

SİSTEMATİK YAKLAŞIMLA KOLAY MONTAJ İÇİN TASARIM

Tuncay BAYYİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2013
ANKARA**

Tuncay BAYYİĞİT tarafından hazırlanan “SİSTEMATİK YAKLAŞIMLA KOLAY MONTAJ İÇİN TASARIM” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

.....

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

.....

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN

.....

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tez Savunma Tarihi: 19/04/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Tuncay BAYYİĞİT

SİSTEMATİK YAKLAŞIMLA KOLAY MONTAJ İÇİN TASARIM**(Yüksek Lisans Tezi)****Tuncay BAYYİĞİT****GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****Nisan 2013****ÖZET**

Son yıllarda “Montaj İçin Tasarım” ile ilgili yoğun çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalarda montaj kaynaklı problemleri belirleme, önleme veya azaltma amaçlı farklı yöntemler geliştirilmiştir. Aslında bu yöntemler parça geometrisi ve boyutsal problemleri montaj açısından dikkate alıp azaltmaya çalışır. Sistem karmaşıklık seviyesine bağlı olarak parça birleştirme sırası ve tasarımı farklı şekillerde yapılabilir. Bunlardan en uygun olanını seçmek montaj sırası planlama veya montaj için tasarımın konusudur. Bu çalışma, kolay montaj için tasarımda bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen yaklaşım, geçerli montaj planlarının belirlenmesi ve montaj sistemlerinin tümüne karşılık gelen parçaların seçilmesi ile kolay montaj için tasarımı oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sistematik yaklaşımla tasarlanan parçaların basit geometrilere sahip olması için tasarım unsurlarını kullanarak kolay montajı oluşturmaktır. Parça sayısını ve maliyetlerini azaltmak için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca farklı uygulama çalışmaları ile kolay montaj, tasarım verimliliği ve maliyet analizleri gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 708.1.090
Anahtar Kelimeler : Tasarım unsuru, montaj yöntemi, sistematik yaklaşım
Sayfa Adedi : 94
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

DESIGN FOR EASY ASSEMBLY BASED ON SYSTEMATIC APPROACH**(M.Sc. Thesis)****Tuncay BAYYİĞİT****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****April 2013****ABSTRACT**

Extensive studies have been conducted on “Design For Assembly” in recent years. In those studies, different methods have been developed to determine, prevent or reduce the assembly-related problems. Actually, these methods try to consider part geometry and dimensional problems in terms of assembly and reduce them. Depending on the complexity level of the system, the assembly order and design of the parts may be done in different ways. Selecting the most suitable one from among these ones is the subject of the planning of the assembly order or the design for assembly. This study presents an approach to the design for easy assembly. The suggested approach forms the design for easy assembly by determining the valid assembly plans and selecting the parts corresponding to all of the assembly systems. The aim of this study is to form easy assembly by using design features in order that the parts designed with the systematic approach have simple geometry. Several studies were carried out so as to reduce the number of parts and the costs. In addition, the easy assembly, design efficiency and costs analyses were shown with different application studies.

Science Code : 708.1.090**Key Words : Design feature, assembly method, systematic approach****Page Number : 94****Adviser : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ**

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü maddi ve manevi destek sağlayan, araştırmalarımnda bana sabırla yol gösteren, benden değerli birikimlerini, düşüncelerini ve zamanını esirgemeyen danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu günlere gelmemde çok büyük emeği olan rahmetli anne ve babama, çalışmam süresince beni yalnız bırakmayan kıymetli arkadaşlarım Serkan SİVRİ ile Halil İbrahim KORKMAZ'a, aynı zamanda uygulamalar bölümünde benden desteğini esirgemeyen değerli dostum Ömer KIZIL'a ve çalışmalarımnda bana destek olan biricik eşim Rümeysa BAYYİĞİT'e saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. KOLAY MONTAJ İÇİN YÖNTEM VE SÜREÇLER	8
3.1. Üretim Yönetiminin Gelişimi	8
3.2. İmalat ve Montaj Süreci	13
3.2.1. İmalat sistemlerinin iyileştirilmesi	14
3.2.2. İmalat teknolojisinin geliştirilmesi.....	16
3.2.3. Montajın ve montaj teknolojisinin geliştirilmesi	17
3.2.4. Montaj tasarımının iyileştirilmesi	20
3.3. Montaj Planlarının Belirlenmesi	23
3.4. Montaj Yöntemi ve Sürecini Etkileyen Faktörler	27
3.4.1. Montaj yöntemindeki başarı ve başarısızlık.....	27
3.4.2. Hatalı montajın nedenleri	29

Sayfa

4. MÜHENDİSLİK TASARIMINDA UNSUR KAVRAMI	31
4.1. Montaj Unsuru	32
4.2. Montaj İçin Yardımcı Unsurlar	33
4.3. Montaj İçin Tasarım Kılavuzları	36
4.4. Tasarımda Unsur Süreci	40
4.5. Kolay Montaj İçin Tasarım Unsurları	41
5. KOLAY MONTAJ İÇİN TASARIM METODOLOJİSİ	46
5.1. Kolay Montaj Tasarım İlkeleri	47
5.2. DFA Sistemleri	49
5.2.1. Tasarım prensipleri ve tasarım kuralları olan DFA sistemleri	49
5.2.2. Nicel değerlendirme yöntemleri kullanan DFA sistemleri	50
5.2.3. Bilgi tabanlı yaklaşımlar kullanan DFA sistemleri	50
5.2.4. Bilgisayar destekli yöntemler kullanan DFA sistemleri	52
5.3. Montaj Edilebilirlik Ölçümleri ve Yöntemleri	52
5.3.1. Nicel montaj edilebilirlik ölçümler	53
5.3.2. Nitel montaj edilebilirlik ölçümler	54
5.3.3. Boothroyd-Dewhurst yöntemi	56
5.3.4. Hitachi değerlendirme yöntemi	58
5.3.5. Lucas değerlendirme yöntemi	62
5.3.6. IPA Stuttgart yöntemi	65
5.4. Kolay Montaj Tasarım Metodolojilerini Kıyaslama	68

Sayfa

6. KOLAY MONTAJ İÇİN TASARIM UYGULAMALARI	71
6.1. Küçük Ölçekli Tüketici Ürünü Montajına Yapılan Uygulama	71
6.2. Pnömatik Kriko Mekanizması Yeniden Tasarımı İçin Yapılan Uygulama ...	74
6.3. Pnömatik Piston Alt Montajı İçin Yapılan Uygulama	78
6.4. Oyuncak Kutusu Mekanizması Alt Montajına Yapılan Uygulama	81
6.5. Sebze Doğrayıcı Alt Montajına Yapılan Uygulama	84
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	94

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Üretim gelişiminin tarihsel süreci	11
Çizelge 3.2. İleri İmalat Teknolojileri	16
Çizelge 3.3. Montaj planlama için geliştirilen yaklaşımlar	25
Çizelge 5.1. Montaj odaklı tasarım süreci	66
Çizelge 5.2. Montaj tasarımı metodolojileri için kıyaslama tablosu	69
Çizelge 6.1. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı orijinal tasarım maliyet analizi ..	72
Çizelge 6.2. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı yeniden tasarım maliyet analizi .	73
Çizelge 6.3. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı için orijinal ve yeni tasarımın karşılaştırılması	74
Çizelge 6.4. Pnömatik krik mekanizması montajı orijinal tasarım maliyet analizi .	75
Çizelge 6.5. Pnömatik krik mekanizması montajı yeniden tasarım maliyet analizi	77
Çizelge 6.6. Pnömatik krik mekanizması montajı için orijinal ve yeni tasarımın karşılaştırılması	77
Çizelge 6.7. Pnömatik piston alt montajı için işlem tablosu	79
Çizelge 6.8. Pnömatik piston alt montajı yeniden tasarım için işlem tablosu	79
Çizelge 6.9. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı orijinal tasarımı için değerlendirme tablosu	82
Çizelge 6.10. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı için yeniden tasarım için değerlendirme tablosu	83
Çizelge 6.11. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı için orijinal ve yeniden tasarımın karşılaştırılması	84
Çizelge 6.12. Sebze doğrayıcı alt montajı orijinal tasarım değerlendirme tablosu...	86

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.13. Sebze doğrayıcı alt montajı yeniden tasarım değerlendirme tablosu...	87
Çizelge 6.14. Sebze doğrayıcı alt montajı için orijinal ve yeniden tasarımın karşılaştırılması	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Ürüne dayalı süreç modeli	13
Şekil 3.2. Sürekli iyileştirme çevrimi	15
Şekil 3.3. Farklı montaj süreçlerinin performans özellikleri	18
Şekil 3.4. Montaj tasarımının iyileştirilmesi için kolaylaştırıcı teknolojiler	21
Şekil 3.5. Kolay montaj için tasarım iyileştirme örneği	22
Şekil 3.6. Montaj planlama sistemi	24
Şekil 3.7. Yönlendirme amaçlı pah kırmaların yapılması	29
Şekil 4.1. Farklı vida türü eklemelerinin toplam maliyetleri örneği	34
Şekil 4.2. Montaj genel oluşum tasarımı şekillendirme kılavuzları	37
Şekil 4.3. Montaj ara yüzleri tasarımı şekillendirme kılavuzları	39
Şekil 4.4. Unsur tanım ve örnekleri	40
Şekil 4.5. Geçme parçalarda havşa açma veya pah kırma	42
Şekil 4.6. İşlenecek yüzeyleri azaltma	42
Şekil 4.7. Pim veya civatanın yüzey eksenine dik olması	42
Şekil 4.8. Geçme köşelerine yiv açılması	43
Şekil 4.9. Konik parça montajı	43
Şekil 4.10. Uygun geçme toleransının tespiti	44
Şekil 4.11. Bir hidrolik piston çubuğunun merkezlenmesi	45
Şekil 4.12. Civataların iki ayrı parçaya vidalanmaması	45
Şekil 4.13. Kolay montaj için anahtar ve tutma yeri bırakılması	45

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Montaj işlemleri zaman aralığı	48
Şekil 5.2. Montaj işlemlerinde montaj zamanını etkileyen tasarım faktörleri	48
Şekil 5.3. Bilgi tabanlı sistemlerin bileşenleri	51
Şekil 5.4. Vida saplamaları için göreceli montaj maliyetleri	53
Şekil 5.5. Montaj edilebilirlik ve tasarım iyileştirme akış diyagramı	59
Şekil 5.6. AEM sembolleri ve ceza skorlarına örnekler	61
Şekil 5.7. Montaj edilebilirliğin değerlendirmesi ve iyileştirmesine örnek	62
Şekil 5.8. Lucas DFA (montaj tasarımı) sisteminin mimarisi	63
Şekil 5.9. Lucas DFMA (Mekanik montaj tasarımı) yöntemi	64
Şekil 5.10. Etki faktörü cezaları	68
Şekil 6.1. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı orijinal tasarımı	71
Şekil 6.2. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı yeni tasarımı	73
Şekil 6.3. Pnömatik krika mekanizması orijinal tasarımı	75
Şekil 6.4. Pnömatik krika mekanizması yeniden tasarımı	76
Şekil 6.5. Pnömatik piston alt montajı	78
Şekil 6.6. Pnömatik piston alt montajı yeniden tasarımı	80
Şekil 6.7. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı orijinal tasarımı	81
Şekil 6.8. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı yeniden tasarımı	83
Şekil 6.9. Sebze doğrayıcı alt montajı orijinal tasarım	85
Şekil 6.10. Sebze doğrayıcı alt montajı yeniden tasarım	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
AEM	Montaj Edilebilir Değerlendirme Yöntemi – Assemblability Evaluation Method
ALB	Montaj Hattı Dengeleme - Assembly Line Balancing
ASF	Montaj Sıralama Akış Şeması - Assembly Sequence Flowchart
B-Rep	Sınır Temsili - Boundary Representation
BDİ (CAM)	Bilgisayar Destekli İmalat – Computer Aided Manufacturing
BDİP/CAPP	Bilgisayar Destekli İşlem Planlama – Computer Aided Process Planning
BDM/CAA	Bilgisayar Destekli Montaj – Computer Aided Assembly
BDT/CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım – Computer Aided Design
BBİ/CIM	Bilgisayar Bütünleşik İmalat – Computer Integrated Manufacturing
CM	Toplam montaj maliyeti
CNC/BS	Bilgisayar Sayısal Denetim – Computer Numeric Control
DFA	Design For Assembly – Montaj İçin Tasarım
DFM	Design For Manufactury – İmalat İçin Tasarım
E	Montaj edilebilirlik değerlendirme skoru oranı
EM	Elle montaj etkinliği
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması
FMS	Esnek İmalat Sistemleri (Flexible Manufacturing Systems)
GT	Grup Teknolojisi
Hms	Hareket – montaj - sayı
İİT	İleri İmalat Teknolojileri

Kısaltmalar	Açıklama
JIT	Tam Zamanında Üretim – Just in Time
K	Montaj maliyet skoru oranı
KMIT	Kolay Montaj İçin Tasarım
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MMAL	Çoklu Model Montaj Hatları – Multi Model Assembly Lines
MU	Montaj Unsuru
NC	Sayısal Kontrol - Numeric Control
NDF	Number of Degrees of Freedom / Serbestlik Derecesi Sayısı
NM	Teorik minimum parça sayısı
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrol – Programmable Logic Control
SCADA	Veri Tabanlı Gözetleme ve Kontrol Sistemleri
SMAL	Tekli Model Montaj Hatları – Single Model Assembly Lines
Tm	Tasarım - montaj
TM	Toplam elle montaj süresi
Zm	Zaman - montaj
2B	İki Boyut – Two Dimensional
3B	Üç Boyut – Three Dimensional

1. GİRİŞ

Günlük hayatta kullanılan pek çok ürünün, imalat için gerekli olan bütün unsur ve özelliklerinin belirlenmesi faaliyetleri tasarımıyla gerçekleşir. Tasarım işlemi; bir amaca yönelik düşünsel üretimdir. Tasarımın amacı ise, var olan sistemi ya da yapıyı günün ya da çevrenin şartlarına göre düzenlemedir. Diğer bir ifade ile tasarım, farklılıkları bulma, sorgulama, yaratıcı düşünme, akıl yürütme gibi üst düzey zihinsel süreçlerin uygulandığı bir faaliyet alanı olup yararlı bir ürün geliştirmeyi amaçlar. Bu faaliyet alanları da; makine, kimya, mimari, mobilya, elektronik, grafik vb. gibi birçok farklı uygulama dalına hitap edebilir. Yalnızca makine tasarımını ele alırsak, endüstriyel iş makinelerinden otomotive, robotlardan bilgisayar parçalarına, uçak parçalarından uzay araçlarına kadar çok geniş bir uygulama alanını kapsar. Kısacası makine tasarımı, tüm teknolojilere tesir etmektedir. Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) ve Bilgisayar Destekli İmalat (BDİ), yüksek teknolojik içerikli uygulamalar gerektiren makine sistemleri geliştirmek için bilgisayar yardımı ile kullanılan uygulamalardır ve makine tasarımında yaygın olarak kullanılır. Genelde BDT/BDİ sistemleri tasarım çözümünden ziyade tasarımların modellenmesine veya imalatına destek sağlayan sistemlerdir.

Son 30 yılda imalat araştırmalarının odak noktası dikkate değer bir değişim geçirmiştir. Bunun öncesinde, gelişmelerin sonucunda oluşan kazanç potansiyelinin bunun için gösterilen çabanın masrafını karşılamadığı ortaya çıkana dek, çoğu girişim birincil imalat süreçlerine odaklanmıştır. Yüksek bütçeli ürünlerin imalatında maliyetin düşürülmesi için izlenmesi gereken yöntem, değişik kaynaklardan alınan öğeleri bir araya getirerek aynı şekilde ve aynı şartlar altında montajı gerçekleştirmektir. Ayrıca, hem elle montaj hem de artan oranlarda otomasyon için montaj maliyetini düşürmenin en etkili yönteminin kaliteli ürün tasarımından geçtiği gerçeği görünürlük kazanmıştır. İşte bu yüzden bir makine, düzenek ya da cihazın tasarımı yapılırken montaja uygun bir şekilde tasarım yapılmasına dikkat edilmesi gerekir.

Bir sistemde yer alan çeşitli parçaların belirli bir sıra ve düzen içinde birleştirilme işlemine montaj denir. Geniş kapsamı içinde montaj, “bir makineyi meydana getiren çeşitli parçaların bir araya getirilmesini kapsayan işlemler” olarak tanımlanabilir. Montaj için tasarım (Design For Assembly - DFA) alanında çeşitli akademik ve ticari çevrelerce yoğun araştırmalar yürütülmektedir. Teknoloji alanında yapılan tüm çalışmalar, daha az zaman ve maliyetle istenilen kalitede üretim yapmayı hedeflemektedir. Bir mamulün imalat maliyetinin yaklaşık %70'i, bu mamulün tasarım ve hazırlık işlemleri sürecinde belirlenmektedir [1].

Tasarım esnasında kullanılan parça sayısı, kullanım kolaylığı, düşük maliyet gibi konuların düşünülmesi gerekir. Bu ise ancak, kolay montaj için tasarım yaklaşımı ile sağlanabilir. Kolay montaj için tasarım (KMİT) yaklaşımı; tasarımı inceleme, gereksiz parçaları çıkartma, montaj etkinliğini iyileştirme ve maliyeti azaltmayı amaçlamaktadır. Bir tasarımcının esas amacı; tasarıma başlarken, montaj açısından tasarımı nasıl verimli hale getiririm düşüncesiyle hareket etmesidir. Bu bakış açısı, imalat mühendislerinin üretime başlamadan önce sağlıklı kararlar vermesi bakımından son derece hassas bir uygulamadır.

Kolay montaj için tasarımda, önce iyi bir yöntem seçilir ve bir ürünün manuel (elle) montajda ya da otomatik montajda daha uygun olup olmadığı belirlendikten sonra sistem oluşturulur. Bu sistem, montaj işleminin farklı aşamalarında değişen tamamen elle (yardımsız operatör) veya bir montaj makinesi nonsynchronous (eş zamanlı olmayan güç ve ücretsiz konveyör) yani, programlanabilir genel amaçlı iki kollu bir makine sayesinde farklı aşamaları tanımlar [2]. Tasarıma başlarken bu önemli hususlara dikkat edilmelidir. Tasarımcı kafasında önce kullanacağı yöntemi düşünerek bir taslak oluşturmalıdır. Bununla beraber, tasarımcı kolay montaj için bir tasarıma başlarken farklı yöntemleri de göz önünde bulundurmalıdır. Çoğunlukla ilk tasarım hususları dışında elle ve otomatik montaj yöntemleri arasındaki seçimi etkileyen bir dizi önemli faktörlerde vardır. Bu önemli faktörler şunlardır [2]:

- Montaj için yüksek maliyetli bir operatör kullanma (bir montaj operatörünün bir vardiyadaki maliyetinin yerine bir şirket miktarı yatırım yapılması)

- Ürünün bir vardiyadaki yıllık üretim miktarı
- Komple montajda oluşturulan parçaların sayısı
- Bir makinenin parçalarından monte edilmiş farklı ürün stillerinin sayısı
- Montaj için uygun parçaların kusurlu parçalara oranı

Tasarımcının farklı montaj yöntemlerinden en uygun olanı seçip, bir montaj oluşturması için bu faktörlerde çözüme dahil edilmiştir.

Kolay montaj için tasarım ile ilgili hemen hemen tüm mevcut yöntemlerde işlemler kümesini gerçekleştirmek ve sıra ilişkilerini tanımlamak için öncelik grafiklere dayanmaktadır. Bu yöntemlerle ilgili iyi bir anket yapıldığında, genellikle Montaj Hattı Dengeleme olarak anılan (ALB) yöntemleri kullanılmaktadır [3]. Ama bu geleneksel yöntemde montaj için zayıf olan aşamalar vardır. Bu zayıf noktalar öncelikle grafiklerden gelir. Bu durum, birbirini bağlayan kısıtlamaları kümeler halinde dikkate alabilir ve montaj işlemlerinin yapılmasını eksik olarak açıklayabilir. Bir öncelik grafiğindeki her düğüm bazı montaj çalışmaları ile ilgili iki parçadan birini gösterirken, diğer bir parça sadece kısmen açıklanabilir. Bu durum işlem süresi tahmininde önemli hatalara neden olabilir. Bu yöntem veya yaklaşımlar montaj için tasarımı kolay hale getirmede yeterli olamamıştır. Bu gerçekler doğrultusunda tasarım fikirlerini ifade etme ve üretim işlemlerini otomatik olarak yapma düşüncesi 80'li yılların ortalarından itibaren unsur (feature) diye adlandırılan yeni bir kavram veya yaklaşımı doğurmuştur [4]. Böylece tasarım modelleme sürecinde biçimin yanında montaj özelliği de dikkate alınmaya başlanmıştır.

Bu tezin amacı kolay montaj için tasarım alanında yürütülen mevcut çalışmaları gözden geçirerek, tasarlanan parçaların kolay monte edilebilmesi için tasarım unsurları ile kullanılan yöntemleri göstermektir. Yukarıda da değinildiği gibi kolay montaj için tasarım konusu çok geniş ve kapsamlı bir konudur. Bu nedenden ötürü bu çalışmanın temeli tasarım unsuru geliştirilmesi üzerine kurulmuştur. Unsur, bir varlık olarak değerlendirilen ve tasarım, işlem planlama, imalat, montaj, maliyet tahmini vb. gibi mühendislik alanlarında anlam içeren kısmi bir ürün özellik biçimidir. Unsur teknolojisi, işlem planlamadan tasarıma, araştırma ve mühendislik

analizine doğru yayılmıştır. Tasarımda unsur kavramı, sistematik bilimsel temellere dayanır ve montaj için tasarım alanında önemli bir yere sahiptir. Bu tez kapsamında montaj unsuru kapsamlı tüm hususlar ile kolay montaj için tasarım alanında yöntem, süreç ve ilkeler üzerine odaklanılmıştır. Tezin bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir:

2. Bölümde DFA yöntemleri üzerine bir kaynak araştırması yapılmış ve yöntemlerin kronolojik olarak gelişim süreci hakkında bilgi verilmiştir.

3. Bölümde kolay montaj yöntem ve süreçleri konusu ele alınmış, montaj yöntem ve sürecini etkileyen faktörler ile ilgili konular ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4. Bölümde mühendislik tasarımında unsur kavramı üzerinde durulmuş, montaj unsuru, montaj için yardımcı unsurlar, montaj için tasarım kılavuzları ve tasarımda unsur süreci ile kolay montaj için tasarım unsurlarından bahsedilmiştir.

5. Bölümde KMİT metodolojisinin temel özellikleri ve kolay montaj için tasarım ilkeleri açıklanmış, kullanılan yöntemler ile teknik özellikler ortaya konularak, çeşitli yöntemlerin arkasında yatan ilkelere ilişkin kıyaslama ile ilgili bilgi verilmeye çalışılmıştır.

6. Bölümde bu bölüme kadar anlatılan bilgiler ışığında KMİT uygulama çalışmaları verilmiştir.

Son bölümde ise yapılan uygulama çalışmaları doğrultusunda genel anlamda bir özet ve yapılan çalışmaların bir değerlendirmesi yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölüm, “Montaj İçin Tasarım” (Design For Assembly - DFA) sistem ve yaklaşımları hakkında yapılan bir kaynak araştırmasını kapsamaktadır. 1970'lerden günümüze kadar ki süreçte birçok DFA yöntemleri geliştirilmiştir. Yapılan araştırmalar kronolojik olarak aşağıda verilmektedir.

DFA araştırmaları ilk kez Boothroyd ve Dewhurst (1977) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmalarda, uygun montaj yönteminin seçilmesiyle montaj maliyetini azaltmanın ve üretkenliği arttırmanın en uygun ve verimli yolunun ürünün tasarımı aşamasında montaj problemlerinin ele alınmasından geçmekte olduğu ortaya konmuştur [5].

Hitachi (1978), daha iyi bir montaj yapmada tasarım kalitesini iyileştirmek için kendi Montaj Edilebilir Değerlendirme Metodunu (AEM—Assemblability Evaluation Method) geliştirmiştir. Bu yöntem o zamandan beri Hitachi Grup ve birçok başka ulusal ve uluslararası firma tarafından kullanılmış ve en verimli metodolojilerden biri olarak değerlendirilmiştir [5].

Rooks (1987), farklı bir DFA yöntemiyle montaj için değişik analizler ortaya koyarak, bir tasarımı daha iyi hale getirip, diğer imalat işlemleri açısından ürün gelişiminde değişik yaklaşımlar ortaya koymuştur [6].

Joshi ve arkadaşları (1988), BDT sistem etkileşimli, bütünleşik ve hiyerarşik bir BDİP sistemi tanıtmışlardır. Yapay zeka teknikleri kullanılarak tasarım ve işlem planlamayı bütünleştirme amaçlanmıştır. Montaj için tasarım alanına uygulanan, otomatik unsur tanıma, takım yaklaşım yönü ve unsurlar arası öncelik ilişkileri incelenmiştir. Parça tanımı ve bilgi veri tabanı için hiyerarşik bilgi düzenleme kullanılmıştır [7].

Boothroyd (1988), montajda maliyeti azaltıp işlemi basite indirgeyip, tasarımda sadeleştirmeye giderek geleneksel DFA yöntemleri ile uygulanabilir bir yol sağlamıştır [2].

Lucas (1989), montaj tasarım metodunu ilk ticari bilgisayar tabanlı sürüm olarak geliştirmiştir. Sistemin bir CAD sistemiyle entegre bir şekilde kullanılması planlanmıştır ve bundan dolayı analiz için gerekli bilginin çoğunun minimum emek ve maliyetle elde edilmesi için bir işlemi sistematik takip eden bilgi tabanlı bir değerlendirme tekniği kullanmıştır. Bu tekniğin bir CAD sistemiyle bütünleşik kullanılması planlanmıştır [8].

Sturges ve Kilani (1990), farklı bir DFA yöntemi olan IDAERS modeli ile montaj edilebilirliğe ait ölçülebilir önemli zorluk faktörleri belirlemiştir. Bu faktörleri maddeler halinde şu şekilde sınıflandırmışlardır; tamamlayıcı parça, sistem, süreç, satın alma ve montaj [9].

Gadh ve Prinz (1991), bilgisayar destekli tasarımlar kullanarak montaj uygulamaları için 2D ve 3D katı modeller arası karşılaştırmalar yaparak, düşük düzey soyutlamaların (kenar, köşe ve yüzler) olduğunu ayrıntılı bir şekilde göstermişlerdir [10].

Yang ve Sturges (1991), parçaların montajı yapılırken bilgisayar destekli tasarım yardımıyla 3D katı modellerle ilgili farklı perspektifler ortaya koymuş, en az dizin, silüet ve dilim sayıları belirleyip, montaj maliyetini indirgemeyi amaçlamışlardır [11].

Changchien ve Lin (1996), unsur tabanlı tasarımla modellenen dönel (dairesel kesitli simetrik) parça tasarımlarının, tasarımın erken aşamalarında montaj açısından değerlendirilmesine izin veren, eş zamanlı mühendisliğin KMİT (kolay montaj için tasarım) aşamasında rehberlik sağlamayı amaçlayan bir sistem gerçekleştirmişlerdir [12].

Coma ve arkadaşları (2003), DFA metodolojisinde geometrik ve şekil unsurlarını tanıma ekipmanları üzerinde çalışmışlardır. Bu konuda bilgisayar tabanlı bir program geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu programı kullanarak elle ve otomatik montaj operasyonlarındaki zaman/maliyet analizlerini DFA gelişimine uygulamışlardır [13].

Stone ve arkadaşları (2004), kavramsal DFA tekniği kullanarak ürün tasarımı konusunda çalışmalar yapmışlardır. Kullanılan yöntem kavramsal tasarım bazında DFA tekniği kullanmayı öngörmektedir. Çalışmaları neticesinde ürün tabanlı kavramsal DFA yöntemi geliştirmiş ve bu tekniği kullanarak ürün geliştirmede yeni yaklaşımlar ortaya koymuşlardır. Bu sayede ürün çevrim süresini düşürmüşlerdir. Ayrıca kullanılan montaj parça sayısını da azaltmayı başarmışlardır [14].

Krause ve Kaufmann (2007), ürün tasarımında çalışabilirlik için meta modelleme kavramını geliştirmişlerdir. Bu modelleme kavramını geleneksel DFA yöntemlerini kullanarak imalat proseslerinde optimizasyon, imalat ortamına uygun kullanım sağlama ve farklı disiplinler arası işbirliği sonucu ortaya çıkan az maliyetli kaliteli ürün oluşumuna katkıda bulunmuşlardır [15].

Ružarovský ve arkadaşları (2010), kolay montaj için tasarım alanında otomatik montaj aletlerinin gelişimi için tasarım metodolojisi önerme konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu alanda esnek montaj robotlarının yapısını inceleyerek tasarımda kullanılacak parçaların malzeme akış planlaması ile montaj maliyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır [16].

Danišová ve arkadaşları (2012), montaj için tasarım sürecinde robotik sistemlerden “Kartezyen Montaj Robotu” ile yeni bir anlayış ortaya koyarak montaj edilebilir hareket mekanizmasının bilinen doğrulanmış modelini incelemişlerdir. Çevre dostu ekipmanlar kullanarak farklı uygulamalar ile sorunlu ve karmaşık montaj sistemlerinin kolay monte edilebilmesinde önemli çalışmalar yapmışlardır [17].

3. KOLAY MONTAJ İÇİN YÖNTEM VE SÜREÇLER

3.1. Üretim Yönetiminin Gelişimi

Genelde üretim kavramı; bir şey oluşturmak, ortaya koymak veya ürünün fiziksel özelliklerini değiştirmek gibi anlamlar taşır. 1770'lerde Adam Smith, işi parçalara ayırma veya iş bölümü ile üretimi artırmaya çalışmıştır. Daha sonra 1830'larda Charles Babbage ise iş bölümünün yararlarını saptamış; iş basitleştirme, uzmanlaşma ve üretkenliği artırma amaçlı deneyler yapmıştır. Bu çalışmalar, üretimi geliştirme alanında yapılan ilk bilimsel çalışmalardır. 1900-1920 yılları arasında Frederick Taylor, klasik eseri "Principles of the Scientific Management" ile bilimsel yönetim kurallarını ortaya koyması çok önemli gelişmelere yol açmıştır. Üretim yönetiminde; verimlilik artışı, organizasyon, insan gücü verimi, iş yeri düzeni vb. kavramlar Taylor ile ortaya çıkmıştır [1].

Üretimdeki gelişme, yarım asırdan beri bir kişinin temel imalat malzemelerini belirlemesi sonrası imalatın tüm açılarından sorumlu olduğu zanaat bazlı bir faaliyet olmuştur. Temel imalatın iyileştirilmesi ve özellikle makinelerin geliştirilmesi ile bir ürün için gereken parçaların seçilebilmesi ve ürünün montaj edilebilmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte parçalar arası değiştirebilme kavramının fark edilmesi ile üretimde birbirini takip eden önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu, temel imalat ile halen mevcut olan ve gelecekte de var olmaya devam edecek olan montaj arasında bir ayrımı ortaya çıkarmıştır. Montaj ya ayarlama ya da montaj olarak kategorize edilmekteydi. Buna göre ayarlama ürüne işlevsellik kazandırmak veya geliştirmek için yapılan bazı ikincil imalat süreçlerini kapsarken, montaj sadece bitirilen parçaların anlamlı boyutsal ve konumsal bağlantılar oluşturmak üzere işlenmesini kapsıyordu. Yani, yerleştirmedeki beceri faktörü montajda olduğundan önemli ölçüde yüksek olmuştur. Montajın ilk zamanlarında, bağımsız bir faaliyet olan yerleştirme, montajın önemli bir bölümünü temsil ederken, zamanla bu faktör azalarak göz ardı edilebilir bir hale gelmiştir.

Üretimde kayda değer diğer bir gelişme ise, montajda işgücü etkinliğinin gözlenmesi

sonucunda ortaya çıkmıştır. Yinelenen eylemler meydana geldiğinde montajın veriminin çarpıcı biçimde geliştiği fark edilmiş; yeni birtakım koşullara maruz kalma neticesinde oluşan ve sonuçta daha verimli bir performans sağlayan öğrenme sürecinin yanı sıra, aynı problemle sürekli karşılaşmaktan kaynaklanan ve daha verimli bir performans sağlayan bir öğrenme süreci ortaya çıkmıştır. Bu, sınırlı görev atama kavramını ortaya çıkartmıştır. İmalattaki bir diğer önemli gelişme F.W. Taylor'a ait modern iş etüdü çalışmalarıdır. Taylor, maksimum emek harcamanın maksimum verim oluşturmayacağını ortaya koymuştur. Emeğin zamana bağımlı olduğu ve zaman içinde emek maksimuma yaklaştıkça, doğrusal olmayan bir şekilde azaldığını belirtmiştir. Ayrıca, belli bir noktada, emeği azaltmanın uzun vadede optimum performans oluşturacağı; diğer bir deyişle, çok ağır veya çok uzun süre çalışmanın performansı düşürdüğünü göstermiştir [2]. Bu, günümüz koşulları bağlamında dikkate değerdir; birçok görüşün aksine, genelde imalat ve özelde montaj verimini artırmanın yolu montaj emeğini artırmak değil, montaj içeriğini azaltmaktır.

İş etüdünün çabuk gelişmesi sonucu minimum hareket, fiziksel rahatlık, yardımcı ortam vb. fikirler araştırılmıştır. On dokuzuncu yüzyıl boyunca geliştirilen imalat metodolojilerini bir arada kullanan kişinin Henry Ford olduğu genelde kabul edilir. Ford, yirminci yüzyılın başlarında Model T'ye ait volan manyetosunu montaj hattında monte edilmesini sağlayarak manüel hat kavramını popüler yapmıştır [5].

İşe ait önceden belirlenen kısımlar montaj hattı üzerinde yer alan elle montaj operatörleri tarafından sırayla yapılır. Kalıp sisteminde parçasal montaj uygulanmasının ve kalıbı otomatik bir biçimde farklı montaj operatörleri (istasyonları) arasında hareket ettirmenin verimi artırdığı kısa sürede anlaşılmıştır. Takibinde oturma yeri, hat yüksekliği, hızı, ışıklandırma vb. alanlarda yapılan iş etüdü verimi kısa sürede en üst düzeye çıkartmıştır. Bu sonuçlarla ürünün toplam montaj süresi oldukça azalmış ve böylece seri üretim çağı başlamıştır. Çok geçmeden yapılan birçok işin basit işlemler olduğu ve uygun ekipmanla otomatik yapılabileceği fark edilmiştir. Yani, otomatik iş istasyonları operatör yerini almaya başlamıştır. Operatör görevleri analiz edildiğinde, iş istasyonları ile görevin operatörlerle aynı şekilde yapılmadığı görülmüştür. Bunların modern montaj bağlamında kazanacakları

önemden dolayı, farklılık ve benzerlikleri bulunmaktadır. Operatörlerin küçük parçaları elde etme ve yerleştirme için kullandıkları temel yöntemler aşağıda verilmiştir [18]:

1. Bir seferde rastgele halde parçalar olan sistemden bir parça alınır.
2. Bu parça operatör tarafından gözlem ve deneyime göre en verimli olacak uygun bir konumda yerleştirilir.
3. Operatör daha sonra parçayı birlikte çalışacağı parça olan yakın yere taşır ve genellikle bu ikisi arası birleştirmeyi yapar.
4. Genelde görme ve dokunma olmak üzere bazı duyu organlarını kullanarak ve tekrarlanan koordineli hareketler ile yerleştirme süreci başlatılır.
5. Bir iki deneme ve daha kısıtlı duyu ile yerleştirme süreci tamamlanır.

İmalat endüstrisinde devrim niteliğinde değişmelere yol açan üç büyük ilerleme yaşanmıştır. Önce üretim tarafında, bilgisayar çağı imalat sistemi ve süreci kontrolünde gelişmelere sebep olmuş; aynı zamanda bu çok daha fazla sayıda tüketim malının mevcut olmasını sağlamıştır. Arkasından son 40 yılda plastik endüstrisinin gelişmesine bağlı plastik özellikle tüketim mallarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu da çok sayıda ve düşük maliyette ürün anlamına gelmektedir. Son olarak, düşük maliyetler ve daha fazla ürün sonucu pazarlama ile avantajlı koşulları tüketiciye sadece farklı ürünler için değil, temelde aynı ürünün farklı çeşitlerini talep etmede eğitmek için de kullanılmıştır. Bu, gittikçe daha fazla ürün ve daha fazla ürünün gittikçe daha fazla olan çeşitleriyle ve bunun neticesinde herhangi bir çeşidin çok daha küçük toplam üretim hacmi ve aynı derecede daha küçük gruplar şeklinde üretimiyle sonuçlanan bir imalat kâbusuna dönüşmüştür. Bu durum imalat hem ekipman hem de organizasyon açısından ciddi problemlere yol açmıştır. Küçük parti üretimindeki montaj ekipman amortismanı için teknolojinin mevcut olmakla birlikte maliyetin yüksek olduğu her imalat durumunda ya maliyeti düşürecek yollar aranmış ya da alternatif teknolojiler geliştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Üretim gelişiminin tarihsel süreci

Yıl	Kavram Veya İcat	Geliştiren Kişi - Kurum
1776	Fabrika Sistemi Ve Yönetimi	Adam Smith
1798	Ayrılabilen Parçalar	Eli Whitney
1911	“Bilimsel Yönetimin Prensipleri”, İş Yeri Düzeni Ve Kavramları, Çalışma Zamanı	Frederick W. Taylor “Principles Of Scientific Management”
1911	Sanayi Psikolojisinin Temel Kavramları, Hareket Ekonomisi Temel Kavramları	Frank Ve Lillian Gilberth
1913	Montaj Hatlarının Hareketi	Henry Ford
1914	Proje Planlama Tabloları	Henry L. Gantt
1917	Envanter Denetimine Matematik Modellerin İlk Uygulaması	F. W. Harris
1931	Kalite Kontrolünde İstatistik Ve Örneklem	H. F. Dodge, H. G. Romig
1934	İş Analizinde Örneklem Etkisi	L.H.C. Tippet
1947	Doğrusal Programlama Ve Diğer Programlama Yöntemleri	George B. Dantzig
1950 - 1960	Simülasyon Uygulamaları, Karar Teorileri, Matematiksel Programlama, Proje Planlama Teknikleri, PERT, CPM, Bilgisayar Donanım Ve Yazılımı	Amerika Ve Batı Avrupa Bilgisayar İmalatçıları, Araştırmacılar Ve Kullanıcılar
1960 - 1970	Bilgisayar Yazılım Ve Donanımlarıyla Rutin Problemlerin Kolaylaştırılması, Envanter, Tahminleme Ve Proje Planlama, MRP, Malzeme İhtiyaç Planlamasının Hızla Gelişmesi Ve Yaygınlaşması	Joseph Orlickly, Oliver Wight, Amerika Ve Batı Avrupa Bilgisayar İmalatçıları, Araştırmacılar Ve Kullanıcılar
1970 - 1980	Japonya’dan Başlayarak Yayılan “Kalite Yönetimi”, Verimlilik Ve Üretkenlik Kavramları, Endüstriyel Robotlar, CAD / CAM, Bilgisayara Dayalı Proses Kontrol, CAPP	W. Edwards Deming, Japon Firmaları, Wickham Skinner, Mühendislik Disiplinleri
1980 - 1990	Toplam Kalite Yönetimi, JIT – Tam Zamanında Üretim – Yalın Üretim, CIM	Japonya, Amerika, Batı Avrupa
2000	Tam Otomatik Fabrikalar	Japonya, Amerika, Batı Avrupa

Üretim gelişiminin tarihsel perspektifi içerisinde, "mekanizasyon" ve "otomasyon" olgularının ön plana çıktığı, Çizelge 3.1’de görülmektedir. Zaten bu kavramlar, Endüstri Devrimi ile birlikte modern üretim gelişimi dinamiklerinin temelinde yer almaktadır. Teknoloji kavramı da, doğrudan bu unsurlarla alakalıdır.

Yukarıdaki kavramların imalat sürecindeki gerçekleşmesi, en genel anlamda “takım tezgâhları” ve “sanayi robotları” ile olur. Sayısal kontrollü (Numerical Control - NC) tezgâhlar üzerinde ilk çalışmalar A.B.D. Hava Kuvvetleri desteğinde 1952 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT) laboratuvarlarında başlatılmıştır. 1950'lerin sonlarından itibaren sanayide kullanılmaya başlanılan sayısal denetimli tezgâhların fiyatları teknolojiye bağlı olarak ucuzlamış, kullanımları kolaylaşmıştır. Yine bu teknolojik gelişmeler içinde robot yapımları, I. ve II. kuşak robot ve bilgisayar teknolojileri oluşmaya başlamıştır. 1975’de ise sayısal kontrol biriminde mikro işlemci kullanılan ilk takım tezgâhları üretilmeye başlanmıştır [19].

Bilgisayarların üretime girişi, her bakımdan gelişme ve ileri üretim yönetim teknikleri oluşmasını sağlamıştır. Aslında bilgisayar, bilgi işlemede insanoğlunun geliştirdiği en etkin araç olarak düşünülmelidir.

"Bilgi İşleme" konusu, uygarlığın ana yörüngesi olarak ele alındığında üretim yönetimi bakımından da değerlendirme yapılması gerekir. Tarihsel süreçte bilgi işleme yöntemleri şu şekilde olgunlaşmıştır:

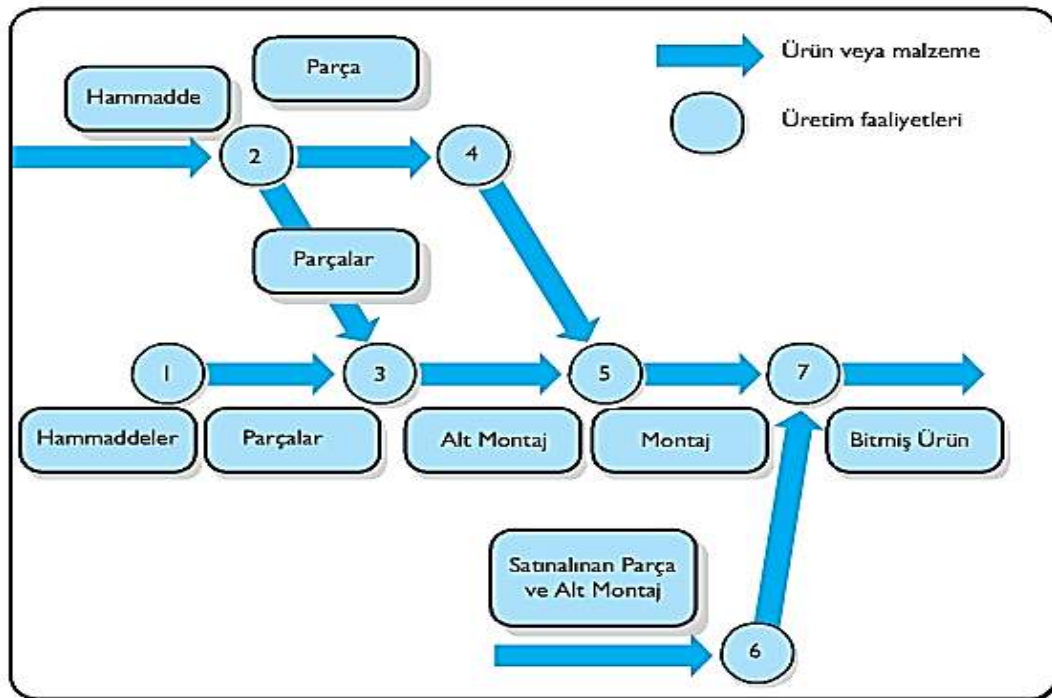
- 1- Elle bilgi işleme
- 2- Mekanik bilgi işleme
- 3- Elektromekanik bilgi işleme
- 4- Elektronik bilgi işleme

Üretim yönetimi gelişiminde bilgisayarlar, ağırlıkla bu aşamaların sonuncusunda ortaya çıkmıştır. Bugün için işletmeler, değişen tüketici istek ve ihtiyaçlarının karşılanması, mevcut pazar payının korunması ve pazar eğilimlerinin vaktinde yakalanması için, Esnek Otomasyon, Esnek İmalat Sistemleri (Flexible

Manufacturing Systems - FMS), Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat (Computer Aided Design and Manufacturing - CAD/CAM), Bilgisayar Entegre İmalat (Computer Integrated Manufacturing - CIM), Tam Zamanında Üretim (Just-in Time - JIT), Yalın Üretim (Lean Production) gibi üretim teknik veya felsefelerini kullanmaktadırlar.

3.2. İmalat ve Montaj Süreci

İmalat sürecinde, parça ve montaj maliyetini, geliştirme sürecini en aza düşürme ve en yüksek kalitede ürünler yapmak amaçlanır. Montaj sürecinde ise montaj yönteminin seçimi ve elle, yüksek hızlı otomatik ve robotla montaj esaslarına (dolayısı ile maliyete) tesir edecek parametreler belirlenir.



Şekil 3.1. Ürüne dayalı süreç modeli

Ürüne dayalı süreç tasarımı mamul üretimi belirli bir rota izleyecek şekilde organize edilir. Bu tür süreçte ürün önce hammadde, sonra yarı mamul ve süreç sonunda da bitmiş mamul olarak aynı yön ve doğrultuda ilerler. Şekil 3.1’de hammaddelerin, parçaların, alt montajın, montajın ve bitmiş ürünlerin doğrusal bir

yol izlediği görülmektedir. İmalat ve montaj sürecinde, ürün ve montaj için dikkatle izlenmesi gereken hususlar vardır. Bunlar:

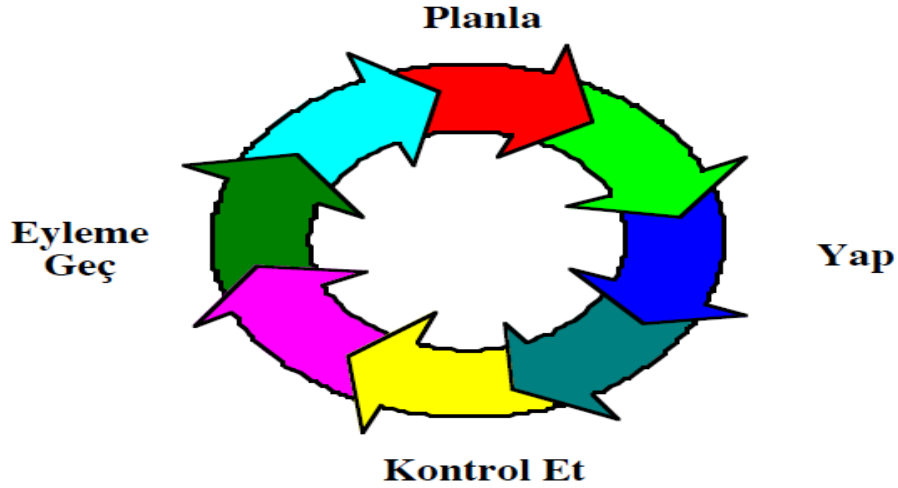
- a) İmalat sistemlerinin iyileştirilmesi
- b) İmalat teknolojisinin geliştirilmesi
- c) Montajın ve montaj teknolojisinin geliştirilmesi
- d) Montaj tasarımının iyileştirilmesi

3.2.1. İmalat sistemlerinin iyileştirilmesi

İmalat ortamındaki taleplerde değişikliklerden kaynaklı değişkenlerin mevcut olanlardan farklı imalat sistemlerini geliştirmeye yol açabilir. Son otuz yılda imalat veriminin iyileştirilmesine ve böylece maliyetin düşmesine belki de en çok katkıda bulunan şey imalat sistemlerinde yapılan iyileştirmeler olmuştur. Özellikle değişen imalat ortamına uyum sağlamak için yapılan iyileştirmeler daha kaliteli ürün ortaya çıkarmak için son derece önemlidir. Bu bağlamda değişmiş ve halen değişmekte olan şey ise, işin çeşitliliği ve sonrasında bu gerekli çelişkili taleplerdir. Sürekli veya yarı sürekli bir temelde özgün ürünler imal etmenin herhangi bir çelişkisi yoktur. İşlenmemiş materyal bir noktada sisteme girer, sistem boyunca ilerlemelerini kötü yönde etkileyecek sonraki olaylardan neredeyse hiç etkilenmez ve sistemin diğer noktasından ürün olarak çıkarlar.

Sistem kapasitesi dahilinde talepleri karşılamak kolaydır, üretim aşamasındaki işler asgaridir ve talep profili göz önüne alındığında hem işlenmemiş materyallerin hem de üretimi biten ürünlerin minimum stok seviyesini tahmin etmek zor değildir. Etkin sistem kontrolünün yararları Japon endüstrisine referansla doğrulanabilir; bu en başarılı imalat ülkesinin etkin sistemlerin yaratıcısı ve en başarılı geliştiricisi olduğu açıktır. Japonlar, imalatın başarısız organizasyonundan kaynaklanan imalat aşamasındaki işlerin sadece borçlanmayı artıran ve artı değer eklenmemiş bir mali yükümlülük olmadığını, aynı zamanda borçtan kazanca geçişin gecikmesine sebep olan potansiyeline sahip olduğunu anlamışlardır.

Şekil 3.2’de imalat sistemlerinin iyileştirilmesi için, bir işletme biriminde sürekli iyileştirmeyi sağlamada kullanılan sürekli iyileştirme yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Sürekli iyileştirme çevrimi [20]

Bir imalat sisteminde verimliliği sağlayabilmek için uygun performans kriterlerinin ölçümüne ihtiyaç vardır. Bu konu, iyileştirmeye gereksinim duyan alanların tanımlanmasını ve etkin bir şekilde odaklanılacak kaynakların uygun olmasını sağlamayı içerir. Aynı zamanda, ölçümleme bir kere uygulandığında, iyileştirmelerin etkinliğinin değerlendirilmesine de izin verir [21]. İmalat sisteminin performansı faaliyet performansı ile ilişkilidir. Bu yüzden, faaliyet performansı, bir üretim biriminin kaynaklarını nasıl iyi bir şekilde ürün ve hizmet çıktısına çevirdiği ile ilgili bir kavramdır. Bir üretim biriminin amacı, ortaya koyduğu çıktılarından bir değer sağlamak ve maddi ve beşeri kaynak kullanımını kısacası verimliliğini arttırmaktır [22].

İyileştirilmiş alternatif sistemlerin geliştirileceği oldukça büyük ihtimal olmasına rağmen, kontrol stratejileri muhtemelen bu değişiklikleri barındıracak yeterlikte olacaktır ve kayda değer ilerleme potansiyeli daha verimli kontrolün değil daha verimli sistemlerinin sonucu olacaktır. Bir işletmenin değişen koşullara daha kolay adapte olmasını sağlamak için kritik performans ölçütleri kullanılarak işletmenin periyodik olarak değerlendirilmesi ve sürekli iyileştirilmesi gerekmektedir. Artan rekabet ortamında işletmelerin rakipleri karşısında ayakta kalabilmeleri için bu

değerlendirmeler ışığında gerekli düzenlemelere gitmeleri oldukça önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2.2. İmalat teknolojisinin geliştirilmesi

Son bir asırda gözlenen teknolojik geliştirmeler imalat maliyetlerini düşürmeye büyük katkıda bulunmuştur. Ancak bu gelişim ve ilerleme oran düşmesiyle (azalan verimler yasası) önemli yeni yararlar zor gözüktüyor. Geçmişte, yeni gereçlerin geliştirilmesi imalat maliyetini belki de en dikkate değer şekilde etkilemiştir.

İmalat teknolojisinin geliştirilmesi için, teknolojik bakımdan kendilerini yenileyerek ileri imalat teknolojileri (İİT) kullanan işletmeler kullandıkları teknoloji ile (CAD, CAM, CNC, BBİ vb.) rakiplerine karşı avantajlar elde etmektedirler. İmalat teknolojisinde, bilgisayar destekli teknolojiler üretimin her aşama ve alanında gerekli bilgilere kolay ve kısa sürede ulaşılmasını, daha iyi tahminlerin yapılmasını, sistemin yönetim ve kontrolünün iyileştirilmesini sağlamaktadırlar. Makinelerin verimliliği artmakta, daha az alan ve stok gerekmekte, hatalı ürün üretimi en aza indirilmekte, üretim ve sevki hızı artmakta, makine durmaları veya bozulmaları daha az olmakta ve hatta tahmin edilebilmektedir. Böylece pazar değişimlerine çabuk ve doğru cevap verebilmek, yeni pazarlara ulaşmak ve rekabet edebilmek daha da kolaylaşmaktadır. İİT, uygulandığı zaman bir işletmenin mevcut üretim yöntemlerinde, yönetim sistemlerinde ve mamulün tasarım ve üretiminde değişikliğe yol açan yeni bir teknik olarak ifade edilebilir. Çizelge 3.2’de ileri imalat teknolojileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. İleri İmalat Teknolojileri

Teknoloji	Kısaltma
Sanayi Robotları	-
Grup Teknolojisi	GT
Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)	BDT
Bilgisayar Destekli Üretim (CAM)	BDÜ
Bilgisayar Tümlşik Üretim (CIM)	BTÜ
Bilgisayar Sayısal Denetim (CNC)	BSD

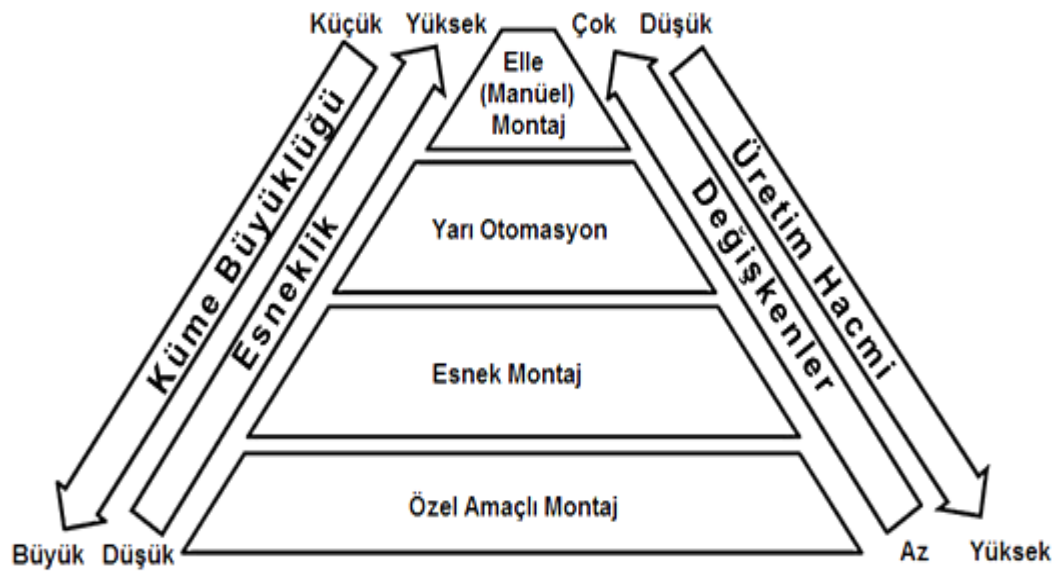
Endüstri devrimi ve sonrasında gerçekleşen dünyanın endüstrileşmesinin neredeyse sadece iyileştirilmiş materyaller ve iyileştirilmiş ölçüm yöntemlerinin sonucu olduğu genellikle tartışılır. Şu anda sahip olduğumuz kesme ve şekillendirme araçları ve iş gereçleri olmaksızın modern imalat ekipmanlarının nasıl gelişebileceğini tasavvur etmek oldukça zordur. Daha önce de bahsedildiği gibi, modern ürünlerin polimer bilim ile uğraşan bilim insanları olmaksızın nasıl evrimleşebileceğini görmek de aynı derecede zordur. Kuşkusuz ki gelecekte malzeme bilimi ve mühendisliği ile uğraşan bilim adamları imalat maliyetinin düşürülmesinde büyük bir rol oynayacaklardır.

3.2.3. Montajın ve montaj teknolojisinin geliştirilmesi

Birbirinin yerine geçebilir parçaların seri imalatının yapılabilmeye başlamasının üzerinden 200 yıl ve montaj verimliliğinin iyileştirilmesinin ekonomik yararlarının gösterilmiş olmasının üzerinden 100 yıl geçtikten sonra nihayet montaj, imalat stratejisini tartışan ve belirleyen toplantıların gündeminde üst sıralarda yer almaya başlamıştır. İncelenmekte olan ürün çeşitlerinin birçoğu için, imalat maliyetinin genellikle %50'sinin montaj maliyeti olduğu çok iyi bilinen bir durum iken, bunu uygulamak uzun bir süre almıştır. Bunun birçok sebebi vardır, önemli sebeplerden birkaçı aşağıdadır:

- Küçük parçaların üretilmesi gerçekleşene dek montaj problemi yoktur. Açıkça görülüyor ki, öncelikle imalata odaklanmak daha anlamlı gelmiştir.
- Montaj pahalı değildir. Manuel tezgâh montajı için yapılan sermaye yatırımı asgaridir ve bu durum, bu tür montaj formu için maliyetin sadece iş gücü maliyeti olduğu anlamına gelir. Neticede, iş gücü maliyeti sıfır ise, montaj verimini iyileştirme teşvik edilmemiştir.
- Küçük parçaların üretimi güç gerektirir. Metallerin çıkarılması, eritilmesi, plastiklerin deforme edilmesi vs. büyük ölçüde kaba, ucuz aletleri kullanarak insanlar tarafından yapılamaz. Soğuk keski kullanarak bilye rulmanı yapmak inanılmaz derecede zordur veya demir testere ve ege kullanarak daha kolay değildir ve parçaların imalatı için yöntemler geliştirme ihtiyacı daha büyükken montajı geliştirmekle uğraşılmamıştır.

- Herkes montajda uzman olduğunu düşünür. İnsanların parçaları bir araya getirme içgüdüsel yeteneğinden dolayı, montaj çoğunlukla bir disiplin olarak bile görülmez ve dolayısıyla yeterlilik ve verimliliği iyileştirebilecek kurallar formüle etmeye gerek duyulmamıştır.
- İnsanlar montaja aşinadır. Bazı oyuncaklar insanda montaj veya sentez yeteneğini geliştirecek şekilde tasarlanmıştır: Meccano, Lego, Yap-Boz, vb. örnekler arasındadır [23]. İnsanların montajla ilgili kendi fikirleri vardır ve farklı montaj iyileştirmelerini göz önüne almamışlardır.



Şekil 3.3. Farklı montaj süreçlerinin performans özellikleri [24]

Montaj teknolojisi montaj süreci ve montaj yöntemine göre ikiye ayrılır. Bu iki temel süreç grubu, insanlar tarafından gerçekleştirilen elle (manuel) montaj faaliyetleri ve mekanizmalar tarafından gerçekleştirilen otomatik montaj faaliyetleridir. Şekil 3.3’de farklı montaj süreçlerinin performans özellikleri gösterilmiştir.

Elle (manuel) montaj; tezgâh (tek istasyonlu), hat veya karma montaj sistemleri ile yapılan, araştırılması ve kurulması detaylı çalışma gerektiren bir yöntemdir. Tezgâh (tek istasyonlu) montajında, bir kişi bir birimin tamamının montajından sorumludur, hat montajında ise her bir kişi bir birimin tamamının küçük bir kısmının montajından sorumludur. Bu yöntemde farklılık yaratacak teknolojik gelişmeler kolay kolay

yaşanmaz. Her bir yöntem ve çeşitlerin belli şart ve durumlar altında mantıklı dayanakları vardır fakat bugünün bağlamında, metodun doğası gereği farklı tasarım kurallarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü; bağımsız faktörleri ve manuel montaj sürecine özgü faktörleri göz önüne almak yeterli değildir, farklı montaj yöntemlerinin de göz önünde tutulması gerekir.

Otomatik montaj ise, kendi içinde iki alt sınıfa ayrılır; özel amaçlı ve esnek montaj. Özel amaçlı montaj metodu yaklaşık yüz yıla yakın bir süredir yürürlükte, ancak bunlarda hatırı sayılır derecede değişiklikler görmek zordur. Esnek montaj metodunda da birkaç istisna dışında tam anlamıyla başarısız olmuştur. Genel görüş, iki yöntemin tasarım kurallarının farklı olduğu, özel amaçlı montaj ile esnek montajın birbirinden farklı montaj tasarımı kurallarına ihtiyaç duyacağı yönündedir.

Özel amaçlı montaj ekipmanının birçok çeşidi vardır. Bunlar: Çarklı ve sıralı makineler, indeksleme (senkronize) ve serbest transfer (asenkronize) makineleri ve duran makineler ve hafıza pimi makineler vardır. İndeksleme ve serbest transfer makineleri, kesinlikle farklı tasarım stratejileri ve yeniden işleme tedbirleri gerektirir. Otomatik parça besleyiciler ve otomatik uçlar kullanan montaj süreçlerinin hepsi özdeştir ve biri için uygun olan tasarım kuralları diğerleri için de uygundur.

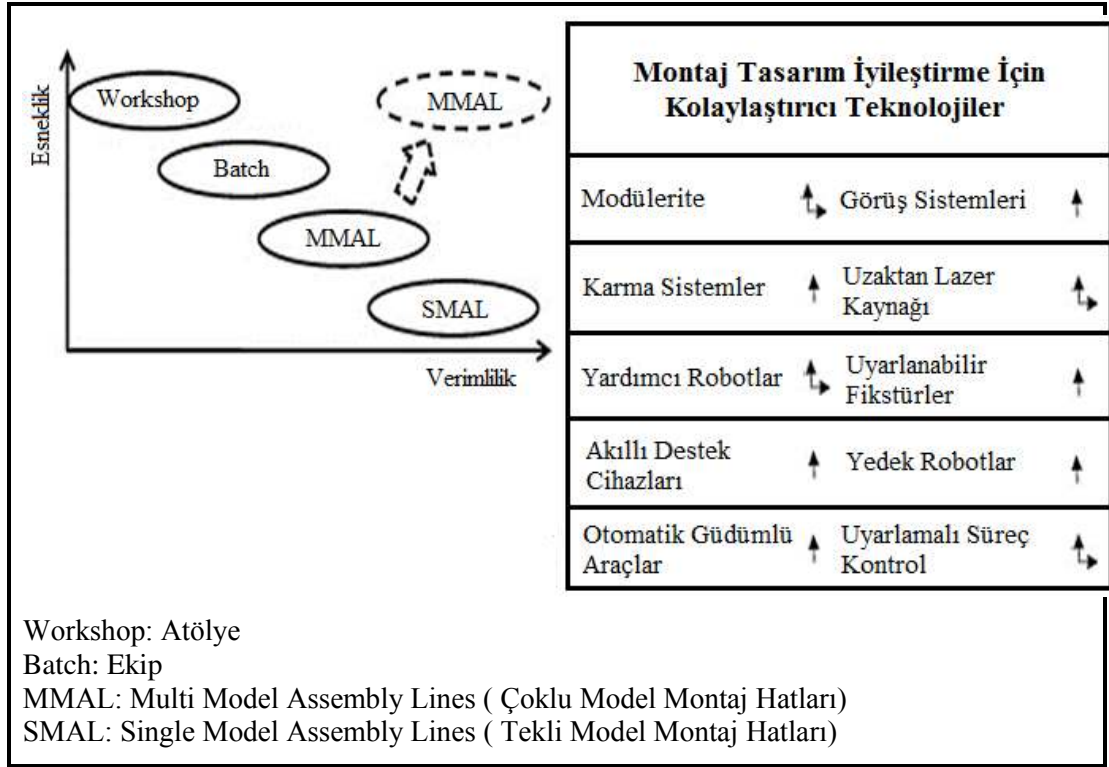
Esnek montaj için ekipman olasılıkları çok daha farklıdır. Hem tezgâh (tek-istasyon) hem de çeşitli kontrol ve yeniden işleme stratejileri ile tüm hat seçeneklerine sahip olmanın yanı sıra hata düzeltimi, tutucu değiştirme vs. gibi başka seçenekler de vardır. Ancak özel amaçlı montajla ilgili verilenlere benzer görüşler burada da savunulabilir. Montaj metoduna bakılmaksızın, esnek montaj süreci kendi başına her zaman birden fazla montaj faaliyetinden sorumlu olan ekipman kullanır ve daha önce özetlendiği gibi, kendine ait farklı tasarım kurallarına ihtiyaç duyar.

Endüstride kolay ve güvenilir üretim ve yönetimi, temelde sürecin doğru işletilmesi ve her adımında kontrol edilmesiyle mümkündür. Bu şekilde bir süreci planlarken, daha az insan gücü ile daha kontrollü ve kaliteli üretim için en iyi yardımcımız otomasyon olacaktır. Otomatik kontrolün endüstride ilk yerleşmeye başladığı tarihte

pek çok sistem rölelerle veya özel olarak tasarlanmış elektronik kartlarla kontrol ediliyordu. Bu sistemlerin çok maliyetli olması yanında karmaşık yapısı, arıza takibinin zorluğu ve yeni teknolojik gelişmelere açık olmaması gibi daha birçok sorunu da beraberinde getirmekteydi. Aynı zamanda reçete işleme, veri toplama, değerlendirme ve raporlama özellikleri de yoktu. İşte bu nedenlerden dolayı PLC (Programlanabilen Lojik Kontrol), SCADA (Veri Tabanlı Gözetleme ve Kontrol Sistemleri) ve ERP (Kurumsal Kaynak Planlaması) sistemleri geliştirilmiştir. Temel yararları bilgisayar destekli makinelerde kaybedilse de, meydana gelen tek gerçek ilerleme PLC (Programlanabilir Kontrol Cihazı) programının ortaya çıkışı olmuştur [25]. Uygun şartlar altında çalıştırıldığında maliyet verimliliği açısından özel amaçlı montaj makineleri ile rekabet edebilecek başka bir montaj metodu yoktur.

3.2.4. Montaj tasarımının iyileştirilmesi

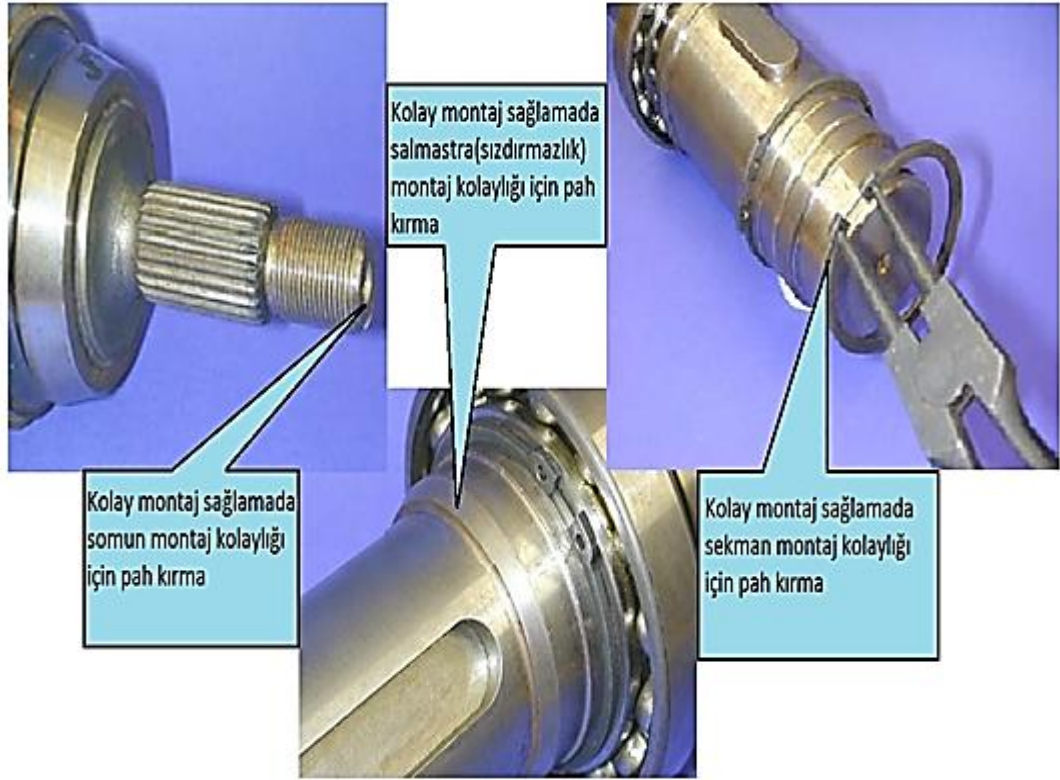
Temel amacın daha az pahalı, daha uygun veya sayıca daha az ekipman kullanılarak tasarım yapmak olduğu parça imalatı için ürün tasarımı oldukça gelişmiştir. Birçok tasarımcı ürünleri hakkında ve belki de daha önemlisi, imalat ekipmanları, özellikleri ve kısıtlamaları ve gereçler hakkında birçok şey bilmektedir. CAD'in gelişi ve müteakip ilerlemeler tasarım süresini kısaltmış ve kalitesini arttırmıştır. Bu, tasarım maliyetini ve hazırlık süresini düşürmüş ve bu şekilde önemli bir kazanç sağlanmıştır. Montaj tasarımının iyileştirilmesi sürecinde, esneklik ve verimliliğin istenilen derecede sağlanabilmesi için tüm kolaylaştırıcı teknolojilerin kullanılması gerekir. Şekil 3.4'de mevcut montaj sistemleri geliştirilmesinde esneklik/verimlilik grafiği üzerinde ideal bir konuma ulaşmak için gerekli teknolojiler gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Montaj tasarımının iyileştirilmesi için kolaylaştırıcı teknolojiler [26]

Ürün tasarımı aşamasında montaj yöntemi, parça toleransları, işleme tipleri gibi imalat maliyeti ve toplam maliyeti oldukça etkileyecek kararlar verilir. Montaj tasarımının iyileştirilmesi, montaj güçlüklerini aşmayı ve parça maliyetini azaltmayı sistematik yaklaşımla sağlayan bir iyileştirme yöntemidir. Bu teknikte parça maliyetini azaltma, montaj edilen parça sayısını azaltmak ve azaltılan parçaların kolaylıkla montaj yapılabilmesi ile sağlanmaktadır.

Montajda gerekli bazı parçaların parametrelerine örnek olarak; parça sayısı, vardiya başına yıllık üretim, bazı harcamalar, farklı ürün tiplerini oluşturmak için kullanılan toplam parça sayısı, bir montaj operatörünün yıllık maliyeti verilebilir. Diğer parametreler, robotlar gibi montaj araçlarının yıllık maliyetleri ve montaj süreleridir. Sonuçlar elle ve otomatik olarak yapılan montajın tahmini maliyeti-üretim hacmi diyagramı ile oluşturulur ve maliyet listeleri ile gösterilir. Hangi montaj metodunun uygun olacağı hemen belirlenmektedir. Kullanıcı montajı en uygun hale getirmek için bu yöntemi uygulamaktadır. Parça kodları; geometri, fonksiyon ve ilk görülen problemler ile ilgili soruların cevaplarına bağlı olarak verilmektedir.



Şekil 3.5. Kolay montaj için tasarım iyileştirme örneği [27]

Montajın imalatla neden zayıf bir ilişki içerisinde olduğuna dair birçok görüş, montaj teknolojisindeki faaliyetlerin yetersizliğinden kaynaklandığını öngörmektedir. Bu sebeplere, özellikle tasarıma dair olan birkaç gözlem eklenebilir. Bunlar:

1. Tasarımcıların yapması gerekli birçok görev vardır. Kavram tasarımı, işlevsel tasarım, imal edilebilirlik için tasarlama, estetik tasarımı, dayanırılık açısından tasarım ve montaj tasarımından sorumludurlar.
2. İmalat ekipman yeterliliği genelde bilindiği ve birçok tasarımcı ekipmanla önceden karşılaştığı için ekipman ve yeterlilikleri hakkında bilgiye sahip olur ve bu doğrultuda tasarım yaparlar.
3. Montaj için tasarım kriteri, en kısa tasarım süresine sahip olanlardır.

Tüm bunlar montaj tasarımı gelişimini engellemiş ve bu amaçlı yöntemler geliştirmeyi geciktirmiştir. Şekil 3.5’de kolay montaj için tasarım örneği tasarımcıya montaj tasarımı iyileştirmede bir fikir vermek üzere gösterilmiştir. Yarar potansiyeli

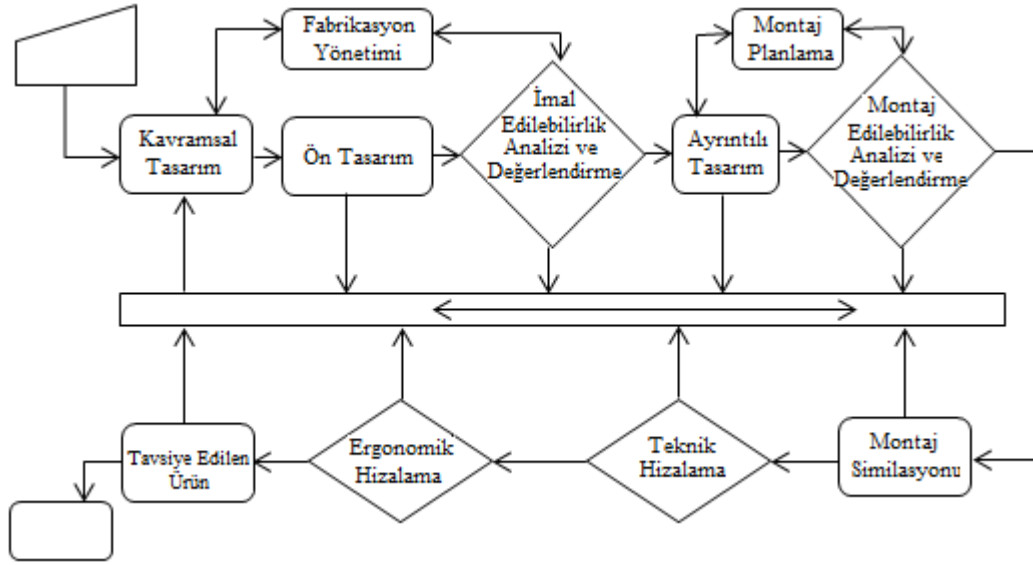
yüksektir; ‘geleneksel tasarım’ ile karşılaştırıldığında genellikle montaj maliyetinin %30’unun karşılayacak montaj tasarımı teknikleri kullanıcıları tarafından ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, montaj tasarımına bağlı olarak imalat maliyetinde %15’e varan önemli bir tasarruf olabilir [27].

3.3. Montaj Planlarının Belirlenmesi

Montaj planlama, farklı parçalardan bir ürün meydana getirmede detaylı imalat planı, ürün tasarımı ve imalatında kalite ve verime bağlı olarak gittikçe önemli olmaktadır. Ana montaj operasyonları: dizmek, sıralamak, taşımak, parçaları birleştirmek, bağlamak, denetlemek ve dokümantasyon işlemidir. Geleneksel teknolojilerde montaj planlama işlemi, tasarımı üretime bağlayan temel bir fonksiyondur.

Montaj işlemi sırasında oluşan aksama ve problemler imalat aşamasında ortaya çıkmakta ve bir çözüm bulunmada geç kalınmaktadır, böylece kalitenin düşmesine, maliyetlerin yükselmesine neden olunmaktadır. Yeni gelişen teknolojik anlayışla, üretim sistemi bu fonksiyonu bir bilgisayar yazılımı ile desteklemelidir ki böylece montaj sırasındaki oluşan sorunlar herhangi bir veri kaybı olmaksızın bir bütünleşme ortamında çözülebilir.

Şekil 3.6’da geliştirilmiş montaj planlama sistemi gösterilmiştir. Montaj planlamanın belirlenmesinde, süreç içinde uygun etkileşimler sağlamak için, ilk aşamada uygulanan tasarım yaklaşımı, ayrıntılı tasarımdan kavramsal tasarıma kadar montaj edilebilirlik analizi ve değerlendirme ile teknik hizalamanın bütünleşmesi göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 3.6. Montaj planlama sistemi [28]

Planlama istenen hedefleri gerçekleştirmek için bir strateji geliştirmektir. Değişik planlama uygulamalarından biri de parçalardan mekanik bir ürün oluşturmada farklı montaj işlemleri belirleme ve değerlendirmeye yardımcı olan montaj planlamadır. Kısaca montaj sıra planlayıcı, ürünü oluşturan parçaları belirleyen ve işlemler arası öncelik ilişkilerini içeren montaj sıra planlarını türeten ürünü geometrik tanımlama tabanlı bir sistemdir. Her plan, gerçekleştirilecek montaj işlemlerini ve bu işlemlerin sıralarını tayin etmektedir. Montaj planlama, montajın en zaman alıcı ve önemli kısmını oluşturur. Çizelge 3.3’de gösterildiği gibi bazı araştırmacılar bu alanda uygun bir montaj planlama yaklaşımı geliştirmek için farklı yaklaşımlara dayalı çalışmalar yapmışlardır. Bunlar:

- Grafik tabanlı yaklaşımlar
- Unsur tabanlı yaklaşımlar
- Matris tabanlı yaklaşımlar
- Optimizasyon teknikleri kullanan yaklaşımlar
- Kural tabanlı ve uzman sistem kullanan yaklaşımlar

Çizelge 3.3. Montaj planlama için geliştirilen yaklaşımlar [29]

Yazar	Yılı	Yaklaşım	Girdi	Çıktı	İşlem Tipi
Dr. Mello Sanderson	1990	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	Ürün Bilgisi	En uygun montaj sırası	Otomatik
Baldwin, Albel, Lui, De Fazio, Whitney	1991	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	İrtibat Grafiği	Tüm olası ve en uygun montaj sıraları	Kullanıcı Etkileşimli
Arieh, Kramer	1994	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	Parça, Temas ve öncelik ilişkileri listesi	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Gu, Yan	1995	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 2 boyutlu BDT modeli	Montaj sıraları	Otomatik
Ko, Lee	1997	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	Montajdaki parçaların eşleşme şartları	Montaj prosedürü ve öncelik grafiği	Otomatik
Chakrabarty, Wolter	1997	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	Parçalar arasındaki yapısal ilişkilerin yapısal temsili	En uyguna yakın montaj sıraları	Otomatik
Zorc, Noe	1998	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	Uzaysal ilişkiler tabanlı montaj temsili	En uygun montaj sırası	Otomatik
Börekli, Sinanoğlu	2001	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	Montaj bağlantı grafiği	Uygulanabilir montaj sıraları	Elle
Niu, Ding, Xiong	2003	Grafik Tabanlı Montaj Planlama	Eşleşme ilişkisi ve hiyerarşik ilişki grafiği	Tüm olası ve en uygun öncelik grafiği	Otomatik
Werling, Wild	1994	Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 3 boyutlu modeli	Otomatik montaj planlama için ürün modeli	Otomatik
Latombe vd.	1996	Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün iki veya 3 boyutlu modeli	Montaj sıraları	Kullanıcı Etkileşimli
Eng, ling, Olson, McLean	1999	Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün BDT modeli	Montaj Sıra planlama için unsur tabanlı montaj modeli	Otomatik
Van Holland, Bronsvoort	2000	Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Montaj unsurlarını içeren BDT modeli	Montaj modelleme ve planlama için ürün modeli	Otomatik
Chao, Chen	2001	Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün BDT modeli	Montaj analizi için montaj modeli	Otomatik
Zha ve Du	2002	Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 3 Boyutlu modeli	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Masclé	2002	Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 3 boyutlu modeli	Montaj analizi için montaj modeli	Otomatik
Dini, Santochi	1992	Matris Tabanlı Montaj Planlama	Çakışma, temas ve bağlantı matrisleri	Tüm olası montaj sıraları ve alt montajlar	Otomatik
Lee, Kamara	1994	Matris Tabanlı Montaj Planlama	B ve C matrisleri ve süpürme tablosu	Montaj analizi ve planlama için şema ve montaj sırası	Otomatik
Gottipolu, Ghosh	1997	Matris Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 2 boyutlu modeli	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Dilipak, Özdemir	2001	Matris Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 3 boyutlu BDT modeli	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Zhang, Ni, Lin, Lai	2002	Matris Tabanlı Montaj Planlama	Bağlantı ve daraltılmış matrisler	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Schmidt, Jackman	1995	Optimizasyon Teknikleri Tabanlı Montaj Planlama	Ürüne ait montaj sıraları	En uygun montaj sırası ve montaj istasyonu konfigürasyonu	Otomatik
Hong, Cho	1999	Optimizasyon Teknikleri Tabanlı Montaj Planlama	Ürüne ait montaj sıraları	Robotik montaj için en uygun montaj sıraları	Otomatik
Lazerini, Marcelloni	2000	Optimizasyon Teknikleri Tabanlı Montaj Planlama	Gelişigüzel türetilmiş montaj sıraları	En uygun montaj sıraları	Otomatik
Smith, Smith	2002	Optimizasyon Teknikleri Tabanlı Montaj Planlama	Ürüne ait montaj sıraları	En uygun veya en uyguna yakın montaj sıraları	Otomatik
Smith	2004	Optimizasyon Teknikleri Tabanlı Montaj Planlama	Ürüne ait montaj sıraları	En uygun veya en uyguna yakın montaj sıraları	Otomatik
De Fazio, Whitney	1987	Kural Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 2 boyutlu BDT modeli	Tüm olası montaj sıraları	Kullanıcı Etkileşimli
Steven, Lai	1993	Kural Tabanlı Montaj Planlama	Montaj parametreleri	Ürün montaj analizi ve tasarım iyileştirmesi	Kullanıcı Etkileşimli
Zha, Du, Qiu	2001	Kural Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 3 boyutlu BDT modeli	Ürün analizi ve en uygun montaj sıraları	Kullanıcı Etkileşimli
Dong	2005	Kural Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 3 boyutlu BDT modeli	Olası ve en uygun montaj sıraları	Kullanıcı Etkileşimli
Seo, Sheen, Kim	2007	Kural Tabanlı Montaj Planlama	Ürünün 3 boyutlu BDT modeli	Ürün montaj sırası	Kullanıcı Etkileşimli

Grafik tabanlı montaj planlama; montajın kısmi görünümünü içermekte, montaj işlemine ve montaj işlemlerinin özelliklerine dayanır. Bu yaklaşımda grafik tabanlı temsiller, genellikle BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) veri tabanı veya kullanıcı tarafından elde edilmektedir. Geliştirilen bu temsiller aracılığıyla montaj analiz edilebilmektedir.

Unsur tabanlı montaj planlama; unsur tanıma yaklaşımına ihtiyacı ortadan kaldırmak için alternatif bir yaklaşım olarak unsur tabanlı tasarım adında başka bir yaklaşım tarzı geliştirilmiştir. Unsur tabanlı tasarım; üretim modeli, geometri, topoloji, unsur şekilleri, boyutlar, toleranslar, malzeme vb. hakkında bütün gerekli bilgileri kapsamaktadır. Bu yaklaşımda, unsurlar ve imalatla ilgili bütün bilgiler, tasarım işlemi, oluşturulan parçanın veri tabanı ve BDİP için gerekli olan bütün bilgiler tanımlanmıştır.

Matris tabanlı montaj planlama; bir ürünün parçaları arasındaki çakışma, temas, bağlantı, hareket, VE/VEYA ilişkileri matris şeklinde temsil edilerek montaj planlamaya girdi olarak kullanılabilir. Grafik ve matris tabanlı çalışmalar yöntem olarak birbirine benzemekte ise de, BDT modelinden çıkarılan montaj verisi farklı formatta temsil edilmiştir. Matris formatı bilgisayar formatına uygun olduğundan dolayı bilgisayar programı ile montaj planlama için matriste temsil edilen montaj bilgilerini elde etmek grafik tabanlı yaklaşımlara göre daha kolaydır.

Optimizasyon Teknikleri Tabanlı Montaj Planlama; optimizasyon tekniklerinin montaj planlamada kullanılmasıyla en uygun montaj sıralarının ürünün BDT modeline bağlı kalmaksızın türetilmesine imkan sağlanmıştır. Montaj planlamada kullanılan optimizasyon teknikleri, tavlama benzetimi ve genetik algoritmalar olarak sınıflandırılabilir.

Kural Tabanlı Montaj Planlama; kural tabanlı çalışmalara literatürde çok rastlanmamakla birlikte bu yaklaşımlar oldukça sık kullanıcı etkileşimine gitmektedir. Bu da montaj sıra planlamada harcanan zamanı artırmaktadır. Bu yüzden bu yaklaşım montaj planlamada sıklıkla tercih edilen bir yöntem değildir.

3.4. Montaj Yöntemi ve Sürecini Etkileyen Faktörler

Tüm iyi tasarım metodolojileri gibi montajda da; montaj yöntem ve süreçlerinden bağımsız, bunlara bağımlı, bunlarda ortak ve özel montaj süreçlerine özgü vb. faktörler olduğuna karar vermek önemlidir. Montaj yapılırken önce amacın ne olduğuna karar verilmelidir. Montajın amaçları şu şekilde sıralanabilir:

- Birkaç nesneyi bir araya getirmek ve bunları aralarında anlamlı bir konum ve fiziksel bir ilişki olacak şekilde yerleştirmek
- Bu görevleri tasarımın çıkış hedefinde en az aksamaya sebep olma kısıtlamaları çerçevesinde sıralamak
- Bu işin bir arıza durumunda bunun minimum olması veya en azından arızanın kısmi bir başarıya dönüşecek şekilde uygulayarak, işin (maliyeti) başarı ihtimalinin en uygun olacağı noktaya dek en aza indirmek olarak tanımlanabilir.

Faktörlerle süreçler arasındaki ilişkiler kurulmadan önce faktörlerin belirlenmesi, yöntemlerin ve süreçlerin sınıflandırılması gerekir. Önemli faktörler sayıca azdır ve nihai olarak üç faktöre ayrılabilir: kaç tane, kaç tane değişik biçim (varyant) ve ne kadar. Bunlar belirlendiğinde, bu öğelerden her birinin önem derecesini belirlemek gerekir ve böylece çelişki olması durumunda en iyi eylem planını belirleyecek öncelikler saptanabilir. Her imalat tasarımı faaliyetinde öncelikli amaç işlevselliği sağlamak ve ardından maliyeti düşürmek olur. Bu bağlamda, işlevselliğin en geniş anlamıyla güvenilirlik, kalite vb. gibi kavramları içine alacak şekilde olduğu düşünülür; bu riske atılamaz. Bu sebeple, başarılı montaj tasarımı sonucu uygun montaj sürecine karar verilmeli ve bu sürecin güçlü / zayıf yanlarını içerecek maliyete bağlı tasarım yapılmalıdır.

3.4.1. Montaj yöntemindeki başarı ve başarısızlık

Montajda kullanılan yöntemlerin uygunluğunu belirleyecek başarı ve başarısızlık kavramları tanımlanmalıdır. Başarı, basitçe önceden belirlenen görevleri

gerçekleştirme olarak tanımlanabilir. Kısmi başarı veya başarısızlık, görevin belirli bir kısmını gerçekleştirme olarak tanımlanabilir. Burada ürünün yapısal değeri veya başarısızlığın görevi tamamlama izin verecek ölçüde ekonomik olması hakkında bir karar verilmelidir. Başarısızlığı giderme maliyeti, bu arıza aşamasında, ürün değerinden yüksek olacağı için emeğin sonuçları kaybedildiğinde başarısızlık olur.

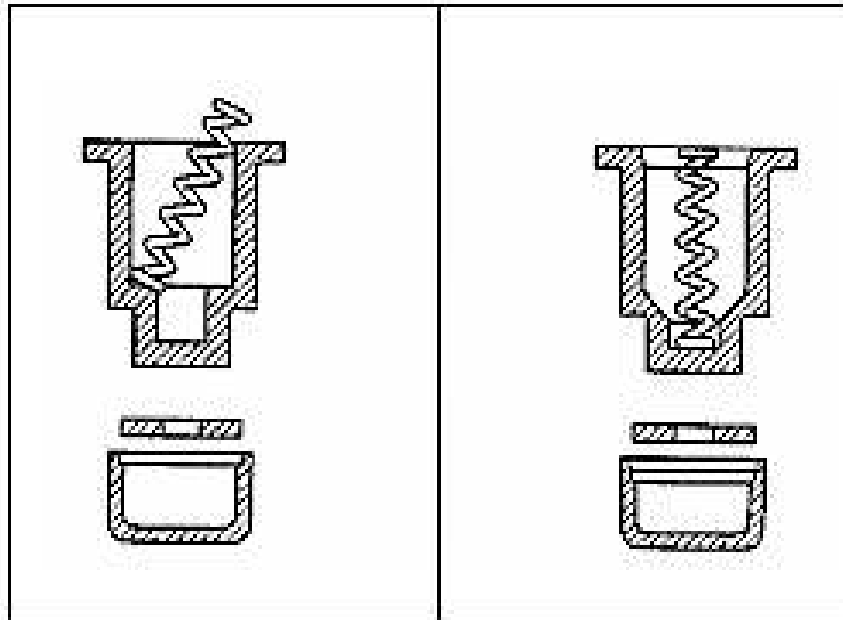
Montaj yönteminin başarılı olabilmesi için, faktörlerle süreçler arasındaki ilişkiler kurulmadan önce faktörlerin belirlenmesi, yöntemlerin ve süreçlerin sınıflandırılması gerekir. Açık bir şekilde, bu faktörlerin bazıları birbiriyle çapraz ilişkilidir ancak basit bir şekilde montaj yöntem ve süreçlerinin nasıl belirlendiğini gösterirler. Örneğin, iki temel montaj metodu tezgâh (tek-istasyon) ve hat montaj metodu ise, o zaman parça sayısı (parçaları sevk ve idare zorluğu sonucu) hat montajının tezgâh montajından daha verimli olduğu bir noktaya gelir. Benzer bir şekilde, bazı üretim hızlarında (daha az ekipman çoğaltılmasıyla) hat montajı tezgâhtan daha aktiftir. Aynı şekilde, üç temel montaj metodu manüel, özel amaçlı ve esnek montaj ise, özel bir parçanın gereksinim sıklığı azaldıkça, bir aşamada manuel montaj tek uygulanabilir seçenek olur. Yani, esnek ve özel amaçlı montajda ekipman maliyeti azalan kullanımla (daha çok çeşit) artarken, manuel montaj maliyeti, bundan bağımsız olur. Son olarak, iş gücü pahalı değilse manuel montaj en çekici seçenek olmalıdır.

Montaj koşullarında başarısızlık, parçaların gerekli konumsal bağlantılara başarılı bir şekilde yerleştirilememesinden kaynaklanır. Bunun sebebi montaj mekanizmaları veya parçaların geometrisi olabilir. Gerçekçi olarak ilk neden, her montaj türünde, arıza kapsamlı bir şekilde değerlendirildiğinde göz ardı edilebilir bir etkisi vardır. Sadece basit güvenilir montaj yardımcılarının kullanıldığı manüel montajda, ‘ekipmanın’ güvenilirliği bariz bir şekilde yüksektir. Özel amaçlı montajda mekanizmalar, kumandalar ve kontrol ekipmanı zaman zaman arızalansa da bu başarısızlıklar total başarısızlık bağlamında önemsizdir. Bu sebeple, başarısızlıklar, ya hatalı ya da yanlış hizalanmış parçaları monte edebilme teşebbüslerinin bir sonucudur. Açık bir şekilde, her montaj görevi en azından iki parçanın bir araya getirilmesini içerdiği için, parçaların birleştirilmiş hataları genel kaliteyi belirler.

3.4.2. Hatalı montajın nedenleri

Montaj koşullarında hatalı birleşme, gerekli yerdeki bağlantılara parçaların uygun bir şekilde yerleşmediğinde oluşur. Bunun sebebi montaj mekanizmaları veya parçaların geometrisi olabilir. Gerçekçi olarak, ilk sebebin her montaj türünde arıza kapsamlı bir şekilde değerlendirildiğinde önemsiz bir etkisi vardır. Sadece basit, güvenilir montaj yardımcılarının kullanıldığı manuel montajda, ekipmanın güvenilirliği bariz bir şekilde yüksektir. Özel amaçlı montajda mekanizma, kumanda ve kontrol ekipmanı bazen arızalansa da bu durum genelde önemsizdir. Bu sebeple, hatalı montaj ya eksik ya da yanlış hizalanmış parçaları birleştirme çabasının bir sonucudur.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi montaj hatalarını ortadan kaldırmak için parçalar tasarlanırken eş çalışacağı parçalara yönlendirme yapabilmek için keskin köşeler azaltılmalı, gerekli pah kırmalar ve yuvarlatmalar yapılmalıdır. Bu sebeple, hatalı montaj ya eksik ya da yanlış hizalanmış parçaların montajlama teşebbüslerinin bir sonucudur.



Şekil 3.7. Yönlendirme amaçlı pah kırmaların yapılması [30]

İmalat süreçlerinin iyi kontrolü, yeterli denetim, iyi bakım ile hatalı parçalarla nadiren karşılaşılacağı görüşü savunulabilir. Bu çok basit bir görüş değildir; tipik alt-montajlarda parçaların birçoğu, özellikle bağlayıcılar, ana odağın minimum masraf çıkaran imalat yöntemlerini kullanmak olduğu uzmanlar tarafından imal edilir. Bu yöntemler, mükemmele yakın kalitede olabilir. Kaliteyi artırmak kolaydır; yapısal olarak daha güvenilir üretim yöntemleri kullanılabilir veya var olan yöntemleri kullanan kusurlu parçalar denetlenebilir. Bu alternatiflerin ikisi de maliyet artışına yol açar ve mükemmel kalitenin aşırı maliyet anlamına geleceği açıktır. Yani en güvenilir imalat yöntemleri ve en kapsamlı denetleme bile mükemmel kaliteyi garanti etmez. Hatalı parça montajları şu tür sebeplerden oluşabilir:

- İlave edilecek parçayı hatalı kavrama
- Eşleşen parçayı yanlış konumlama

Manüel montajda toleranssız parçalar arıza oluşturan önemli tek hata türüdür ve montaj verimi üzerindeki genel etkisi azdır. Diğer bir ifadeyle, manüel montaj operatörlerinin parçaları mükemmel şekilde birleştireceği makul bir varsayımdır. Bu durumda, bu tür montaj için iyi ürün tasarım amacı sadece operasyonları yürütmede gerek duyulan süreyi kısaltmadır.

Otomatik montajda üç farklı hatalı parça türü daha vardır; bunlardan en yaygın olanı kavranacak parçanın yokluğudur. Yanlış fakat benzer bir parçanın kavranması (kötü düzenleme) veya diğer yanlış parçaların kavranması daha seyrek gerçekleşir. Açıkça her montaj görevi en azı iki parçayı bir araya getireceği için parça birleşim hataları genel kaliteyi belirler.

4. MÜHENDİSLİK TASARIMINDA UNSUR KAVRAMI

Tasarım fikirlerini ifade etme ve üretim işlemlerini otomatik olarak yapma düşüncesi 80'li yılların ortalarından itibaren unsur (feature) diye adlandırılan yeni bir kavram veya yaklaşımı doğurmuştur [4]. Böylece tasarım modelleme sürecinde biçimin yanında montaj özelliği de dikkate alınmaya başlanmıştır. Bir KMİT yönteminin işleyişini sağlamak için izlenmesi gereken temel adımın unsur kavramı yattığı söylenebilir. Bundan dolayı, tüm önemli parametrelerin mevcut olduğu varsayılırsa yöntemin içeriğinin daha az öneme sahip olduğu ve kullanılacak yöntem seçimi tavsiyesinin anlamlı felsefi tartışmalardan ziyade kullanımın kolaylığıyla ilgili olduğu çıkarılabilir. Örneğin, bilgisayar tabanlı sistemler istisnasız olarak her zaman manüel sistemlerden üstündür, çünkü kullanımları daha kolay ve hatalara daha az açıktırlar; öte yandan kullanıcıya genellikle daha fazla ayrıntılı bilgi sağlamazlar.

Bilgisayar Destekli İmalat (BDİ) ve Bilgisayar Destekli Montaj (BDM) gibi sistemlerde özellikle unsur kavramı dikkate alınarak montaj tasarımı geliştirilmiştir. Unsur için bugüne kadar çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Unsuru Henderson, birbiriyle bağlı yüzeylerin oluşturduğu özel bir işlem tipi, Hummel, herhangi bir şeklin, herhangi bir kısmının ölçüleri, Hirschtick, parçanın herhangi bir kısmının en az bir BDT fonksiyonu olacak bir şekilde geometrik şekil veya parçası, Luby de parçanın imalat açısından anlamı olan herhangi bir kısmı olarak tanımlamışlardır [31]. Unsur tanıma, BDT/BDİ arası bütünleşme sağlayacak BDİP (Bilgisayar Destekli İşlem Planlama) işlemi için bir veri tabanı hazırlamaya dayanmaktadır.

Unsurlar, unsur şekil ve yüzeylerinden oluşur. İş parçası köşe ve kenarları, yüzey üzerinde şekillendirilmiş belirli konumlar şeklindedir. Unsur şekillerine bağlı işlem planlamanın tanımlanması iş parçasının üretim işlemi için, bağlama veya ölçme maksatlı kullanılabilecek geometrik şeklinin tanımlanması ya parça karakteristiği ya da ayıran bir özellik olarak karşımıza çıkar [32]. Unsur teknolojisi, işlem planlamadan tasarıma, araştırma ve mühendislik analizine doğru yayılmıştır. Unsurlar; fonksiyonel, montaj, fiziksel, eşleşen ve soyut unsurlar vb. gibi birçok farklı çeşide ayrılır.

4.1. Montaj Unsuru

Günümüzde çoğu CAD sistemleri, parçaların geometrik modelini oluşturmak için tasarlanmıştır ve model montaj edilebilmede birkaç analitik performans olduğu için parçalarla ilişkili çeşitli teknolojik unsurları dikkate almazlar. Ancak, montaj ile ilgili literatürde sunulan önemli unsurlar vardır. Unsur kavramı, montajın tanımlanması için de kullanılmıştır. Çünkü iki elemanın kolay monte edilebilmesi, sadece özel yüzeylerin başarılı olması ile gerçekleşir. Burada montaj unsur kavramı çok önemlidir.

Montaj Unsuru (MU), herhangi geometrik (bir alt yüzey) veya teknolojik (bir süreç) ya da bir yüzey, bir parça veya bir alt montaja ayrılmış fonksiyonel (bir tolerans ya da bir bağlantı olarak ürün fonksiyonu) bilgi kullanılarak tanımlanır. Bu tanım, montaj kullanmaya başlanarak çeşitli parametrelerden türetilmiştir. Kısaca montaj unsuru, belirli bir montaj bağlantı aracıdır. Yani, iki farklı parçanın iki biçim unsurları arasındaki ilişkisidir.

Araştırmaların çoğu, montaj unsurlarının kavramı ile ilgilidir. Ancak, ağırlıklı olarak montaj sırası ve görevi kaynaklı CAD sistemleri kullanmaya yön verme ele alınır. Bu çeşitli modeller analiz edildikten sonra zayıf noktaları dört ana başlıkta gösterilebilir:

1. Monte edilmiş ürüne karşılık gelen tek bir durum içinde ürünü modelleme
2. Zayıf tanımlanmış parça yüzeyleri
3. Erişilebilirliğin değerlendirilmesi
4. Teknolojik bilgi modelleme

Bu zayıf noktaları dikkate alarak, montaj sırası ve görevleri belli aşamalardan geçer. Montaj unsurları şu özellikleri takip eder:

1. Montaj unsurları çift olarak ortaya çıkar.
2. Montaj unsurları arasında belirgin hareket ve yerleşim ilişkisi vardır.
3. Hareket ve yerleşim ilişkisi fonksiyonel (işlevsel) unsurlarla ilgilidir.

4.2. Montaj İçin Yardımcı Unsurlar

Montajda kullanılan yardımcı unsurlar kolay montaj ve demontaj için önemli bir yere sahiptir. Bu yardımcı unsurlar; eklemeler, bağlantılar ve bağlayıcılarıdır.

Bir araya geldiklerinde bir mekanizma oluşturan katı gövdeler, bir elemanı oluşturur. Elemanlar, anlık olarak katı gövdelerle aynı işleve sahip olan kablo, sıvı gaz veya şekilsiz materyal gibi katı-olmayan gövdelerden oluşabilir ve bazen dirençli gövdeler olarak adlandırılırlar. Elemanlar, eklem adı verilen temas noktalarında çiftler halinde birbirine bağlanır.

Bir elemanın başka bir elemana temas eden yüzeyi eş unsuru olarak adlandırılır. Böyle iki veya daha fazla unsurun birleşmesi kinematik bir çift veya bağlantı oluşturur. Bağlantı, aralarında göreceli devinim var olması veya olmaması için sürekli olarak temas halinde tutulan elemanların eş unsurlarının bir birleşimidir. Bağlantı hareketliliği bir serbestlik derecesi sayısı (NDF/Number of Degrees of Freedom) ile belirlenir. NDF' ye göre:

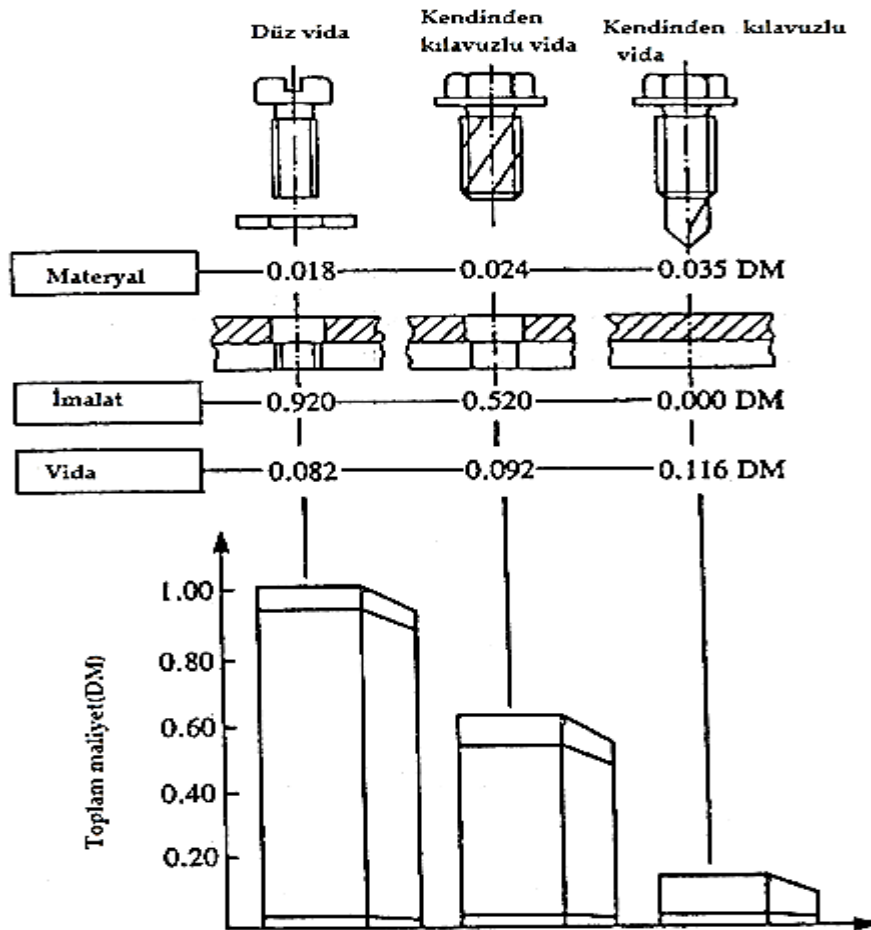
- hareketli (NDF 1, 2, 3, 4, 5 ise)
- bütün (NDF ≤ 0 ise) bağlantı hareketliliği belirlenir.

Eklem ve ekleme teknikleri arasındaki ayrımı yapmak önemlidir. Eklem, işlevsellik için gerekli olan bir tasarım özelliğidir, *ekleme/birleştirme* ise ayrı parçaların ihtiyacı ve eşleşen parçalar arasındaki kuvvetin kalitesi tarafından nitelenen süreç veya süreçlerdir.

Hareketli bağlantılar, çalışan güçler hareket halinde olduğunda göreceli devinimlerin mümkün olduğu parçalar arasında kalıcı bir bağlantı türüdür. Hareketli parçaların yer değiştirmesi mekanizma teorisine göre serbestlik derecesi sayısı ile hesaplanır. Bunun için nokta temaslı iki katı gövde modeli kullanılır. Hareketli eklemlerin montaj için uygunluğunun ölçümü bağlantı sınırlayıcı sayısına bağlıdır. Bağlantı sınırlayıcı sayısının yüksek olması ilave ayarlama operasyonları gerektirir.

Bağlayıcılar, tanım gereği, tek işlevleri bağlantı kurmak olduğundan tüm bağlayıcılar ihtiyaç fazlasıdır. En iyiden en kötüye doğru sırayla tüm bağlayıcılar aşağıdaki gibidir:

- Entegre bağlayıcılar; bunlar ekstra parçaya sahip değildir.
- Bağlantı eklemli bağlayıcılar, halka segmanlar, spiral somunlar vs.; bunlar sadece elastik deformasyon gerektirirler.
- Deforme edici bağlayıcılar, perçinler, demonte tırnaklar vs.; bunlar plastik deformasyon gerektirir.
- Vidalı bağlayıcılar, somunlar, cıvatalar vs.; bu bağlayıcılar da operasyonu gerçekleştirmek için önemli bir süre gerekir.
- Yardımcılar, rondelalar, çatal pimler vs.; bunlarda da çoğu zaman parça eksiltilebilir.



Şekil 4.1. Farklı vida türü eklemelerinin toplam maliyetleri örneği [5]

Bariz bir şekilde, işlevsellik bağlanan öğeler arasında kritik kuvvetler gerektiriyorsa uygun bağlayıcı seçimi ciddi ölçüde kısıtlıdır. Ancak, birçok bağlayıcının işlevi göreceli konumları korumaktır ve bunun için çoğu zaman yanlış türdeki bağlayıcılar kullanılmaktadır.

Her bir ilave bağlayıcı kartuş, besleyici ve alet ihtiyacını artırır. Şekil 4.1’de ayrı sınırlayıcı sayısının nasıl azaltılacağına dair basit bir örnek verilmektedir. Kendinden kılavuzlu vidaların çoğu önceden açılmış deliklere ihtiyaç duymaz. Normalde tabaka metal boru gibi şeyler için hafif metaller üzerinde kullanılır. Kendi delen vidalar montaj aletinden gelen baskıyla pilot bir delik oluşturan keskin bir uca sahiptir. Uç materyale girdikten sonra bağlayıcının kılavuzlu kısmı döndürüldüğünde dişleri şekillendirir. Pilot deliğin açılmasıyla oluşan metal deformasyonu diş-bağlantı alanını artırır. Kendi delen vidalar delik açan bağımsız bir matkap ucuna sahiptir. Metale bir kez nüfuz edildiğinde bağlayıcı geleneksel bir kendinden kılavuzlu vida gibi işler. Bu tür parça sayısını azaltmada montaj yararlarının parça maliyetlerinden büyük olduğundan emin olmak için dikkat edilmesi gerekir.

Özel bağlayıcılar, standart olanlarının sahip olmadığı mekanik ve işlevsel özellikler sunarlar. Standart bağlayıcıların uygun olmadığı veya yetersiz olduğu uygulamalar için geniş çeşitlilikte özel-amaçlı bağlayıcılar mevcuttur. Klips, mengene ve kordon kelepçesi gibi bağlayıcılar için genellikle yaylı çelik, sıcak veya soğuk şekillendirilmiş metal/plastik gibi özel gereçler kullanılır. Gazları ve sıvıları bir montajın içinde veya dışında tutmaya yardımcı olması için kendinden yalıtılmış hızlı-işleyen bağlayıcılar kullanılabilir. Hızlı-işleyen bağlayıcılar bir parçaya hızlı veya yinelenen erişim gerekli olduğu uygulamalarda kullanılır. Örneğin, kafesli somunlar özellikle kör bağlama noktalarında çok yararlıdır. Kendini tutma özellikleri somunu kaynaklama, perçinle sıkma veya punto ile perçinleme ihtiyacını ortadan kaldırır.

Hızlı İşleyen Bağlayıcılar da bir parçaya yinelenen erişim gerekli olduğunda kullanılmalıdır. Bu bağlayıcıların seçimi için önemli olan faktörler yapının sağlamlığını, operasyonun pürüzsüzlüğünü ve kolay kurulumu içerir.

4.3. Montaj İçin Tasarım Kılavuzları

Pahl ve Beitz tarafından ortaya konulan sistematik tasarım yaklaşımında, kolay montaj için tasarım konusu ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu otoriteler, tasarım ve montaj arası ilişki ve uygun geometrik biçime sahip parça tasarlama konularına özellikle değinmişlerdir. Kolay montaj için tasarım, en az sayıda parçayla en düşük maliyette ve yüksek kalitede parça tasarım montajını amaçlar. Sistematik yaklaşımla kolay montaj için tasarım, aşağıdaki temel adımlardan oluşur:

- Montaj çeşitleri
- Genel montaj kılavuzları
- Montaj ara yüzleri tasarlama
- Ara yüz elemanları tasarlama
- Uygulama ve seçim kılavuzları belirleme

Tasarımda kullanılan unsurlara yardımcı olmak amacıyla çeşitli kaynak ve kılavuzlar kolay montaja ulaşmada önemli bir etkiye sahiptir. Montaj için kılavuzların amaçları; basitleştirmek, standartlaştırmak, otomatikleştirmek ve kalite sağlamaktır. VDI 3239 kılavuzu ve kaynaklara göre aşağıdaki temel operasyonlara yer verilir [33]:

- Mümkünse sistematik bir tarzda, monte edilecek parçaları depolama (De)
- Parçaları sevk ve idare (Se)
- Konumlama (Ko) (montaj için doğru olarak parçayı yerleştirme ve hizalama)
- Uygun bağlantılar hazırlayarak parçaları birleştirme (Bi)
- Toleransları eşitleme, gerekli oynama sağlama vb. için ayar yapma (Ay)
- İşletim yükleri altında istenmeyen hareketlere karşı monte edilen parçaları güvenceye alma (Gü)
- Denetim (Den)

Şekil 4.2’de kolay montaj üzerine odaklanan şekillendirme kılavuzları gösterilmektedir.

Ope r.	Kılavuzlar	Tür	Yanlış	Doğru
Montaj işlemlerini azaltma				
De Se Ko Bi Ay Gü Den	Bütünleşik ve karma yapılar kullanarak parçaları birleştirir	EM OM		
De Se Ko Bi Ay Gü Den	Parça sayısını azaltacak işlevsel birleşmeler kullan	EM OM		
Bi	Montaj operasyonlarını eş zamanlı yap	OM		
Bi Ay Gü	Birleştirilecek ara yüzlerin sayısını azalt	EM OM		
Ay Gü Den	Montaj grupları ve ürünlerin fonksiyonlarını test etmede demontajdan kaçın	EM OM		
Montaj işlemlerini basitleştir				
Ko Bi Ay Gü Den	Montaj operasyonlarını sınırlandır (açık kesin montaj sırası)	EM		
Bi	Ürün ve montaj operasyonlarını birleştir	EM OM		
Ay Den	Testlere ulaşım sağla; görsel incelemeyi mümkün kıl	EM OM		

Şekil 4.2. Montaj genel oluşum tasarımı şekillendirme kılavuzları [33]

Bu operasyonlar her montaj işleminde yer alır. Bunların önemi, sırası ve sıklığı; birim sayıları (bir defalık montaj, parti montajı) ve otomasyon derecesine (elle yapılan kısmen otomatik veya tam otomatik montaj) bağlı olur. Kolay bir montaj genel oluşum elde edebilmek için montaj operasyonları:

- Düzenli yapılandırılmış
- Azaltılmış
- Standartlaştırılmış ve
- Basitleştirilmiş olmalıdır.

Bu, montaj işlemini iyileşeceği için harcamalarda bir azalma sağlayacak ve montajın daha açık ve kolay kontrol edileceği için de ürün kalitesini arttıracaktır. Bu sebeplerden ötürü seçilen bir genel oluşum aynı zamanda parça sayısında bir azalma veya en azından parçaların standart olmasını sağlayabilir [33].

Burada, elle yapılan montaj (EM) veya otomatik montaj (OM) veya bunların her ikisinde de kılavuzun bir iyileştirme sağlayıp sağlamadığını belirtir. Bu tasnif, özel montaj durumlarında şekillendirme kılavuzları kullanma ve seçmeyi kolaylaştırmalıdır.

Diğer önemli bir montaj geliştirme bakış açısı, genel oluşumdan etkilenen ara yüzler tasarlamaktır. Ara yüzlerle ait iyileştirmelerin sağlanabilmesi için bunların:

- Azaltılmış
- Standartlaştırılmış ve
- Basitleştirilmiş olmaları gerekir.

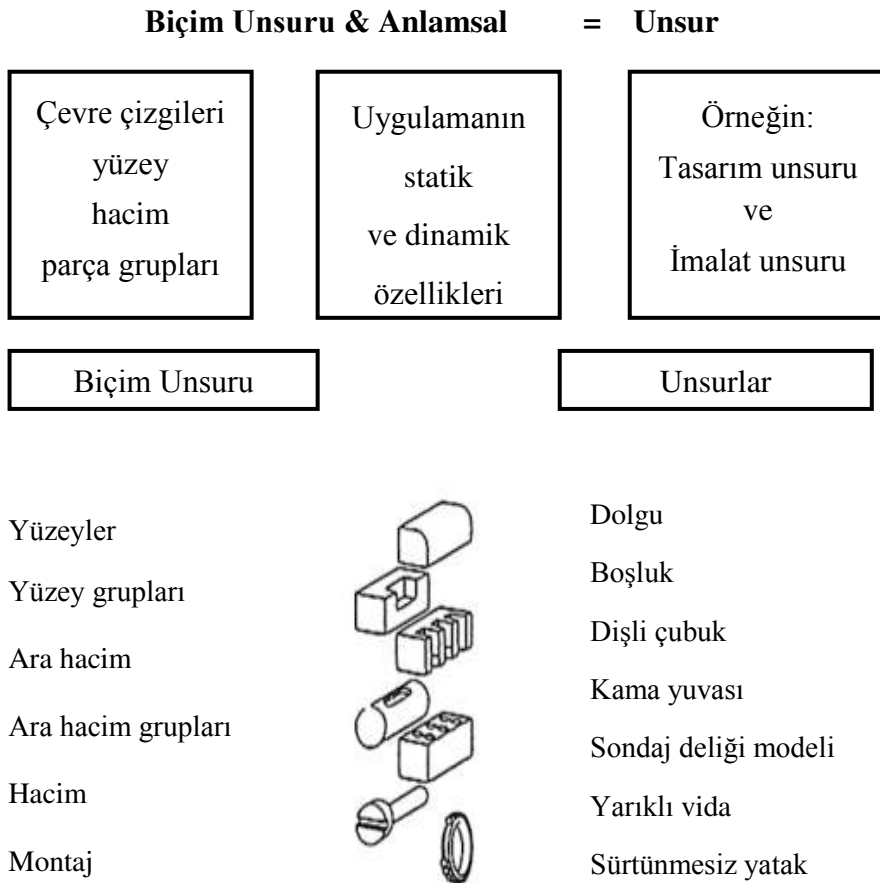
Bu olgular, bağlama elemanları sayısı ve montaj operasyonlarını azaltır ve ara yüz elemanlarının kalite ihtiyaçlarını minimize eder. Şekillendirme kılavuzları, Şekil 4.3'de, amaçlar ve etkilenen montaj operasyonlarına göre tekrar tasnif edilmiştir.

Ope r.	Kılavuzlar	Tür	Yanlış	Doğru
Ara yüzleri azalt				
De Se Bi Ay Gü	Bağlantı elemanlarını azalt, örn. Kelepçe ve geçme bağlantıları kurarak	EM OM		
De Se Bi	Özel bağlanma elemanlarını kullanarak bağlanma elemanlarını azalt	EM OM		
De Bi Gü	Bağlanma elemanı olmadan doğrudan bağlantılar amaçla	EM		
Ko	Otomatik ayarlama ve komutlandırmayı amaçla	OM		
Gü	Otomatik kilitleyen bağlantı elemanlarını tercih et, örn. Elastik-plastik deformasyon yoluyla	OM		
Ko Ay	Basit ayarlar tercih edin ve basit konumlama kılavuzları sağlayın	EM OM		
Bi	Uzun birleştirme yollarından kaçının	EM OM		
Bi	Bağlanmayı kolaylaştıracak eğimi sağla	EM OM		
Gü	Montaj kolay kilitleme elemanları uygula	OM		

Şekil 4.3. Montaj ara yüzleri tasarımı şekillendirme kılavuzları [33]

4.4. Tasarımda Unsur Süreci

Unsur, bir varlık olarak değerlendirilen ve tasarım, işlem planlama, imalat, montaj, maliyet tahmini vb. kısmi bir ürün özellik biçimidir. Unsurlar, unsur ve anlamsal bir yapı oluşturmak için mantık ilişkileridir. Biçim unsurları profil, yüzey, hacim vb. içerir. İmalat unsurları işlenebilirlik ve montaj edilebilirlik üzerinden tanımlanır; tasarım unsurları işlevleri ifade eder. Şekil 4.4’de unsur tanım ve örnekleri verilmiştir. Unsurlar, tasarım, analiz, montaj, fonksiyonlar ve üretim uygulamaları için unsur tanımlamaları gibi farklı bakış açılarına göre tanımlanabilmektedir. Modellenen ürün üzerindeki üretim işleminin farklı şekillerde uygulanması sonucunda planlamayı destekleyecek biçimde tanımlanmalıdır.



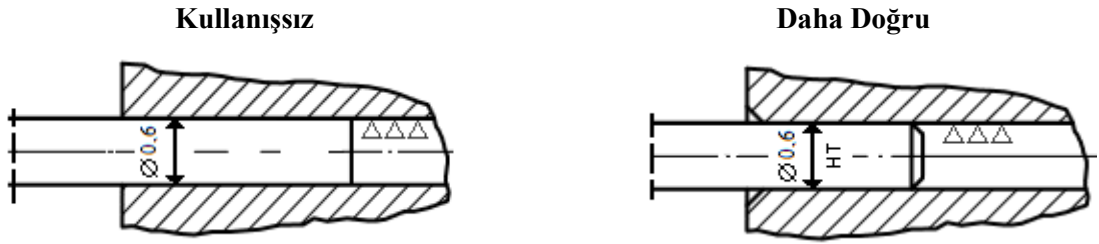
Şekil 4.4. Unsur tanım ve örnekleri [5]

4.5. Kolay Montaj İçin Tasarım Unsurları

Tasarımcı, bir unsur modelleme sisteminde montaj unsurlarını yönlendirmek ve nitelendirebilmek için unsurlar yaklaşımı ile tasarım desteklerine ihtiyaç duyar. Bir nesnenin öğelerini oluşturmak için fonksiyonel bir amaç, geometrik modelin oluşturulmasından sonra unsur tanımlama ile yapılmaz. Ancak, tasarım aşamasında; tasarımcı niyetini doğrudan biçim unsurları ile ifade eder. Ürün tasarımı özellikle bazı fonksiyonel ihtiyaçları karşılamak amacıyla ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle kaliteli ve iyi bir tasarımda bütün fonksiyonel ihtiyaçların tatmin edilmesi hedeflenir. Bununla birlikte montaj kolaylığı için tasarım esnasında göz önünde bulundurulması gereken kurallar vardır. Kolay montaj için tasarımda kullanılan önemli unsurlar:

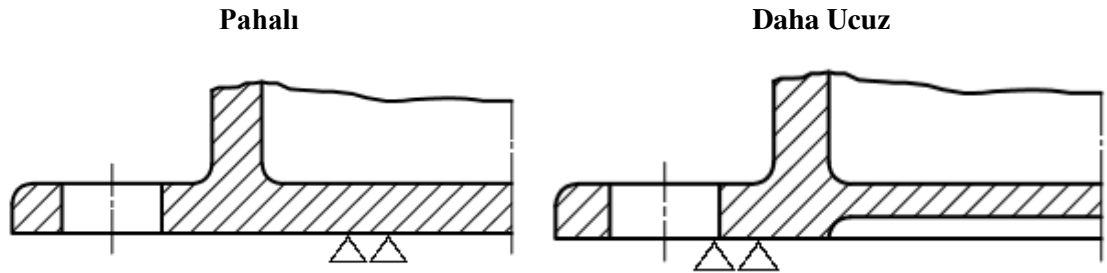
1. Birbirine geçme olacak parçaların yüzeylerine pah kırma, havşa açma veya kavis (radyus) oluşturma
2. Birbiriyle temas halinde olan yüzeylerin kısa tutulması
3. Bağlantı elemanının oturacak olan yüzeylerin eksenine dik olması
4. İki silindirik parçanın oturma köşelerine yiv açılması
5. Konik parçaların montajında, mil üzerinde fatura olmaması
6. Uygun geçme toleransının tespit edilebilmesi
7. Keçe, o-ring, v-ring vb. gibi kauçuk malzemeler içeren makine eleman montajlarında parçalara keskin köşe yapılmaması
8. Parça sabitliği için işleme göre merkezleme burcu veya pimi kullanılması
9. Cıvataların iki ayrı parçaya vidalanmaması
10. Montajı yapabilmek için anahtar yeri, tutma yerleri bırakılmasıdır.

Birbirine geçecek parça yüzeylerine pah kırma, havşa açma veya kavis oluşturma; Şekil 4.5’de ki örnekte kolay montaj için geçme parçalarda dişi veya erkek uçlara havşa açıp, pah kırılmalıdır. Bu parça piston vb. gibi bir parça ise pisliklerin pistonu sıkıştırmaması için silindire havşa açılmaz veya en çok 45° havşa açılır.



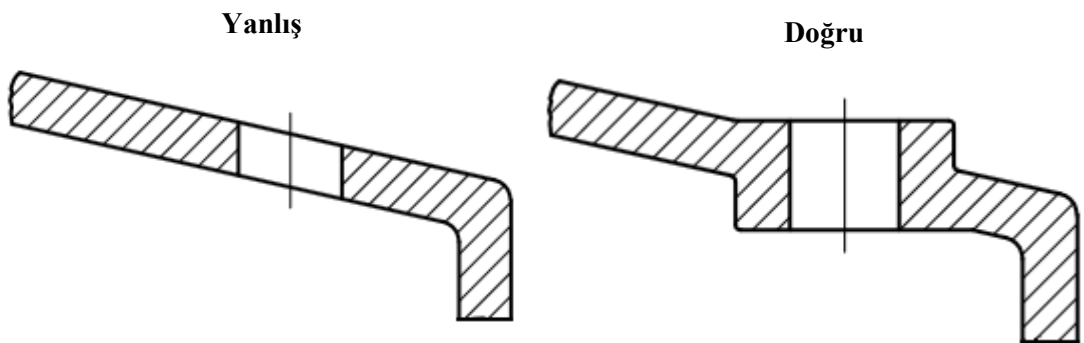
Şekil 4.5. Geçme parçalarda havşa açma veya pah kırma

Birbiriyle temas halinde olan yüzeylerin kısa tutulması; parçaların oturma (temas) yüzeylerinin minimum olması kolay montaj için önemlidir. Şekil 4.6'da işlenecek yüzeylerin kısa tutulmasına ait bir örnek gösterilmiştir.



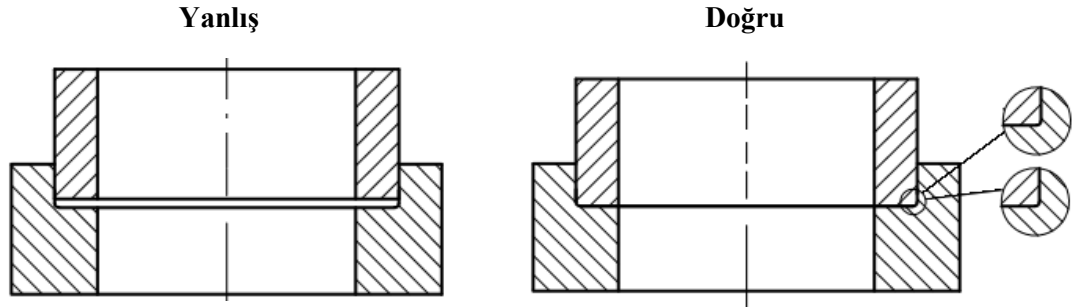
Şekil 4.6. İşlenecek yüzeyleri azaltma

Bağlantı elemanının oturacak olan yüzeylerin eksenine dik olması; birbirine geçen parçaları monte ederken temas edilen yüzeylerin eksene dik olması montaj için gereklidir. Şekil 4.7'de pim veya cıvatanın oturacağı yüzey eksenine dik olması ile ilgili bir örnek verilmiştir.



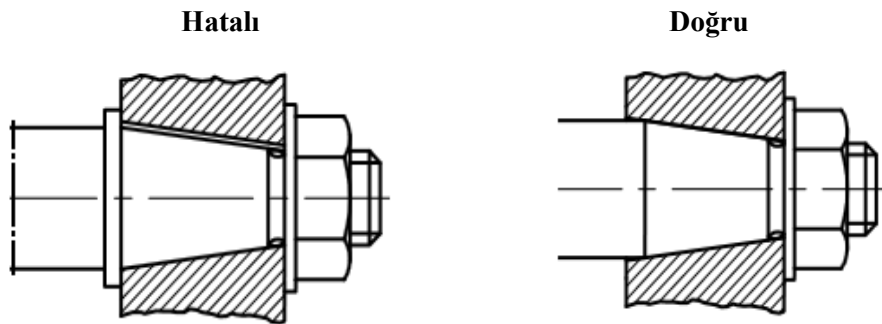
Şekil 4.7. Pim veya cıvatanın yüzey eksenine dik olması

İki silindirik parçanın oturma köşelerine yiv açılması; silindirik parçanın birbirine geçmesi durumunda dişi pozisyonda bulunan silindirik parçanın oturma yüzeyine yiv açılmalıdır (Şekil 4.8). Erkek parçanın oturma yüzeyine açılan kavis boyutu dişi parça oturma yüzeyine açılan yiv boyutundan büyük olmalıdır.



Şekil 4.8. Geçme köşelerine yiv açılması

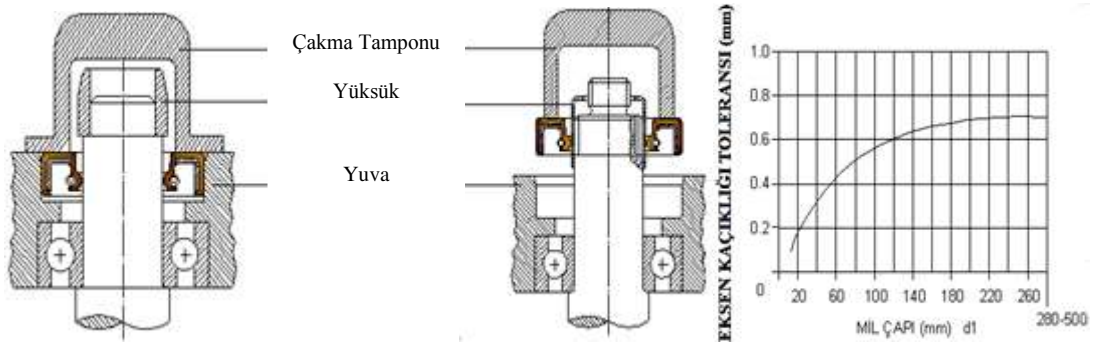
Konik parçaların montajında mil üzerinde fatura olmaması; mil şekillendirmede genelde milleri taşıyan yataklar, yağ keçeleri, mil üzerine tespit edilen dişli çark, volan, kayış kasnağı ve tekerlek vs. gibi parçalara bağlıdır. Şekillendirmede, doğru bağlantı yerleri seçimi, uygun fatura oluşturulması önemlidir. Şekil 4.9’da görülen koniğin oturması isteniyorsa flanş konmamalıdır.



Şekil 4.9. Konik parça montajı

Uygun geçme toleransının tespit edilebilmesi; birbirine geçen parçalar uygun geçme toleransına sahipse, yani aralarında bir boyut fazlalığı (sıkılık) varsa montaj sonrası yüzeyde bir basınç oluşur. Konstrüksiyonda dikkat edilmesi gereken en önemli husus

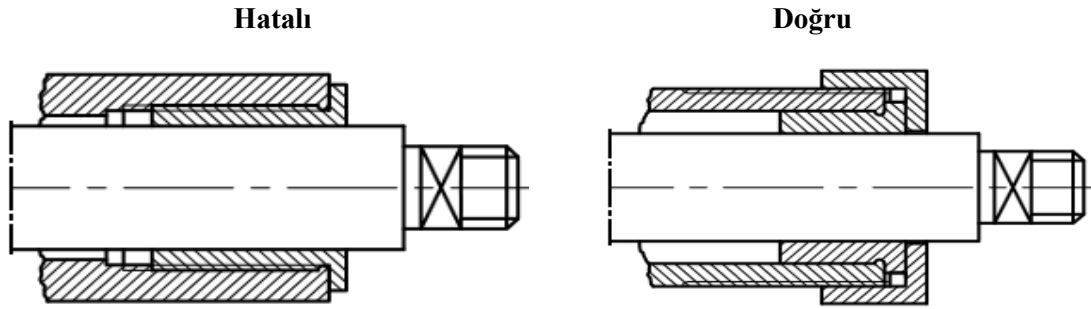
imalat öncesi seçilen sıkı toleransın kuvvet veya momenti emniyetle nakledebilecek kadar büyük, parçalarda plastik deformasyona neden olmayacak kadar küçük seçilmesidir. Şekil 4.10'da verilen örnekte yuva ve mil eksenleri arası kaçıklık toleransları gösterilmiştir. Bazı kauçuk cinslerinde, uzun yağ ağızlarında bu tolerans arttırılabilir. Ters durumlarda (kısa yağ ağızlarında) ise tolerans daraltılmalıdır.



Şekil 4.10. Uygun geçme toleransının tespiti

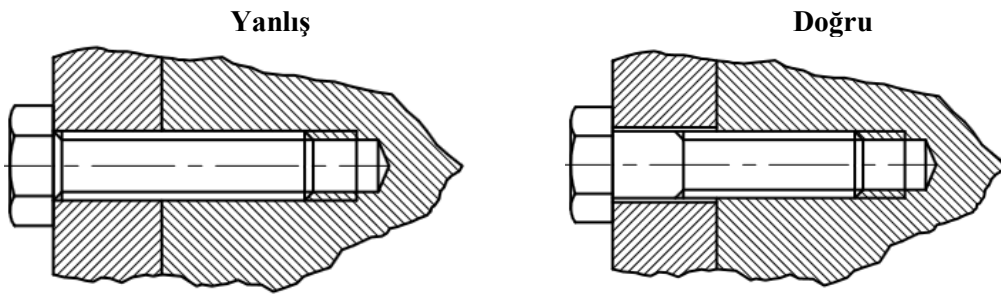
Keçe, o-ring, v-ring vb. gibi kauçuk malzemeleri ihtiva eden makine elemanlarının montajında parçalara keskin köşe yapılmaması; keskin köşelerden kaçınılıp kavis veya pah yapılmalıdır. Kauçuk türü malzemelerin keskin köşeler tarafından yırtılmaması için ilgili köşelere pah veya kavis yapılmalıdır.

Parça sabitliği için işleme göre merkezleme burcu veya pimi kullanılması; birbirine geçen parçaların montajında hareketli veya sabit tarafların yüzeye tam olarak oturması için merkezleme elemanlarına ihtiyaç vardır. Şekil 4.11'de bir hidrolik piston çubuğunun merkezlenmesi gösterilmiştir. Burada parçanın kolay bir şekilde sökülüp takılabilmesi için merkezleme burcu kullanılmıştır.



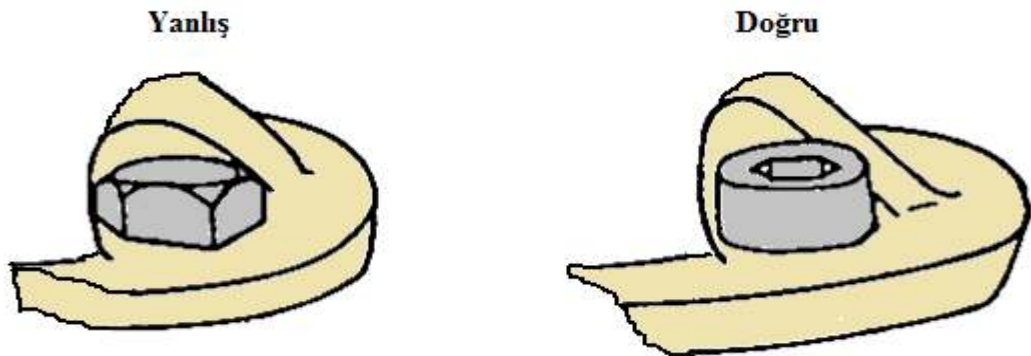
Şekil 4.11. Bir hidrolik piston çubuğunun merkezlenmesi

Cıvataların iki ayrı parçaya vidalanmaması; iki parçanın birbiri ile vidalı bir birleştirme elemanı vasıtasıyla birleştirilmesi gerektiğinde iki parçaya da vida açılmamalıdır. Bir parçada delik, diğer parçada ise vida olmalıdır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Cıvataların iki ayrı parçaya vidalanmaması

Montajı yapabilmek için anahtar yeri, tutma yerleri bırakılması; tasarım aşamasında montaj süreci de düşünülerek parça şekillendirilmelidir. Tutma veya montaj için kullanılan aparatlar parçaya çarpmayacak şekilde tasarlanmalıdır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Kolay montaj için anahtar ve tutma yeri bırakılması

5. KOLAY MONTAJ İÇİN TASARIM METODOLOJİSİ

Zamana dayalı rekabet, diğer bir deyişle hızlı bir şekilde yeni ürün ve süreçler geliştirme, üretme ve dağıtma yeterliliği çeşitli tüketici ihtiyaçlarını karşılama ve sürekli ilerlemenin yanı sıra stratejik bir rekabet aracı olarak gittikçe önem kazanmaktadır. Piyasalar ve teknolojiadaki ani değişiklikler ürün yaşam döngülerini kısaltma eğilimindedir. Öte yandan, hızlı bir şekilde ürün geliştirme kendi başına bir amaç değildir.

Ürün geliştirilmesi pazar ihtiyaçları ve teknik olanaklardan üretim tasarımlarına kadar gerçekleşen tüm faaliyetleri; çizimler, tanımlamalar, aletler, düzenekler ve üretim programlarını içerir. Prototip üretim ve test faaliyetleri de ürün geliştirmeye dâhildir. Ürün geliştirme teknik yenilik sürecinin bir parçasıdır. Yenilik süreci fikirlerin ortaya çıkışından ilk ticari ürüne kadar tüm faaliyetleri içerir.

Ürünün kolay monte edilebilmesi için, ürün tasarımlarını sistematik bir yaklaşımla incelemek gerekir. Bu ise ancak, kolay montaj için tasarım ile sağlanabilir. Kolay montaj için tasarım (KMİT) yaklaşımı; tasarımı inceleme, gereksiz parçaları çıkartma, montaj etkinliğini iyileştirme ve maliyeti azaltmayı amaçlamaktadır. Kolay montaj için tasarımda, önce iyi bir yöntem seçilir ve bir ürünün manüel (elle) montajda ya da otomatik montajda daha uygun olup olmadığı belirlendikten sonra sistem oluşturulur. Bugüne kadar farklı KMİT yöntemleri geliştirilmiştir. Kolay montaj için tasarımda kullanılan yöntemlerin temel özellikleri şunlardır:

1. Eksiksiz olmalıdır. KMİT metodunun birbirini tamamlayan iki kısmı olmalıdır:

- a) Nesnellik; yani, montaj edilebilirliği değerlendirmek için yöntemler.
- b) Yaratıcılık; yani, montaj edilebilirliği artırmak için yöntemler.

KMİT yöntemlerinin büyük çoğunluğu sadece güçlü bir nesnellik ögesi taşır.

Bir tasarımcının faktörleri nasıl değiştireceğini bilmesi önemlidir.

2. Sistematik olmalıdır. Bu özellik, metodolojinin amaçların organizasyonu ve KMİT yöntemlerinin yaratıcı kısımları gibi konuların değerlendirildiğinden

emin olunmasına yardımcı olan sistematik bir yöntem içerdiğini gösterir.

3. Ölçülebilir olmalıdır. KMİT'in ana sorunlarından biri montaj edilebilirliğin objektif, eksiksiz ve doğru bir şekilde nasıl ölçüleceğidir. Güncel KMİT yöntemleri farklı montaj edilebilirlik ölçütleri kullanırlar. Maliyet bilgisi ürün montajı kalitesinin en nesnel ölçütüdür. Monte edilebilme değerlendirmesinin en önemli amacı etki faktörlerinin optimum kombinasyonunu bulmaktır. Maliyet tahmininin kesinliği KMİT metodunun kalitesinin bir göstergesidir.
4. Kullanıcı dostu olmalıdır. Kullanıcı dostu olmak her KMİT metodolojisi için, maliyet ve tasarımcı emeği açısından ciddi derecede önemlidir. Kullanım kolaylığı ve tasarım uygulamasının kalitesi arasında ince bir denge olması zaruridir. Bir yöntemin kullanımı özellikle kolaysa, ancak yöntem hiçbir yarar sağlamıyorsa o zaman iyi bir sistem değildir. Diğer taraftan, iyi bir yöntem, öğrenilmesi veya kullanılması çok zorsa, o zaman kullanılmamalıdır.

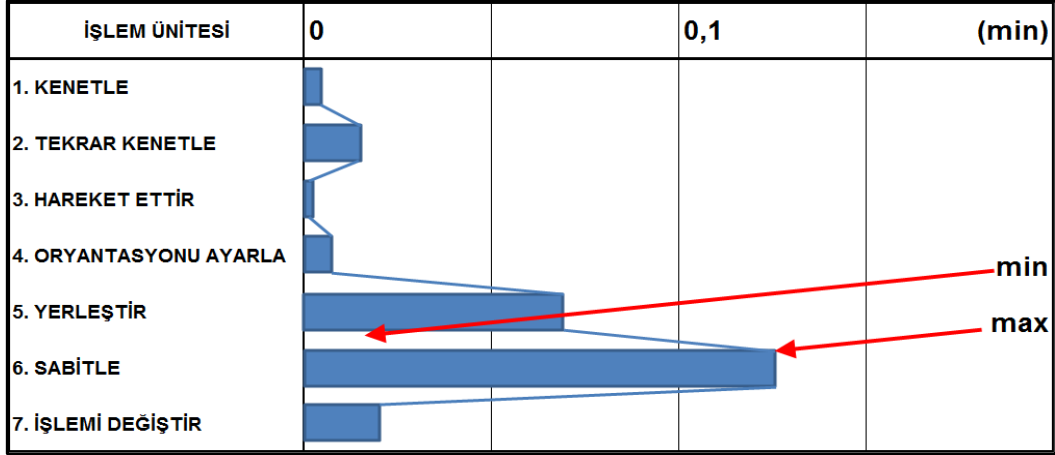
5.1. Kolay Montaj Tasarım İlkeleri

Montaj süreçleri, en küçük bireysel işlem ünitelerine ayrılırsa; aşağıda gösterilen Hms (H: Hareket, m: montaj, s: sayı) işlem üniteleri birleştirmesinde olduğu gibi, tasarım sistematik olarak gerçekleştirilebilir. Kolay montaj için işlem üniteleri aşağıdaki faktörlerden oluşur:

Hm1: ? (Kenetle), Hm2: ? (Tekrar kenetle), Hm3: ? (Hareket ettir), Hm4: ? (Oryantasyonu ayarla), Hm5: ? (Yerleştir), Hm6: ? (Sabitle), Hm7: ? (İşlemi değiştir).

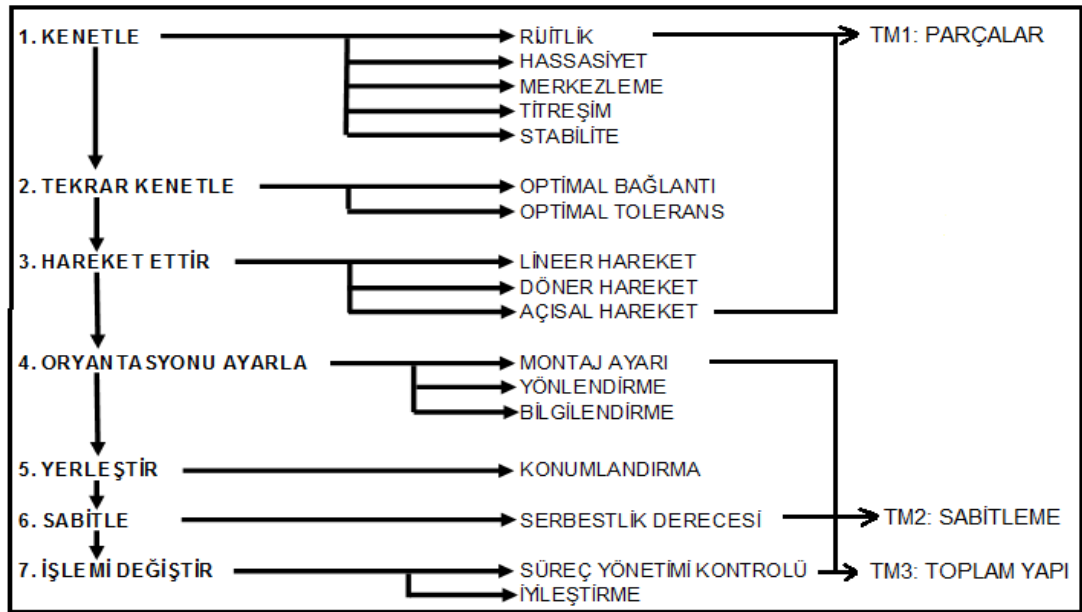
Şekil 5.1'de Hms işlem ünitelerini, elle yapmada gerekli olan en fazla zamanın Zm (Z: Zaman, m: montaj) analiz sonuçları ile maksimum/minimum zaman aralığı Zm (max-min) gösterilmektedir. Bununla birlikte analiz göstermektedir ki aynı işlem ünitelerini gerçekleştirmede gerekli olan zaman, ürünü tasarlamaya bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Şekil 5.2'de, Şekil 5.1'de gösterilen işlem zamanını (Zm) değiştiren tasarım faktörleri verilmiştir.

Analiz sonuçlarından da anlaşıldığı gibi, Hms montaj işlem üniteleri, Zm işlem zamanı değişiklikleri tasarım faktörlerine bağlı olarak ürüne ait parçanın şekil ve bağlantı yöntemi sistematik olarak görülebilir.



Şekil 5.1. Montaj işlemleri zaman aralığı [34]

Şekil 5.2’de gösterildiği gibi kolay montaj için tasarım faktörleri; (Tm1: Parçalar), (Tm2: Sabitleme) ve (Tm3: Toplam yapı) (T: Tasarım, m: montaj) olmak üzere üç temel karşılıklı kriterlere ayrılır. Sonuç olarak, bunların kolay montaj için tasarım ile ilgili temel ilkeler olduğu söylenebilir.



Şekil 5.2. Montaj işlemlerinde montaj zamanını etkileyen tasarım faktörleri

(Tm1: Parçalar); her bir parçayı şekil, malzeme, işleme, boyutlar ve ağırlık gibi etkenleri dikkate alarak tasarlamayı, (Tm2: Sabitleme); her bir parçayı çıkarma, ekleme ve bağlantı parçaları gibi faktörleri dikkate alarak tasarlamayı, (Tm3: Toplam yapı); her bir parçanın yeri ve konumunu göz önüne alarak tasarlamayı ifade eder.

5.2. DFA Sistemleri

Tasarım ve imalatı kolaylaştırarak ürün maliyetini düşürmek için birçok farklı DFA sistemi geliştirilmiştir. Güncel DFA sistemleri dört ana başlıkta tanımlanabilir:

1. Tasarım ilkeleri ve tasarım kuralları olan DFA sistemleri
2. Nicel değerlendirme yöntemleri kullanan DFA sistemleri
3. Bilgi tabanlı yaklaşımlar kullanan DFA sistemleri
4. Bilgisayar destekli yöntemleri kullanan DFA sistemleri

5.2.1. Tasarım ilkeleri ve tasarım kuralları olan DFA sistemleri

İyi ve kötü birçok montaj tasarım örnekleri vardır. Bu tasarımlar, montaj tasarım ilke, kural ve ana hatlarına dönüşebilecek bir veri tabanı oluşturur. Bu insan odaklı bilgiler, iyi ilke ve kural içeriğini daraltmayı destekler ama iyi bir DFA metodu oluşturmada farklı verilerin önemini tespit eder, veriler arası çelişkileri çözer ve sonuçta oluşan bilgiyi iyi bir şekilde düzenler.

Tasarım kuralları, kapsamlı uygulamaları ile doğrulanmış muhakemeye dayalı elde edilen bilgilerdir. Genel ve detaylı birçok tasarım kuralı oluşturulmuştur. Bunlar:

- Ürün tasnifi
- Ürün yapısı
- Parçalarla ilgili kurallardır [5].

Bu kurallar montaj tasarımına giriş açısından oldukça yararlıdır.

Kuralları ürün kavramı, ürün yapısı, teknikleri birleştirme gibi çeşitli alanlara göre sınıflandıran Weissmantel (1989) oldukça kapsamlı bir kural kataloğu oluşturmuştur [35]. Örnekler, birçok görsel öge ile verilmiştir. Tasarım kurallarını sınıflandıran başka birçok DFA metodu vardır. Yöntemlerin çoğu hemen hemen aynı kuralları içerir.

5.2.2. Nicel değerlendirme yöntemleri kullanan DFA sistemleri

Nicel değerlendirme işlemleri tasarımcılara monte edilebilirliğe göre ürünleri sayısal olarak sıralamayı mümkün kılar. Bu nicel DFA metodolojileri sistematiktir ve DFA kurallarını doğru uygulama, etki faktörlerini doğru değerlendirme ve geliştirilmesini sağlar. Yaratıcılık teşvik edilir ve görevini yaptığında tasarımcı genelde iyi nicel sıralama elde eder. Sık kullanıldığında daha ileri kullanım ihtiyacı genellikle azalır.

Nicel değerlendirme yöntemlerinde yöntem ön plandadır. Nicel yöntemde araştırma süreci esnek değildir; araştırma hipotezleri ve hangi veri toplama aracı kullanılacağı önceden belirlenir ve veri toplama aşaması sonrası değiştirilmez.

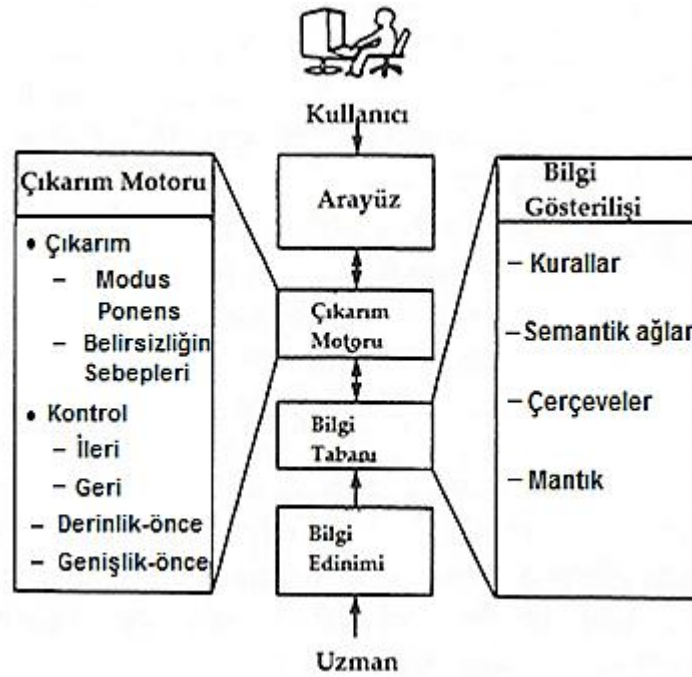
Endüstride yeğlenen DFA yöntemleri özellikle değerlendirme işlemlerini baz alır. Tasarımcı montaj süreçlerindeki operasyonları tek tek belirlemelidir. Her montaj operasyonu sürecin operatörler veya montaj sistemleri tarafından ne kadar kolay bir şekilde yürütüldüğünü ölçen bir sıralamaya tabidir [16]. Bir bütün olarak ürün, tekil sıralamayı bir formülle birleştiren nicel bir ölçümle hesaplanır. Tasarımcı montaj edilebilirlik derecesinde yetersiz olan parçaları tekrar tasarlayarak iyileştirebilir.

Birçok iyi bilinen nicel değerlendirme metodu vardır. Belki de en iyi bilinen DFA yöntemleri Boothroyd-Dewhurst, Hitachi ve IPA Stuttgart yöntemidir.

5.2.3. Bilgi tabanlı yaklaşımlar kullanan DFA sistemleri

Yapay zekâdaki hızlı gelişme bilgiyi saklamak ve sonuç çıkarmak için bir ortam sağlayarak, bilgi-tabanlı sistem mühendisliği toplumunu getirmiştir. Bilgi tabanlı

sistemler iyi algoritmik temeli olmayan kullanıcıya bazı şeyler yapmasını sağlar. Bilgi-tabanlı sistemler, geleneksel bilgisayar işlemleri yanı sıra çıkarım, bilgi-tabanlı yönetim, araştırma mekanizmaları vb. yetenekler sağlayan sistemler olarak tanımlanır [5]. Bilgi tabanlı bir sistem; bir bilgi tabanı, çıkarım, iletişim ve bilgi elde etmeden oluşur (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Bilgi tabanlı sistemlerin bileşenleri [36]

Kolay montaj için bilgi tabanlı işletim aşağıdaki özelliklere sahiptir [5]:

1. İfadeler, bilgi birikimi ve sonra sorun-çözme için kullanımını sağlayacak şekilde depolanabilir.
2. Kesin olarak bilinen şeyler önceden tanımlanabilir, diğer bir deyişle bir hipotez tanımlamak mümkündür.
3. Tasarım kararlarının montaj maliyetiyle ilgili sonuçlarına dair tavsiye alınabilir ve tekrar tasarım önerileri sağlanabilir.
4. Sorular ve mantıksal çıkarımların açıklamaları verilebilir.
5. Bilgi tabanlı sistemlerin bildirim dili yordama yönelik bir dilden daha kapsamlıdır. Çünkü doğal diller çoğunlukla bildirim dilinden ibarettir.

5.2.4. Bilgisayar destekli yöntemleri kullanan DFA sistemleri

Geleneksel veya bilgi işleme yaklaşımı kullanan DFA, kullanıcıların parça geometrisi, boyut, konum vb. ilgili birçok soruya cevap verecekleri seanslar içerir. Günümüzde kullanıcı girdisini azaltmak için DFA sistemlerinin CAD ile bütünleşik montaj edilebilirlik değerlendirme süreçleri geliştirilmektedir. Bu birleştirilmiş süreçteki ana rol, teknik nesnelerin gösterilişi ve montaj edilebilirlik özelliklerinin 3B CAD modellerinden çıkartılması ve işleme tabii tutulmasıdır [5, 16].

Kolay montajda bir ürün veri modeli şöyle elde edilir:

- Parça veri modeli
- Montaj modeli

Bu modellerin her biri parçaların sayısı, yüzey pürüzlülüğü verisi vb. gibi operasyon verileriyle tamamlanabilir.

5.3. Montaj Edilebilirlik Ölçümleri ve Yöntemleri

Montaj edilebilirlik, farklı insanlara farklı şeyler ifade edebilir. Montaj edilebilirlik ölçümler ve yöntemler olarak kategorize edilebilir. Ürünlerin montaj edilebilirliği için güncel olarak kullanılan ölçütler vardır. Temel düşünce olarak, şunlar kullanılır:

1. Nicel ölçütler
2. Nitel ölçütler

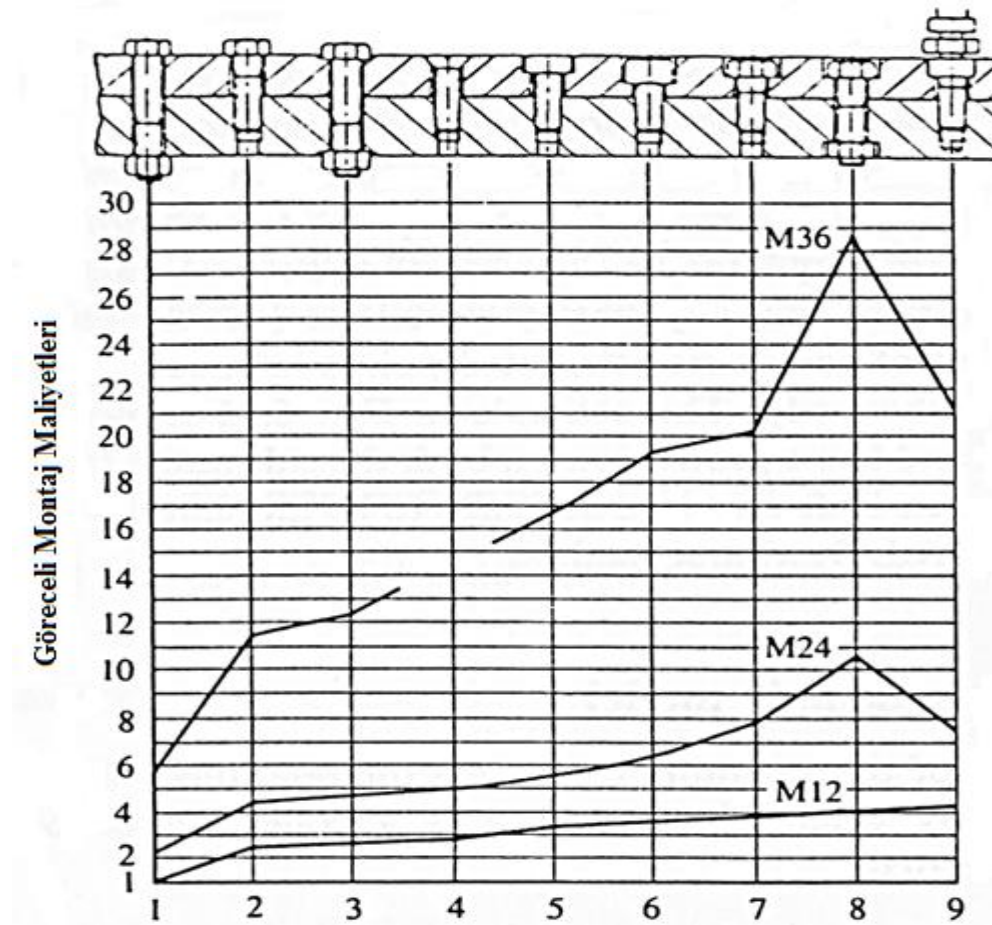
Montaj edilebilirlik yöntemleri için aşağıdaki değerlendirme yöntemleri kullanılır:

1. Boothroyd-Dewhurst Yöntemi
2. Hitachi Değerlendirme Yöntemi
3. Lucas Değerlendirme Yöntemi
4. IPA Stuttgart Yöntemi

5.3.1. Nicel montaj edilebilirlik ölçümler

Nicel montaj bilgisi; maliyet yapıları, tasarım kuralları ve göreceli masraflar vasıtasıyla elde edilebilir. Maliyeti, etkileyen faktörleri veya bir grup alternatif arasından en az pahalı çözümü bulmak için bu yöntemler kullanılır. Maliyet yapıları masrafların birkaç saptanabilir parçaya bölünmesidir. Parçalara mutlak veya göreceli değerler atanabilir. Maliyet yapıları, masraflar üzerinde en büyük etkiye sahip masraf türlerini belirlemek için kullanılır.

Tasarım kuralları nicel montaj edilebilirlik ölçümünün muhtemelen en yaygın kullanılan türüdür. Önceki tasarım ve montaj süreci uygulamalarından kazanılan deneyimi içerirler ve montaj tasarımının temelini şekillendirirler. Tasarım kuralları tasarımcıya pahalı çözümlerden kaçınması için yardımcı olur.



Şekil 5.4. Vida saplamaları için göreceli montaj maliyetleri [5]

Göreceli maliyetler, bazı referans durumların maliyetleri oranında bir faaliyetin maliyetleridir. Göreceli maliyetler farklı faaliyet türleri için değerlendirme veya deneyim yoluyla belirlenebilir. Göreceli maliyetlerin ana avantajı daha az pahalı bir alternatif bulmak için hızlı ve kolay bir yol sağlamalarıdır [5]. Şekil 5.4’de birkaç vida tutturucu için göreceli montaj maliyetlerini belirleyen bir çalışmanın sonuçları gösterilmektedir.

Nicel montaj edilebilirlik ölçümlerinin avantajları şunlardır:

1. Farklı detay seviyelerinde kullanılabilir.
2. Mutlak maliyetleri tahmin etme ihtiyacını önleyebilir.
3. Önemli bir dereceye kadar firmadan bağımsızdır ve zaman içerisinde değişime tabidir.

İki dezavantajı ise şunlardır:

1. Yüzlerce kuralı hatırlamak bir tasarımcı için zordur; bilgiye doğru zamanda ve hızlı bir şekilde ulaşılmalıdır.
2. Bazı kurallar iyi tanımlanmış değildir; ne zaman kullanılabilecekleri açık değildir ve var olmalarının sebebi bariz olmaması olarak özetlenebilir [5].

5.3.2. Nitel montaj edilebilirlik ölçümler

Nitel montaj edilebilirlik ölçümleri bir ürünün montajının kalitesini şu açılardan ölçmek için kullanılır [1]:

1. Genel montaj maliyetleri
2. Detaylı montaj maliyetleri
3. Montaj dizinleri
4. Montaj ibreleri
5. Bilgi

Genel montaj maliyetleri: Faaliyet unsurlarının belirli sınıfları için her zaman sunulur. Maliyet bilgisinin bazı temel faaliyetlere benzer olduğu bazı faaliyetler için çok sınırlı sınıflar oluşturulabilir. Tüm durumlarda bilgi sınıfın için de var olan faaliyetlerin maliyetlerinden elde edilir. Parametrik modelde kapsanan maliyet tahmini bağlantılarını geliştirmek için regresyon veya korelasyon gibi istatistik teknikler kullanılır [5].

Örneğin, IPA Stuttgart yöntemi, genel maliyet işlevlerini robot montaj maliyetlerinin tahmini için kullanır. Bu maliyet işlevleri var olan montaj robotlarının maliyet bilgilerinden yaratılmış ve regresyon analizi ağırlıklı faktörlerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu tür montaj edilebilirlik ölçümü detaylı bir maliyet tahmini gerçekleştirmenin zor olduğu veya yüksek kesinlik oranının gerekmediği durumlarda uygulanabilir.

Detaylı montaj maliyetleri: Montaj maliyetleri operasyon saatleri ve montaj ekipmanının, operatörlerin, vs. saatlik ücretleri baz alınarak belirlenir. Detaylı montaj maliyet tahminleri eksiksiz ürün verisi ve bilinen (veya varsayılan) bir montaj metodu gerektirir. Bu tür montaj edilebilirlik ölçümü montaj süreçleri, montaj süreci planlama yapıları ve montaj sistemleri, vs. ile ilgili geniş bilgi gerektirir.

Boothroyd-Dewhurst yöntemi bu tür montaj edilebilirlik ölçümünü kullanır. Detaylı montaj maliyetlerinin tahmini gerçek güncel veriler kullanılarak hesaplanmalıdır. Değişiklikler mutlaka meydana gelecektir. Bu değişiklikler mali (değişen iş gücü ücretleri, faiz oranları, vs.) veya teknik (yeni daha hızlı sertleştirme yapıştırıcıları, yeni gelişmiş ekipman, vs.) değişiklikler olabilir. Detaylı montaj maliyet tahminlerinin metodu bu değişiklikleri yansıtacak şekilde düzenli olarak güncellenmelidir [5].

Genel veya detaylı montaj maliyet tahmini yöntemleri, bir tasarımın ne kadar maliyeti olacağını ve tasarımda belirli değişiklikler yapılarak ne kadar tasarruf edilebileceğini kullanıcıya söyleyebilir. Hedeflenen montaj maliyeti kontrol

edilebilir veya alternatifler karşılaştırılabilir. Montaj maliyetleri firmaya bağlıdır; diğer bir deyişle, firmalar tarafından hesaplanmaları gerekir. Yüksek oranda tasarruf potansiyeline götüren montaj edilebilirlik bilgisi çoğu zaman diğer firmalar için geçerli olmayacaktır.

Montaj dizinleri: Ürün montajı kalitesinin en nesnel ölçütü montaj maliyetleridir. Nihai hedef maliyetin düşürülmesi olmasına rağmen, montaj maliyeti kendi başına tasarım kalitesinin yeterince iyi olup olmadığını ifade etmez veya kötü montaj edilebilirliğin sebeplerini belirleyemez; ayrıca bir kalite indeksi gereklidir. Bir indeks montaj operasyonu, bir kavrama veya bir yönelimin zorluğunu gösterebilir. Zorluğun farklı ölçümleri, örneğin montaj operasyonu süresi veya maliyeti ile bağlantılı olabilir [1].

Montaj ibreleri: Montaj edilebilirliği etkileyen faktörlere puanlar atanarak ölçülmesi, montaj edilebilirliği her bir ölçümle ifade eden, sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Her etki faktörü aynı faktörlere uygun metodoloji çerçevesinde puanlar atayan bir uzman grup tarafından değerlendirilir. Daha sonra bir ürünün total derecelendirmesi puanların toplanmasıyla hesaplanır [5].

Bilgi: DFA' de algoritmik yaklaşım, gereken bilgi miktarını montaj edilebilirliğin genel bir ölçütü olarak kullanır. Eğer, işlevsel gerekliliklerin rasyonelizasyonu çerçevesinde, daha az bilgi gerektiriyorsa, sistem daha iyi olarak değerlendirilir.

5.3.3. Boothroyd-Dewhurst yöntemi

Boothroyd-Dewhurst, DFA metodolojilerinin yanı sıra bir imalat tasarımı yöntemi geliştirmiştir. Ürün tasarımı uygulamaları DFA yazılımları kullanılarak yürütülebilir. Yöntemlerinin arkasında yatan genel unsurlar vardır. Boothroyd-Dewhurst yöntemi aşağıdaki problemleri ele alır [5]:

- Uygun montaj yöntemini belirleme
- Montajlanması gereken münferit parçaların sayısını azaltma

- Kalan parçaların montajlanmasının kolay olduğundan emin olma

Yöntemlerindeki ilk adım ürün için uygun montaj metodunu seçmektir. Tasarımcı, bundan sonra, temel ürün ve firma parametrelerinden(parça sayısı, üretim hacmi, vs), hangi montaj metodunun muhtemelen en ekonomik yöntem olacağına karar vermelidir. Montaj metodolojileri üç ana kategoriye ayrılabilir:

1. Manüel montaj: Sadece basit aletler kullanan tezgah veya transfer-hat montajı.
2. Özel amaçlı transfer makinesi montajı: Montajlar bir (döner veya aynı eksenli) transfer aleti kullanılarak transfer edilir.
3. Robot montajı:
 - a) Tekli iş istasyonlarında çalışan genel-amaçlı bir robot kolu
 - b) Tekli iş istasyonlarında el ele çalışan iki genel-amaçlı robot kolu
 - c) Genel-amaçlı robot kolları olan çoklu-istasyon serbest-transfer makinesi

Ürünün veya montajın manüel olarak mı, özel amaçlı montaj makineleri kullanılarak mı yoksa robot montajı kullanılarak mı monte edilmesinin olası olduğuna karar verildiğinde, daha sonra seçilen montaj metodu için montaj güçlüklerini saptayan ve montaj maliyetlerinin tahmin edildiği bir tasarım analizi yapılır. Bu veya diğer tüm montaj tasarımı sistemlerinin en güçlü aracı ürünün işlevsel olarak kabul edilebilir olması için gereken parçaların sayısının azaltılmasıdır. Bu strateji göz önünde bulundurularak Boothroyd-Dewhurst sistemi, bundan sonra, belirli montaj faaliyetleri için parçaları netleştirir. Verilecek ilk karar, sınıflandırma yaparken kaç kategoriye ayrılacağıdır. Açık bir şekilde, az kategoriden oluşan bir sistemi kullanmak kolay olacaktır ancak çok yararlı olmayacaktır; öte yandan, çok kategoriden oluşan bir sistem yararlı olacakken sistemi kullanım zor olacaktır. Boothroyd-Dewhurst sistemi öncelikle aşağıdaki soruları yönelterek, ikisinin ortasını oldukça efektif bir şekilde bulur [2]:

- Hangi bağımsız parametreler faaliyeti etkiler?
- Bunlar etki sırasına göre nasıl derecelendirilebilir?
- Çoğu uygulamayı kapsamak için kaçının değerlendirilmesi gerekir?

Bağımsız parametreler tarafından koşullanan birçok gerçek faaliyette olduğu gibi, azalan verim kuralı geçerli olduğu için tüm parametrelerin eşit etkiye sahip olması olağan değildir; parametrelerin sayısını sistemin güvenilirliğini ciddi ölçüde etkilemeden kullanılabilir bir sayıya indirmek için bir değerlendirme yapılabilir.

5.3.4. Hitachi değerlendirme yöntemi

Hitachi, daha iyi montaj edilebilirlik için tasarım kalitesini iyileştirmede kendi Montaj Edilebilirlik Değerlendirme Yöntemini (AEM-Assemblability Evaluation Method) geliştirmiştir. Bu yöntem, Hitachi Grup ve birçok başka ulusal ve uluslararası firmalar tarafından kullanılarak, en verimli metodolojilerden biri olarak değerlendirilmektedir.

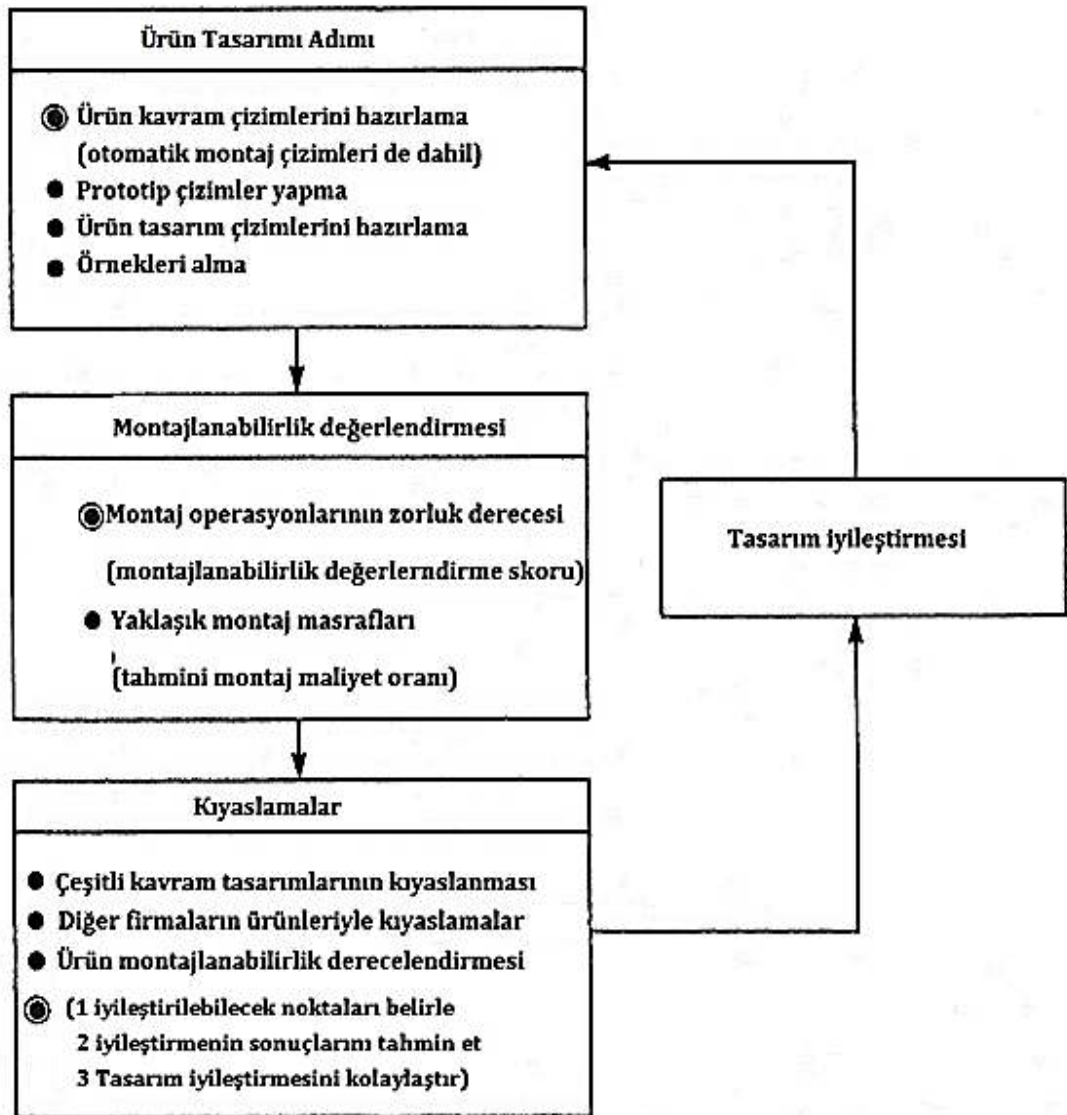
AEM ile ilgili çalışmalar 1977’de başladı ve sonraki birkaç yıl içinde yöntemler yeni ve farklı deneyimlerin ışığında geliştirildi. AEM’ nin sonraki versiyonları, en göze çarpan faktörlerden biri olan tekil parçaların montaj maliyetini değerlendirme yöntemlerinin dahil edilmesi olduğu birçok ilave öge içermiştir; yalnızca karşılaştırmalı bir uygulamanın, çok yararlı olmasına rağmen, yeterli olmadığı anlaşılmış ve gerçekçi maliyet bilgisinin de zaruri olduğu belirtilmiştir [37].

Hitachi değerlendirme yöntemi olan AEM’ nin ana amacı tasarımdaki ‘zayıflıkları’ tasarım sürecinin mümkün olduğunca erken bir aşamasında belirleyerek tasarım iyileştirmelerine olanak sağlamaktır. Bunu yaparken şu iki göstergiyi kullanır [5]:

1. E: Operasyonların zorluğunu belirleyerek tasarım kalitesini değerlendirmek için kullanılan montaj edilebilirlik değerlendirme skoru oranı
2. K: Montaj maliyetinin öğelerini öngörmek için kullanılan montaj maliyeti skoru oranı

Şekil 5.5’de montaj edilebilirliğin değerlendirmesi ve takip eden tasarım iyileştirmelerinin bilgi akışı gösterilmektedir. Değerlendirme yöntemlerinin ilk aşaması kavramsal çizimler gerektirir ancak, diğer metodolojilerde olduğu gibi,

başlangıçtaki bilgi ne kadar kapsamlı olursa sonuç da o kadar verimli olur; ürün tasarımı çizimleri ve prototipleri daha iyi sonuçlar verir. Bu, ideal olarak tasarımın, sürecin mümkün olduğunca başında doğru olması gerektiği bakımından montaj tasarımının verimliliğini kısmen yadsır. Diğer DFA yöntemleriyle karşılaştırıldığında Hitachi yöntemi karşılaştırmalı çalışmalar için özellikle uygundur ve kurum içi ürünlerin veya rakiplerin ürünlerinin kalitesine dair makul bir muhakeme yapmak için kullanılabilir. Tasarım iyileştirmeleri değerlendirme sonuçlarının incelenmesi ve yorumlanması, daha sonra daha ileri bir montajlama değerlendirilmesi yapılması yoluyla başarılı; bu yineleme tasarımı en iyi şekle getirilinceye kadar devam eder.

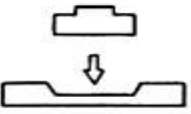


Şekil 5.5. Montaj edilebilirlik değerlendirme ve tasarım iyileştirme akış diyagramı[5]

Montaj edilebilirlik değerlendirme skoru kendi başına parçaların sayısını azaltmakla kazanılacak avantajı belirlemek için gerekli bilginin tamamını sağlamaz. Aslında, eklenen parçalar ortalamanın üstünde bir montaj edilebilirlik değerlendirme skoruna sahip olduğunda, sayıların parçasını artırarak, montaj edilebilirlik değerlendirme skorunu iyileştirmek mümkün olur. Açık bir şekilde, bu amaçlarla tutarsızdır ve bu sorunun üstesinden gelmek için bir maliyet oranı kullanılır. Montaj maliyet oranı tekrar tasarlanan ürünün montaj maliyetinin orijinal ürünün montaj maliyetine oranı olarak tanımlanır ve bu ürünlerdeki parça sayısının işlevidir. AEM'nin temeli aşağıdaki yöntemlere dayanır [5]:

- Montaj operasyonları öncelikle yaklaşık olarak 20 ana montaj görevine ayrılır ve her bir göreve, görevin içeriğini açık bir şekilde gösteren bir sembol atanır. Bu görevler özel olarak yerleştirme ve bağlama süreçleri ile bağlantılıdır, parça sevkiyle bağlantılı değildir. Tasarımın bu aşamasında önemli olan tekil parçalar arasındaki konumsal ilişki olduğu için montaj sıralamasının önemli bir faktör olmadığı, ve otomatik montaj kavramı değerlendirme açısından zor olduğundan; bu noktaların daha sonra değerlendirildiği savunulur. Ayrıca, manüel montajda parça sevkinden daha önemli olan araya eklemenin önemini azaltabilecek ikincil bir mesele olduğu savunulur.
- Ana görevlerin her biri görevin zorluk derecesini yansıtan bir ceza skoruna tabidir. Ceza skorları üretim bölümü verilerinin analizinden elde edilir ve önemlisi, teknolojiye ve yöntemlerdeki değişiklikleri yansıtmak için sürekli olarak revize edilir. Daha sonra ceza skorları sıralanır ve hepsi en düşük ceza skoruna sahip ana görev ile karşılaştırılır. Şekil 5.6'da başlıca operasyonlar ve ceza skorlarına birkaç örnek verilmiştir.
- Ana görevleri etkileyen faktörler katsayılar olarak çıkarılır ve ceza skorları buna göre değiştirilir.
- Her bir parça için uygun ekleme koşulları daha ileri AEM sembolleri kullanılarak ifade edilir.
- Bir parça için çeşitli ceza skorlarının toplamı daha sonra ekleme katsayıları tarafından değiştirilir ve parçanın montaj edilebilirliğinin değerlendirmesine ulaşmak için en yüksek mümkün skordan (100) çıkarılır.

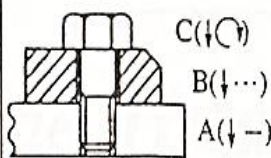
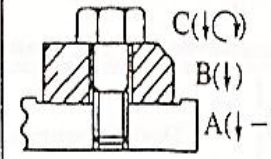
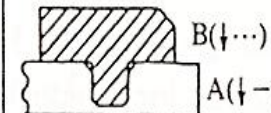
- Ürünün toplam montaj edilebilirlik değerlendirmesi, tekil görevlerin montaj edilebilirlik skorlarının toplamalarının görev sayısına bölümü ile tanımlanır. Bu, 100 skorunun mükemmel tasarımı gösterdiği ölçümde tasarım verimliliğinin ölçütü olarak değerlendirilebilir. Hitachi toplam 80 skorunu kabul edilebilir olarak değerlendirir.

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

Şekil 5.6. AEM sembolleri ve ceza skorlarına örnekler [5]

AEM faktörünün kesinliği üretimde bir kez belirlendiğinde, tahmini montaj maliyet oranları gerçek montaj maliyet oranlarıyla karşılaştırılır. Bu sapma küçük ise (yüzde beşten daha iyi), o zaman kabul edilebilir olarak değerlendirilir. Eğer sapma olağandışı olarak büyük ise, olası hata alanlarını belirlemek için çeşitli görevler ve onlara ilişkin ceza skorlarının eleştirel bir incelemesi yürütülür ve gerekli iyileştirmeler başlatılır [5].

AEM değerlendirme yöntemi, Şekil 5.7’de gösterilmektedir. Yöntemde Yapı 1 analiz edilecek çeşitli görevlerin saptanması çalışmalarını içerir. Yapı 2’de, parça-ekleme sıralamaları ve ekleme işlemleri temel görev sembolleriyle eşleştirilir. Yapı 3’te değerlendirme indeksleri hesaplanır ve Aşama 4’te tasarımın verimliliğine dair bir karar verilir. Tasarım ya belirli bir parçanın değerlendirme skor oranı E , 80’den az ya da montaj maliyet oranı K , 0,7’den büyük olduğu için kabul edilemez olarak değerlendirilirse o zaman tasarım iyileştirmesi devam eder. AEM metodolojisi tasarım iyileştirme örnekleri vererek tasarımın nasıl iyileştirilebileceğine dair spesifik ve yerinde önerilerde bulunan adım adım tasarım iyileştirme araçları içerir.

Adım Örnekler	Ürün tasarımı ve montaj operasyonları	E_1 : Parça montaj edilebilirlik değerlendirme skoru	E : montaj edilebilirlik değerlendirme skoru	K : montaj maliyet oranı	İyileştirme işlemi yapılacak parça	
Yapı 1 (iyileştirmeden önce)		1 Şase A yı yerleştir	100	73	1	B
		2 Blok B yi aşağı getir ve yönelimini korumak için tut	50			
		3 Vida C yi sık	65			
Yapı 2		1 Şase A yı yerleştir	100	88	yaklaşık 0.8	C
		2 Blok B yi aşağı getir (yönelim alından fasetaçma yöntemiyle korunuyor)	100			
		3 Vida C yi sık	65			
Yapı 3		1 Şase A yı yerleştir	100	89	yaklaşık 0.5	B
		2 Blok B yi aşağı getir ve baskı geçme ile ekle	80			

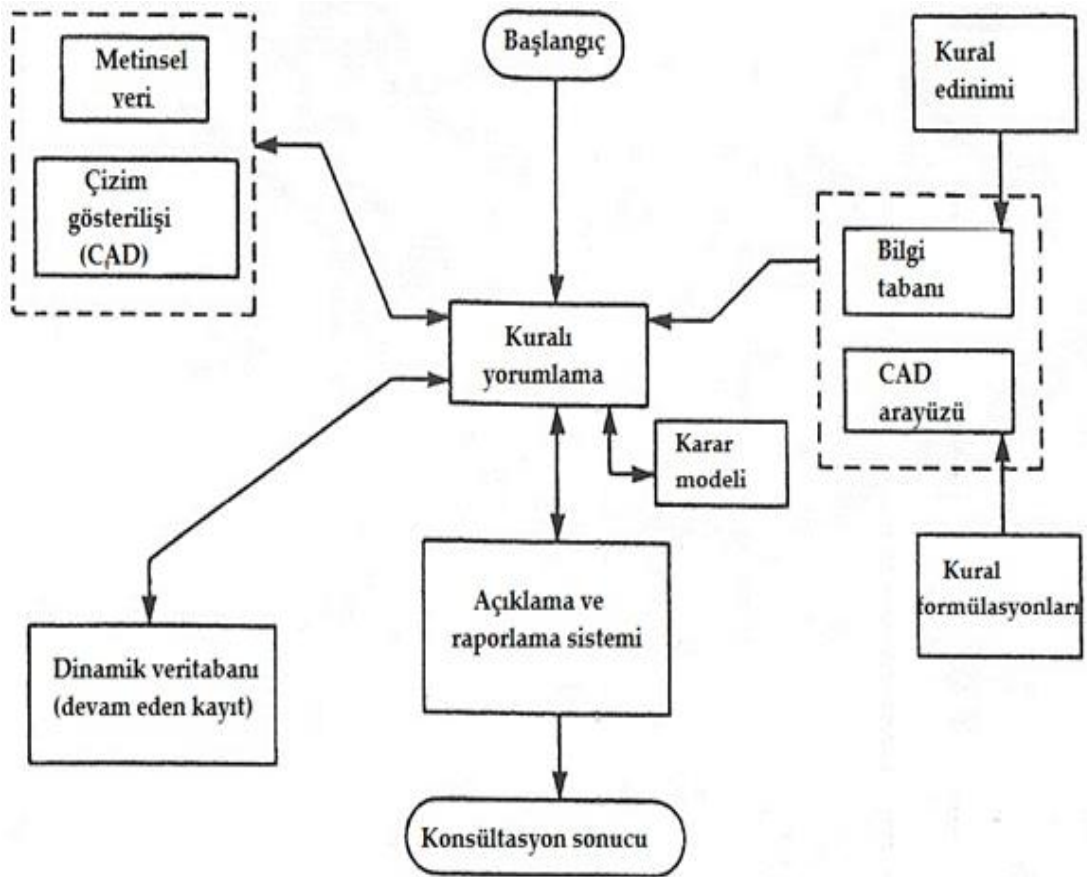
Şekil 5.7. Montaj edilebilirliğin değerlendirilmesi ve iyileştirmesine örnek [5]

5.3.5. Lucas değerlendirme yöntemi

Lucas montaj tasarımı metodu, Lucas Organizasyonu ve Hull Üniversitesinin ortak çalışması sonucu ortaya çıkmıştır. İlk ticari bilgisayar tabanlı sürüm, kağıt-tabanlı sürümün başarılı bir uygulama sürecinin ardından Ekim 1989'da faaliyete geçirilmiştir. Yöntem, montaj sıralama akış şemasına (ASF-Assembly Sequence Flowchart) dayanır [8]. Lucas/Hull grubu montaj edilebilirliğin önemli yönlerinin ve tamamlayıcı imalatın değerlendirilip derecelendirildiği bir yöntemi sistematik bir şekilde takip eden bilgi tabanlı bir değerlendirme tekniği olan Lucas DFA Değerlendirme Metodunu geliştirmiştir.

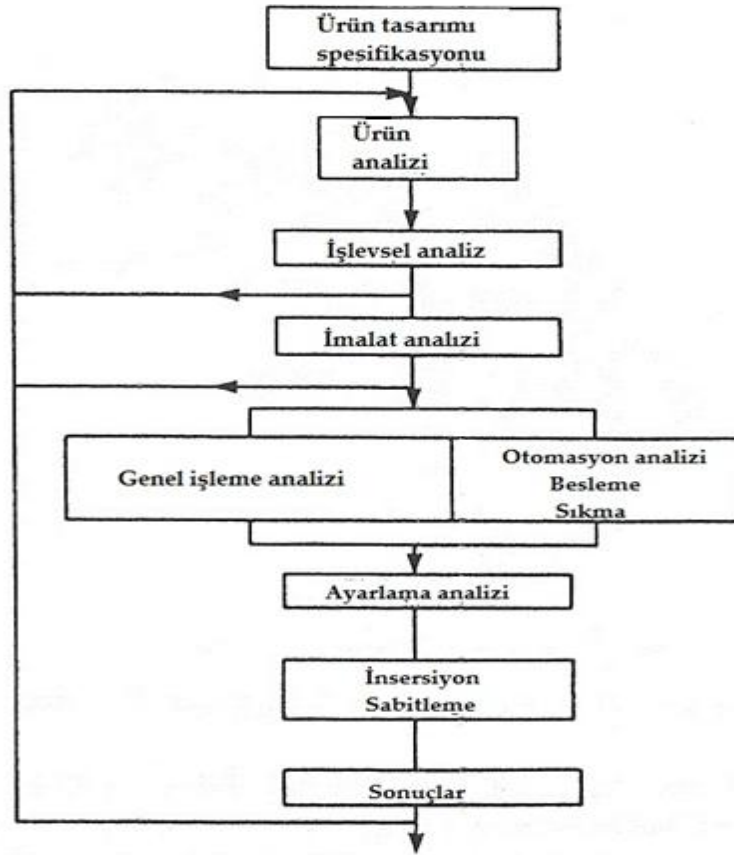
Sistemin bir CAD sistemiyle entegre bir şekilde kullanılması planlanmıştır ve bundan dolayı analiz için gerekli bilginin çoğunun minimum emek ve maliyetle elde edilmesi mümkün olmalıdır; bu bağımsız modda verimli bir şekilde işleyen birçok

diğer sistemlere karşı önemli bir avantajdır. Bilgi-tabanlı sistemin tamamının oluşumu Şekil 5.8’de gösterilmektedir. Önceki kısımların stratejisi ve detaylı kuralları mantıksal programlama dili Prolog kullanılarak uygulanır ve Prolog ifadelerini (kuralları) geriye yönelik zincirleme kullanarak sistem sonuçlarının yerine getirilmesini incelemek üzere tasarlanır [8]. Sistem bilgisi anlaşılırdır ve her an görüntülenebilir, ulaşılabilir ve değiştirilebilir; ayrıca sistem tercümanı karar alma faaliyetlerine dair açıklama sağlayabilir.



Şekil 5.8. Lucas DFA (montaj tasarımı) sisteminin mimarisi [5]

Ürün tasarımının değerlendirmesi Şekil 5.9’da gösterilen yöntemler kullanılarak yürütülür. Ürün tasarımı başladığında ürünün benzerlikleri olup olmadığına veya bileşenlerin veya montaj süreçleri bileşenlerinin standardizasyonu ve bir ürün ailesi temasının belirlenmesi için benzerlikler ve dolayısıyla fırsatlar olup olmadığına karar vermek önemlidir. Bu, diğer birçok DFA metodunda açık olmayan daha ileri bir unsurdur; birçoğu sadece hali hazırdaki montajı değerlendirir.



Şekil 5.9. Lucas DFMA (Mekanik montaj tasarımı) yöntemi [5]

Lucas/Hull metodu, manüel ve otomatik montaj arasındaki ayrımı bileşenler manüel olarak işlendiğinde ‘işleme’, otomatik olarak idare edildiğinde ise ‘besleme’ terimlerini kullanarak yapar. Otomatik montajın uygun olduğu durumlarda değerlendirme süreçleri temel olarak otomatik parça beslemeye yoğunlaşır; buna karşılık, manüel montajda değerlendirme parça ekleme operasyonlarına yoğunlaşır. Bu teknolojiyle tutarlıdır; manüel montajda parçaların elden geçmesi ve problem potansiyeli daha yüksek olan bileşen parçaların yerleştirilmesi oldukça kolay olmasına karşın, otomatik montaj tamamen küçük parçaları otomatik olarak besleme ve yöneltme yeterliliğine bağlıdır [5].

Temel süreçler manüel montajla ilişkilidir; otomatik montaj düşünülecekse, tamamlayıcı birkaç soru daha sorulur. İlave sorular otomatik parça yöneltimi ve kavramayla ilgilidir ve manüel montajla ilgili değildir. Lucas / Hull metodu şu süreçleri göz önünde bulundurur [8]:

- İş tutma: Yerleştirme desteği (örneğin kılavuz, basılı tutma aracı, aralayıcı, vs.) gibi işlemek için geçici bir parça yerleştirmek
- Yerleştirme ve sabitleme: Yerleştirme operasyonları için hizalama, aralıklar, konumlama gereksinimleri, tolerans; bağlama araçları için bağlayıcı türü, bağlayıcı koşulu, vs.
- Montaj dışı operasyonlar: Ayarlamalar, tekrar yöneltimler, kalibrasyonlar, denetlemeler, vs.
- Yönelim ve kavrama (sadece otomatik montaj): Manipülasyon derecesi, kavrama türü, kavrayıcı boyutu, vs.

Bu noktalarla ilgili tüm yerleştirme görevleri için; yerleştirme yönü, yerleştirme karmaşıklığı (bileşik veya basit hareketler) gibi ortak olan sorular sorulur ve diğer tüm DFA metodolojileri gibi, Lucas / Hull sistemleri, ortaya çıkış sıklığı sırasıyla, yerleştirmenin çeşitli öğelerini saptamaya çalışır.

5.3.6. IPA Stuttgart yöntemi

IPA Stuttgart yöntemi Stuttgart'taki Fraunhofer Araştırma Enstitüsünde geliştirilmiştir. Yöntem, ürünün montaj edilebilirlik değerlendirmesi ve ürünün tüm tasarım süreci boyunca geliştirilmesi temeline dayanır. Montaj odaklı tasarım süreçleri tanımlanır ve teknik gereksinimler tasarım sürecine farklı aşamalarda sistematik bir şekilde yerine getirilir(Çizelge 5.1).

Montaj odaklı tasarım süreci, birçok uygulanabilir destek arasında en önemlilerinin tasarım kuralları ve montaj edilebilirliğin değerlendirmesi olduğunu gösterir. Tasarım sürecinin farklı aşamaları boyunca montajla ilgili olarak, ürün tasarımını farklı kurallar etkileyebilir. Tasarım sürecinin her bir aşamasının tamamlanmasının ardından, ürünün montaj için uygunluk değerlendirmesi belirlenir. Montaj odaklı bir inceleme ürünün iyileştirilmesi gereken zayıf noktalarıyla ilgili bilgi sağlayacaktır [5].

Çizelge 5.1. Montaj odaklı tasarım süreci [5]

MONTAJ ODAKLI ÜRÜN TASARIMI DESTEKLERİ	YARATICI						DÜZELTİCİ				
	Ana hatlar kataloğu	Örnekler kataloğu	Göreceli maliyet kataloğu	Bileşen yararlarının listesi	Rekabet analizi	Montaj önceliği grafiği	Hesaplama destekleri	Değer analizi	Kullanım değeri analizi	Kontrol listesi	Değerlendirme prosedürü
1. Planlama Adımı											
1.1. Gereklerini Tanımlama					●						
1.2. Görevlerin tanımlanması	●				●		●	●	●		
1.3. Gereklerini listesi oluşturma											
1.4. Kabataslak tasarımı açığa çıkarma										●	
2. Kabataslak Tasarım											
2.1. İşlevlerin analiz edilmesi					●						
2.2. İşlevsel yapıyı oluşturma	●									●	
2.3. İşlevsel yapının çeşitlemelerini oluşturma	●	●									
2.4. Her bir işlev için çözümler belirleme	●	●	●		●	●					
2.5. Prensipleri seçme									●	●	
2.6. Çözüm değişkenlerini hazırlama									●		
2.7. Farklı kavramlar geliştirme	●	●	●	●		●					
2.8. Farklı kavramları seçme ve değerlendirme						●	●	●	●	●	●
3. Taslak Aşaması											
3.1. Ana işlevsel birimlerin taslağını çizme	●	●	●	●							
3.2. Diğer işlevsel birimlerin taslağını çizme	●	●	●	●							
3.3. Taslağın uygun kısımlarını seçme							●	●	●		●
3.4. Yardımcı ve ana işlevsel birimlerin ayrıntılı tasarımı	●	●									
3.5. Taslakları kontrol etme ve geliştirme				●						●	●
3.6. Hata ve sorunları ortaya çıkarma											
3.7. Maliyet geri kazanımı analizi							●				
3.8. Taslağı tamamlama	●	●		●							●
3.9. Taslakta karar kılma							●		●	●	●
4. Nihai Tasarım											
4.1. Detaylandırma	●	●		●							
4.2. Tanımlamaları geliştirme				●		●					
4.3. Üretim veri analizi											
4.4. Üretime sunma							●				●

IPA yönteminin tasarım kuralları aşağıdaki dört kategoriye ayrılan bir katalogda özetlenmiştir:

- Ürün yapısı ölçümleri
- Alt montajların ölçümleri
- Tekil parçaların ölçümleri
- Birleştirme tekniklerinin ölçümleri

Ürünün montaj için uygunluğunun tasarım sürecinin farklı aşamalarıyla bağlantılı olarak değerlendirmesi her bir aşamadaki en önemli etki faktörlerinin değerlendirilmesini gerektirir. IPA yöntemi kavramsal ve başlangıç tasarım aşamaları için önemli olan faktörlerin değerlendirilmesini sağlar. Bunun için kontrol listeleri kullanılır. Daha detaylı bir tasarım mevcutsa daha detaylı bir değerlendirme yöntemi kullanılabilir. Yöntemler değer analizi temellidir; bir parçanın fonksiyonel içeriği ile gereksinim duyulan montaj maliyeti arasındaki ilişki belirlenir.

IPA yönteminin temel adımları şöyledir:

1. İşlevsel yapının kurulması
2. İşlevlerin ağırlıklandırılması ve işlevsel içeriklerin belirlenmesi
3. Alt-montaj yapısının kurulması
4. İşlevsel içeriklerin farklı parçalara paylaştırılması
5. Montaj sıralanmasının belirlenmesi
6. Montaj masrafının belirlenmesi
7. Montaj uygunluğunu ölçen değerlerin belirlenmesi
8. Montaj masrafiyle ilgili teknik problemlerin saptanması

Bu yöntem, farklı ürün tasarımlarının farklı aşamalarda detaylı bir şekilde değerlendirilmesini mümkün kılar. Şekil 5.10'da boyut ve ağırlık değerlendirme tablosunun bir kısmı gösterilmektedir. Etki faktörleri montajın zorluğuna göre cezalandırılır.

Sayı	Faktör	Değerler	Cezalar	
			Manüel Montaj	Otomatik Montaj
1	Parça boyutu	< 150 mm	1.0	1.0
		150–300 mm	0.5	0.5
		> 300 mm	2.0	3.0
2	Parça ağırlığı	G < 3 kg	1.0	1.0
		3–8 kg	2.0	2.0
		> 8 kg	4.0	3.0

Şekil 5.10. Etki faktörü cezaları [5]

IPA Stuttgart yöntemi sistematiktir. Tasarım kuralları kataloğu yeniden tasarım için kullanılabilir. IPA Stuttgart yönteminin yeni bir versiyonu parça başı montaj maliyetini montaj edilebilirliğin nicel bir ölçütü olarak kullanır. Toplam montaj maliyetleri manipülasyon, parçaların sunuluşu masraflarını ve parça ekleme maliyetlerini içerir. Bu tip yöntemler gibi diğer birçok DFA metodu geliştirilmiştir. Bunların birçoğu Boothroyd-Dewhurst yöntemini temel alır.

5.4. Kolay Montaj Tasarım Metodolojilerini Kıyaslama

Bu bölümde çeşitli DFA yöntemlerinin arkasında yatan ilkelere ilişkin kolay montaj tasarım metodolojilerini kıyaslama ile ilgili bilgi verilmeye çalışılmıştır ve bir kullanıcı, kaçınılmaz olarak, hangi metodun belirli bir amaca en iyi hizmet ettiğini bilmek isteyecektir. Çizelge 5.2’de çeşitli yöntemler için bir karşılaştırma ve yorumlanması için bir tablo verilmiştir.

İyi bilinen DFA metodolojilerinin bu incelemesi montaj edilebilirlik ilkeleri ve ölçümleri odağıyla yapılmıştır. Her yaklaşım detaylı bir şekilde araştırılmış ve her yaklaşım için bilinen DFA yöntemleri açıklanmıştır. Farklı montaj edilebilirlik ölçümleri tanımlanarak montaj edilebilirlik ölçümlerinin avantajları ve dezavantajları sunulmuştur. Buna göre, kolay montaj tasarımı için üç temel yaklaşım şu şekilde tanımlanabilir:

1. Tasarım ilkeleri ve kuralları
2. Nicel değerlendirme yöntemleri
3. Bilgi-tabanlı sistemler

Sonuç olarak, kolay montaj tasarım metodolojilerini kıyaslarken aşağıdaki önemli etkenleri göz önünde bulundurmanız gerekir. Bunlar:

1. Uygulama maliyeti ve emeği
2. Eğitim ve pratik
3. Tasarımcı emeği
4. Yönetim emeği
5. Ürün planlama/takım yaklaşımı
6. Hızlı bir şekilde verimlilik
7. Yaratıcılığı teşvik etme
8. Sistematik
9. Nicel
10. İyi uygulamalar öğretmek

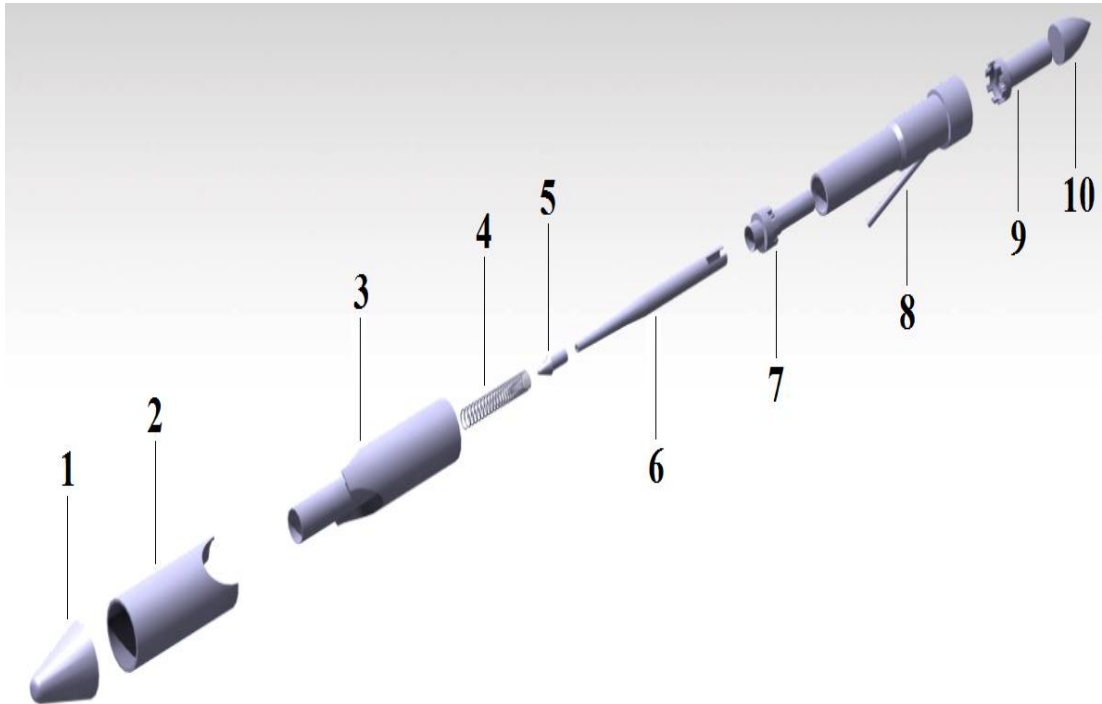
Bu bilgiler ışığında, kolay montaj tasarım metodolojisinin genellikle gelecekteki yöneliminin, geleneksel işlem ve CAD teknolojisi ile birlikte bilgi işleme yöntemlerinin olacağı düşünülmektedir.

6. KOLAY MONTAJ İÇİN TASARIM UYGULAMALARI

Bu çalışmanın bu bölümüne kadar mühendislik tasarımında unsur kavramı ile çeşitli KMİT yöntemleri kullanılarak kolay montaj için tasarımla ilgili detaylı bilgiler verilmiş, bu tasarım araçlarının önemli kriterleri belirtilmiş ve açıklayıcı örnekler üzerinde durularak konunun pekiştirilmesine çalışılmıştır. Bu bölümde ise, anlatılan teorik bilgiler ışığında bu çalışma boyunca yapılan uygulamalar üzerinde durulacak, uygulamaların kolay monte edilebilirliği, tasarım verimlilikleri ve maliyet analizleri yapılacaktır.

6.1. Küçük Ölçekli Tüketici Ürünü Montajına Yapılan Uygulama

Şekil 6.1’de basit bir tükenmez kalem montajı orijinal tasarımı gösterilmektedir. Hedef, tasarımı Boothroyd-Dewhurst yöntemini kullanarak, elde edilen bilgiyi yeni, monte edilebilmenin daha kolay olacağı, daha az pahalı bir montaj oluşturmak amacıyla incelemektir.



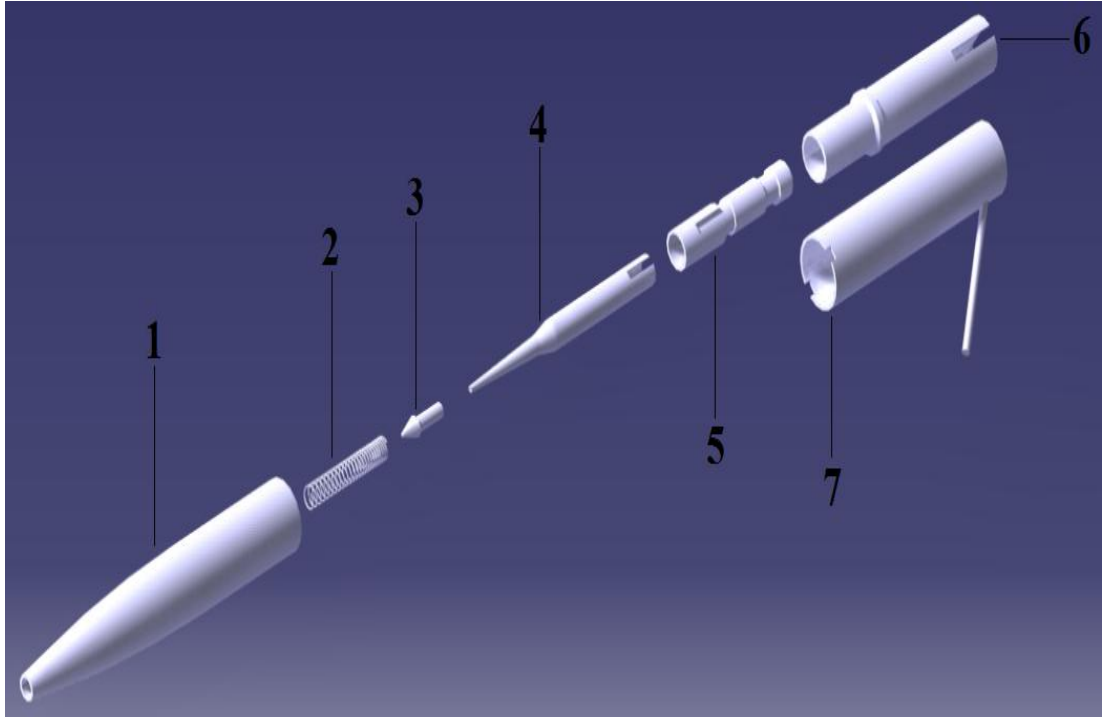
Şekil 6.1. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı orijinal tasarımı

Orijinal tasarımın KMIT verimliliğinin görülebilmesi için Boothroyd-Dewhurst yönteminde kullanılan maliyet analizi tablosu Çizelge 6.1’de verilmiştir. Bu tabloda kullanılan elle montaj maliyeti hesaplanırken işçilik maliyetleri 15 tl/saat olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.1. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı orijinal tasarım maliyet analizi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	PARÇA ADI	
Parça tanıma no	Parça tekrar sayısı	Elle taşıma kodu	Her parçayı elle taşıma süresi (sn.)	Elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi (sn.)	Montaj süresi (sn)	Montaj maliyeti (tl)	Teorik minimum parça sayısı		
1	1	10	1,18	08	5,5	9,8	0,08	1	Uç Başlık (St 37 Çelik)	
2	1	25	2,14	39	4,00	6,9	0,03	1	Tutma Aparatı (Kauçuk)	
3	1	30	1,96	99	6,00	11,6	0,05	1	Gövde (Plastik)	
4	1	15	1,89	98	6,5	8,44	0,06	1	Yay (Çelik)	
5	1	40	2,97	08	5,00	7,21	0,07	1	Bilye (St 37 Çelik)	
6	1	20	2,14	50	3,5	6,38	0,04	1	Kartuş (Plastik)	
7	1	12	1,80	80	7,00	14,3	0,05	1	Kastanyola (Plastik)	
8	1	45	3,57	40	10,00	17,00	0,04	1	Başlık (Plastik)	
9	1	28	1,17	38	5,50	11,17	0,05	1	Tapa (Plastik)	
10	1	35	1,38	49	4,5	9,82	0,05	1	İtici Kapak (St 37 Çelik)	
						104,32	0,52	10	Tasarım etkinliği=	0,27
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM	

Kolaylaştırmanın ilk seviyesinde azaltılması mümkün olan parçalar yeniden tasarlanarak aynı işlevi görecektir şekilde kullanılmalıdır (diğer tüm parçaların tek işlevi işlevsel parçaları gerekli konumsal ilişkilerde tutmak olan bağlayıcılardır). Şekil 6.2’de gösterildiği gibi kolay montaj açısından kastanyola parçası ile tapa birleşiminden yeni bir tasarım eklenebilir ve gövde daha uzun tutularak içine dış açılıp bir iç mekanizma ilavesiyle daha kolay monte edilebilir. Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi bu durum, uygun maliyet açısından da son derece önemli bir kazanç sağlayacaktır.



Şekil 6.2. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı yeni tasarımı

Çizelge 6.2. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı yeniden tasarım maliyet analizi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	PARÇA ADI	
Parça tanıma no	Parça tekrar sayısı	Elle taşıma kodu	Her parçayı elle taşıma süresi (sn.)	Elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi (sn.)	Montaj süresi (sn)	Montaj maliyeti (tl)	Teorik minimum parça sayısı		
1	1	30	1,96	99	3,00	6,6	0,05	1	Gövde (Plastik)	
2	1	15	1,89	98	3,5	5,74	0,06	1	Yay (Çelik)	
3	1	40	2,97	08	4,00	5,21	0,07	1	Bilye (St 37 Çelik)	
4	1	20	2,14	50	2,7	4,18	0,04	1	Kartuş (Plastik)	
5	1	12	1,80	80	4,00	9,3	0,05	1	Kastanyola (Plastik)	
6	1	25	3,42	40	8,00	11,00	0,07	1	İç Mekanizma (St 37 Çelik)	
7	1	35	1,38	49	3,7	7,12	0,05	1	İtici Kapak (St 37 Çelik)	
						49,15	0,39	7	Tasarım etkinliği=	0,43
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM	

Tasarım yapılırken başarılı bir şekilde minimum parça çözümüne yönelerek sistemde parçaların besleme ve ekleme açısından ne gibi sorunları olduğuna dikkat edilmelidir. Bunun manüel montaj olacağı var sayılırsa kavrama, manipüle etme, vs. ile ilgili yerinde sorular sorulmalıdır.

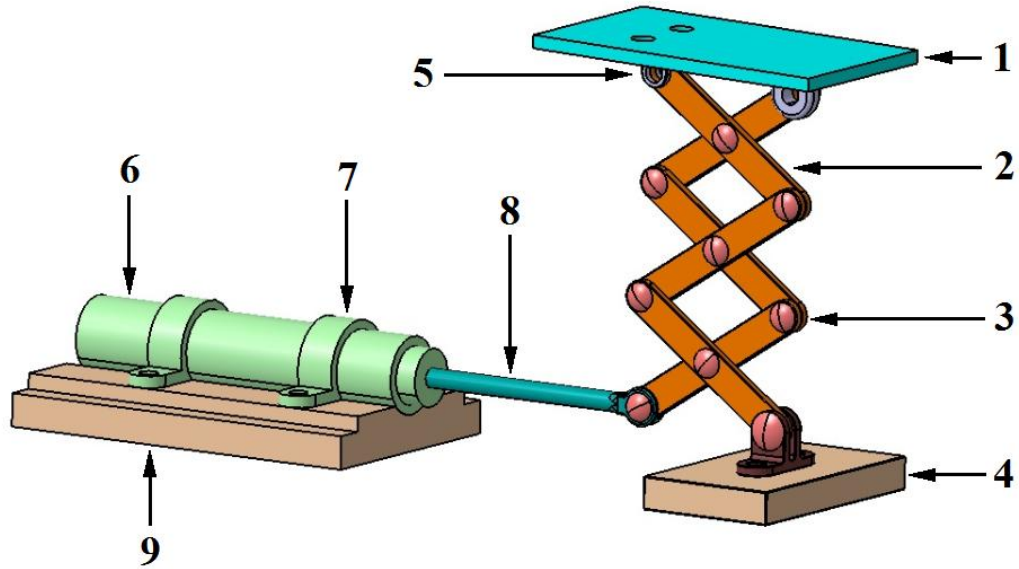
İki tasarımı karşılaştırdığımızda, Çizelge 6.3’de görüldüğü gibi yeniden tasarımın montaj maliyeti orijinal tasarımın montaj maliyetinin %15’inden daha azına (on parçaya karşı yedi parça) düşürülmüş olacaktır. Bununla birlikte, yeni tasarımla montaj verimliliğinin %16 oranında arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Ancak, daha da önemlisi; eski ve yeni tasarım arasındaki toplam zaman farkı, parçaların daha kolay monte edilebildiğini göstermektedir.

Çizelge 6.3. Küçük ölçekli tüketici ürünü montajı için orijinal ve yeni tasarımın karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Toplam Zaman(Sn.)	KMİT İndeksi	Montaj Maliyeti (TL)
Eski Tasarım	10	104,32	0,27	0,52
Yeni Tasarım	7	49,15	0,43	0,39

6.2. Pnömatik Kriko Mekanizması Yeniden Tasarımı İçin Yapılan Uygulama

Şekil 6.3’de pnömatik kriko mekanizması montajı orijinal tasarımını ve Çizelge 6.4’de bu orijinal tasarıma ait maliyet analiz sonuçları gösterilmektedir. Pnömatik kriko mekanizmasında, bir piston, hareket kolu ve mekanik aksam yer almaktadır. Mekanizma 200 kg ağırlığına kadar parça taşıma kapasitesine sahiptir. Mevcut tasarımın kullanımı esnasında montajın daha kolay monte edilebilmesi için IPA Stuttgart yöntemi esas alınarak pnömatik kriko mekanizması yeniden tasarlanmıştır.

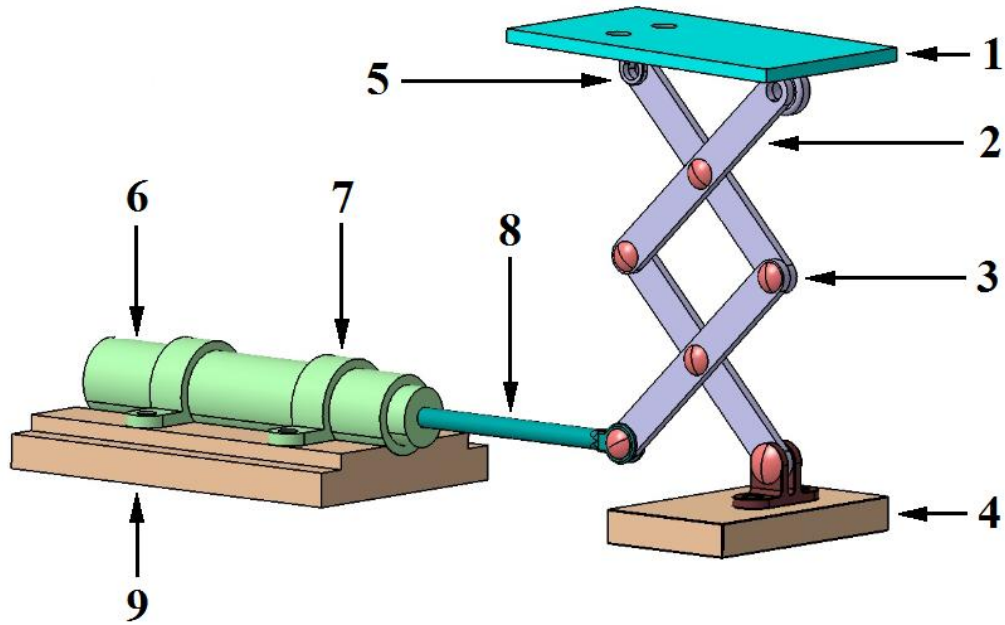


Şekil 6.3. Pnömatik kriko mekanizması orijinal tasarımı

Çizelge 6.4. Pnömatik kriko mekanizması montajı orijinal tasarım maliyet analizi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Montaj Adı	
Parça tanıma no	Parça tekrar sayısı	Elle taşıma kodu	Her parçayı elle taşıma süresi (sn.)	Elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi (sn.)	Montaj süresi (sn)	Montaj maliyeti (tl)	Teorik minimum parça sayısı	PNÖMATİK KRİKO MEKANİZMASI	
1	1	30	1,36	00	6,5	9,8	0,05	1	Üst Destek Parçası (Plastik)	
2	6	30	1,87	06	8,00	28,9	0,08	1	Bağlantı Parçası (St 37 Çelik)	
3	9	25	1,18	39	9,00	35,6	0,06	0	Pim (St 60 Çelik)	
4	1	15	1,89	98	6,5	9,58	0,05	1	Alt Destek Parçası (Plastik)	
5	3	30	2,97	08	11,00	13,34	0,04	1	Bağlayıcı Aparat (St 37 Çelik)	
6	1	20	2,14	08	7,5	13,21	0,21	1	Piston (Alüminyum)	
7	2	11	1,80	39	8,00	19,6	0,09	1	Mesnet (Plastik)	
8	1	35	3,57	99	12,00	23,00	0,18	1	Hareket Kolu (Gri dökme demir)	
9	1	10	1,96	49	5,5	7,20	0,05	1	Mesnet Tabanı (Plastik)	
						160,23	0,81	8	Tasarım etkinliği=	
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM	
										0,14

Şekil 6.4’de yeniden tasarımda kolay montaj için tasarım ilkeleri pnömatik krik mekanizması montajına uygulandıktan sonra, yeni sistemin 20 parça sayısından oluştuğu görülmüştür. Burada IPA Stuttgart yönteminin temel adımları göz önünde bulundurularak yöntemin etki faktörlerinden boyut ve ağırlık değerlendirmesi ile daha kolay montaj ve demontaj edilebilmesi sağlanmıştır. Çizelge 6.5’de ki yeniden tasarım maliyet analizi sonuçlarını incelediğimizde bu yöntemin sonuçları açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.4. Pnömatik krik mekanizması yeniden tasarımı

Çizelge 6.5. Pnömatik kriko mekanizması montajı yeniden tasarım maliyet analizi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Montaj Adı PNÖMATİK KRİKO MEKANİZMASI
Parça tanıma no	Parça tekrar sayısı	Elle taşıma kodu	Her parçayı elle taşıma süresi (sn.)	Elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi (sn.)	Montaj süresi (sn)	Montaj maliyeti (tl)	Teorik minimum parça sayısı	
1	1	30	1,36	00	6,5	9,8	0,05	1	Üst Destek Parçası (Plastik)
2	4	30	1,08	06	5,00	22,3	0,03	1	Bağlantı Parçası (St 37 Çelik)
3	6	25	1,05	39	6,00	27,6	0,03	0	Pim (St 60 Çelik)
4	1	15	1,89	98	6,5	9,58	0,05	1	Alt Destek Parçası (Plastik)
5	3	30	2,97	08	11,00	13,34	0,04	1	Bağlayıcı Aparat (St 37 Çelik)
6	1	20	1,65	08	7,5	13,21	0,21	1	Piston (Alüminyum)
7	2	11	1,80	39	8,00	19,6	0,09	1	Mesnet (Plastik)
8	1	35	3,57	99	12,00	23,00	0,12	1	Hareket Kolu (Gri dökme demir)
9	1	10	1,96	49	5,5	7,20	0,05	1	Mesnet Tabanı (Plastik)
						145,63	0,67	8	Tasarım etkinliği=
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM
									0,17

Çizelge 6.6. Pnömatik kriko mekanizması montajı için orijinal ve yeni tasarımın karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Toplam Zaman(Sn.)	KMİT İndeksi	Montaj Maliyeti (TL)
Eski Tasarım	25	160,23	0,14	0,81
Yeni Tasarım	20	145,63	0,17	0,67

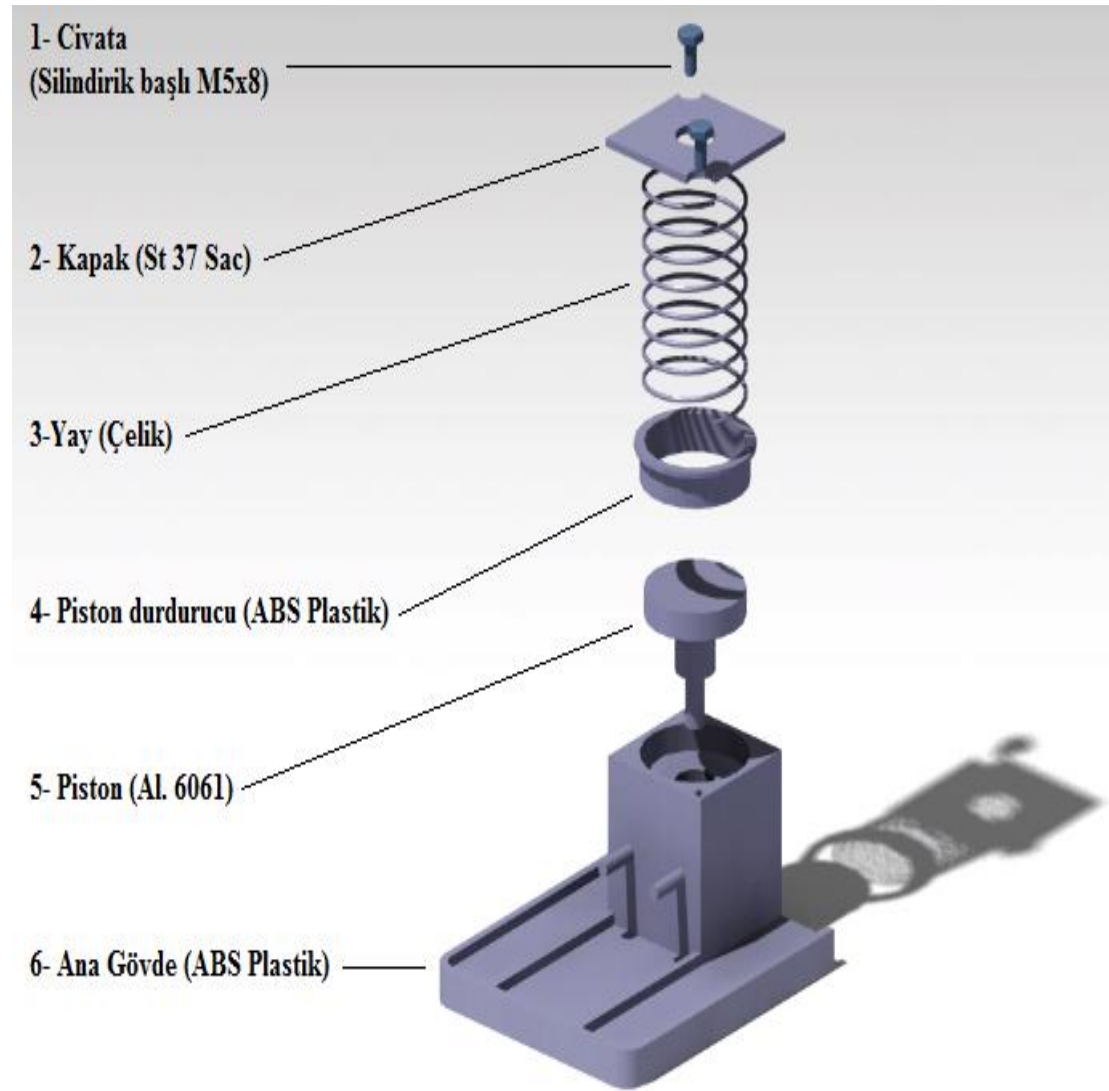
Çizelge 6.6’da görüldüğü gibi maliyet açısından bakıldığında da yeni tasarım kullanılırsa, mevcut tasarıma göre 14 TL’lik kar sağlanmaktadır. Ayrıca, bu iki tasarım ve maliyet analizlerinin karşılaştırılması ile tasarım etkinliğinin % 17’ye yükseldiği açıkça görülmektedir.

6.3. Pnömatik Piston Alt Montajı İçin Yapılan Uygulama

Montaj etkinliğini hesaplamada, bazı kural ve kriterler kullanılabilir. Elle yapılacak montaj etkinliği şöyle ifade edilebilir:

$$EM = \frac{3 \times NM}{TM}$$

Burada NM, teorik minimum parça sayısını; TM, toplam elle montaj süresini belirtmektedir.



Şekil 6.5. Pnömatik piston alt montajı orijinal tasarımı[38]

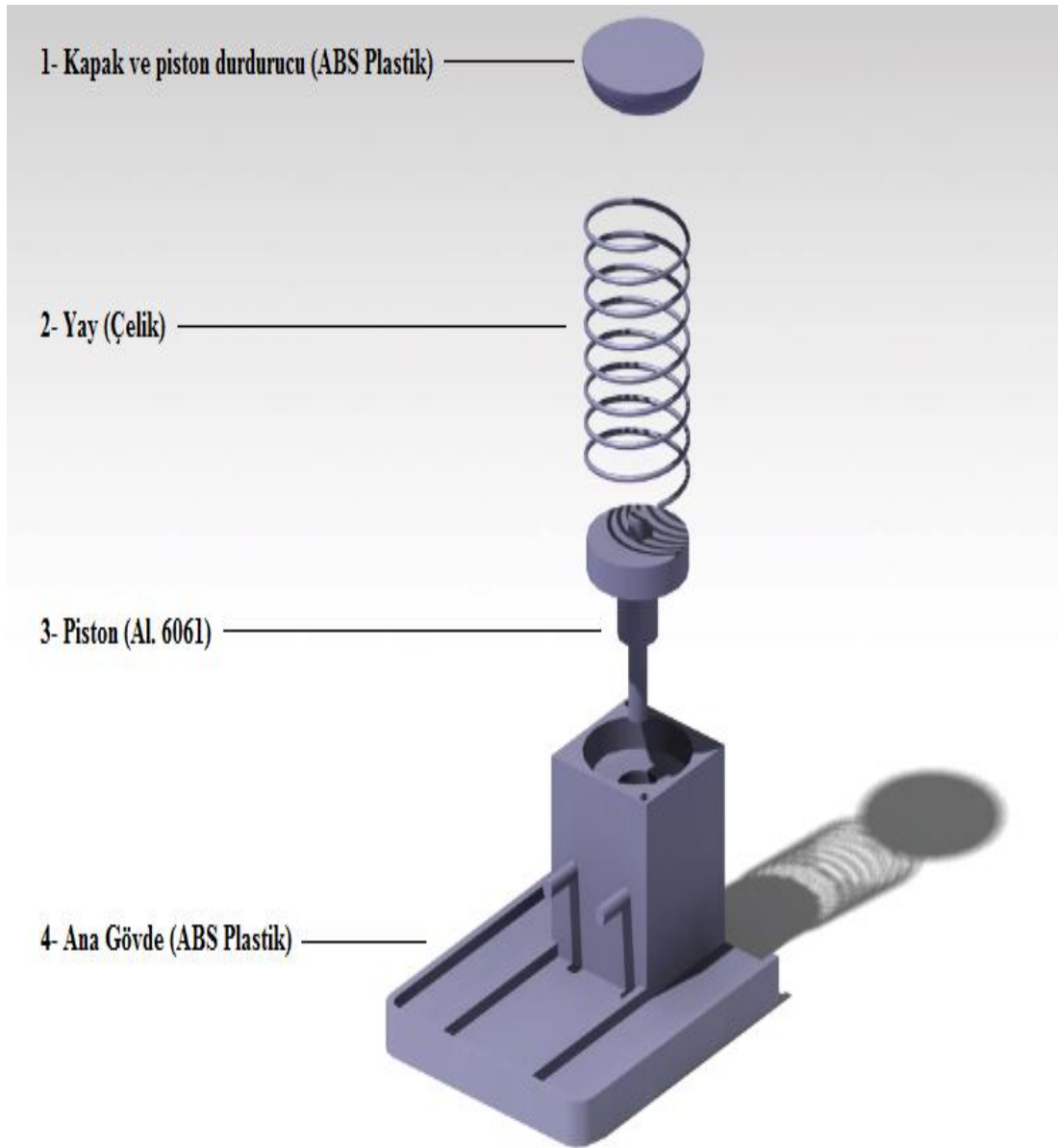
Şekil 6.5’de pnömatik piston alt montajı ve Çizelge 6.7’de bu alt montaja ait işlem tablosu göstermektedir. Burada elle tasarım etkinliği, %29 olarak belirlenmiştir. Bu alt montaj, Şekil 6.6’da görüldüğü gibi yeniden tasarlanabilir. Yeni tasarıma ait işlem tablosu, Çizelge 6.8’de verilmektedir.

Çizelge 6.7. Pnömatik piston alt montajı için işlem tablosu [38]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Montaj Adı PNÖMATİK PİSTON	
Parça tanıma no	Operasyon uygulama sırası	İki sayılı elde tutma kodu	Her parçayı tutma süresi	İki sayılı elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi	Operasyon süresi (sn) (2*(4)+(6))	Operasyon maliyeti (cent) 0,4*(7)	Teorik minimum parça tespit şekli		
6	1	30	1,95	00	1,50	3,45	1,38	1	Ana Gövde	
5	1	10	1,5	02	2,5	4,00	1,60	1	Piston	
4	1	10	1,5	00	1,50	3,00	1,20	1	Piston durdurucu	
3	1	0,5	1,84	00	1,50	3,34	1,34	1	Yay	
2	1	23	2,36	08	6,5	8,86	3,54	0	Kapak	
1	2	11	1,80	39	8	19,6	1,84	0	Cıvata	
						42,25	16,9	4	Tasarım etkinliği=	
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM	0,29

Çizelge 6.8. Pnömatik piston alt montajı yeniden tasarım için işlem tablosu [38]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Montaj Adı PNÖMATİK PİSTON (Yeniden Tasarım)	
Parça tanıma no	Operasyon uygulama sırası	İki sayılı elde tutma kodu	Her parçayı tutma süresi	İki sayılı elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi	Operasyon süresi (sn) (2*(4)+(6))	Operasyon maliyeti (cent) 0,4*(7)	Teorik minimum parça tespit şekli		
4	1	30	1,95	00	1,5	3,45	1,38	1	Ana Gövde	
3	1	10	1,5	00	1,5	3,00	1,20	1	Piston	
2	1	0,5	1,84	00	1,5	3,34	1,34	1	Yay	
1	1	10	1,5	30	2	3,5	1,4	1	Kapak ve durdurucu	
						13,29	5,32	4	Tasarım etkinliği=	
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM	0,9

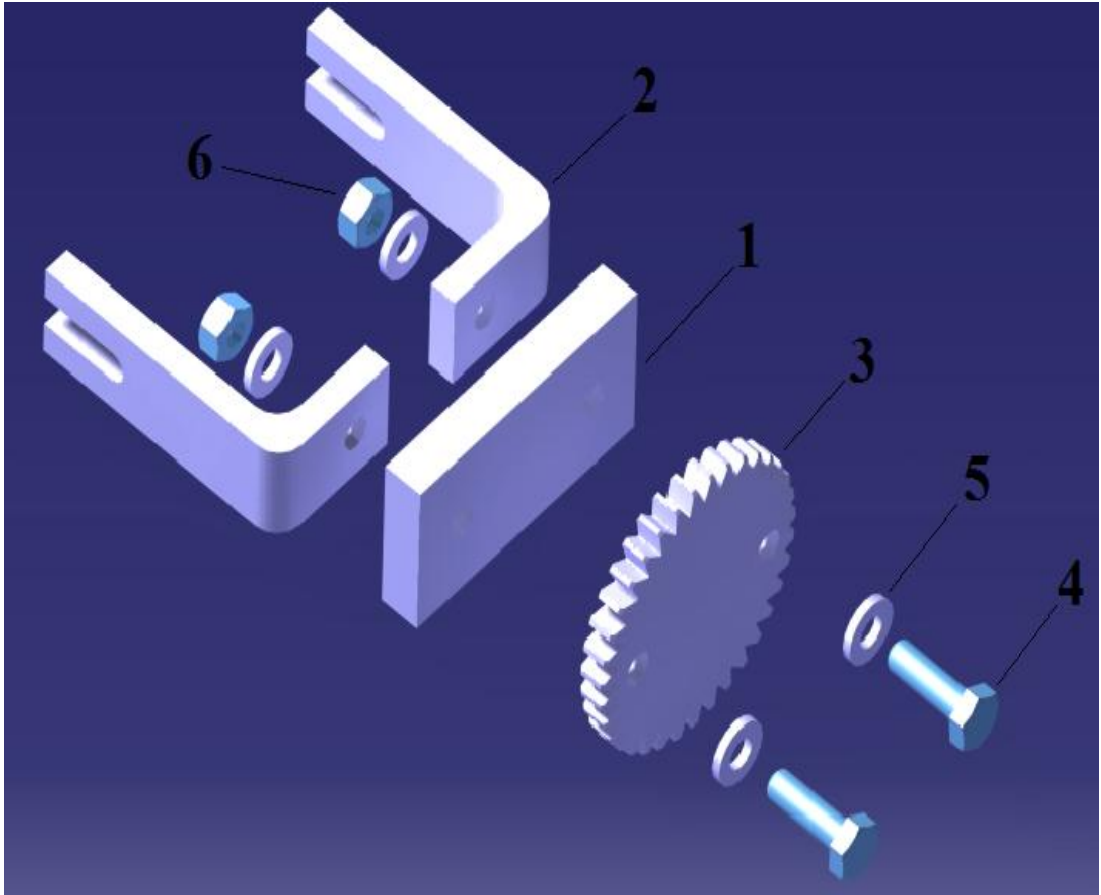


Şekil 6.6. Pnömatik piston alt montajı yeniden tasarımı [38]

Bu iki tasarım ve iş yapraklarının karşılaştırılması ile tasarım etkinliğinin %90'a yükseldiği açıkça görülmektedir. Bu yaklaşım, yüksek hızlı otomatik montaj ve robotla montaj alanlarına da uygulanabilir. Böylece bu yöntem, özellikle yeniden tasarım durumlarında oldukça faydalı olacaktır.

6.4. Oyuncak Kutusu Mekanizması Alt Montajına Yapılan Uygulama

Sistematiik bir yaklaşımla bir parça tasarlanırken bazı bileşenlerin montaj sorunlarını önlemede tasarım değışiklikleri önermek, hem parçanın montaj ve demontaj bakımından hatanın en az düzeye indirilmesine hem de maliyetini azaltacak olanaklara imkan tanıyacaktır. Şekil 6.7’de bir oyuncak kutusu mekanizması alt montajına ait orijinal tasarım ve Çizelge 6.9’da bu tasarıma ait değeriendirme tablosu gösterilmiştir.

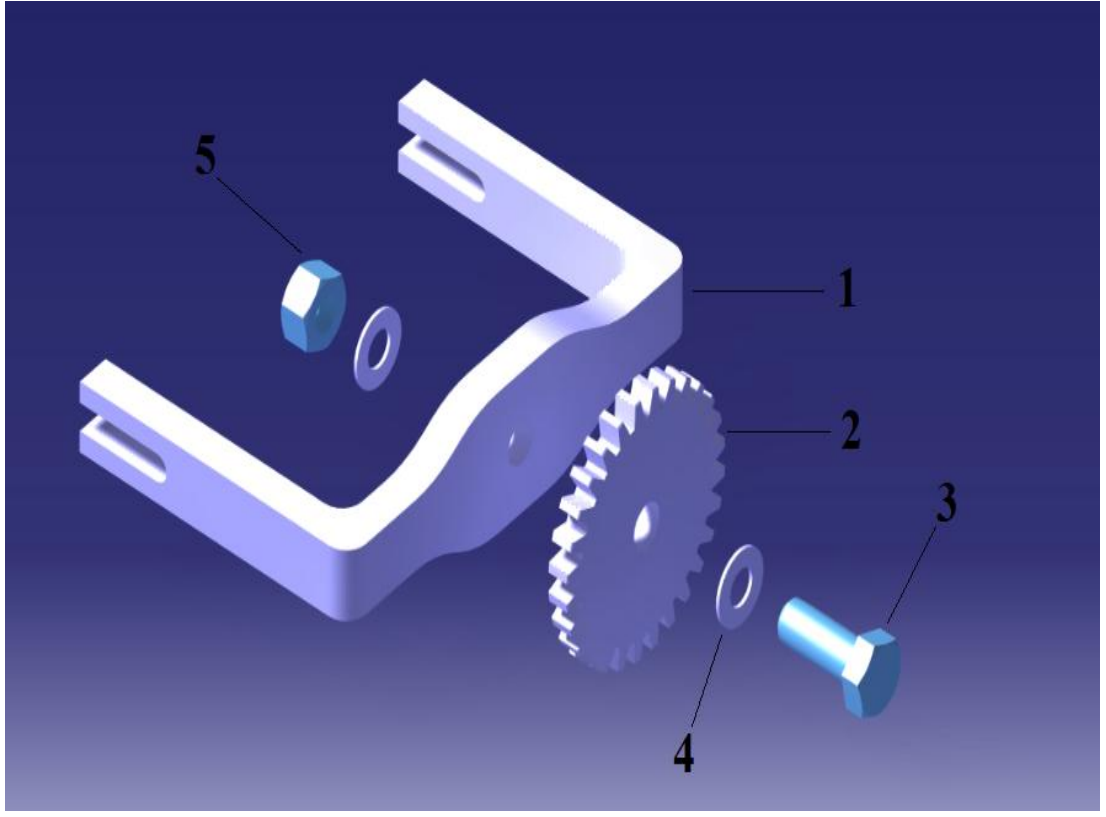


Şekil 6.7. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı orijinal tasarımı

Çizelge 6.9. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı orijinal tasarım için değerlendirme tablosu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Parça Adı	
Parça tanıma no	Parça tekrar sayısı	Elle taşıma kodu	Her parçayı elle taşıma süresi (sn.)	Elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi (sn.)	Montaj süresi (sn)	Montaj maliyeti (tl)	Teorik minimum parça sayısı		
1	1	45	2,18	38	8,40	11,37	0,06	1	Gövde (Plastik)	
2	2	20	2,18	38	8,40	11,37	0,06	1	Bağlayıcı Aparat (Plastik)	
3	1	35	3,21	49	7,25	10,65	0,05	1	Dişli (Plastik)	
4	2	05	1,30	88	6,5	9,58	0,09	0	Civata (Plastik)	
5	4	30	1,57	25	1,40	14,26	0,08	0	Pul (Plastik)	
6	2	10	1,68	08	5,90	12,19	0,09	0	Vida (Plastik)	
						60,42	0,43	3	Tasarım etkinliği=	0,15
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM	

Mevcut tasarımın kullanımı esnasında bazı yetersizlikler söz konusudur. Bu uygulamada Lucas mekanik montaj tasarımı yöntemindeki temel süreçlerden olan yerleştirmenin çeşitli öğelerini saptayarak oyuncak kutusu mekanizması kolay monte edilebilir halde yeniden tasarlanmıştır. Şekil 6.8’de ki yeniden tasarımda kolay montaj için tasarım ilkeleri oyuncak kutusu mekanizması alt montajı uygulandıktan sonra, yeni sistemin 6 parça sayısından oluştuğu görülmüştür. Buradan kolay montaj için tasarım ilkelerinin en önemlisinin; “minimum sayıda montaj edilebilecek parça kullanımı sağlanmalıdır” ilkesinin gerçekleştirildiği görülmektedir. Bununla birlikte, yeniden tasarım yapılırken kolay montaj için tasarım unsurlarını göz önünde bulundurarak gövdeye pah kırma ve gövde asimetrisini ortadan kaldırma ile daha kolay montaj ve demontaj edilebilmesi sağlanmıştır. KMİT maliyet ve verimlilik puanlaması, elle değerlendirme çalışma sayfası ya da bilgisayar aracılığıyla basit algoritmalar kullanarak Çizelge 6.10’da yazılım değerlendirme tablosu verilmiştir.



Şekil 6.8. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı yeniden tasarımı

Çizelge 6.10. Oyuncak kutusu alt montajı yeniden tasarım için değerlendirme tablosu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Parça Adı	
Parça tanıma no	Parça tekrar sayısı	Elle taşıma kodu	Her parçayı elle taşıma süresi (sn.)	Elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi (sn.)	Montaj süresi (sn)	Montaj maliyeti (tl)	Teorik minimum parça sayısı		
1	1	45	2,18	38	8,40	9,37	0,06	1	Gövde (Plastik)	
2	1	35	3,21	49	6,20	8,35	0,04	1	Dişli (Plastik)	
3	1	05	1,30	88	4,90	5,58	0,06	0	Civata (Plastik)	
4	2	30	1,57	25	1,40	3,82	0,05	0	Pul (Plastik)	
5	1	10	1,68	08	4,80	5,58	0,06	0	Vida (Plastik)	
						32,7	0,27	2	Tasarım etkinliği=	0,19
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM	

Çizelge 6.11’de gösterildiği gibi yeniden tasarım kullanılırsa, mevcut tasarıma göre 14 TL kar sağlanmaktadır. Ayrıca, bu iki tasarım ve maliyet analizlerinin karşılaştırılması ile tasarım etkinliğinin % 19’a yükseldiği açıkça görülmektedir.

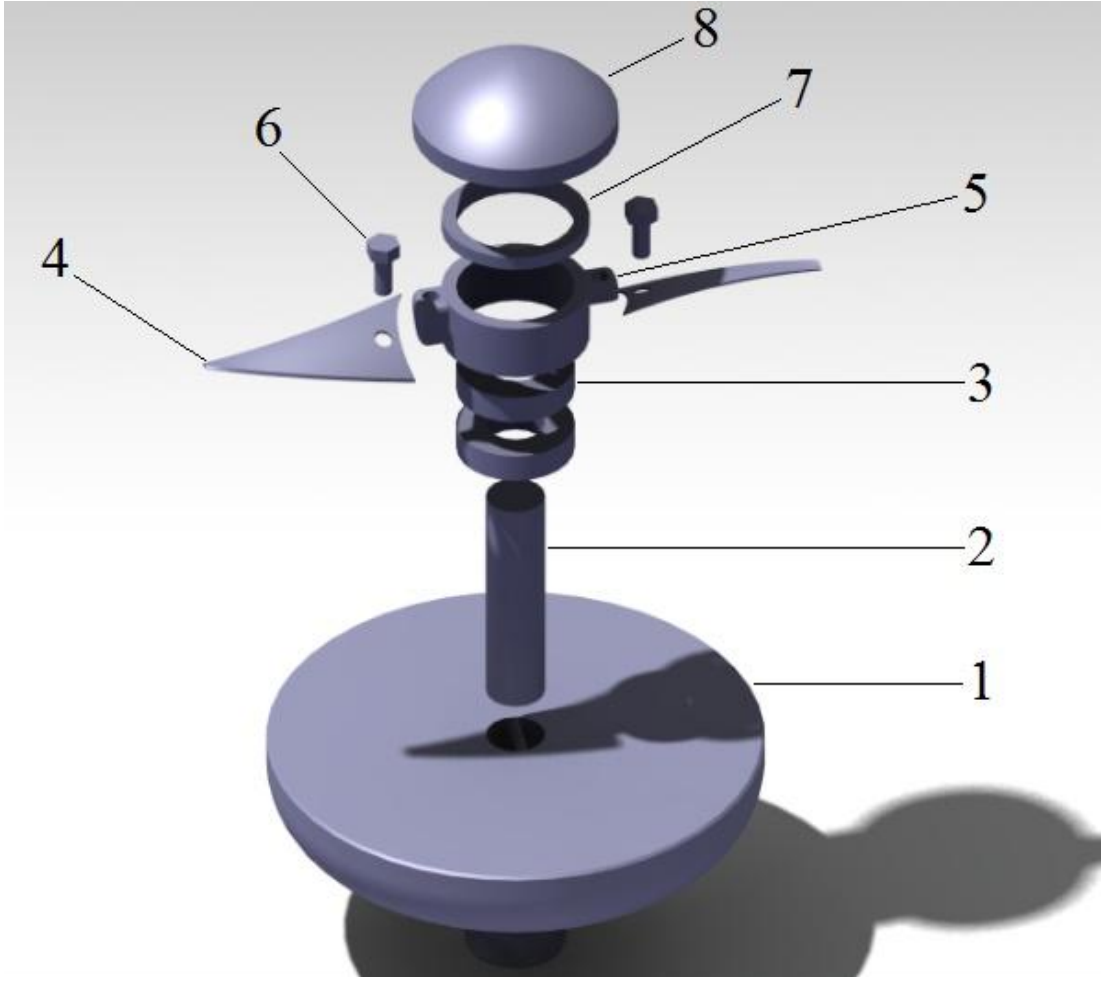
Çizelge 6.11. Oyuncak kutusu mekanizması alt montajı için orijinal ve yeniden tasarımın karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Toplam Zaman(Sn.)	KMİT İndeksi	Montaj Maliyeti (TL)
Eski Tasarım	12	60,42	0,15	0,43
Yeni Tasarım	6	32,7	0,19	0,27

6.5. Sebze Doğrayıcı Alt Montajına Yapılan Uygulama

Şekil 6.9’da, tüketicinin ihtiyacına cevap veren, bazı yönlerden modern imalat süreçleri ve metodolojilerinin sunduğu imkanlarla alışılmış bir tüketici ürününün alt montajına ait orijinal tasarımı gösterilmektedir. Sebze doğrayıcı mekanizması içinde çalışmakta olan iki bıçak parçası mevcuttur. Bunlar, cıvatalar ile bağlantı parçasına monte edilerek işlem görür. Burada temel amaç ürünün montaj aşamasında parçaların kolaylıkla sökülüp takılmasıdır.

İlk adım, ürün için uygun montaj yöntemini seçmektir. Burada Boothroyd-Dewhurst yöntemi esas alınmıştır. Monte edilmesi gereken münferit parçaların sayısını azaltma ve kalan parçaların kolay monte edilebilmesinden emin olma gibi problemler ele alınarak orijinal tasarımın KMİT verimliliğinin maliyet analizi yapılmıştır. Çizelge 6.12’de sebze doğrayıcı alt montajının orijinal tasarımına ait değerlendirme tablosu verilmiştir.



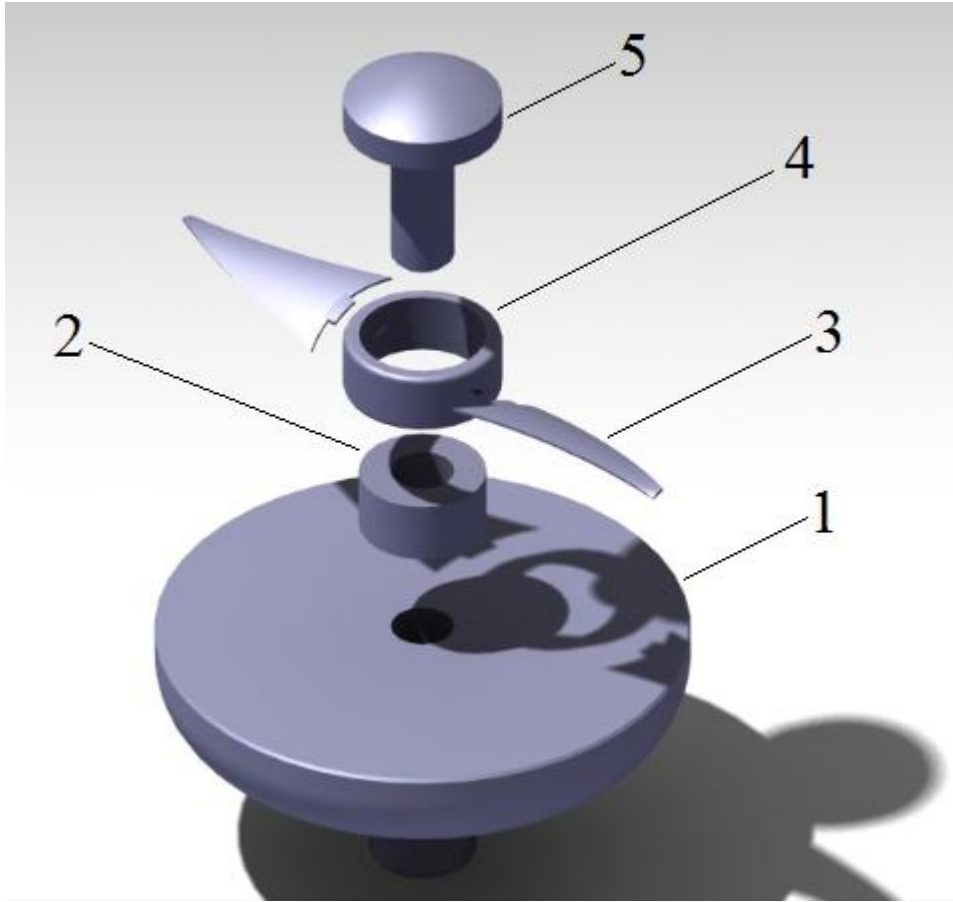
Şekil 6.9. Sebze doğrayıcı alt montajı orijinal tasarım

Çizelge 6.12. Sebze doğrayıcı alt montajı orijinal tasarım için değerlendirme tablosu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Montaj Adı	
Parça tanıma no	Parça tekrar sayısı	Elle taşıma kodu	Her parçayı elle taşıma süresi (sn.)	Elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi (sn.)	Montaj süresi (sn)	Montaj maliyeti (tl)	Teorik minimum parça sayısı	SEBZE DOĞRAYICI	
1	1	15	1,37	09	7,8	11,49	0,09	1	Gövde (Plastik)	
2	1	20	1,84	30	11,24	20,7	0,06	0	Saplama (Plastik)	
3	2	45	1,18	15	5,00	8,3	0,04	1	Burç (Teflon)	
4	2	30	2,89	98	10,81	17,45	0,23	1	Bıçak (Karbon çeliği)	
5	1	17	2,25	08	6,40	14,51	0,08	1	Bağlantı Parçası (Plastik)	
6	2	28	1,76	22	9,45	15,68	0,05	0	Cıvata (Plastik)	
7	1	35	1,25	50	5,02	8,5	0,03	0	Pul (Plastik)	
8	1	88	1,63	11	8,03	15,26	0,04	0	Vida (Tapa başlı) (Plastik)	
						111,89	0,62	4	Tasarım etkinliği=	
						TM	CM	NM	(3*NM)/TM	0,10

Orijinal tasarımda bulunan KMIT endeksi ve tablodaki değerlere bakıldığında orijinal tasarımın toplam 11 parça sayısından oluştuğu görülmüştür. Burada dikkat edilecek nokta; bıçak tasarımının yeniden gözden geçirilmesidir. Yapılacak olan yeni tasarımla bıçakların kolay monte edilebilmesi amaçlanmalıdır.

Şekil 6.10'da sebze doğrayıcı alt montajı yeniden tasarımı ve Çizelge 6.12'de yeniden tasarıma ait değerlendirme tablosu gösterilmiştir. Sebze doğrayıcı alt montajı yeniden tasarımında ilgi bıçağın yeni tasarımı üzerinde odaklanılmıştır. Yapılan yeni tasarımla montaj zorluğu çıkartan ufak bağlantı elemanlarından kurtulup bağlantı parçasının içine çentik açılarak parçanın sökölüp takılması sırasında kolay bir montaj elde edilmiştir.



Şekil 6.10. Sebze doğrayıcı alt montajı yeniden tasarım

Çizelge 6.13. Sebze doğrayıcı alt montajı yeniden tasarım için değerlendirme tablosu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Montaj Adı		
Parça tanıma no	Parça tekrar sayısı	Elle taşıma kodu	Her parçayı elle taşıma süresi (sn.)	Elle birleştirme kodu	Her parçanın elle birleştirme süresi (sn.)	Montaj süresi (sn)	Montaj maliyeti (tl)	Teorik minimum parça sayısı	SEBZE DOĞRAYICI		
1	1	15	1,02	09	5,6	8,26	0,03	1	Gövde (Plastik)		
2	1	45	1,08	15	4,07	7,11	0,03	1	Burç (Teflon)		
3	2	30	1,49	98	7,23	12,38	0,12	1	Bıçak (Karbon çeliği)		
4	1	17	1,34	08	5,90	10,64	0,03	1	Bağlantı Parçası (Plastik)		
5	1	10	1,53	11	6,18	11,42	0,04	0	Cıvata (Tapa başlı) (Plastik)		
							49,81	0,25	4	Tasarım etkinliği=	
							TM	CM	NM	(3*NM)/TM	
										0,24	

İki tasarımı karşılaştırdığımızda, Çizelge 6.14’de görüldüğü gibi yeniden tasarımın montaj maliyeti orijinal tasarımın montaj maliyetinin %28’inden daha azına (on bir parçaya karşı altı parça) düşürülmüş olacaktır. Bununla birlikte, yeni tasarımla montaj verimliliğinin %14 oranında arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte toplam iki tasarım arasındaki toplam zaman farkı yeniden tasarım ile parçaların daha kolay monte edilebildiğini göstermektedir.

Çizelge 6.14. Sebze doğrayıcı alt montajı için orijinal ve yeniden tasarımın karşılaştırılması

	Parça Sayısı	Toplam Zaman(Sn.)	KMİT İndeksi	Montaj Maliyeti (TL)
Eski Tasarım	11	111,89	0,1	0,62
Yeni Tasarım	6	49,81	0,24	0,25

Buraya kadar anlatılanlar doğrultusunda KMİT için kullanılan yöntemlerin savunduğu kriterlerin geçerliliği ortaya konulmuştur. Bu amaçla, verilen bir tasarım için her montaj adımı, zaman ve hareket temel öğelerinin içinde parça yönelimi, defalarca ekleme ve hareketlere göre değişir. Bu zaman ve hareketlere maliyetler eklenir ve malzeme fiyatları da ilave edilir. Analizin bu aşaması, tasarım verimliliğinin hesabı ve birim maliyet tahminlerine yol açar. KMİT kullanımının güçlü bir yararı, montaj verimliliğinin bu ölçümü ile puanlama yöntemlerini kolaylaştırmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, ürün tasarımcılarına bir ürünün montaj edilebilirliğini değerlendirirken önemli olan parametreleri göstermek olmuştur. KMİT yöntemleri kullanılarak ürün montaj tasarımı için çeşitli uygulamaların yapılması ve elde edilen sonuçlara göre bu yöntemlerin savunduğu unsurların geçerliliği ortaya konulmuştur. Montaj kolaylığı için ürün tasarım aşamasındayken ortaya çıkabilecek problemlerin önüne geçecek önlemleri alarak zamandan, malzemeden, işçilikten ve maliyetten tasarruf sağlanması esasına dayanan bir çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada DFA yöntemleri üzerine bir kaynak araştırması yapılmış ve yöntemlerin gelişim trendi hakkında bilgi verilmiştir. Montajı önemli ölçüde etkilemesine rağmen nispeten daha az yer verilen faktörlerin açıklandığı ve bazen birbirleriyle çelişen birçok faktörün göreceli önemini gösteren süreç ve yöntemlere yer verilmiştir. Böylece, montajı etkileyen birçok faktör ve işlevsellik, görünüş, imalat tasarımı, montaj tasarımı arasında önemli faktör ve çelişkilerin var olduğu saptanmıştır.

Kolay montaj tasarımı için yapılan bu araştırmada ürün tasarımı için kavramsal aşamadaki öncelikler tespit edilmiştir. Ürün tasarımındaki öncelikler şunlar olmalıdır:

- Minimum parça sayısını belirleme; çok büyük bir farkla en önemli amaçtır. Sadece bu gerçekleştirilirse, her montaj türü için montaj maliyetlerinin rekabet gücü yüksek olacaktır.
- Montaj için tasarım unsurları kullanma; ürün tasarımı yapılırken montaj için parçaların birbirine geçme işleminde montaj unsurlarının kullanımı montaj kolaylığı için tasarım esnasında göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum monte edilebilirlik açısından önemlidir.
- Verimsiz operasyonları minimize etme; birçok ürün için, montaja hiçbir katkı yapılmaksızın masrafa sebep olmanın çok fazla örneği vardır. Otomatik montaj için bu özellikle doğrudur.

- ‘Açık’ öncelikler yaratma; hat dengesi problemlerini göz önüne almanın dışında montaj sıralamasına neredeyse hiç dikkat edilmemektedir. Sıralamanın daha geniş yönlerini göz önünde bulundurmamak ve daha fazla sıralama fırsatı verecek şekilde tasarım yapmamak tutarsızlıktır.

Yukarıda özetlenen ürün tasarım öncelikleri dikkate alınarak, kolay montaj tasarım metodolojisi temel ilkeleri belirlenmiştir. Çalışmanın temeli montaj unsuru geliştirilmesi üzerine kurulmuş, montaj için yardımcı unsurlar, montaj için tasarım kılavuzları ve tasarımda unsur süreci ile kolay montaj için tasarım unsurları ele alınmıştır.

Yapılan çalışmada, birçok farklı DFA sistemleri, montaj edilebilirlik ölçüm ve yöntemleri açıklanarak, kolay montaj tasarım metodolojilerinin kıyaslaması yapılmıştır. Buraya kadar anlatılan bilgiler ışığında KMİT uygulama çalışmalarına yer verilmiştir.

Genel olarak bu çalışma boyunca yapılan uygulamalara bakıldığında KMİT yönteminin kullanılmasının montaj ve bakım sürelerini azalttığı, ürün tasarım sürecini kısalttığı ve üretim maliyetlerini azalttığı görülmüştür.

Geliştirilen çalışmada, mühendislik tasarımında unsur kavramlarını tanıma ve temel metodolojiler ile sadece iyi montaj tasarımları değil, aynı zamanda daha iyi ve daha uygun maliyetli ürünler yaratmak için birçok şey yapılabilir. Bunları gerçekleştirmenin en önemli koşulu, kolay montaj için tasarım unsurları ile sistematik yaklaşım kapsamlı çalışmalara bağlıdır. Bu bağlamda sistematik yaklaşımla kolay montaj için tasarımın, optimize edilmiş tasarımı sayesinde verimli tasarım ve montaja ulaşmada önemli bir etkisi olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Allen, A. J., Bielby, M. S., Swift, K. G., "Development of a Product Manufacturing Analysis and Costing System", *Int. J. Av. Manuf. Technol.*, 6: 205-215 (1991).
2. Boothroyd, G., Dewhurst, P., "Design for Assembly Handbook", *Product Design for Manufacture and Assembly*, Amherst, MA, 42-46 (1988).
3. Ghosh, S., Gagnon, R. J. A., "Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems", *Int. J. Prod. Res.*, 12 (4): 637-670 (1989).
4. Börklü, H. R., "Unsur – Tabanlı Modellemede Kullanılan Çeşitli Unsur Tanıma Teknikleri", *Mühendis ve Makine Dergisi*, Ankara, 39: 35-47 (1998).
5. Redford, A., Chal, J., Design for Assembly, *McGraw-Hill Book Company*, London, 3-17, 23-25, 90-93, 105-132 (1994).
6. Rooks, B., "Danish Innovation Focuses on Design for Assembly", *Assembly Automation*, 7 (1): 11-13 (1987).
7. Joshi, S., "Feature Recognition and Geometric Reasoning for some Process Planning Activities", *Elsevier Science Publishers*, 363-384 (1990).
8. Barnes, J. C., Dalglish, F. G., Jared M. E. G., Swift G. K., Tate J. S., "Assembly Sequence Structures in Design For Assembly", *Cranfield University, University of Hull*, UK, 1-5 (1997).
9. Sturges, R.H., Kilani, M.I., "Toward an Integrated Design for Assembly Evaluation and Reasoning System", *Journal of Computer Aided Design*, 5-7 (1990).
10. Gadh, R., Prinz. F.B., "Abstraction of Manufacturing Features From Design", *Proc. of Winter Annual Meeting*, Atlanta, 2-5 (1991).
11. Yang, J.T., Sturges, R.H., "DFA Evaluation of Orientation Difficulty Features", *EDRC Tech. Report*, 24: 78-92 (1991).
12. Changchien, S. W., Lin, L., "Knowledge-Based Design Critique System for Manufacture and Assembly of Rotational Machined Parts in Concurrent Engineering", *Computers in Industry*, 32: 117-140 (1996).
13. Coma, O., Mascle C., Veron P., "Geometric and Form Feature Recognition Applied to A Design for Assembly Methodology", *Computer-Aided Design*, 35: 1193-1210 (2003).

14. Stone, R. B., Mcadams, D. A., Kayyalethekkel V. J., “A Product Architecture-Based Conceptual DFA Technique” *Design Studies*, 25: 301-325 (2004).
15. Krause, F., Kaufmann, U., “Meta-Modelling for Interoperability In Product Design”, *Annals of the CIRP*, Vol. 56:1 (2007).
16. Ružarovský, R., Zvolenský, R., Velíšek, K., “Proposition of Design Methodology for Generation of Automated Assembly Devices”, *In Proceedings of the 7th International Conference of DAAAM Baltic Industrial Engineering*, Estonia, ISBN 978-9985-59-982-2, (2010).
17. Danišová, N., Ružarovský, R., Velíšek, K., “Robotics System Design for Assembly and Disassembly Process”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 67 (2012).
18. Takahashi, K., Senba, K., “Design for Automatic Assembly”, *Proc. 7th ICAA*, 149-159 (1986).
19. Lascz, J. F., “Product Design for Robotic and Automatic Assembly In Robotic Assembly”, *IFS Publications*, UK, 157-172 (1985).
20. Deming, E., “*Out Of Crisis*”, *Cambridge, MA: The Massachusetts Institute of Technology Press*, 180-182 (1986).
21. Bateman, N., Stockton D. J., Lawrence, P., “Measuring The Mix flexibility of Manufacturing Systems”, *Intern. Journal of Prod. Research*, 871-880 (1990).
22. Parken, C., Wu, M. L., “On The Equivalence of Operational Performance Measurement and Multiple Attribute Decision Making”, *International Journal of Production Research*, 11 (35): 2963-2988 (1997).
23. Fischer, R. W., “Design for Assembly”, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 409-411 (1984).
24. Hager, C. D., Kim, S. H., “Information and its Effect on the Performance of a Robotic Assembly Process”, *Pro. Symp. On Intelligent and Integrated Manufacturing: Analysis and Synthesis*, Boston, 349-356 (1987).
25. Shankar, G. K., “Control of Boiler Operation Using PLC – SCADA”, *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Hong Kong, 977-988 (2008).
26. Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D., Chrysosolouris, G., “Automotive Assembly Technologies Review: Challenges and Outlook for a Flexible and Adaptive Approach”, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2 (2): 81-91 (2010).

27. Blessing, L., Kretschmer, S. M., “Engineering Design and Methodology”, **Dept. of Mechanical Engineering and Transport Systems Technical University of Berlin**, 13-15 (2006).
28. Zha, X. F., Du, H. J., Qiu, J. H., “Knowledge-Based Approach and System for Assembly Oriented Design, Part I: The Approach”, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 62-64 (2001).
29. Çiçek, A., Gülesin M., “Montaj Planlama Yaklaşımları Üzerine Bir Araştırma”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 22 (2): 258-265 (2007).
30. Boothroyd, G., “Assembly Automation and Product Design”, **Taylor & Francis Group**, 25-29, (2005).
31. Kayacan, M. C., Çelik, Ş. A., “Prizmatik Parçaların Bilgisayara Tanıtılması”, **MAMKON’97, İTÜ Makina Fakültesi 1. Makina Mühendisliği Kongresi**, İstanbul, 122-133 (1997).
32. Erve, V. H. A., Kals J. J. H., “XPLANE, a Generative Computer Aided Process Planning System for Part Manufacturing”, **Twente University of Technology**, Netherlands, 325-329 (1986).
33. Börklü, H. R., “Mühendislik Tasarımı-Sistemik Yaklaşım”, **Hatiboğlu Basım ve Yayımları**, Ankara, 129-131, 368-378 (2010).
34. Yamagiwa, Y., Iwata, S., Numata, J., Namiki Y., “Design Process to Achieve Easy Assembly and Disassembly”, **Journal of Japan Society for Design Engineering**, 1102-1105 (2001).
35. Popplestone, R., Liu, R. J., Weiss, R., “A Group Theoretic Approach to Assembly Planning”, **AI Magazine**, 83-97 (1990).
36. Angemuller, G., Moritzen, K., “A Knowledge-Based System Supporting Product Design for Mechanical Assembly”, **Proc. 1st Conf. AI and ES in Manuf.**, London, 181-192 (1990).
37. Inoshita, S., Shigemura, T., “The Hitachi Producibility Evaluation Method (PEM)”, **Kikai-sekkei, Nikkaonkoyyo-shinbusha**, 39-47 (1989).
38. Pugh, S., “Total Design: Integrated Method for Successful Product Engineering”, **Addison Wesley Publishing Comp. Inc.**, 138-141 (1991).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAYYİĞİT, Tuncay
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05.02.1981 Ağrı
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 536 513 50 67
e-mail : tuncaybayyigit@yahoo.com

Eğitim Durumu

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	G. Ü./Mak. Res. ve Konst. Öğrt.	2008
Lise	Gölcük End. Meslek Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2010	Makyol Makine	Tasarımcı
2010-2012	Güven A.Ş.	Tasarımcı
2012-(....)	Yargıtay	Memur

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri