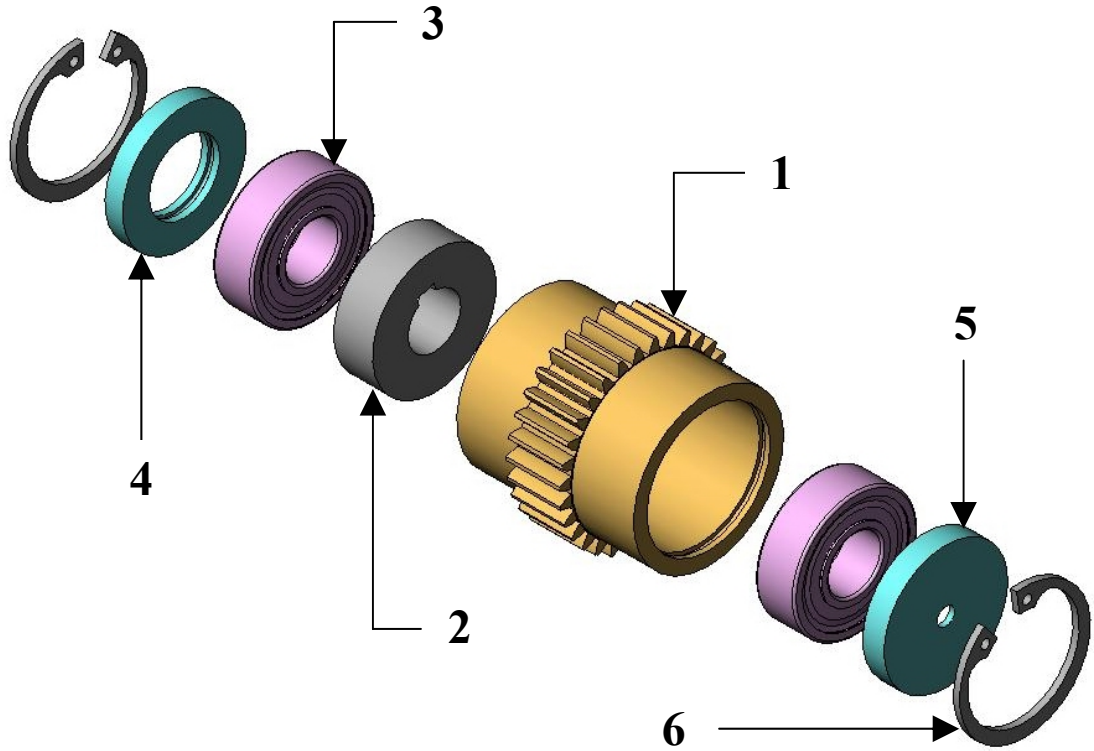
Tablo 5.10: Ön bıçak sürücü mili orijinal ve yeni tasarımların karşılaştırılması

	Parça	Parça Sayısı	Malzeme ve Üretim Maliyeti (Ytl / adet)	Toplam Ağırlık (kg)
Eski Tasarım	Mil	2	275,00	2,60
Yeni Tasarım	Mil	2	125,00	2,35
	Destek parçası	2	125,00	0,25

Tablo 5.10'da verilen tabloya bakıldığında değiştirilmesi gereken parçaların maliyetlerinde de azalma olduğu görülür. Bu montaj grubunda hasar oluştuğunda 275 ytl'lik mili değiştireceğimize yeni tasarımdaki 125 ytl'lik destek parçası değiştirilecektir. Ayrıca değiştirilecek olan parçaların ağırlığına bakıldığında depolama ve sevk anlamında da pozitif gelişmeler olduğu görülmektedir.

5.1.6. Kağıt Çekici Dişlilere Yapılan Uygulama

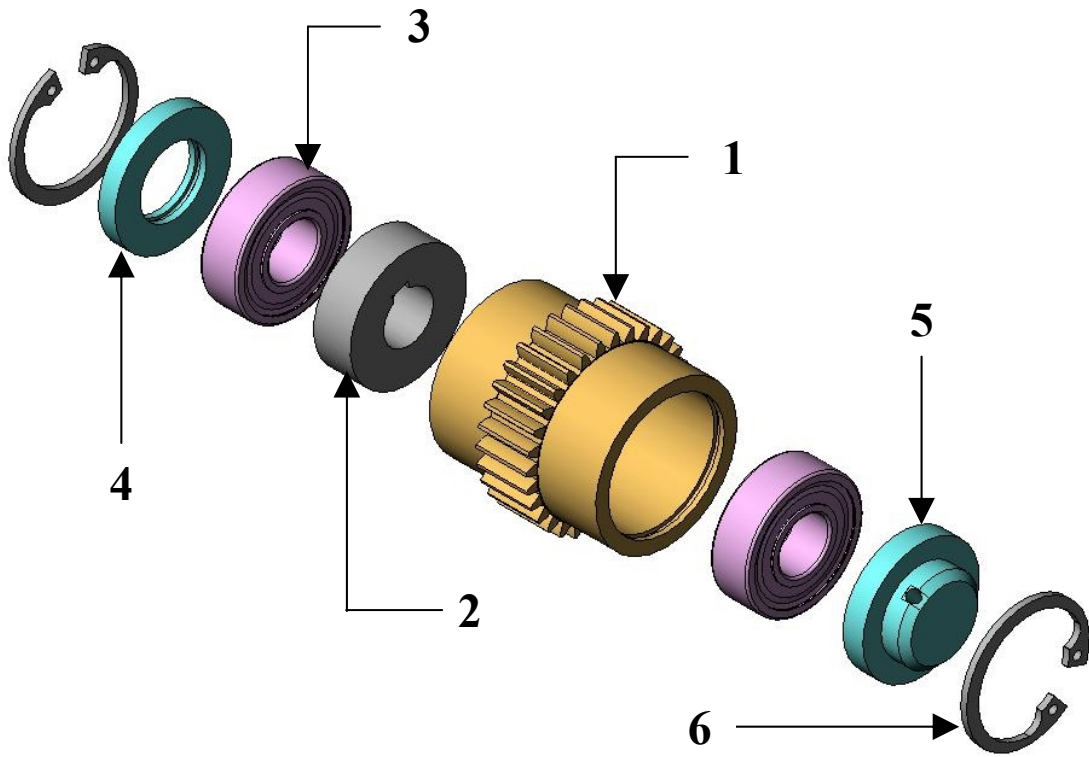
Sıvı paketlenme dolum makinesinde dolum borusuyla yanal yapıştırmanın yapıldığı bölge arasında “ kapı “ olarak adlandırılan bir kısım vardır. Bu kapı grubunda aynı tarafta ve birbirine ters yönde çalışan hareketini bir kramayer dişlisinden alan dişliler vardır. Bu dişlinin orijinal tasarımının patlatılmış montaj resmi **Şekil 5.11'**de gösterilmektedir.



Şekil 5.11: Kağıt çekici dişlilerin orijinal tasarımı

Dişliler kramayerden aldıkları hareketi kendilerine yataklık eden mile aktarırlar. Milin üzerine yerleştirilmiş kayış mekanizmasıyla da kağıdın gergin bir şekilde aşağıya doğru çekilmesine yardımcı olunur. Çünkü 2 nolu rulman tek yöne dönebilen bir rulman tipidir yani dişlilere yataklık yapan miller ve dolayısıyla kayışlar sadece bir yönde, kağıdı aşağıya doğru çekebilme yönünde dönebilirler.

Orijinal tasarımda görüldüğü gibi 4 nolu iç kapağın olduğu taraftan dişlilere yataklık eden mil geçtiği için bu kapak kapalı yapılamaz ama dişlilerin içine su veya meyve suyu girmesini önlemek amacıyla kapağın içinde mil ile arasındaki boşluğu dolduracak şekilde o-ring kullanılmaktadır. 5 nolu dış kapağın da sıvı girişini önlemek amacıyla kapalı olması gerekirken aynı zamanda rulmanların durumunu kontrol etmek, yağlama ihtiyacını kontrol etmek gibi ihtiyaçlar karşısında demontaj edilip çıkartılabilmesi için bir boşluğun ya da bir tutucu kısmının olması gerekmektedir. Bu nedenle de orijinal tasarımda dış kapağın ortasında demontajı kolaylaştıracak şekilde bir boşluk vardır ama buradan sıvı girişi önlenememektedir.



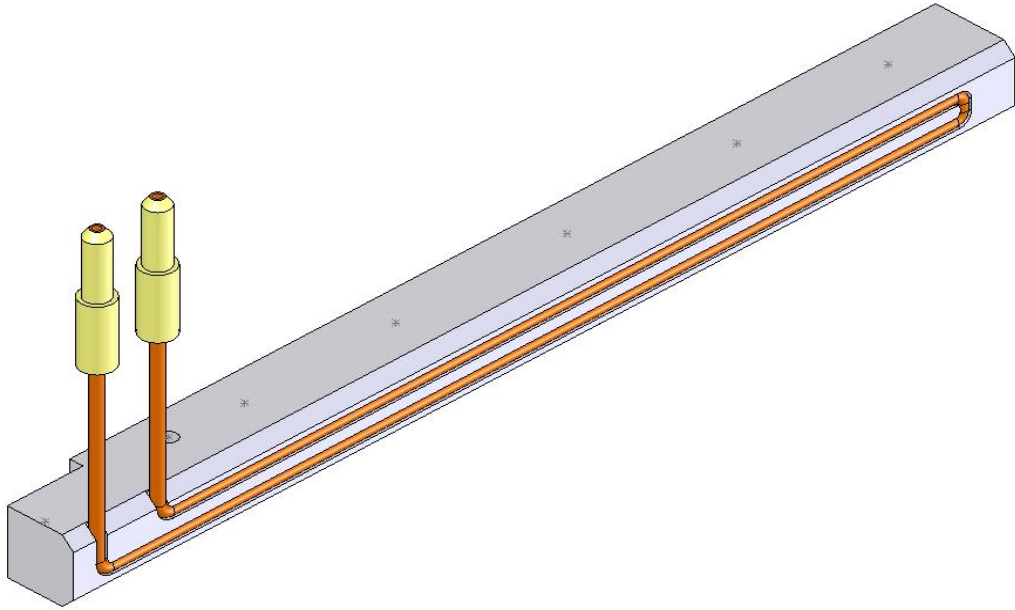
Şekil 5.12: Kağıt çekici dişlilerin yeni tasarımı

Ayrıca yine orijinal tasarımda parça çeşitliliği açısından iki ayrı dişli montajının yapılması gerekmektedir, çünkü ön veya arka dişli dönme eksenine dik yönde 180° döndürüldüğünde simetri ve tek yönlü rulmandan dolayı diğerinin yerine kullanılabilir olması gerekirken iç ve dış kapakların tasarımından dolayı bu mümkün olmamaktadır. Bu nedenlerle kağıt çekici dişlilerin tasarımında yenilemeye gidilmiştir. Şekil 5.12’de kağıt çekici dişlilerin yeni tasarımı gösterilmektedir. Yapılan tasarım değişiklikleriyle öncelikle iç ve dış kapağın faturaları eşitlenerek ön veya arka dişli dönme eksenine dik yönde 180° döndürüldüğünde simetri ve tek

yönlü rulmandan dolayı diğerinin yerine kullanılabilir olması sağlanmış, böylelikle MUT ve BUT'un kriterleri arasında sayılan parça çeşitliliğinin azaltılması ilkesi gözetilerek parça çeşitliliğinin azaltılması sağlanmıştır. Diğer yandan dış kapakta yapılan tasarım değişiklikleriyle de hem dışlinin içerisine sıvı girişi önlenmiş hem de kapak demontaja kolay hale getirilmiştir.

5.1.7. Yanal Yapıştırma Parçasına Yapılan Uygulama

Dolum makinelerinde düşey yapıştırma yapıldıktan sonra ve kağıt kesilmeden önceki bölümde yanal yapıştırma denilen işlem yapılmaktadır. Eğer bu bölümde kağıt iyi yapıştırılmazsa ilk anda görülmeyen belki günler sonra ortaya çıkabilen akıntılar meydana gelebilir ki bu da bitmiş ürünün ziyan olması demektir. Bu nedenle yanal yapıştırmanın çok önemli bir işlevi vardır. bu tip makinelerde yapıştırma işlevi yüksek frekans sisteminden sağlanan enerjiyle yapılmaktadır. Bu parçada görülen hatalar genellikle bakır borunun yüksek sıcaklık nedeniyle çatlaması ve parçanın bakır boruların gömüldüğü ön yüzeydeki birbirine paralel uzanan bakır borular arasındaki alanda yüksek sıcaklıktan dolayı eriyen bazı polietilen zerreciklerinin çukurlar açması bununda yapıştırmanın kalitesini düşürmesiydi. **Şekil 5.13'**de yanal yapıştırma parçasının yeni tasarımı görülmektedir.



Şekil 5.13: Yanal yapıştırma parçası yeni tasarımı

Yüksek sıcaklıklarda bakır boruyu soğutmak için borunun içerisinden geçen soğutma suyunun yetersiz kaldığının görülmesi üzerine yenilenen tasarımda bakır borunun çapı Ø2'den Ø3'e büyütülüp yeterli soğutmanın oluşması ve bakır borunun çatlamaması sağlanmıştır. İkincil olarak bakır boruların parçanın ön yüzüne gömülme miktarı azaltılmıştır. Bu daha geniş bir bakır boru yüzeyinin kağıtla temasına izin verdiğinden yanal yapıştırma işleminin kalitesi artırılmıştır. Üçüncül olarak yapıştırma bölgesinde kağıdın yüzeyindeki polietilen tabakasından, yapıştırma anında yüksek sıcaklıktan dolayı eriyen ve kontrol edilemeyen polietilen zerrecikleri fırlamakta ve bunlar paralel bakır borular arasındaki yüzeye zarar vermekteydi. Bu yüzeyde oluşan hasar parçanın kağıtta yaptığı yapıştırmanın kalitesini düşürmekte sonuç olarak ta sızdıran ve çöpe atılan ürünler karşımıza çıkmaktaydı. İşte bunun önlenmesi için gövdeyi oluşturan mühendislik plastiği esaslı malzemede değişikliğe gidilmiştir. **Tablo 5.11**'de eski ve yeni malzemeye ait bazı özellikler görülmektedir.

Tablo 5.11: Yatay yapıştırma parçasının orijinal ve yeni malzemelerinin karşılaştırılması

Özellik	Birim	Eski Malzeme	Yeni Malzeme
Yoğunluk	(gr. / cm ³)	1,39	1,31
Erime Noktası	(°C)	255	340
Isıl Genleşme Katsayısı (ortalama çalışma sıcaklığı 23-150° C ise)	(m / m.K)	80.10 ⁻⁶	50.10 ⁻⁶
İzin verilen en yüksek çalışma sıcaklığı (hava ortamında)	(°C)	160	310

Tablo 5.11'den de anlaşılacağı gibi erime noktası ve izin verilen maksimum çalışma sıcaklığı daha yüksek, basmaya karşı daha mukavemetli bir ürün seçilerek bu parçada malzemeden kaynaklanan hataların telafisine çalışılmıştır. Diğer yandan orijinal ürünün malzeme ve üretim maliyeti 140 ytl iken yeni tasarımın malzeme ve üretim maliyeti 240 ytl'ye çıkmıştır ki bu da parça maliyetinde yaklaşık %71,5'lik bir artışı beraberinde getirmiştir.



Şekil 5.14: Yanal yapıştırma orijinal tasarımına ait bir görünüş

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te aynı ortamda çalışan iki dolum makinesinde aynı anda çalışmaya başlayan yatay yapıştırma parçalarının 400 çalışma saati sonra çekilen fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.15: Yanal yapıştırma yeni tasarımına ait bir görünüş

Şekil 5.14 ve **Şekil 5.15**'deki fotoğraflardan incelendiğinde fark açık olarak görülmektedir. Kabul etmek gerekir ki eski tasarımdaki aşınma yeni tasarımdaki aşınmanın iki katından çok daha fazladır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı, ürün tasarımı sürecine farklı bir mühendislik anlayışıyla bakan, çok çeşitli sanayi alanlarında, akademik ortamlarda tartışılan ve her geçen gün daha fazla uygulama alanı bulan eşzamanlı mühendislik yaklaşımı ile bu yaklaşımın bünyesinde barındırdığı tasarım araçlarının özelliklerinin kavranması, bu araçlardan MUT ile BUT yöntemleri kullanılarak çeşitli uygulamaların yapılması ve elde edilen sonuçlara göre bu yöntemlerin savunduğu kriterlerin geçerliliğinin ortaya konulmasıydı.

Bu amaçla öncelikle eşzamanlı mühendisliğin sıralı mühendislikten farkı tartışıldı; eşzamanlı mühendisliğin çalışma ortamı ile uygulama alanları açıklandı ve bu felsefenin bünyesinde barındırdığı tasarım araçlarının genel özellikleri, tasarım becerileri, avantajları, dezavantajları incelendi. MUT ve BUT yöntemleri hakkında detaylı çalışmalar yapıldı. Sonra Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi ve BUT yönteminin temel tasarım kriterleri belirlendi. Yapılan uygulamalarla da belirlenen tasarım kriterlerinin geçerliliği sınandı.

Ele alınan birinci uygulamada varolan sökülebilir bağlantı elemanlarının sayısı, fiziksel koşullardan dolayı azaltılamadığı için MUT yöntemi açısından dikkate değer bir verim artışı sağlanamadığı gibi sökülebilir bağlantıların sayısının azaltılmasının MUT yöntemi açısından önemi anlaşıldı. Ayrıca yapılan tasarım değişiklikleriyle montaj yönü ile sökülebilir bağlantı elemanlarının çeşitliliği azaltıldığı için montaj ve bakım esnasında kullanılacak ekipman çeşitliliğinin azalmasının önemi görüldü.

İkinci ve üçüncü uygulamalarda gereksiz sökülebilir bağlantı elemanlarının elemine edilmesi, parça sayısının azaltılması, parça yapılarının basitleştirilmesi ile hem MUT hem de BUT kriterleri haklı çıkartacak derecede zamandan, montaj maliyetlerinden ve üretim maliyetlerinden tasarrufa gidildiği görülmüştür. Özellikle üçüncü örnekteki malzeme ve üretim maliyetlerinin yaklaşık %91 oranında azalması dikkat çekicidir.

Dördüncü ve altıncı uygulamalarda parça çeşitliliği ile sayısının azaltılmasının ayrıca bir parçayı tasarlarlarken o parçanın olabildiğince standardize edilip diğer parçaların da

yerine kullanılabilmesinin MUT ve BUT açısından ne kadar önemli bir kriter olduğu açıkça görüldü.

Beşinci uygulamada ise bazı koşullarda BUT yöntemi açısından verim alabilmek için özellikle fiziksel ve görsel olarak erişimin sınırlı olduğu alanlarda bir takım parçaların birbirinden ayrılmasının gerektiği, bunun parça maliyetleri ve bakım süreleri açısından tasarrufa yardımcı olduğu anlaşıldı.

Yedinci uygulamada da arzulanan fonksiyonu yerine getirecek ürünü tasarlarırken malzeme seçiminin ve fonksiyonu yerine getirecek parçanın güvenilirliğinin önemi kavranmıştır.

Genel olarak bu çalışma boyunca yapılan uygulamalara bakıldığında MUT ve BUT yöntemlerinin kullanmasının ürün tasarım sürecini kısalttığı, üretim maliyetleri azalttığı, montaj sürelerini azalttığı, ürün kalitesini ve güvenilirliğini arttırdığı, bakım sürelerini kısalttığı görülmüştür.

Sonuç olarak denilebilir ki, eşzamanlı mühendislik felsefesi ve bu felsefenin önemli tasarım araçlarından ikisi olan MUT ve BUT yöntemleri dikkate alınarak yapılacak ileriki tasarım çalışmaları ister yeni bir ürün, makine veya sistem geliştirilmesi olsun ister varolan bir tasarımın eksiklerinin giderilmesi çalışması olsun, ürün geliştirme sürelerinin ve maliyetlerinin azalacağı, ürün kalitesinin ve güvenilirliğinin kayda değer şekilde artacağı kesindir.

KAYNAKLAR

- [1] **Singh, N.**, 1996. Systems Approach to Computer Integrated Design and Manufacturing, pp. 103-397, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [2] **Cengiz, B.Y., Öztürk, Y.Y.**, 1995. Dizayn kalitesinin oluşturulmasında eşzamanlı mühendislik yaklaşımı, IV. *Ulusal Kalite Kongresi*, İstanbul, 08-09 Kasım, s. 85-91.
- [3] **Özbaş, E.**, 1999. Eşzamanlı mühendislik esasları ve bazı uygulama yaklaşımları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Hsiao, S.W.**, 2002. Concurrent Design Method for Developing A New Product, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **29**, 41-55.
- [5] **Livatyah, H.**, 2006. Computer Integrated Manufacturing Lecture Slides, İ.T.Ü. Department of Mechanical Engineering, İstanbul.
- [6] **Baykara, U.**, 1995. Kalite güvencesinde güvenilirlik tasarımı, IV. *Ulusal Kalite Kongresi*, İstanbul, 08-09 Kasım, s. 375-396.
- [7] **Montgomery, M.R.**, 2004. A case study comparison of DFA methods: Boothroyd&Dewhurst vs Axiomatic design, *University of Texas Department of Mechanical Engineering, Austin..*
- [8] **Kuo, T.C., Huang, S.H. and Zhang, H.C.**, 2001. Design for Manufacture and Design for X: Concepts, Applications and Perspectives, *Computers & Industrial Engineering*, **41**, 241-260.
- [9] **Demir, U.**, 2004. Eşzamanlı mühendislikte montaja uygun tasarım ve üniversal asansör kabin kapılarına uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Redford, A. and Chal, J.**, 1994. Design for Assembly Principles and Practice, McGraw_Hill Book Company, London.
- [11] **Stone, B.R., McAdams, D.A. and Kayyalethekkel V.J.**, 2004. A Product Architecture-Based Conceptual DFA Technique, *Design Studies*, **25**, 301-325.

- [12] **Edwards, K.L.**, 2002. Towards More Strategic Product Design for Manufacture and Assembly: Priorities for Concurrent Engineering, *Material and Design*, **23**,651-656.
- [13] **Boothroyd, G.**, 2005. Assembly Automation and Product Design, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- [14] **Imrhan, S.N.**, 1992. Equipment Design for Maintenance, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **10**, 35-52.

Tablo A.1: Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi elle taşıma zamanı tablosu

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	6 mm ≤ size >15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	Size >15 mm	6 mm ≤ 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	$(\alpha + \beta) < 360^\circ$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98	
	$360^\circ \leq (\alpha + \beta) < 540^\circ$	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38	
	$540^\circ \leq (\alpha + \beta) < 720^\circ$	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7	
	$(\alpha + \beta) = 720^\circ$	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4	
ONE HAND with GRASPING AIDS		Parts need tweezers for grasping and manipulation								Parts need standard tools other than tweezers	Parts need special tools for grasping and manipulation		
		Parts can be manipulated without optical magnification				Parts require optical magnification for manipulation							
		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present handling difficulties (1)		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present handling difficulties (1)					
		Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm	Thickness >0.25 mm	Thickness ≤0.25 mm				
Parts can be grasped and manipulated by one hand but only with the use of grasping tools	$\alpha \leq 180^\circ$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7	
	$\beta = 360^\circ$	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8	
	$\alpha \leq \beta \leq 180^\circ$	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9	
TWO HANDS for MANIPULATION	$\alpha = 360^\circ$	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10	
	$\beta = 360^\circ$												
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)	Parts present no additional handling difficulties					Parts present additional handling difficulties (e.g. sticky, delicate, slippery, etc.) (1)					Parts severely nest or tangle or are flexible (2)	Two persons or mechanical assistance required for parts manipulation	
	$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$		$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$				
	Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm	Size >15 mm	6 mm ≤ size ≤15 mm	Size <6 mm	Size >6 mm	Size ≤6 mm			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
TWO HANDS or assistance required for LARGE SIZE	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7		
	Parts can be handled by one person without mechanical assistance												
	Parts do not severely nest or tangle and are not flexible												
	Part weight <10 lb					Parts are heavy (>10 lb)							
Two hands, two persons or mechanical assistance required for grasping and transporting parts	Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present other handling difficulties (1)		Parts are easy to grasp and manipulate		Parts present other handling difficulties (1)		Parts severely nest or tangle or are flexible (2)		Two persons or mechanical assistance required for parts manipulation		
	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$					
	0	1	2	3	4	5	6	7					
	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9		

Tablo A.2: Boothroyd&Dewhurst MUT yöntemi elle ekleme zamanı tablosu

			Alter assembly no holding down required to maintain orientation and location (3)				Holding down required during subsequent processes to maintain orientation at location (3)														
			Easy to align and position during assembly (4)		Not easy to align or position during assembly		Easy to align and position during assembly (4)		Not easy to align or 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)											
			0	1	2	3	6	7	8	9											
Key: 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	0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5										
		Due to obstructed access or restricted vision (2)	1	4	5	5	6	8	9	9	10										
		Due to obstructed access and restricted vision (2)	2	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5										
PART SECURED IMMEDIATELY	Addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately	Part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily	No screwing operation or plastic deformation immediately after insertion (snap/press fits, circlips, spire nuts, etc.)	Easy to align and position with no resistance to insertion (4)	Not easy to align or position during assembly and/or resistance to insertion (5)	Easy to align and position during assembly (4)	Plastic deformation immediately after insertion		Screw tightening immediately after insertion												
		Plastic bending or torsion					Rivetting or similar operation														
		Not easy to align or position during assembly					Not easy to align or position during assembly														
		Due to obstructed access or restricted vision (2)	Easy to align and position with no resistance to insertion (4)	Not easy to align or position during assembly and/or 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 during assembly (4)	No resistance to insertion	Resistance to insertion (5)	Easy to align and position with no torsional resistance (4)	Not easy to align or position and/or torsional resistance (5)									
		0											1	2	3	4	5	6	7	8	9
		3											2	5	4	5	6	7	8	9	6
		Due to obstructed access and restricted vision (2)	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5								
		5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12									
SEPARATE OPERATION	Assembly processes where all solid parts are in place		Mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)				Non-mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)			Non fastening processes											
			None or localized plastic deformation				Metallurgical processes														
			Bending or similar process	Rivetting or similar processes	Screw tightening or other processes	Bulk plastic deformation (large proportion of part is plastically deformed during fastening)	No additional material required (e.g. resistance, friction welding etc.)	Additional material required		Chemical processes (e.g. adhesive bonding, etc.)	Manipulation of parts or sub-assembly (e.g. orienting, fitting or adjustment of parts, etc.)	Other processes (e.g. liquid insertion, etc.)									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
			9	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12								

ÖZGEÇMİŞ

04 Aralık 1979 tarihinde İzmir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmir’de çeşitli okullarda tamamladıktan sonra 1998 yılında İzmir Atatürk Lisesi’ni iyi dereceyle bitirdi. 1999 yılında girdiği Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2004 yılında iyi dereceyle mezun oldu. Halen İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında yüksek lisans öğrencisidir. Mart 2005 tarihinden beri de bir sanayi kuruluşunda bakım mühendisi olarak çalışmakta ve profesyonel yaşantısını devam ettirmektedir.