

TC
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

İMALAT İÇİN TASARIM VE TEMEL
KURALLARININ İNCELENMESİ

Nuri BOYACI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GEBZE

2010

TC
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

İMALAT İÇİN TASARIM VE TEMEL
KURALLARININ İNCELENMESİ

Nuri BOYACI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

GEBZE

2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRÜ ONAY SAYFASI

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23/08/2010 tarihli tez savunma sınavı yapılan Nuri BOYACI'nın tez çalışması Makine Müh. Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI):

Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

ÜYE :

Doç. Dr. Metin USTA

ÜYE:

Yrd. Dr. İlyas KANDEMİR

ONAY

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: İMALAT İÇİN TASARIM VE TEMEL KURALLARININ İNCELENMESİ

YAZAR ADI: NURİ BOYACI

Bu çalışmanın amacı, mühendislik önemli tasarım araçlarından olan İmalat için tasarım (DFM) yöntemlerinin tanımlanması, bu yöntemlerin önerdiği tasarım kriterlerinin açıklanması ve bu yöntemler kullanılarak elde edilen pratik sonuçları teorik olarak açıklanan tasarım kriterleriyle karşılaştırılıp bu kriterlerin geçerliliğinin araştırılmasıdır.

Geliştirilen metodun amacı, talaşlı imalatla karşılaşılan üretilebilirlik problemlerinin talaşlı imalat süreçlerine ait temel özelliklerinin çelişmesi şeklinde ifade edilmesi sonrasında, bu çelişkileri ortadan kaldırmak için uygulanabilecek çözüm önerilerine erişim için yöntem tanımlamaktır.

Çözüm önerilerine ulaşabilmek için öncelikle problemin standart özelliklerden ikisinin çakışması olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Çözüm önerilerinin belirlenmesinde DFM (İmalat İçin Tasarım) sanayideki tecrübeli tasarım mühendislerine tasarım önerileri de belirli oranda sorgulanmıştır. DFM her türlü üretimin daha üretilecek ürünün olası üretim problemlerini tasarım aşamasındayken ortadan kaldırmak için kullanılan bir yarı-problem çözme tekniğidir.

Piyasa koşullarında firmalar hızla değişen pazar ihtiyaçlarına cevap vermek zorundadırlar. Pazara ürün ve ürün çeşidinin çıkması için ürün gelişim süresini kısaltmalı, değişen çevre ve müşterinin ihtiyaçlarını takiben değişim ve gelişimlere ayak uydurabilmelidir. Ürün gelişimi hakkında çabuk kararlar verilerek planlamalar hemen yapılmalıdır. Firmalar aynı ürün ve çeşitlerini pazarda uzun vadeli olarak

kalmasını rakip ürün ve çeşitleri ile rekabetinden dolayı istemezler. Bu sebepten dolayı pazara yeni ürün ve çeşitlerini verme gerekliliğini hissederler.

Ürün ve çeşidinin maliyet, zaman ve müşteri bakımından en iyi şekilde sunulması, ürün hayat sürecinde ürün ömrünü tamamlamasına kadar geçen sürede diğer ürünlerle rekabeti ve devamlılığı açısından önemlidir. Bunun için ürün tasarım, analiz ve imalatında hızlı bir şekilde çözüm getirmek için İmalat için Tasarım kavramı ortaya çıkmıştır.

SUMMARY

THESIS SUBJECT: INVESTIGATION OF BASIC PRINCIPLES OF DESIGN FOR MANUFACTURING

AUTHOR NAME: NURİ BOYACI

The aim of this study is to define the methodologies of Design for Manufacturing (DFM) that is essential for engineering, to explain the manufacturing criteria for DFM, and to compare the practical results with theoretical design requirements for its functionality.

The aim of the developed method is expressing the producibility problems in machining as being at variance with the quality of machining process and then defining applicable solutions to this problem.

To reach the solution proposal, firstly the problem must be defined as coincidence of two of the standard qualities. Experienced design engineers' design proposals in DFM are also interrogated while determining the solution proposals. DFM is a problem solution technique that is used to eliminate the problems before manufacturing.

In market conditions, companies must meet the needs of the ever-changing market needs. To put the products and products' species in the market, time for product development process must be shortened and changing market and customer needs must be customized according with changes and developments. Companies don't want a product to stay for a long time in the market because of the competition. For this reason, they want to put new products in a market.

Presenting the product and product species in best way related with cost, time and customer is essential for product competition and permanence during product life process. For these reasons DFM is introduced for product design, analysis and manufacturing.

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda yardım ve fedakârlıklarını esirgemeyen Doç. Dr. Fehmi Erzincanlı hocama teşekkür eder, başarılarının bize örnek olmasını temenni ederim.

Ayrıca bu çalışmayı hazırlamada yardımcı olan Süleyman Soydaş'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
TABLolar DİZİNİ	XVI
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 ÜRÜN GELİŞTİRME YÖNTEMLERİ	8
2.1 Yalın Yaklaşım	8
2.1.1 Yalın Üretim	11
2.2 Toplam Kalite Yönetimi	12
2.3 Tam Zamanında Üretim	14
2.4 Kaizen	14
2.5 Güçlü Tasarım İçin Taguchi Tekniği	17
2.6 Grup Teknolojisi	18
2.7 İmalat Yöntemi Tasarım Kuralları	19
2.8 De-montaj ve Geri Dönüşüm İçin Tasarım	20
2.9 Çevre İçin Tasarım	22
2.10 Kalite İçin Tasarım	23
2.11 Bakım İçin Tasarım	24
2.12 Güvenilirlik İçin Tasarım	25
BÖLÜM 3 İMALAT İÇİN TASARIM	27
3.1 Ürün Tasarımı Amaçları	27
3.2 İmalat İçin Tasarımı Etkileyen Faktörler	28
3.2.1 Standardizasyon	28

3.2.2 Çok Fonksiyonlu Tasarım Parçaları Kullanılmalı	29
3.2.3 Modüller Geliştirilmeli	29
3.2.4 Geniş Toleranslar	30
3.2.5 İmalat Kolaylığı için Tasarım	32
3.2.6 Asgari işlemler	32
3.2.7 Azami Uyum	33
3.2.8 Beklenen Üretim Adetlerine Uygun Tasarım	33
3.2.9 Özel Proses Karakteristiklerinden Yararlanma	33
3.2.10 Sürecin Sınırlayıcılığından Kaçınmak	34
3.3 Genel Tasarım ve Kuralları	34
3.3.1 Klasik Ürün Tasarımı	35
3.3.1.1 Klasik Tasarımda Uygulanması Gereken Metotlar	36
3.3.1.2 Klasik Tasarımda Uygulanması Gereken Tasarım Kuralları	37
3.3.2 İmalat için Sistematik Tasarım	38
3.3.3 İmalat için Aksiyomlarla Tasarım	39
3.3.4 İmalat İçin Bilimsel Tasarım	41
3.4 Tasarım Mühendisinin Sorumlulukları	41
3.5 İmalat Mühendislerinin Sorumlulukları	42
3.6 Maliyet Faktörleri	43
3.6.1 Genel Üretim Giderleri	43
3.6.1.1 Genel Üretim Giderlerinin Özellikleri	44
3.6.1.2 Genel Üretim Gideri Sayılan Harcamalar	44
3.6.2 Direkt Hammadde ve Malzeme	46
3.6.3 Direkt işçilik	48
3.6.4 Dolaylı İşçilik	50
3.7 Malzemenin Şekli ve İmalat Metodu	50
3.8 Titreşim	51
3.9 Kesici Takım Ömrü	52
3.10 Soğutma Sıvısı	54
3.11 Kesme ve İlerleme Hızı	57
3.12 Takım Malzemesi	58
3.12.1 Yüksek Hız Çeliği	59
3.12.2 Sert Metal Uçlu Kesiciler	59

3.12.3 Seramikler	60
3.12.4 Elmaslar	61
3.13 DFM Metodunun Firma İçinde Yayılımı	61
3.13.1 Yönetimin Rolü	62
3.13.2 Tasarım Çalışmalarının Yönlendirilmesi	63
3.13.3 Takım	63
3.13.3.1 Takımların Temel Özellikleri	64
3.13.3.3 Takımlarda Bulunması Tavsiye Edilen Bölümler	65
3.14 Takımın Yönetilmesinde Yararlı Olacak Sistem Araçları	65
3.14.1 Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat	65
3.14.1.1 Bilgisayar Destekli Tasarım	66
3.14.1.2 Bilgisayar Destekli İmalat	66
3.14.1.3 Bilgisayar Destekli Mühendislik	67
3.15 Beyin Fırtınası	68
3.16 DFM Aktivitelerinin Yapılması İçin Uygun Eş Zamanlılığın Uyg.	69
3.17 Tasarımın Değerlendirilmesi	71
3.18 Montaj Değerlendirme Sistemleri	71
BÖLÜM 4 MONTAJ İÇİNTASARIM	74
4.1 DFA Yönteminin İlkeleri	74
4.2 DFA 'nın Hedeflediği Avantajları	76
4.3 DFA Yönteminin Önemli Kriterleri	77
4.4 Montaj Prosesi	80
BÖLÜM 5 MÜKEMMELLİK İÇİN TASARIM	82
5.1 Mükemmellik İçin Tasarım Başarı Faktörleri	84
5.1.1 Mükemmellik için Tasarım Yaklaşımında Entegrasyon	84
5.1.2 Mükemmellik için Tasarım ve İnsan Faktörü	85
5.1.3 Zeki Mükemmellik İçin Tasarım Sistemleri	85
5.1.4 Zeki Sistemlerin Özellikleri	86
5.2 DFX Özelliklerinin Değerlendirilmesi	87
5.3 Altı Sigma	88
5.4 İmalat Alanında Karşılaşılan Problemler İçin Önerilere Örnekler	91

BÖLÜM 6 SONUÇ ve ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

JIT	Tam Zamanında Üretim (Just In Time)
TQM	Toplam Kalite Yönetimi (Total Quality Management)
DFM	İmalat İçin Tasarım (Design for Manufacturing)
DFA	Montaj İçin Tasarım (Design for Assembly)
DFS	Bakım İçin Tasarım (Design for Service)
DFQ	Kalite İçin Tasarım (Design for Quality)
DFE	Çevre İçin Tasarım (Design for Environment)
DFR	Güvenirlilik İçin Tasarım (Design for Reliability)
DFD	De-montaj İçin Tasarım (Design for Disassembly)
DFX	Bakım İçin Tasarım (Design for Excellence)
CIM	Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat (Computer Integrated Manufacturing)
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CAM	Bilgisayar Destekli İmalat (Design Aided Manufacturing)
CAE	Bilgisayarlı Destekli Mühendislik (Design for Engineering)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Yalın üretimin başarı faktörleri	12
2.2. Toplam Kalite Yönetimi yaklaşımı	13
2.3. Kaizen Şemsiyesi	15
2.4. Batının icatlara dayalı gelişme anlayışı	16
2.5. İyileştirmede Kaizen yaklaşımı	16
2.6. Geleneksel yaklaşımda kalite kaybı	17
2.7. Kuadratik kalite kaybı fonksiyonu	18
2.8. Üretim açısından farklı görünüş açısından benzer parçaların oluşturduğu bir grup	19
2.9. Değerlendirme seçenekleri maliyetinin üretim maliyetiyle mukayesesi	21
2.10. Aktif de-montaj için tasarlanmış cıvata malzemesinin Elastiklik Modülünün Sıcaklık ile Değişimi	22
3.1. Tolerans genişliği maliyet ilişkisi	31
3.2. Yüzey pürüzlülüğü-üretim süresi ilişkisi	31
3.3. Delikler arası yeterli boşluk bırakılması	35
3.4. İmalat Maliyeti	46
3.5. Ana mil - kesme hızı ilişkisi	5
3.6. Seri mühendislik sistemi akış diyagramları	70
3.7. Eşzamanlı mühendisliğin tasarım araçlarını disipline etmesi	70
3.8. Sandalye iskeleti	72
3.9. Sandalye iskeletinin yeniden tasarımı	72
4.1. Bir alt montaj grubunun geleneksel ve DFA yöntemi uygulanmış tasarımlarının karşılaştırılması	77
4.2. Montaj proseslerine ve parça sayısına göre montaj maliyetleri	78
4.3. Montaj teknolojisi	79
5.1. Ürün Geliştirme Çalışmalarında DFX Çevrimi	82
5.2. Standart normal dağılım grafiği	88
5.3. Normal dağılım grafiği üzerindeki hata alanları	89

5.4. Arzu edilen ve mümkün, ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmiş standart geometrili parçalar	91
5.5. Ektrüzyonla imal edilmiş iyi ve kötü parça kesitleri	91
5.6. Ektrüzyonda imal edilmiş parçaların kanalları için tasarım kuralları	92
5.7. Saç metal kalıpcılığı ile imal edilmiş parçaların boyutlar ve delik tasarım kuralları	92
5.8. Delikler parçanın kenarına çok yakın olmamalıdır	93
5.9. Asgari aralık bırakmalı ve bükülme gerçekleştiğinde delikteki çarpılmayı önler	93
5.10. Deliğin Bitişik yerleştirildiği büküm yuvarlağından dışarı çarpılması	93
5.11. Basit takım kullanıldığı zaman, az miktar oranlarında derin çekme parçaları üretilmelidir, boşluk tutma özellikleri olmaksızın kullanılmalıdır.	94
5.12. Derin çekme için derinlik tasarım kuralları	94
5.13. Toz metarulujsi ile imal edilmiş parçaların köşeleri yuvarlatılmalı	95
5.14. Metal enjeksiyon ile imal edilmiş parçaların cidar kalınlıklarının inceltilerek hataların giderilmesinin	95
5.15. Metal enjeksiyon kalıp parçasında gövdenin tavsiye edilen tasarımı	96
5.16. Silindirik Taşlama	96
5.17. Broşlamada açılan uygun kanallar	97
5.18. Silindirik dış taşlamada birleşik yüzeyler	97
5.19. Plastik enjeksiyon kalıpcılığı ile imale edilmiş ürün	98

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo**Sayfa**

5.1. Merkezden Uzaklık ve Sigma S. Göre Milyonda Hata Sayısı

89

1. GİRİŞ

İmalat; yarı mamul halden mamul hale getirmeye denir. İmal ise ham maddeyi yarı mamul hale getirmektir. İmalat yöntemleri üçe ayrılır. Birincisi talaşsız imalat oluşturur. Örneğin döküm, derin çekme, bükme, dövme, plastik enjeksiyon kalıpcılığı, ikincisi talaşlı imalat örneğin tornalama frezeleme, delik delme, raybalama, vargelleme, broşlama, taşlama üçüncü özel imalat yöntemleri (ileri imalat yöntemleri) örneğin; elektro-kimyasal işleme, su jeti işleme, elektro-erozyonla işleme (dalma erozyon, tel erozyon), lazer ışını ile işleme vb.

Talaşsız imalatta kütleyi oluşturarak veya kütleyi koruma söz konusudur. Kütleyi oluşturmaya örnek döküm, plastik enjeksiyon kalıpcılığı, kütleyi korumaya örnekte bükme, derin çekme aynı zamanda kütleyi korumada plastik (kalıcı) şekillendirme söz konusudur.

Talaşlı imalatda kütleyi azaltma söz konusudur yani yontma vardır. Burada belli formlarda talaş kaldırma söz konusudur; kesici takımlar kullanılır.

Bilgisayar destekli imalat günümüzde CAM yazılımları tamamen CAD verisi ile birlikte çalışmakta ve her türlü karmaşık geometri için takım yolu üretebilmektedir. CAM yazılımları iki kategoriye ayrılır. Birincisi Catia, Unigraphics, Pro-engineer ve Mastercam gibi CAD modülünde beraberinde barındıran entegre sistemdir. İkincisi ise Machining Strategy ve Auton gibi sadece takım yolu üretmek için geliştirilen sistemlerdir [1].

Bu sistemlerde CAD verisi dışarıdan standart veri yapılarında (step, igs, sat stl vb) alınır ve veri üzerinden takım yolu oluşturulur. Bu teknikte veri kaybı söz konusudur. İlk CAD-CAM bütünleşik sistemlerde ise model verisi aynı yapı içerisinde de oluşturulduğu için veri kaybı tehlikesi söz konusu değildir. Ayrıca model üzerinden yapılan bir değişiklik kolaylıkla takım yoluna aktarılabilir. İşte bu avantajından dolayı CAD-CAM bütünleşik sistemler daha çok tercih edilmektedirler fakat şunu göz ardı etmemek gerekir ki sadece CAM işlemleri için üretilen sistemler

kullandıkları gelişmiş araçlarla verimliği arttırmaktadır. Ayrıca büyük ebatlı parçalarda takım yolu üretme süreleri kısadır [1].

İmalat İçin Tasarım, ürünün tasarımında imalat süreçlerinin kullanımını azami eden sistematik bir süreç olarak tanımlanabilir. Kısaca ürünün tasarım aşamasında, imalat aşamalarının da dikkate alınması olarak tanımlanabilir [2].

Ürün geliştirmeye Sıralı (gelenekçi) ve Eşzamanlı Mühendislik yaklaşımı olarak iki yaklaşım sayılabilir. Sıralı Yaklaşım yani ürün geliştirmenin geleneksel yolu bir bayrak yarışına benzetilirse burada gelişme bayrak gibi bir elden sıradaki ele geçer ve geriye dönüş yoktur. Böylece bir işlem genellikle belli sayıda ayrı fazlara bölünür ve daha önceden saptanmış düzende işlenirler. Bunlar, fikir geliştirme, fizibilite (uygulanabilirlik) testleri, ürün tasarımı, prototip hazırlama, proses geliştirme, pilot üretim ve son üretim olarak ifade edilebilir. Uzmanların takımı ne zaman işlerini bitirirlerse bayrak, yani sorumluluk, gelişme zincirindeki bir sonraki faza intikal edecektir [3].

Geleneksel tasarım/imalat sürecinde tasarımcılar kendilerine verilen görevin sadece; ürünün performansı, güvenilirliği ve estetik görünüm kazandırılmasından ibaret olduğunu ve tasarlanan ürünü üretmenin de üretim mühendislerinin görevleri olduğunu düşünmektedirler. Bu düşünce ile tasarlanan ürünlerin imalat aşamasında hatalar ortaya çıkabilmektedir. Bu hataların imalat aşamasında ortaya çıkmasının önemli nedenlerinden biri tasarımcının, imalat faaliyetleriyle ilgili yeterli bilgiye sahip olmamasıdır. Bu nedenle, birçok firma tasarımcılarına imalat tecrübesi kazandırmaya çalışmaktadır [2].

Basit güvenilir ve ucuz ürünler elde edilmesini sağlamak üzere tasarım aşamasındaki hataların üretim ortamına aktarılmasını engellemek için tasarım yapılırken üretim koşulları ve yetenekleri dikkate alınmalıdır. İş parçalarının üretiminde ve sonrasında sorunsuz işlev için, ürünün olabildiğince doğru tasarlanmasına yönelik temel kurallar açıklamaktır [2].

Diğer yaklaşım olan Eşzamanlı mühendislikte, tasarım aşamasında, pazarlama, üretilebilirlik, test edilebilirlik, servis yeterliliği, satış performansı, boyut, ağırlık, ve maliyet gibi hayati konular da araştırılmakta ve her aşamada tüm takım elemanları işlemlerden haberdar olmaktadır.. Bir sonraki işlemde geri besleme olmaktadır ve hatalar bir sonraki adıma aktarılmadan telafi edilmektedir. Eş zamanlı mühendislik kalitenin yükseltilmesi maliyetin düşürülmesi imalat zamanının düşürülmesi, Ar-Ge faaliyetlerinde bulunmak amacı ile kurulmuş olan bir yönetim anlayışı ve mühendislik felsefesidir. Problemlere pratik çözümler bulabilen ve bunları denklemlerle ifade edebilen kişiler olarak da tarif edilen mühendislerin çevre problemlerinin çözümünde de etkili çözüm yolları sunabilecekleri ve uygulayabilecekleri düşünülmektedir [3].

İmalat İçin Tasarım, istenilen tasarımı mevcut imalat sınırlamaları ile birlikte düşünerek en ekonomik en kaliteli imalat sağlayacak tasarımı gerçekleştirmek üzere geliştirilmiştir. Bu sayede tasarım geliştirme maliyetleri ve zamanı, imalatı hızlı ve kolay geçiş sağlayacak montaj ve test süreçleri asgari seviyeye getirilebilir [4].

Böylece ürün piyasaya daha kısa zamanda, daha kaliteli ve müşteri memnuniyetini sağlayacak şekilde çıkabilir. Birçok parça tek bir işlemde değil, birbirini takip eden pek çok farklı işlemde geçmektedir. Bu işlemler nihai ürünlerin tüm özelliklerini meydana getirir [4].

Bu prosesler kısaca;

- 1) Malzeme seçimidir. Ürünün güvenilirliğini, kullanım yerine göre mekanik özelliklerini sağlayacak (dayanım, sertlik, tokluk, gerinim ve sıcaklık vb) şekilde metal, plastik veya kompozit malzemelerden seçilmelidir,
- 2) Montaj elemanlarında aynı türden malzeme kullanılmasına özen gösterilmelidir. Örneğin ANSI 1040 çeliği kullanılıyorsa montajın bütün parçalarında bu malzeme kullanılmalıdır,
- 3) İşlemlerin seçimidir. Montaj şekilleri göz önünde bulundurularak, birbirine mi bağlanacağı, şekil mi verileceği yoksa makinelerden işlemde mi geçeceği belirlenmelidir,

- 4) Montajın manuel olarak mı yoksa makinelerle mi yapılacağı ve ürünün nasıl bir işlemle tamamlanacağı belirlenmelidir,
- 5) Modüler tasarım geliştirilmesidir. Modüler tasarım, bir sistemdeki bağımsız parçaların diğer parçalarla uyumunu sağlar, bu nedenle ürünlerde standardizasyona gidilmelidir,
- 6) Standart parçaların kullanılmasıdır. Standart parçaların tüm özellikleri bilindiği için daha kolay uyum sağlarlar, istenilen zamanda istenilen miktarda bulunabilir ve bakım ve onarımı daha kolay olmaktadır,
- 7) Parçalar çoklu kullanım (fonksiyonelli) için tasarlanmalıdır,
- 8) Farklı bağlayıcılardan kaçınılmalıdır. Farklı bağlayıcılar istasyonlarda sıkışma ve ekstra istasyonlarda işlem gereksinimi ortaya çıkarılmalıdır,
- 9) Montaj yönü asgariye indirmelidir. Tüm parçalar olabildiğince tek yönde monte edilmelidir. Farklı yön zaman kaybına neden olmaktadır [4].

Bir ürünün tasarımı aşamasında verilen kararlar imalat maliyetini, kalitesini, pazarda tutunma süresini ve teslim tarihini önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek donanım yatırımı, yüksek takım maliyeti, karmaşık programlama ve yükleme, yüksek kalite kontrolü maliyetleri, uzun işletmeye alma süresi bunların üstüne fazla ıskarta çıkması tasarımcının önünde duran ve mücadele etmesi gereken zorluklardır. Seri imalat sanayinde çevreye de duyarlılığı korumak suretiyle verimliliği geliştirerek dünya pazarında rekabet edebilmek şarttır. Bu amaçla, imalat maliyetini ve imalat zamanını düşürmek, karlılığı ve pazardaki payı yükseltmek amacıyla bazı yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir Birçok imalat problemi ve uygunsuzlukları tasarım işlemi ile ilgilidir. Tasarım sırasında yapılan değişiklikler imalat maliyetlerinin azalmasıyla sonuçlanır ve alınan bu önlemler de uygun imalatlar sağlar. Maliyet, güvenilirlik, çevre kirliliği ve yasal gereklilikler gibi sınırlamalarla birlikte imalata yapılan ürün efektif ve ekonomik olarak en etkin şekilde elde edilebilir biçimde İmalat İçin Tasarım yapılmalıdır [3, 5].

İmalat İçin Tasarımı (DFM) ve Montaj İçin Tasarım (DFA) parçaların tasarımında imalat işlemlerini en üst seviyede kullanmak için sistematik bir işlem, tanımlamak mümkündür. DFM yöntemlerini kullanarak, daha tasarımın başlangıç aşamasında önemli kazançlar elde edilebilir. Bu yöntemle, ürünlerde kullanılan parça

sayısında ve montaj zamanında önemli oranda azalmalar sağlanmıştır. Ürünün tasarımında daha etkin olmak için bu iki kavram birleştirilerek İmalat ve Montaj İçin Tasarım (DFMA) olarak ifade edilmektedir. Bu yaklaşımların birleştirilmesindeki amaç imalat işlemlerini en iyi şekilde kullanmak ve bir montajda veya üründeki parça sayısına en aza indirmektir. Tasarımcının seçimini etkileyen faktörler hammadde seçimi, malzeme seçimi, işlem seçimi, standart parça kullanımı çok amaçlı parça geliştirilmesi, ayrılabilir bağlantı elemanlarının kullanımından kaçınılması ve montaj yönünün azaltılması gibi sıralanabilir. Bütün parçaların mümkün olduğunca tek bir yönden montaj edilmesine çalışılmalıdır. Fazla yön olması, gereğinden fazla transfer hareketi, gereğinden fazla kontrol noktalarının olması zaman kaybıdır. Böylece maliyet artmaktadır. Olabilecek en iyi montaj, bütün parçaların yukarıdan aşağıya doğru birbirine eklenebildiği ve istiflemenin Z-ekseninde olduğu montajdır [3, 6].

Ürün geliştirme, pazar ihtiyaçlarının belirlenmesinden ve teknik imkânların kullanılmasından oluşan tüm faaliyetleri; şartnameleri, teknik resimleri, kesici takımları, teçhizatları ve imalat programlarını, imalat tasarımlarını elde etmeyi içine alır. Ürün gelişimi teknik yenilik işlemlerinin bir parçasıdır. Yenilik işlemi fikirlerin doğuşundan ilk ticari imalata kadar tüm faaliyetleri içermektedir. İmalat için Tasarım (DFM) 'nin amacı; düşük maliyetli, daha basit ve güvenilir ürünler elde edilmesini sağlamaktır. Bir ürünün tasarım-üretim sürecine DFM uygulanmasıyla başlangıçta arzu edilen tasarımla nihai ürün arasında farklılıklar çıkabilecektir. Mümkün olduğunca talaşlı imalatı zorlaştıracak veya olanaksız hale getirecek tasarımlardan kaçınmak bu felsefenin önemli yapıtaşlarıdır. Yine ucuz ürün elde etmenin önemli aşamalarından biri, üzerinde çalışılan makine üzerindeki parça sayısını mümkün olduğunca azaltmak ve geride kalan bileşenleri optimize etmektir. Azami yarar sağlamak için DFM tasarım sürecine mümkün olduğunca erken uygulanmalıdır. Daha ucuz ürün kavramı içerisinde o ürünün işletme maliyetleri ve bakım masrafları da yer almaktadır [3, 7].

DFM'nin kullanılmasının sebebi imalatçılar sürekli olarak ürünlerini daha iyi, daha hızlı ve daha ucuza yapma yollarını aramaktadırlar. Bu yollardan biri de kuşkusuz İmalat İçin Tasarım felsefesidir. İmalat İçin Tasarımı ürünlerin tasarlanması aşamasında imalatın şartlarının daima göz önünde tutulması olarak

tanımlamak mümkündür. Ürün tasarımı, imalat işleminin hem birinci aşaması hem de en kritik aşamasıdır. Bu tasarım aşamasında İmalat aşaması düşünülmeden malzeme seçimi yapılırsa, hangi kesici takım ve takım tezgâhlarının kullanılacağı belirlenmese, bu durum sonucunda ortaya çıkan problemlere ek olarak fazladan maliyetlere neden olduğu için, imalatın aksamasına neden olur. Tasarım aşamasında müdahale edilen imalat problemleri sayesinde imalat maliyetleri azalır ve imalat miktarı artar [3, 8].

Bu aşamada parça toleransları, işleme tipleri gibi imalat maliyetini, montaj yöntemi ve toplam maliyeti önemli derecede etkileyen kararlar verilir. İmalat İçin Tasarım yaklaşımına uyumlu olarak elde edilmesi istenen ürünün, kullanım için gerekli tüm fonksiyonlarını ödün vermeksizin yerine getirmesi beklenmektedir. Üretim maliyetlerini azaltmak ve üretim verimliliğini artırmak için birçok teknik kullanılabilir [3].

Bu tekniklerden bazılarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür

- 1) Geliştirilmiş malzemeler, takımlar ve işlemler,
- 2) Çok etkili organizasyon ve fabrika yerleşimi, malzeme taşıma ve montaj teknikleri,
- 3) Etkili olacak her yerde otomasyonun kullanımıdır [3].

Genelde tasarım mühendisleri işlerinin performans, görünüm ve güvenilirlik için tasarım olduğunu ve imalat işleminin imalat mühendislerinin olduğunu düşünmektedirler. İmalat maliyetlerini düşürdüğü ispatlanmış olan tasarımları değiştirmek için bile isteksizlikleri vardır ve buna rağmen imalat problemlerini hesaba kattıklarını iddia edebilirler. Bunun sebeplerinden en önemlisi İmalat İçin Tasarım konusu imalat kitaplarında yeterli verilmemekte, çok kısa bahsedilmektedir. İmalat İçin Tasarım (DFM), tekniği işletmenin bütün imalat süreçlerinde, ürünün imalatı için gerekli malzemelerin, araç ve gereçlerin belirlenmesini ve imalat için hazırlanmasını, üretimin planlanmasını, imalat metotlarının seçimini ve imalat sistemlerinin, işletmenin diğer süreçleri ile entegrasyonunu sağlar (Tasarım süreçlerinin kritik elemanlarından bir tanesi İmalat İçin Tasarım'dır) [3, 9].

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

İkinci bölümde öncelikle dünyada en güncel ürün geliştirme yöntemleri açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümde, son yıllarda ortaya çıkan Toplam Kalite Yönetimi, Kaizen, Yalın Yaklaşım, Yalın Üretim ve Tam Zamanında Üretim (JIT), uygulama alanları ve yönetim araçları hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümünde DFM konusunda detaylı bilgi verilmiş, temel tasarım prensipleri tanıtılmış, imalat ve tasarımla ilgili belirleyici olan temel faktörlerden bahsedilmiş, konunun teorisinin yanında bir firmada pratik uygulamaya geçişi için yapılması gereken organizasyonel değişikliklerden, tasarımların DFM bakış açısı ile değerlendirilmesinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde ise DFM felsefesinin çok önemli diğer bir tasarım aracı olan Montaja Uygun Tasarım (DFA) yöntemi üzerinde durulmuştur. Bu yöntemin nicel ve nitelik özelliklerinden bahsedilip yöntemin tasarım kriterleri açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, İmalat İçin Tasarım, Montaj İçin Tasarım, Çevre İçin Tasarım, Kalite İçin Tasarım, Ürün Hayat Çevrimi İçin Tasarım, Güvenirlilik İçin Tasarım, De-Montaj İçin Tasarım, Geri Dönüşüm İçin Tasarım, Sürdürülebilirlik İçin Tasarım vb mühendislik tekniklerinden hepsini kapsayan Mükemmellik İçin Tasarım (DFX) hakkında genel bilgi verilmiş ve tasarım kuralları anlatılmıştır.

Altıncı ve son bölümde de uygulamalardan elde edilen sonuçlar ışığında DFM ve DFA yöntemlerinin ortaya koyduğu tasarım kriterlerinin sonucu tartışılmış ve imalat alanındaki önerilerden bahsedilmiştir.

2. ÜRÜN GELİŞTİRME YÖNTEMLERİ

2.1 Yalın Yaklaşım

Yalın düşüncenin temel amacı, değerlin ilk ham maddeden başlayarak değer yaratma süreci boyunca hiç kesintisiz akıtılarak, hızla nihai müşteriye ulaştırılmasıdır. Yalın Yaklaşım da israf, bilinen anlamının ötesinde ürün ya da hizmetin kullanıcılarına herhangi bir fayda sunmayan, müşterinin fazladan bedel ödemeyi kabul etmeyeceği her şeydir. Tasarımdan sevkiyata tüm ürün/hizmet yaratma aşamalarındaki her türlü israfın (hatalar, aşırı üretim, stoklar, beklemler, gereksiz işler, gereksiz hareketler, gereksiz taşımalar) yok edilmesi ile maliyetlerin düşürülmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması, piyasa koşullarına uyum esnekliğinin kazanılması sonuç olarak firma karlılığının artırılması hedeflenir [10].

Sürdürülebilir rekabet ortamında var olabilmek ve pazarda pay alabilmek için şirketlerin özellikle kalite (ürünün geometrik ve ölçü bakımından teknik resim kurallarına uygun, kullanıldığı yere göre mukavemeti iyi), maliyet ve sevkiyatlarını iyileştirmesi, güvenilirlik katsayısını artırması gerekmektedir. Yalın yaklaşımın temel amacı, israflardan arındırılmış mükemmel işlemlerin üretkenlik ve verimlilik analizlerini yaparak, maliyetleri azaltmak ve sonuçta müşteriye mükemmel değerler sunmaktır [11].

Burada değer müşteriye sunulan fayda olup aşağıdaki özellikleri kapsamaktadır.

- Sadece müşterinin istediği ürünleri (fonksiyon, kalite ve fiyat açısından),
- Müşterinin istediği zamanda (pazara sunulduğu zaman, teslim süresi, sevkiyat sıklığı),
- Daha az kaynak harcıyarak (emek, ekipman, zaman, alan vb) üretebilmek ve müşteri için bir değer teşkil eden faaliyetlere odaklanabilmektir [10].

Yalın düşüncenin ilkeleri aşağıdaki gibidir.

Değer: Müşterinin ihtiyaçlarını belli zaman ve yerde ekonomik fiyattan karşılayan ürün veya hizmettir. Yanlış ürün/hizmet üretmek kadar zamanından önce doğru ürün/hizmet üretilmesi de israftır. Değeri yaratan üreticiler çoğu zaman değeri doğru tanımlayamazlar. Örneğin Amerikan firmaları kısa dönemli rekabet taktikleri ve zincirin basındaki tedarikçilerden kar transferi yöntemleri ile değer yarattıklarını düşünürler. Genellikle mühendisler tarafından yönetilen ve teknik donanımı çok güçlü olan Alman firmaları, değeri ürünün teknik karmaşıklığı ve teknoloji ile bağlantılı olarak tanımlama eğilimindedir. Japonya’da ise değer tanımının bir diğer çarpıtılması olan değer nereden yaratıldığı konusu önem kazanmaktadır. Oysa asıl yapılması gereken, değeri müşteri perspektifinden bakarak yeniden düşündürmektir [10, 11].

Değer akışı: Yalın üretim, sisteme bir bütün olarak bakar. Sistemdeki değer yaratmayan (israf) işlemlerin ve stokun ortadan kaldırılması esastır. Yalın düşüncenin ikinci adımı değer akışının tanımlanmasıdır. Değer akışı ham maddenin nihai ürüne dönüşme sürecindeki bir üreticiden diğer üreticiye ve son kullanıcıya kadar olan tüm aşamaları içerir ve inanılmaz boyutlarda israf barındırır Değer akışları incelendiğinde değer yaratmayan aktivitelerin yani israfın, zamanın ve kaynakların çoğunu tükettiği görülür. Bu israfların yok edilmesi zaman ve maliyet boyutunda çok büyük iyileşmeler getirecektir [10, 11].

Üretimde üç tip aktivite vardır:

- Müşterinin istediği yönde dönüşümü sağlayan “değer yaratan” aktiviteler (boyama, montaj, frezeleme, tornalama, taşlama, delik delme gibi)
- Müşteri açısından anlamı olmayan ancak işin yapılabilmesi için gerekli olan “değer yaratmayan fakat zorunlu işler (kalıp bağlama, iş parçası bağlama, mengene, ayna, takım tezgahı ekipmanları ve kesici takım ayarları, nakliye gibi)
- Bekleme, sayma, sıralama, hata, tamir, garantiden ürünün yenisini verme gibi “değer yaratmayan ve kaçınılmaz” işler [10].

Sürekli akış: Bir üründen seri üretim yapmak yerine; talep edildiği kadar ve talep edilen zamanda üretmektir. Ürünün şekillenmesinde müşterinin önerilerini ve ihtiyaçlarını dikkate almaktır. Günümüzde ise bir üründen milyonlarca yerine sadece onlarca veya yüzlerce talep edilen ufak parti üretim ortamında, tüm ürün çeşitleri için sürekli akışı gerçekleştirmek ve bunu müşteri talebindeki dalgalanmalara uydurmak gerekmektedir. Bunu başaran işletmelerde üretkenlik, verimlilik ve kalite düzeyinde ciddi sıçramalar sağlanabilmiştir. Klasik seri üretiminde tasarım, üretim, ya da satış faaliyetleri için yapılması gereken işlemler tiplerine göre gruplandırılarak her iş tipi için departmanlar oluşturulur. Ürün bu departmanlar arasında ve işlem gören diğer ürünler arasında sırasını bekleyerek dolaşmaya başlar. Sonuç gecikmeler, geriye dönüşler, gözden kaçan problemler bunun sonucun maliyet artacaktır [10, 11].

Çekme: Üretim müşteri talep etmeden başlamaz, ürün talep edildiği zaman üretilir. Çekme, sonraki aşamalarda yer alan müşteri istemeden önceki aşamalarda hiçbir şekilde ürün ya da hizmet üretilmemesi anlamına gelir. Çekme ilkesi, nihai müşterinin belli bir ürün için yaptığı taleple başlar, ürün müşteriye ulaşana kadar geçen tüm aşamaları geriye doğru izleyip her aşamanın bir öncekinden talep etmesiyle üretimi başlatmak şeklinde uygulanır. Çekme uygulandığında stoklara gerek kalmaz, istenmeyen üretimin yol açtığı hurda ve fireler engellenir, her tezgâh için çizelgeleme yapmak gerekmez, prosesin baş tarafına doğru talep dalgalanmaları oluşumu engellenir, tüm ürünlerin her türlü kombinasyonda üretilmesi mümkün olur ve talepteki değişimlere anında uyum sağlanır [10, 11].

Mükemmellik: Sistem, stok yapmadığından her defasında üretilen ürünlerde sürekli iyileştirme yapılabilir. Böylece ürün yığılmadan hatalar düzeltilip iyileştirmeye gidildiğinden israf önlenir. Yalın üretimde ürünlerdeki hatalar, ekipman arızaları, beklemler olağan karşılanmaz ve sürekli olarak temel nedeni araştırılarak çözümlenir. Mükemmelliğe giden yolda PUKÖ (Planla-Uygula-Kontrol et-Önlem al) çevrimi etkin olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşım Toplam Kalite Yönetim sistemlerinde de mevcuttur. Ancak yalın üretimin farkı problemin tekrarını önlemeyi hızla mümkün kılmasıdır. Çünkü sistem sürekli akış halindedir, hatalı parça stokları yığılmadan problem olduğu anda fark edilebilir, nedenleri kolaylıkla izlenebilir ve en önemlisi stok seviyesi azaltıldığından problem kısa sürede giderilemezse tüm

sistem duracağı için organizasyonun bütün birimlerinde acil müdahale sorumluluğunu zorunlu kılar [10, 11].

2.1.1 Yalın Üretim

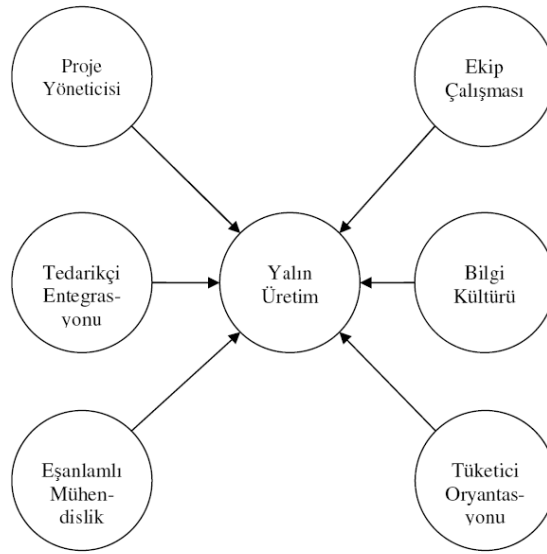
Yalın üretim, Japonların II. Dünya Savaşı sonrasında ABD'nin attığı Hiroşima ve Nevagazi'ye attığı atom bombaları sonucu birçok yer yıkılmış birçok insan öterek işgücü ve sermayesi yok denecek kadar azalmıştır bulundukları bu ekonomik şartlarda ortaya çıkmış bir anlayıştır. Savaştan sonra, sınırlı olan doğal kaynakları, ham madde yetersizliği ilave edilince Japonya, hayat varlığını devam ettirebilmek için sermaye, işgücü, hammadde ve doğal kaynakları mümkün olan en düşük maliyetle kullanmak zorunda kalmıştır. Bir felsefe olarak da ifade edilen yalın üretimin ortaya çıkışında bu tür ihtiyaçlar önemli yer tutmaktadır Yalın üretimin ilk ve en iyi uygulayıcısı **TOYOTA** dır. Bu yaklaşımın temeli Toyota üretim sistemine temel oluşturan Taiichi Ohno'nun Toyota yöneticileriyle birlikte yaptığı Amerika gezisinde ortaya çıkmıştır. Amaçları Amerikalı firmalarla rekabet edebilecek üretim sistemleri geliştirmektir. O zamanlar Amerika da Henry Ford tarafından geliştirilen ve günümüzde hala kullanılan seri üretim sistemleri vardı. Bu sistem yığınlar halinde tahmine göre üretim yapıp, üretimden sonra kalite kontrolü yapılması esasına dayanmaktaydı. Bu sistem Taiichi Ohno tarafından benimsenmemiştir. Bunun yerine Toyota Üretim Sistemi denilen çalışmalara başlamışlardır. Toyota bu sistemle büyük bir başarı yakalamıştır Toyota şu an Dünya'nın en çok üretim yapan ikinci büyük otomobil fabrikasıdır [11, 12].

Yalın üretimin kalite anlayışı; müşterinin ürün satın alırken veya hizmet isterken bu mal veya hizmette beklentilerini eksiksiz karşılamasıdır. Özetle yalın üretim kalite anlayışına yeni boyutlar kazandırmıştır [13].

Yalın üretim anlayışı aşağıdaki gibi dört prensip üzerine kuruludur.

- 1) Sıfır kayıp, kusursuz imalat
- 2) İlk ürün kalitesi,
- 3) Esnek üretim hatları
- 4) Sürekli gelişme olarak sıralanabilir [12].

Yalın üretim, değer katmayan, stok (hammadde, malzeme, ürünler) ve hataları ortadan kaldırmak için yönetim sisteminin ve istatistiksel metotların birbirine entegre edilmesidir. Bir sistemdeki değer katmayan işlerin elimine edilmesi için öncelik işin içinde olan çalışanlardır yani işçilerdir. Yalın teknikler imalat süreleri ile pazara sunma sürelerini kısaltarak, kaliteyi iyileştirerek ve müşterilere istedikleri ürünleri istedikleri zamanda sunarak, maliyetleri azaltmanın uygulanabilir bir yöntemini sunmaktır [14].



Şekil 2.1. Yalın üretimin başarı faktörleri [13].

2.2 Toplam Kalite Yönetimi

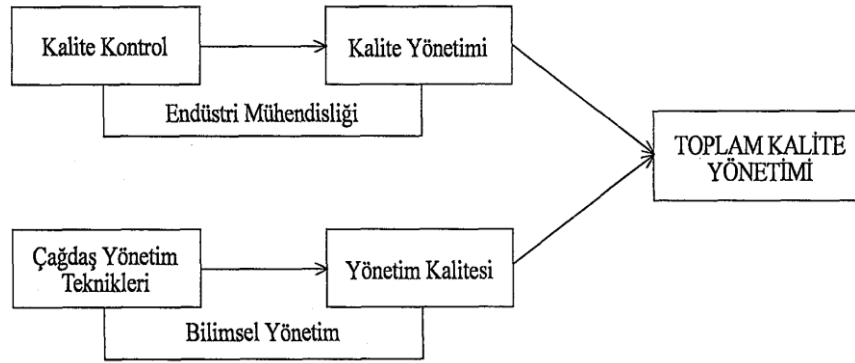
Toplam Kalite Yönetimi (TQM), bir firmadaki değişik departmanların müşteriye göz önünde alarak; pazarlama, mühendislik, üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek amacıyla; kalite geliştirme sistemidir [15].

Toplam Kalite Yönetimi'ni bir işletmede üretilen ürün ya da hizmetlerin, işletme süreçlerinin ve çalışanlarının sürekli iyileştirme ve geliştirme yoludur. En düşük toplam maliyet düzeyinde, önceden belirlenmiş olan müşteri gereksinim ve

beklentilerinin tüm çalışanların katılımı ile beklenen yükümlükleri yerine getirmeleridir. Bu şartlar altında TQM müşteri memnuniyetini sağlamaktır ve kaliteyi tüm çalışanların ilgi ve sorumluluk alanına alarak müşteri memnuniyetine ulaşmak için ürün ve süreçlerin kalitesini sürekli iyileştirmeyi hedefleyen bir yönetim anlayışıdır [15, 16].

TQM, müşteri memnuniyetini kardan önce gören bir sistemdir. Müşteri memnuniyeti uzun vadeli karlar getirir, fakat sadece kısa öncelik vermek ancak kısa vadede kazandırır. TQM, işin hedeflerine memnun müşteriler ve mutlu çalışanlar oluşturarak, takım ve süreçleri entegre eden bir sistemdir [17].

Şekil 2.2’de Toplam Kalite Yönetimi’ni açıklamaktadır.



Şekil 2.2 Toplam Kalite Yönetimi yaklaşımı [15].

Toplam Kalite Yönetimi’ni unsurları aşağıdaki gibi 7 tanedir [16].

- 1) Toplam Kalite Yönetimi, müşteri yönelimdir ve temeli müşteri ihtiyaçlarını karşılama ve tatmin etmeye dayalıdır.
- 2) Toplam Kalite Yönetimi, bir örgütün uzun dönemli taahhüdünü gösterir.
- 3) Toplam Kalite Yönetimi, insan üzerine odaklanır ve amacı kaliteye dayalı bir kültür üretmelidir.
- 4) Toplam Kalite Yönetimi, üst yönetimin liderliği ile sağlanan bir harekettir.
- 5) Toplam Kalite Yönetimi, bir örgütteki insanların genel bir amaca doğru motivasyona ihtiyaç gösterir.

- 6) Toplam Kalite Yönetimi, grup çalışması odaklıdır.
- 7) Toplam Kalite Yönetimi, müşteri tatmini için sürekli gelişme gereklidir.

Toplam Kalite Yönetimi'nin yararları aşağıdaki gibi 5 tanedir

- 1) Kar artışı
- 2) Etkinlik artışı
- 3) Maliyetlerin azalması
- 4) Verimlilik(randıman) artışı
- 5) Rekabet gücü ve Pazar payı artışıdır [17].

2.3 Tam Zamanında Üretim

Tam Zamanında (JIT) Üretim ilk defa Toyota başmühendisi Taiichi Ohno tarafından geliştirilerek uygulamaya konulmuştur. Japon şirketlerinin başarılı olması, JIT üretim sistemine olan ilgiyi arttırmıştır. Ancak Japonya dışında bu sistem, genellikle bir stok kontrol sistemi olarak tanınmıştır. Gerçekte bu yöntem; stoksuz, yani sıfır stokla üretime karşılık gelmektedir. Dolayısıyla diğer stok kontrol sistemlerinden ayrılmaktadır. JIT'i, şirketin bütün bölümlerini etkileyen satın alma, mühendislik, pazarlama, personel, kalite kontrol, müşteri ve satıcı arasındaki ilişkiyi de belirleyerek israfın azaltılması, verimliliğin artırılması olan bir üretim sistemi olarak tanımlamak mümkündür [18].

JIT temin süreleri ve stokları azaltarak maliyetleri asgari seviyeye indirir. Tam zamanında üretim gerekli parçaları, gerekli miktarda, gerekli olduğu yerde ve zamanda, doğru kalitede üretmek olarak tanımlanır. Buna göre, JIT sermaye, ekipman ve işgücü gibi üretim kaynaklarının ve , basit ve etkin bir üretim kaynaklarının en iyi hale getirme konusunda yetkin, basit ve etkin bir üretim sisteminin işletilmesidir [19].

2.4 Kaizen

Geleneksel yönetim felsefesine göre, işletmelerdeki gelişme, ancak bir buluş, icat ya da teknolojik seviyeyi yükseltmekle gerçekleştirilebilir. Kaizen felsefesine göre, işletmede çalışan herkesin katılımıyla sağlanabilecek küçük ama sık adımlı basamaklar şeklinde yere sağlam basılan gelişmeler, bu gelişmelere ani değişiklikler yaratmadan istikrarlı bir kalite yükselmesini sağlar. Batılı işletmelerdeki teknoloji, laboratuardan çıktığı gibi standartlaştırılıp yeni buluşlar peşinde koşulurken, Japonya’da aynı temel teknoloji uygulama sırasında sürekli geliştirilmektedir. Son yıllarda Japonlar kendi yönetim modellerine Kaizen yönetimi adını vermeye başlamışlardır. Her departman ve her çalışan işinde sürekli olarak gelişmeyi amaçlar [15, 20].

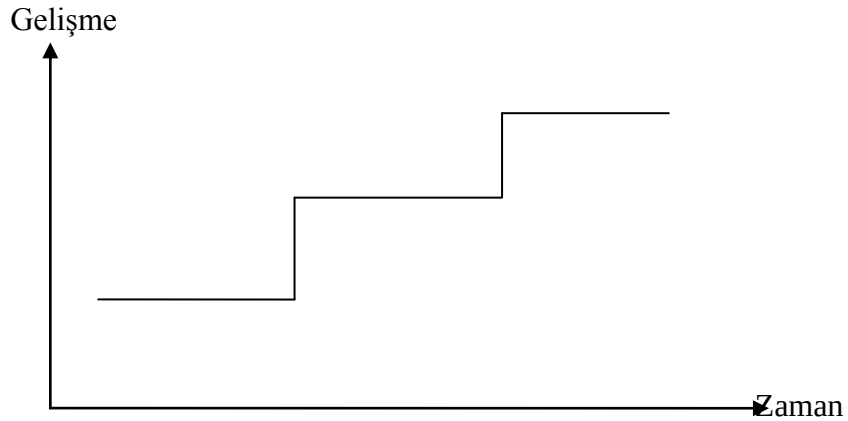
Gerçekten de kalite bir sonuçtur. Sadece rekabet gücünü sağlamaya olanak veren bir araçtır. Kaliteyi sağlayan yöntem de sürekli gelişmedir. Sürekli gelişme, bitmek bilmeyen bir yarıştır. Yeterliliğini kabul edilip benimsendiği yerde iyileşme durur [20].

Sürekli geliştirme, adından da anlaşıldığı gibi bir defaya mahsus olarak yapılan bir faaliyetin aksine işletmedeki çalışmaların bir parçasıdır, sürekli yapılan ve yaşam tarzı haline gelen bir faaliyettir. Japonlara özgü yönetim uygulamalarının özünde Kaizen vardır. Kaizen felsefesine göre, işletmenin herhangi bir biriminde herhangi bir gelişmenin olmadığı tek bir gün bile geçirilmemelidir. Kaizen, artık dünya çapında tanınan Japonlara özgü çok sayıda uygulamayı bir araya getiren Şekil 2.3’de görüldüğü gibi Kaizen şemsiye kavramıdır [21, 22].



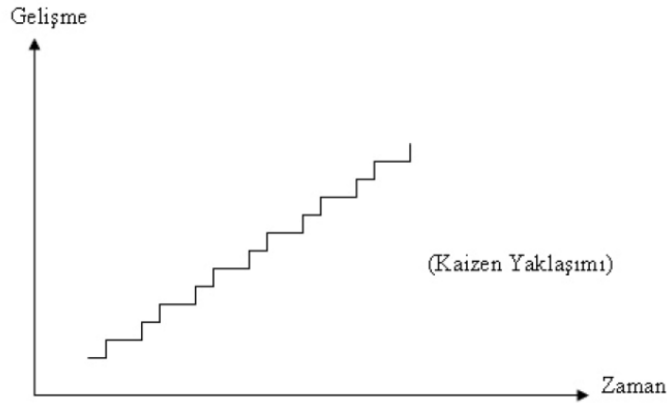
Şekil 2.3. Kaizen Şemsiyesi [17].

Japonlar, Kaizen'i batının gelişme anlayışının yerine değil, bunu tamamlayan bir yöntem olarak kullanılmışlardır. Küçük iyileştirme projeleri ile standartlar sürekli geliştirilmektedir. Batıda teknoloji her bulutlan sonra Şekil 2.4'de olduğu gibi yeni bir standart haline gelip yeni buluşa kadar sabitleşmekte, Japonya'da ise her buluştan sonra sabitlik yerine sürekli gelişme ortaya çıkmaktadır [17].



Şekil 2.4 Batının icatlara dayalı gelişme anlayışı [17].

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi zaman ve gelişme bakımından bu ikili değerlendirme ve uygulama şirketlerin yoğun rekabet ortamında küçük adımlarla ilerlemelerini sağlarken, Ar-Ge sonucu sağlanan gelişmeler de işletmelerin hızlı rekabet üstünlüğü elde etmelerini sağlayacaktır [22].



Şekil 2.5. İyileştirmede Kaizen Yaklaşımı [22].

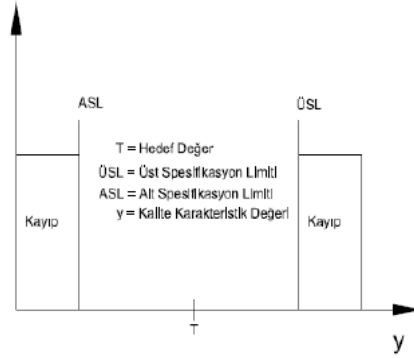
2.5 Güçlü Tasarım İçin Taguchi Tekniği

Taguchi tekniği, endüstriyel anlamda optimum (en uygun) maliyet ve sürede kaliteli ürün tasarımını gerçekleştirmeye yönelik olarak istatistik ve mühendislik bilgilerini kullanarak tasarım sentezinde büyük önemi olan deneysel çalışmaların tasarlanmasına dayanır ve parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizinde kullanılmaktadır [6, 23].

Taguchi tekniğini diğer kalite yöntemlerinden ayıran en önemli fark tasarım aşamasında müşteri istekleri doğrultusunda belirlenmiş veriler ve teknolojik olanaklar ışığında istenilen en iyi üretimi en uygun fiyata ve en kısa sürede hatasız öngörülen kalitede üretebilmek için yapılan çalışmaları hedeflemesidir [6].

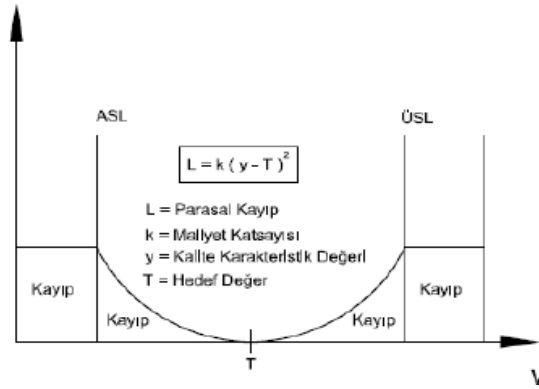
Örneğin, Enjeksiyon kalıpları için alüminyum alaşımlı dökme plakaların alın tornalama parametrelerini çok amaçlı optimizasyon problemi olarak Taguchi metodu optimize edilmektedir. Eş zamanlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri bileşkesi asgari seviyeye getirilmektedir. Eş zamanlı olarak talaş kaldırma oranı arttırılmıştır [23].

Şekil 2.6’da grafikleştirilen geleneksel kalite anlayışına göre spesifikasyon limitlerindeki ürünler iyi kalitede sayılır ve kalite kaybı sadece spesifikasyon limitlerinin dışına çıktığında oluşur [6].



Şekil 2.6 Geleneksel yaklaşımda kalite kaybı [6].

Şekil 2.7’de grafikleştirilen Taguchi ‘nin yenilikçi kuadratik kayıp fonksiyonuna göre ise hedef değerden sapmanın başlamasıyla kalite kaybı da başlar ve kalite karakteristiğinin spesifikasyon limitlerinde ise kayıp ürünün üretim ya da imha etme maliyetlerine eşittir [6].



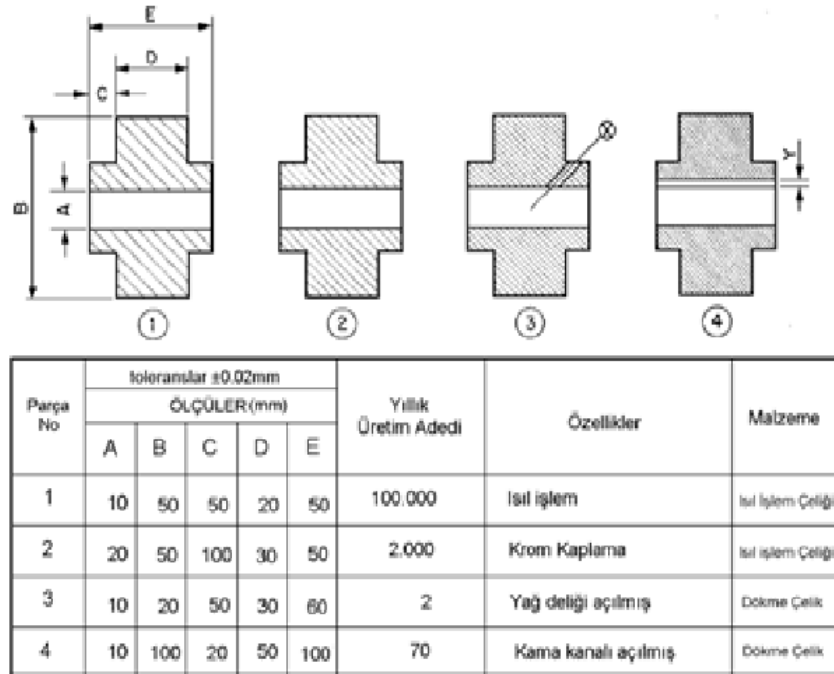
Şekil 2.7 Kuadratik kalite kaybı fonksiyonu [6].

2.6 Grup Teknolojisi

Grup Teknolojisi, benzer özelliklere sahip parçaları ayırt ederek parça grupları oluşturmak, tasarımda ve üretimde bu benzerliklerden yararlanmaktır. Benzer

parçaların üretim ve tasarımında benzerliklerinin avantajlarından yararlanmak amacıyla birlikte tanımlanıp gruplandırıldığı bir üretim felsefesidir [24].

Benzer parçalar, parça grupları şeklinde düzenlenmektedir. Buradaki anlayış, az sayıda oluşturulan gruplarla çalışmak suretiyle verimliliği arttırmaktır. Bu amaçla makine ekipmanları, kesici takımlar, iş parçası bağlama aparatları, makine grupları iş akışına ve yeni duruma göre düzenlenmektedir. Ürün tasarımında, gruplar biçiminde stoklanan parçalar tarafından elde edilen avantajlar vardır ve bu avantajlar parçaların sınıflama ve kodlamasında uzanmaktadır. Parçaları sınıflama ve kodlama, parçalar arasındaki benzerliklerin belirlenmesi ve bir kodlama sistemi için bu benzerliklerle ilgi kurulması ile bağlantılı olmaktadır [25].



Şekil 2.8 Üretim açısından farklı görünüş açısından benzer parçaların oluşturduğu bir grup [24].

2.7. İmalat Yöntemi Tasarım Kuralları

Üreticilerin amacı, tasarım kağıt üzerinde değişmeyecek hale gelmeden önce tasarım yöntemiyle ilgili sınırlamaların tasarım koordinatörleri tarafından fark edilmesini

sağlamaktır. Üretim yöntemi tasarım kuralları, belirli endüstrilere özgü tasarım yönteminin kurallarıdır veya önerileridir [6].

Örnek olarak otomotiv endüstrisi araba şasisini üretirken saç şekillendirmede bu tasarım kurallarını kullanmaktadırlar. Minimum eğrilik yarıçapı, kalıptaki maksimum bükme açısı, şekillendirme ve yüzey işleme arasındaki ilişki kurallarla belirlenmelidir. Tasarım koordinatörü, çok geç olmadan veya değişikliklerin yapılması çok pahalı olduğundan tasarım yöntemi esnasında bu kuralları göz önünde bulundurmalıdır [6].

2.8 De-montaja ve Geri Dönüşüm İçin Tasarım

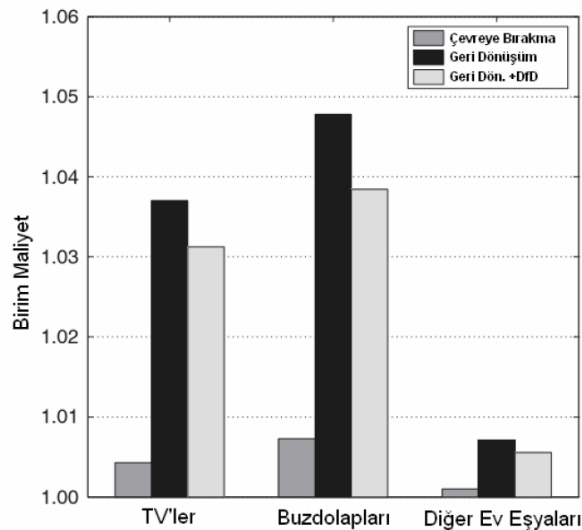
Geri dönüşüm için tasarımın esas amacı materyallerin geri kullanımı ve çevre kirliliğinin azalmasıdır. Geri Dönüşüm İçin Tasarım Çevre İçin Tasarım 'ın bir alt kümesidir. Özellikle sanayileşen illerde İstanbul, Bursa, Kocaeli, İzmir gibi Büyükşehir'ler de artan nüfus bunun sonucunda yapılaşma artmaktadır. Böylece doğal alanlar ve su kaynakları azalmaktadır. Nüfus sayısı çok olan bu illerde kullanılan ürünlerde fazla olmaktadır. Bu ürünlerin hurdalarının gittikçe azan doğal alanları ve su kaynaklarını kirletmemesi ve ekolojik dengenin bozulmaması için bu ürünlerin hurdaları geri dönüşüm yapılarak kullanılmalıdır. Örneğin çelik malzemelerin hurdaları demir ergitme fırınlarında eritilip alaşım elementlerine ayrıştırılarak tekrar kullanılır. Metal malzemeler geri dönüşüm yoluyla tekrar kullanılabilir. Termoplastikler tekrar kullanılabilir deniliyor ama bir kere kullandıktan sonra tekrar bu malzemelerden eskiye göre dayanım, tokluk, kırılma gibi mekanik özelliklerde belirgin bir azalma görülüyor genellikle geri dönüşüm yoluyla üretilen termoplastikler düşük mekanik özelliği gerektiren çocuk oyuncaklarında kullanılmaktadır. Termosetler zaten bir kere kullanılıyor buda gösteriyor ki plastik malzemeler mümkün olduğunca az kullanılmalıdır [26, 27].

Geri dönüşüm, Günümüzde elektronik atıklarda en yaygın olarak kullanılan değerlendirme biçimidir. Geri dönüşüm, uzun yıllardan beri beyaz eşyadan otomobile kadar birçok ürün gruplarında uygulanmaktadır. Bu yöntemde işlemler temel olarak 3 ana aşamada incelenebilir [26, 27].

- 1) Ön hazırlık olarak de-montaj işlemi,
- 2) Tane küçültme işlemi,
- 3) Mamul malzemesinin ayrıştırılması ve vasıflandırma işlemidir [26].

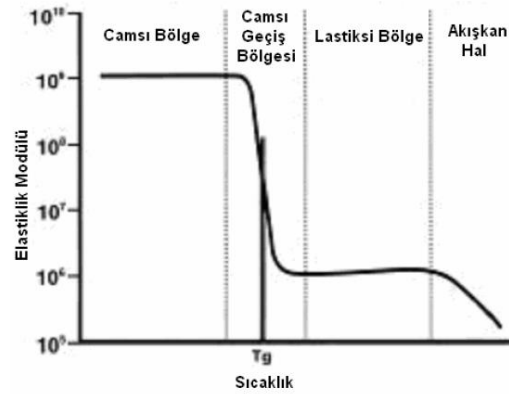
Malzemenin ayrıştırılması ve vasıflandırma işlemi parça içerisindeki birçok malzeme içerisinden saf malzeme elde etmek için yapılır. Saf olmayan malzeme geri dönüşüm işleminde malzeme kalitesini düşürerek hem malzeme kalitesini hem de buna bağlı olarak malzeme değerini düşürür [26].

Mamullerin demonte edilebilirliğini kolaylaştırmak amacıyla De-montaj İçin Tasarım (DFD) terimi ortaya atılmıştır. DFD mamullerin şeklinin, boyutunun ve bağlantılarının de-montaj edilmeye uygun şekilde tekrar şekillendirilmesi işlemidir. Şekil 2.9’da toprağa gömme, mevcut haliyle geri dönüşüm ve de-montaja uygun şekilde tekrar şekillendirmeden sonraki geri dönüşüm işlemlerinin maliyetlerinin mamulün üretim maliyetine göre birim maliyetleri verilmiştir. Burada kabul edilen toprağa gömme maliyeti, Japonya Devleti çevre mevzuatına göre hesap edilmiştir. Ayrıca diğer ev aletleri olarak sınıflandırılan grup çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve benzeri ev eşyalarını kapsamaktadır [26].



Şekil 2.9 Değerlendirme Seçenekleri Maliyetinin Üretim Maliyetiyle Mukayesesi [26].

Parçaları kolay de-monte etme çabası alternatif bağlama elemanları arayışlarını hızlandırmıştır. Bunlar arasında Aktif De-montaj Sistemleri gelecek için umut veren çalışmalardandır. Aktif De-montaj Dr. Joseph Chiodo tarafından 1980 yılında ortaya atılmıştır. Prensip olarak prensip çalışması shape-memory alloyların tırnaklı geçme bağlantılarında kullanımı esasına dayanmaktadır. Bağlantılar belirli bir sıcaklık değerinin üzerine çıktığında şekil veya kuvvet bağı ortadan kalkmakta ve iki parça sökülebilmektedir. Misal olarak cıvatalarda kullanılan polimer malzemenin sıcaklık ile elastiklik modülünün değişimi Şekil 2.10’da verilmiştir [26].



Şekil 2.10 Aktif De-montaj için Tasarlanmış Cıvata Malzemesinin Elastiklik Modülünün Sıcaklık ile Değişimi [26].

2.9 Çevre İçin Tasarım

Gelişme ve kalkınmanın kaçınılmaz bir bedeli olarak görülen çevre kirliliği 1970’lerde üst üste gelen birçok çevre felaketinden sonra insanları daha gerçekçi düşündürmeye başladı. Yeşil mühendislik (Green Engineering) bir ürünün, üretilirken, kullanılırken ve kullanıldıktan sonra, kısacası ömür çevrimi boyunca (life cycle) çevreye en az zarar verecek şekilde tasarlanmasını ve üretilmesini içermektedir. Bu yaklaşımın tasarım basamağı, mühendislik terminolojisinde Çevre İçin Tasarım (DFE) olarak da anılmaktadır [8, 28].

Genel anlamda Çevre İçin Tasarım yeni ürün ve proses geliştirme süreçleri boyunca tasarımın çevre sağlığını ve güvenliğini dikkate alan sistematik bir düşünce yapısıdır.

DFE'nin faaliyet alanı çevresel risk yönetimi, ürün güvenliği meslek sağlığı ve güvenliği, kirlenmenin önlemesi, ekolojik dengenin korunması, doğal kaynakların korunması doğaya ve çevreye zarar verecek kazaların önlemesi, atık yönetimi gibi birçok disiplini bünyesinde barındırır [26].

DFE'nin üç temel hedefi,

- Yenilenemeyen kaynakların kullanımının azaltılması,
- Yenilenebilir kaynakların kullanımının ve verimliliğinin artırılması,
- Çevreye toksit salınımının azaltılması olarak açıklanabilir [25].

Bu yaklaşımları ile birlikte, mühendislerin daha tasarım aşamasında, örneğin malzeme seçimi sırasında, çevreye en az zarar verebilecek alternatifleri göz önünde bulundurması gerekmektedir. Üretim aşamasında ise mühendisler; en az artık madde açığa çıkarılacak şekilde, havayı ve suyu en az kirletecek bir biçimde, en az enerji kullanarak kullanım ömrü boyunca az enerji harcatacak ürünleri üretebilecek ortamları hazırlamak, işlemleri yapmak ve kararları almak durumundadır [8, 28].

Dolayısıyla, mühendislere artık biraz daha büyük bir sorumluluk yüklenmekte, sadece anlık işlemler ve bunların etkilerinin değil, ürünün kullanım sonrası durumunun da göz önünde bulundurulması istenmektedir [8, 28].

Çevre İçin Tasarım ülkeler için yasal sorumluluk olmaya başlamıştır. DFE'nin amacı insanların sağlığını koruma amacı gütmelidir. Örneğin, imal edilen elektronik eşyaların (televizyon, bilgisayar vb) radyasyon yayması belli düzeyde olması gereklidir eğer olmazsa insanlarda en başta kanser olmak üzere çeşitli rahatsızlıklara neden olmaktadır Başka bir örnek imal edilen ürünlerin ozon tabakasını inceltmemesi gereklidir. Parfüm şişesi gibi basınçlı kutuda imal edilen ürünler ozon tabakası inceltirse ozon tabakası güneşin mor ötesi ışınların koruyamamaktadır. Böylece insanlarda cilt kanserinde artışlar beklenmektedir [8, 28, 29].

2.10 Kalite İçin Tasarım

İşletmelerin en büyük hedefi müşteri memnuniyetidir. Kullanılan üründen ve alınan hizmetten(sağlık, eğitim gibi) her açıdan memnun olunması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında kalite, müşteri memnuniyetinin bir ölçüsüdür. Yani alan razı satan razı olmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus kullanıcı memnuniyetinin işletmelerde Kalite İçin Tasarım olgusu şeklinde ele alınmasıdır. Kalite kriteri itici güç niteliğinde olmalıdır. Böylelikle kullanıcı, üründen en yüksek değeri elde ederek kullanım olanağına sahip olur. Bu da işletme karının artmasına neden olur. Kaliteden bahsettiğimiz pahalı ürün üretmek değildir. Mekanik özellikleri çok iyi, görünümü estetik açıdan hoş ürün ve güvenilirliği çok yüksek ürün üretseniz bile kalite için yeterli değildir kalitenin bir ölçüsü de ekonomiktir. Bunun yanı sıra asgari maliyetle tasarım yapılırsa yine elde edilecek kazanç artacaktır bu yüzden Kalite İçin Tasarım (DFQ) geliştirilmiştir Bir ürünün kalitesi söz konusu ürünün geliştirilmesi ve maliyetinin düşürülmesi sonucunda oluşur. Bu aşamada belirlenen ürün özellikleri ürünün niteliğini oluşturduğundan tasarım süresinde ortaya konmalıdır [30].

Burada aşamalar;

- Kalite karakteristiklerinin belirlenmesi,
- Gerek duyulan ve ön görülen kalite düzeyinin belirlenmesi,
- Kesinleşen kalite düzeyine ulaşılması,
- Ulaşılan kalite düzeyinin sürekli kontrolü,
- Değerlerin hedef değerlerle karşılaştırılmasıdır [30].

2.11 Bakım İçin Tasarım

Bakım (Servis) İçin Tasarım (DFS) ilkesi müşteri hizmet faaliyetlerini azaltmak, müşteri memnuniyetini arttırmaktır. DFS'nin geçerli temel kuralları ise,

- Bileşenlerin bakım kolaylığının olması,
- Ortak yedek parça kullanımı,

- Uzaktan teşhis olanağı sunması,
- Kullanıcıya teşhis olanağı sunması,
- Önleyici bakım kavramına önem vermesi olarak özetlenebilir [6].

Bir ürünün bakımı ile ilgili faaliyetlerin tasarım aşamasında düşünülüp optimum sürelerinin saptanması, ürünün performansına etki eden en önemli aktivitelerdendir. Böylece değişmesi gereken yedek parça veya malzemelerle ilgili olarak müşterinin bilgilendirilmesi sağlanırken, satış sonrası servis hizmetlerinin planlanması ile ürünün beklenmedik arızalar oluşturmaya engel olunabilir [6].

Ürün satıldıktan sonra, müşterinin elindeyken nasıl hizmet verileceği sorusunun cevabını tasarım aşamasında en iyi şekilde vermek demektir. Düşük maliyetli ürünlerde, DFS için tasarım maliyetiyle ürünü tamamen değiştirme maliyetini karşılaştırmak gerekir. Büyük ve pahalı ürünlerde ise, hizmet vermek önem kazanır. Bazı firmalar, ürünlerine teşhis yetenekleri (yapay zekâ) eklerler. Bunlar kestirim yapmakta, parça siparişi vermektedirler [6].

2.12 Güvenilirlik İçin Tasarım

Güvenilirlik uzun vadede kalitedir. Ürün hayati çevrim süresi, kullanıcı beklentilerinin yükseltilmesi, firelerin yüksek maliyeti güvenilirliğini önemini ortaya çıkarmaktadır. Tasarım güvenilirliğini arttırmak birçok faktörün dengelenmesiyle elde edilir. Güvenilirlik İçin Tasarım (DFR) çerçevesinde ürün ömrü ile ürün maliyeti optimizasyonudur [30].

- Geliştirme önce ve sonrasında güvenilirlik modellemesi ve simülasyonu,
- Parça bazında güvenilirlik analizi,
- Yarı mamul aşamasında güvenilirlik denetimi,
- İşlem esnasında güvenilirlik analizi,
- Mukayese gibi yöntemlerle desteklenmesi ürün güvenilirliğini de beraberinde getirmektedir [30].

Güvenilir ürünlerin tasarımı için gerekli temel kriterler şunlardır;

- Mümkün olduğunca az bileşen kullanımı,
- Standart bileşen kullanımı,
- Sistem içindeki bileşenlerin düzenlenmesi,
- Kısa sürelerde bakım ve onarımı önleyici sistemlerin düzenlenmesidir [30].

DFR' nin ana hatları aşağıdaki gibidir.

- Basitlik,
- Tercihli tasarımların ve uygun parçaların kullanılması,
- Gerilme ve dayanım analizlerinin yapılması,
- Yerel çevrenin kontrolü,
- Kritik hata türlerinin tanımlanması ve bunların önlenmesi,
- Olası hataların araştırılıp bulunması,
- Önleyici bakıma önem verilmesi,
- Tolerans değerlendirilmelerinin yapılması olarak sıralanabilir [6].

3. İMALAT İÇİN TASARIM (DFM)

İmalat İçin Tasarım (DFM), uygun seviyede bir kaliteyi sürdürürken, imalatın maliyetini ve/veya ürünün pazara giriş süresini asgari seviyeye indiren bir tasarımıdır. DFM’de öncelikli strateji imalata içerisindeki bir ürünün sayısını asgari seviyeye indirmektir. Ürün tasarımının başlangıcından itibaren imalat faktörlerini göz önünde tutan bir yöntem veya tasarım sürecidir. Bu tanım kavramlaştırmadan değerlendirmeye kadar her tasarım faaliyetinin pazar beklentilerini karşılayan bir tasarımın türetilmesine odaklanması gerektiğini ve başarılı bir biçimde imal edilebildiğini ifade eder [7, 31].

DFM imalat ile tasarım arasında köprü oluşturmaktadır. Tasarım mühendisleri imalatı imkânsız ve zor ürünü tasarlamamaları için İmalat İçin Tasarım geliştirmiştir. İmalat İçin Tasarım’da amaç imalata uygun tasarım yapmaktır, imalatı zor veya imkânsız ürünlerin mukavemet (dayanım) , ölçü ve geometrik açısından uygun olsa da imalat edilemediğinden başarısız tasarımıdır. İmalatı imkânsız ürünü tasarım mühendisi tasarlayıp onay için imalat mühendisine gönderdiğinde geri dönerdi ürünün pazara girişi uzun oldu böylelikle maliyet artardı. Mümkün olduğunca standart makine elemanları kullanılmalıdır çünkü maliyet fiyatı standart olmayan makine elemanlarına göre oldukça düşüktür. DFM tasarım mühendisine imalat tecrübesi ve bilgisi kazandırarak tasarım yaparken imalat kurallarını göz önüne alarak tasarım yapılacağından ürün maliyeti düşük ve imalatı kolay ürünler tasarlanmaktadır [7, 32, 33].

3.1 Ürün Tasarımı Amaçları

Ar-Ge çalışmalarıyla pazardaki müşterilerin istediği özelliklere sahip bir ürünün fonksiyonel ve şekil tasarımıyla ilgili temel tasarım özelliklerine uygun ürün üretilmesidir. En düşük maliyetle ve en yüksek kalitede, bir ürünü en kısa sürede piyasaya sunabilmek için ürün ve süreçlerin eş zamanlı tasarımının yapılmasıdır. Bir şekilde ifade edecek olursak müşterilerin istek ve beklentilerine eş zamanlı ele alınması önerilmektedir [33].

3.2 İmalat İçin Tasarımı Etkileyen Faktörler

3.2.1 Standardizasyon

Standart parçalar standart olmayan parçalara göre maliyeti çok düşüktür. Örneğin standart cıvatalar sakızdan bile daha ucuzdur. Bu parçaların yüksek kullanılabilirliği ürün tedarik zamanını azaltır. Ayrıca, bunların güvenilirlik faktörleri de vardır bu standart elemanların mekanik testleri ve analizleri yapılmıştır böylece bu işlemleri yapmayarak ürünün maliyeti otomatik olarak düşürülmektedir [34].

Belki de tasarımda ilk kural, mümkün olduğu kadar standart parçaları kullanmaktır. Birçok küçük parçalar (somunlar, pullar, cıvatalar, vidalar, pimler, rulmanlar vb) mümkün olan her yerde kullanılması için büyük miktarlarda ve standart boyutlarda üretilmektedirler. Bu sebepten bu parçaların maliyetleri, standart olmayan benzer parçalarinkinden çok daha azdır. Böyle olunca tasarımcı standart parçaların çeşit ve ölçüleri için kataloglara ihtiyaç duyar. Bu kataloglar üretici firmalardan temin edilebilir [3].

İkinci kural olarak da işleme miktarını en aza indirmek için mümkün olduğu kadar ön şekillendirilmiş parçalar kullanmaktır. Bu ön şekillendirme döküm, dövme, metal enjeksiyon, kaynaklı ve vidalı birleştirme, ya da metal deformasyon işlemlerinden derin çekme, bükme, eğme ve ekstrüzyon işlemleri olabilir. Mümkün olduğu kadar değişik yöntemlerle ön şekillendirme yapılmalıdır ve ön şekillendirme de basit olmalıdır. İş parçalarının ön şekillendirilmesi parça miktarına bağlıdır. Küçük miktarlarda üretimler istenilen şekli verme işleme ile yapılması daha uygundur. İmkanlar dahilinde standart işleme özellikleri kullanılmalıdır [3].

Standart malzeme kullanılamıyorsa, yapılan tasarımlar hazır bağlama elemanlarını kullanabilmek için standart yapılmalıdır [3].

Standardizasyonun avantajları

- Müşteriye stoktan hemen teslim,
- İmalat ve stok planlamasında ilgilenecek daha az parça,
- Tasarım ve İmalat maliyetleri genellikle daha düşük,
- Daha uzun vadeli üretim, seri üretim ve otomasyon imkanı,
- Çalışanların eğitimi daha az maliyetleri ve zamanı,
- Daha sıradan satın alma, taşıma ve muayene prosedürleri,
- Kalitede daha az değişim; tasarım ve kalitenin artırılması için daha çok zaman ve fırsat,
- Tamir/değişirmede kolaylıktır [27].

3.2.2 Çok Fonksiyonlu Tasarım Parçaları Kullanılmalı

Bir üretim firması, farklı ürünler için olan parçaları paylaşabilir. Çoklu kullanım için tasarlanmıştır. Bu ürünler aynı veya farklı işlevler için kullanmak amacıyla gerekli olduğu için, çok uygun parçalar kullanımı belirlemek için bunu yapmak gerekir [34].

Her grupta benzer parçaları kategorilendirilir. Kategori sayısını en aza indirmelidir. Bir ürün parçaların sayısının azaltılması muhtemelen imalat maliyetlerini azaltmak için en iyi fırsattır. Daha az parça satın alma, stok, işlem süresi, geliştirme zamanı, ekipman, mühendislik zamanı, montaj zorluğu, servis muayene vb. Farklı bir malzemeden parçalar imalat edilmiş olması, yapılan montaj ve diğer parçaların servisi son derece zor ya da imkansızdır. Bunların ortadan kaldırılması için mükemmel bir hedeftir [34].

3.2.3 Modüller Geliştirilmeli

Ürün tasarımı modüllerin kullanımı imalat faaliyetleri kolaylaştırır. akım, servis, yeniden tasarımı ve benzeri satın alma, kontrol, test, montaj modüller yeniden tasarım sürecinde ürünü güncellemede çok yönlülük içerir ve test öncesi nihai montaja yardımcı olur. Standart bileşenlerin kullanımı ürün çeşitlerini en aza indirmeye izin verir [34].

Avantajları;

- Arızalar daha kolay bulunur.
- Tamir ve parça değişimi daha kolay olur.
- Daha az parça olduğundan imalat, montaj, envanter kontrolü, ve satın alma kolaylaşır.

Dezavantajları;

- Ürün çeşitliliği nispeten sınırlıdır [27].

3.2.4 Geniş Toleranslar

Çok dar toleranslarla yapılan imalatın getirdiği ek maliyet her ne kadar bilinse de, ürün tasarımcıları çoğu zaman bu gerçeğin farkında olmamaktadırlar. (Şekil 3.1)

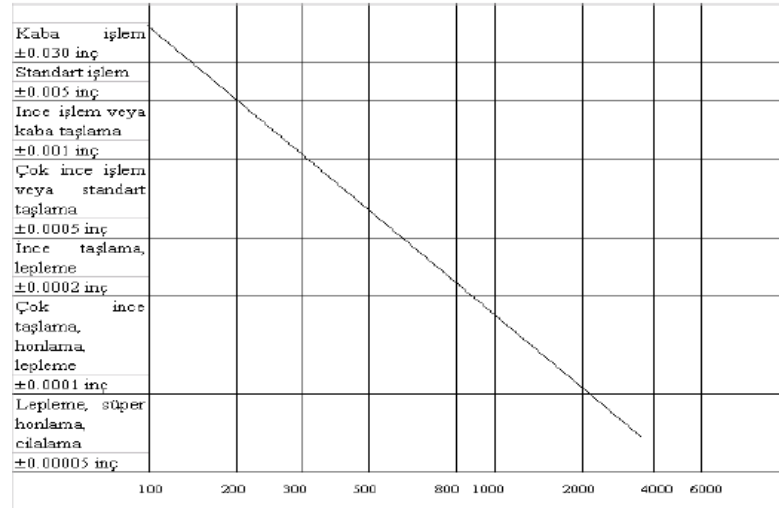
İş parçasının tezgâha bağlandığında sıkılma sonucu bozulma göstermeyecek şekilde tasarım yapılmalıdır. İmalat işlemi sırasında termal gerilimler oluşabileceğinden, tasarımda gerilim etkileri için izin verilmelidir. Mümkün olan yerlerde alt kesimlerin kullanımından kaçınılmalıdır. Makine tezgâhında yavaş hızdaki (kesme hızı, ilerleme hızı) işlemekten kaçınmak ve yüksek hızlı devamlı işleme tercih edilmelidir. Keskin köşelerden mümkün olduğunca kaçınılmalı ve buralarda pah kırılmalıdır. Çünkü keskin köşelerde kalıntı gerilmesi ortaya çıkar buda köşelerin zamanla kırılmasına neden olur. Sürtünmeden kaçınmaya yardımcı olmak amacıyla yiv'ler kullanılmalıdır. Dirseklerdeki iç yarıçaplar metalin kalınlığından daha az olmamalıdır. Parçalarda mümkün olan en geniş toleransları ve bitirmeleri kullanmak gerekir [3].

Geniş toleranslar kullanmanın nedenleri aşağıdaki gibidir.

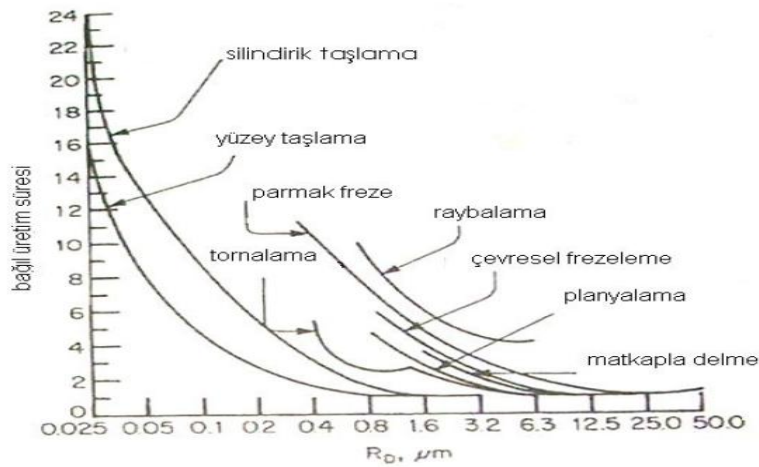
- Birincil işlemlerden sonraki taşlama, honlama, lepleme, yüzey parlatma, krom-nikel kaplama, boyama, sertleştirme, menevişleme (gerilim giderme) gibi ek işlemler,

- Takımlar aşındıkça artan bakım, değiştirme ve bileme maliyetleri,
- Uzun işlem çevrimleri,
- Yüksek ek iş ve hurda maliyetleri,
- Yüksek düzeyde eğitilmiş ve yetenekli çalışan ihtiyacı,
- Yüksek malzeme maliyetleri,
- Hassas ekipman için (Taşlama, Broşlama gibi) yüksek yatırım maliyetlerdir [35].

Tolerans genişliği ile maliyet ilişkisini Şekil 3.1’de göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü ile üretim süresi ilişkisini Şekil 3.22’de açıklamaktadır



Şekil 3.1 Tolerans genişliği maliyet ilişkisi [35].



Şekil 3.2 Yüzey pürüzlülüğü-üretim süresi ilişkisi [35].

3.2.5 İmalat Kolaylığı için Tasarım

İmalatın kolaylığı için tüm tasarımda azami basitlik ve kesitlerin üniform (homojen) olması sağlanmalıdır. İşlemin olduğu her noktada sağlanan yalnızca yeterli malzeme belirtilen sınır değerleri içerisinde bırakılmalıdır. Yüksek maliyetler ve karmaşıklıktan (komplekslikten) kaçınmalı ve birçok parçaya izin verecek şekilde tasarımın seçilmesi gerekir [35].

Malzeme ve imalat arasında optimum kombinasyonu seçilmez. Çünkü süreç genel imalat maliyetini en aza indirmek içindir. Genel olarak, polisaj, yüzey işleme, boyama gibi son operasyonlar vb kaçınılmalıdır. Aşırı tolerans, yüzey ve ihtiyaçlar bitirilmelidir, aksi halde maliyet artacaktır [34].

3.2.6 Asgari işlemler

Asgari işlemler (işlem sayısı en aza indirilmek), her işlemin maliyeti en başta dikkate alınmalı ve ürün basitleşecek şekilde tasarlanmalıdır ve işlem sayısı en aza indirilmelidir. Çapak alma, kontrol, kaplama ve boyama, ısıl işlem, taşlama, parlatma gibi işlemler birincil (ana üretim işlemleri) kadar maliyetli olabilmektedir [35].

Dağıtım konumlanması, yönlendirme ile oluşur. Bir parçası veya bileşeni sabitlenmelidir. Kolaylaştırmak için, simetrik parçalar mümkünse hiçbir zaman kullanılmamalıdır. Eğer mümkün değilse, o zaman asimetrik abartılı hatalardan kaçınılmalıdır. Ayrıca parçanın uyum sağlaması için, sonradan ortaya çıkan işlemlerin tasarımı yapılmalıdır [34].

Ne zaman tasarımında, talaşlar, hurda parçalar ve buna benzer imalat operasyonlarındaki akış asgari seviyeye indirilmeye çalışılır, ayrıca ürün için uygun hesaplı ve güvenli paketlenme yapılır [35].

3.2.7 Azami Uyum

Değişken parça ölçüleri nedeniyle montaj operasyonlarında hatalar meydana gelebilir veya doğru konumlandırma için cihaz kullanılır. Bu hatalı davranış hatalı parçalara ve ekipmanlara neden olur. Bu nedenle, parça tasarımı ve montaj işlemleri uyum özellikleri içinde olması gereklidir. Parçalarda konikler, pahlar ve radyüsler uyum içinde olmalıdır [3].

Montaj işleminde, ana parça, rijit (bükülmez, eğilmez) olmalı ve dokunsal algılama ve görsel sistemler uyum içinde olmalıdır. Basit bir çözüm, yüksek kaliteli tasarlanmış parçalar uyumu, rijit sabit ana parça, ve seçici montaj araçları kullanmaktır [35].

3.2.8 Beklenen Üretim Adetlerine Uygun Tasarım

Ürün tasarımı, üretim âdeti tahmini için ekonomik olan bir üretim metoduna uygun olmalıdır. Örneğin, bir ürünün üretim adedi kalıp maliyetini amorti edemeyecek kadar düşükse, bu ürün için dövme kalıbı tasarımı yapılmamalıdır veya tam tersine seri üretimin yapılacağı durumlarda talaşlı imalatın kullanımı, dövme kalıp kullanımının getireceği maliyet ve işgücü avantajını kaybettirecektir [35].

3.2.9 Özel Proses Karakteristiklerinden Yararlanma

Deneyimli tasarımcılar üretim süreçlerinin güçlü yanlarını ürün tasarımına yansıtmayı öğrenecek ve bunların sağladığı avantajları kullanacaklardır. Örneğin, enjeksiyon kalıplı plastik parçaların, parça kalıptan çıkarılırken renklendirilebilmesi ve desenlendirilebilmesi, toz metal parçaların yağlayıcı özelliğinin kaybolmasını engelleyen gözenekli bir yapıya sahip olduğunu bu sayede fazladan burç ihtiyacını ortadan kaldırması vb. Bu özellikler bir çok üretim adımını ve maliyetli alt montaj parçalarına olan ihtiyacı ortadan kaldırır [3].

3.2.10 Süreç Sınırlayıcılığından Kaçınmak

Parça imalat resminde sadece ihtiyaç duyulan son karakteristikler belirtilmektedir. Ancak izlenecek süreç konusunda bir bilgi veya zorlama yoktur. İmalat mühendislerine gereksinim duyulan karakteristik ve boyutlarda üretim yapılmasına imkân tanıyacak süreci seçme konusunda izin verilmelidir [3].

3.3 Genel Tasarım ve Kuralları

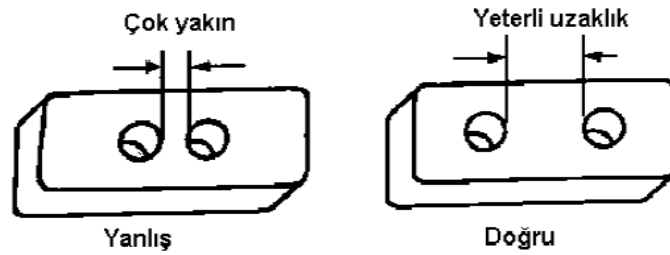
İhtiyacın Belirlenmesi: İşletmelerde ihtiyaçlar birçok noktada tanımlanmaktadır. Pek çok işletmede yeni tasarımlar oluşturabilmek için Ar-Ge departmanları mevcuttur. İhtiyaçlar genellikle mevcut durumda meydana gelen memnuniyetsizliklerden oluşur. İhtiyacın belirlenmesiyle, maliyetlerin düşürülmesi, güvenilirliğin, estetik görünümünün ve performansın artması, hep aynı ürünü tüketmekten bıkmış olan kişilere yenilik sağlama, rakipleriyle rekabet edebilmek ve çağın yeniliklerine ayak uydurmak amacıyla tasarımlar yapılmaktadır [30].

Problem Tanımlanması: Tasarım prosesinin en kritik noktası problemi tanımlamaktır. Problem mümkün olan en geniş bakış açısı ile belirlenmelidir. Problemle ilgili yeterli bilgi toplandıktan sonra analize geçilir ve böylelikle daha detaylı tasarımlara ulaşılabilir [30].

Bigi Toplama: Tanımlanmış problemle ilgili bilgi için referans kaynaklar incelenmelidir. Eldeki bilgilerden hangi sonuçlara varılabileceği belirlenmelidir. Ayrıca spesifik (özel) ihtiyaçlara cevap verebilirliği incelenmelidir [30].

Kavramsallaştırma: Kavramsallaştırma adımı bir ihtiyacı karşılamak üzere yapılan bir tasarımı oluşturan elemanlar, mekanizmalar, prosesler veya konfigürasyonlar tanımlanır. Genellikle tasarım ile ilgili kavram oluşturulurken bir model izlenir. Bu model analitik ve deneysel olmak üzere iki adımdan oluşur, çoğu mühendislik uygulamasında tasarımlar analitik modelleme kullanılarak yapılır [30].

Tüm döküm ve kalıp süreçlerinde parçaların et kalınlıkları aynı olacak şekilde tasarlanmalıdır. Yüksek oranda fire veren malzemelerde (alüminyum, plastik vb.) bu ihtiyaç daha da fazladır. Makine ile işlenen, basılan veya kalıpla üretilen parçalarda delikler arasında yeterince boşluk bırakılmalıdır. Bu sayede parça tek seferde üretilebilir ve işlem nedeniyle malzemede zayıflık oluşmaz. Birçok süreçte deliklerin birbirine çok yakın olması malzemenin dayanımını, kalıplardaki malzeme akışını veya çoklu ayna kullanımını zorlaştırmaktadır bu Şekil 3.3’de gösterilmektedir [35].



Şekil 3.3 Delikler arası yeterli boşluk bırakılması [35].

3.3.1 Klasik Ürün Tasarımı

Klasik tasarım süreci, sistematik tasarıma geçilmeden önceki, II Dünya Savaşı sonlarına kadar olan dönemi içermektedir. Bu çeşit tasarımda tasarımı gerçekleştirecek kişinin konuya karşı yeteneği ve konu hakkında geniş bir tecrübeye sahip olması gerekir. Tasarımın gelişmesinde ivmelendirici yön, bu konuda başarılı olan eski modellerin örnek alınması ve yenilerinin bunlardan esinlenerek yönlendirilip tasarlanmasıdır. Klasik tasarımla gerçekleştirilmiş yapıtlar incelendiğinde ortaya çıkan ürünlerin, tasarımcısının yetenek ve bilgisinin bir ölçütü olduğu görülmektedir. Bu, klasik ekolü benimsemiş bir tasarımcının yetişmesi en az birkaç yıllık bir tecrübeyle mümkün olabilmektedir. Klasik tasarım günümüzde de özellikle gelişmekte olan ülkelerde Türkiye, Mısır, İran, Azerbaycan gibi öneminden hiçbir şey kaybetmemiştir [30].

Bir alanda teknolojik ilerleme ürünün tasarım veya üretim tekniğini değiştirerek; ürünün kalitesini ve kapasitesini arttıran, ürünün üretim maliyetlerini aşağıya çeken,

ürüne kullanımda ve üretimde ilave üstünlükler sağlamaktır. Günümüzde klasik tasarım uygulamaları ile bunların tamamını sağlamak mümkün olamamaktadır. Bu bakımdan, tasarımın, sistematik bir şekilde ve konunun uzmanlarından oluşan kişilerce oluşturulması ile daha uygun sonuçlara ulaşılabilmektedir [30].

3.3.1.1 Klasik Tasarımda Uygulanması Gereken Metotlar

Klasik tasarımda uygulanması gereken metotlar aşağıdaki gibi 12 tanedir.

- 1) Farklı imalat yöntemi gereksinimi azaltılmalı,
- 2) Takım değiştirme veya bileme süresi kısa olmalı,
- 3) Kesme ve ilerleme hızı artırılarak işlemin toplam süresi kısalmalı,
- 4) İşlemin gerektirdiği bilgi ve beceri düzeyinin artması sonucu fazla bilgi, tecrübe ve operatör becerisi gerektirmemesi,
- 5) Kesici uç, takım geometrisinin uygun seçilmesi kesici takımın işleme uygun hale gelmesi, istenen formda olması,
- 6) Kesici ucun ömrü uzun olmalı ve işlem sonrası ölçüm ve kontrol ihtiyacının azalması imalat sonrası ölçümlerin yüksek maliyetli olmamasını, kısa süreli ve sayıca az olmasını sağla,
- 7) Toleransların kalitesi hareketli parçalar için en az sürtünme kuvveti ile en sıkı geçmeyi sağlar ayrıca tolerans genişliğinde dikkate alınması gerekli,
- 8) İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliğinin artması yüzeye kolay ulaşılması çevresinde yeterince boş alan olması, işlemi yapmak için yeterli zamanın olması,
- 9) Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı olmalıdır, talaşın kopmasından sonra parçaya ve takıma zarar vermeden, sıkışmadan hızla uzaklaşması,
- 10) Optimum işleme parametrelerinde kesme işlemi olmalıdır. bunun sonucunda yüzey kalitesinin artması,
- 11) Yüzey kalitesi artması takım sayısının azalması,
- 12) Farklı takım sayısı azaltılmalıdır [35].

3.3.1.2 Klasik Tasarımda Uygulanması Gereken Tasarım Kuralları

Klasik tasarımda uygulanması gereken tasarım kuralları aşağıdaki gibi 11 tanedir.

- 1) Parça taşıma sürecinin zorluğu azaltılmalı,
- 2) Taşımanın, transport aracı, vinç veya galaskara bağlanıp, kaldırmalıdır, bu da taşımayı kolaylaştırmalı,
- 3) Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) çok hassas şartlar istememelidir. Fonksiyonu gereği taşlama, lepleme, honlama, yüzey parlatma gibi ek talaşlı imalat talebinde bulunmamalıdır,
- 4) Parçanın diğer parçalarla montaj rahatlığı olmalıdır, montajın kısa zamanda, ek cihaz gerektirmeden, daha az işgücüyle gerçekleşmesi,
- 5) Talaşlı imalat sonrası göreceği diğer işlemlerin ihtiyaçların azaltılması diğer işlemlerde gereken özel taleplerin (Rz, Hv gibi) ve özel şekil gerekliliklerinin (belirli boşluklar, et kalınlıkları, son işlem payı) azalması,
- 6) İş Parçası boyutsal ve geometrik toleransa uygun biçimde olmalı, parçanın varsa standartlara göre tasarlanmasıdır. Burada en boy derinlik oranlarından farklı olarak genel geometrik beklentiler kastedilmektedir. Örn: dış yüzeylerdeki köşelere pah kırılması veya hafiflik istenen yerlerde içi boş profiller kullanılması,
- 7) Parça geometrisinin basitleştirilmelidir, toplam yüzey alanının küçülmesi (yuvarlatma alan küçültür fakat işlemi karmaşıktırır), farklı yüzey ve deliklerin azalması,
- 8) Parçanın tezgâha bağlanabilme rahatlığı olmalı ve tezgahta titreşim olmamalıdır. İş parçasının tezgâha istenen konumda bağlanabilmesi için parça üzerinde yeterli alan olması, bağlama süresinin kısa, işgücü ihtiyacının az olmasıdır. Tasarımın bağlama sayısını azaltacak şekilde olması da bağlanabilme rahatlığını arttırması,
- 9) Bakım, yağlama, tamir kolaylığı olmalı,
- 10) En-boy, çap-derinlik oranları iyileşmesi bu oranların talaşlı imalata uygun hale gelmesi rijitliğin (eğilmezliğin, bükülmezliğin) arttırması,

- 11) İşlenmemiş parçanın dış yüzeyinin düzgün olması işlenmemiş parçanın dış yüzeyinin talaşlı işlemi azaltacak veya kolaylaştıracak şekilde tasarlanmasıdır [35].

3.3.2 İmalat için Sistematik Tasarım

Sistematik tasarım, yeni bir ürünün tasarımında, klasik tasarımda olduğu gibi tasarımcının yeteneğinin kişisel bilgi ve tecrübesinin çözümleyici unsur olmaktan çıktığı buna karşın tasarımın her kademesinde yeni bir sistematğin oluşturulup tüm tasarım sürecinin algoritmik yapısının ve işleyişinin düzenlenip denetlenebildiği tasarım şeklidir. Özellikle II Dünya Savaşından sonra tasarım konusunda esasa dayanan bazı düşünce değişiklikleri oluşmuştur. Savaş sonrası gelişen ihtiyaçlar, askeri olarak güçlenip sömürgeci kurtulmak isteyen ülkeler ve gücünü koruyup Afrika gibi geri kalmış ülkelerin ham madde (petrol, altın, kırmızı elmas gibi), iş gücü olarak sömürmeye devam etmek isteyen ülkeler sonucunda teknolojinin sınırları çok gelişmiş yüksek alaşımlı titanyum çelikleri, dayanımı çeliklerden bile yüksek kompozit malzemeler geliştirilmiş ve bilinmekte olan tasarım sistemleri (CAD/CAE), tezgâh (CNC takım tezgâhları, tel erozyon, su jeti gibi), makine ve donatımların yanına, sentetik, yüksek alaşımlı takım çelikleri ve kompozit malzeme işleme takım tezgâhları, reaktörler, uzay ve bilgisayar teknolojisi gibi yeni ve çok geniş disiplinler eklenmiştir. Tasarım konularındaki önemli değişiklik otomatik kontrol ve ölçme tekniğinin bu alanlara çok geniş ölçüde girmesiyle oluşmuştur. Ayrıca bu teknolojik gelişme yanında, hızla artan rekabet daha üstün nitelikli ve ucuz ürünlerin kısa sürelerde geliştirilmeleri gerekmektedir [31].

Sistematik Tasarımda İşlem Sırası aşağıdaki gibidir;

- 1) Görevi yerine getirecek bir modelin oluşturulması,
- 2) Çok faktörlü karışık sistemlerden, deneyler yardımıyla ek bilgilerin elde edilmesi,
- 3) Konu ile ilgili diğer araştırmacıların bulgularının değerlendirilmesi,
- 4) Çalışma tarzının belirlenmesi ve bu amaçla bir krokinin oluşturulması,

- 5) Boyutlu olarak ön tasarımın gerçekleştirilmesi ve tasarım üzerinde hesaplamaların yapılması,
- 6) Ön tasarım hesaplarından çıkan sonuçlara dayanarak son şekillendirme ve detaylandırma gibi aşamaların oluşturulmasıdır [31].

3.3.3 İmalat için Aksiyomatik Tasarım

Aksiyomatik Tasarım yöntemi, tasarım sürecini bilimsel bir temele oturtmak amacıyla Nam Pyo Suh tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Geliştirilen yöntem, tasarımcıyı mantıklı ve akıllı düşünme süreçleri ile destekleyerek tasarım faaliyetlerinin geliştirilmesini sağlar. Metodun temelinde neyi elde edeceğiz? nasıl elde edeceğiz?” soruları vardır. Yöntem, tasarımda istenilmeyen özellikleri mümkün olduğu kadar erken yok etmesini, hedeflenen amaca odaklanılmasını, tasarımların kararlarının verilmesinde kullanılan ölçütlerin belirlenmesini sağlar [36].

Aksiyomatik (kabul edilir kurallara uygun) Tasarım’ın amacı, tasarımcıya mantıksal ve teorik düşünce süreçleri ve araçları vererek tasarım konusunda yapılan çalışmalara bilimsel bir temel oluşturmaktır. Ürünün imalatı, fonksiyonu (görevi), pazarlanması ve bakımının bir arada bir bütün olarak göz önünde bulundurulması sonucu en uygun tasarım elde edilebilir. Aksiyomatik tasarım sadece en uygun imalatın seçilmesi ile ürünün uygunluğu sağlanmış olunmaz. Bununla birlikte, tüm imalat evresini en uygun hale getiremeyiz; çünkü yönetimin tüm detayları hakkında yeterli bilgiye sahip değiliz. Uygulamaların düzeltilmesi için işlemin kabul edilen kurallarına uymalıyız. Bu kurallara “Aksiyom” denilmektedir. Bu aksiyomlar doğru kararları oluşturan önerileri ve kuralları içermektedir. Aksiyomlarla tasarım, diğer tasarım yöntemlerine göre en önemli avantajı tasarım problemlerini basite indirgemesi ve böylece çözümü kolaylaştırmasıdır [29, 37].

Aksiyomatik tasarım sistemlerin, organizasyonların ve ürünlerin tasarımı için bilimsel bir esas oluşturmaktadır ve sürecinde iki aşamalı bir yöntemden geçmektedir. Birinci aşama, tutarlı ve gerekli fonksiyonları tanımlamak ve bu gereksinimleri en önemli olandan en önemsiz doğru sıralamayı düzenlemekten

oluşmaktadır. İkinci aşama, her tasarım kararı için aksiyomları kullanarak tasarımı ilerletmektir. Bu ilerleme sırasında tasarım aksiyomlara ters düşmemelidir [29, 37].

Aksiyomlarla tasarımın belli başlı önemli noktaları aşağıdaki gibidir;

- Fonksiyonel gereksinimleri ve sınırlamaları sayısı asgari seviyeye indirilmeli,
- Fonksiyonel gereksinimlerin önemlilik derecesine göre sıralanması,
- Bilgilendirme içeriği sade ve anlaşılır olması,
- Fonksiyonel gereksinimler birbirine bağlı ise son tasarımın parçaları birbirinden ayrılmalı,
- Birbirini etkilemeyen fonksiyonel tasarımlar birleştirilmelidir [29].

Kabul Edilir Kurallara Uygun (Aksiyom) sonuçları aşağıdaki gibidir.

- Parça sayısı verimliliğin bir ölçüsü değildir,
- Maliyet, yüzey alanı ile orantılı değildir,
- Parça yüzeylerinin karmaşıklığı ve sayısı azaltılmalıdır,
- Parçaların istenildiği gibi ayrılabilmesi için hatalardan kaçınılmalı,
- Standartlaştırılmış veya ikame parçaların kullanılmasına özen gösterilmelidir [29].

Aksiyomlar açık, anlaşılır ve kullanımı kolay olmadığından aksiyomla tasarım zordur. Aksiyomlar gerçekten soyut ve yoruma açıktırlar. Bu nedenle kararlarda tecrübe önem kazanmaktadır. Buna ek olarak yol gösterici aksiyomlar tasarım koordinatörlerine verimli montaj ve üretimin diğer yönleri üzerinde verimli işlemlerin uygulanmasında rehber olurlar. Aksiyomların arkasından, tasarım mühendisi montaj için az sayıda çok fonksiyonlu parçalar imal etmek yerine çok sayıda basit parçalar imal etmeye teşvik edilir. Bu, montajdaki her parçanın imalat maliyetini sabit tutmasına rağmen genellikle montaj maliyetlerin arttırır [29].

3.3.4 İmalat İçin Bilimsel Tasarım

Bilimsel tasarıma göre tasarım örneklerle geliştirilmelidir. Kabul edilen tasarımları içeren bir katalog tasarım koordinatörüne verilerek yaratıcılığı sümilasyon edilebilir. Örnek olarak bir tasarım gerçekleştirilmesi düşünüldüğünde ilk önce ihtiyaçlar belirlenmektedir. Belirlenen fonksiyonlar tasarım koordinatörü elinde bulunan kataloglardan seçilerek ihtiyaçlara göre kullanılmaktadır. Kataloglar şekle, enerjiye veya mekanik tiplere göre sınıflandırılmıştır [29].

Aksiyomatik tasarıma en ilginç alternatif bilimsel tasarımıdır. Bilimsel tasarıma göre tasarım örneklerle geliştirilmektedir. Kabul edilen tasarımları içeren bir katalog, tasarım koordinatörüne verilerek yaratıcılığı kullanılabilir. Örnek olarak bir tasarımın gerçekleştirilmesi düşünüldüğünde ilk önce ihtiyaçlar belirlenmektedir [6].

Belirlenen fonksiyonlar tasarım koordinatörünün elinde bulunan kataloglardan seçilerek ihtiyaçlara göre kullanılmaktadır. Ürünler sadece fonksiyonlar için tasarlanmaktadır; üretilebilirliği düşünülmemektedir. Bu nedenle bu teknik eşzamanlı mühendisliğe pek uygun değildir. Bilimsel tasarım genellikle Avrupa'da kullanılmakta ve özellikle Almanya'da bu teknikle tasarımlar gerçekleştirilmektedir [6].

3.4 Tasarım Mühendisinin Sorumlulukları

Tasarım mühendisinin sorumlulukları, tasarımın gerektirdiği koşulları sağlayacak, öngörülen mekanik özelliklere (mukavemet, gerinim, sertlik, tokluk, süneklik vb), boyuta ve şekle sahip olan ve tasarımla uyumlu ürün ve üretim sistemlerinin gerçekleştirilmesine olanak verecek malzemenin seçimi, malzeme seçim kriterleri ve malzemenin işlenmesi (talaşlı imalat, plastik şekil değiştirme, döküm) göz önüne alınarak tasarımla eş zamanlı olarak gerçekleştirilmelidir. Diğer taraftan seçilen malzemelerin imal edilecek üründe öngörülen kalitenin sağlanmasını garanti altına alacak özellikleri taşıyıp taşımadıklarının belirlenmesinde kullanılan ölçme ve test yöntemleri de ortaya konmalıdır. Tasarımda malzeme seçimi prosesleri şunlardan oluşmaktadır [30].

Malzeme Gereksinimlerinin Analizi: Kullanım koşulları ve ürünün işlev göreceği çevre koşulları (sıcaklık, nem, rüzgâr, iklim şartları) belirlenerek bunlar malzemenin kritik mekanik ve fiziksel özellikleri olarak ortaya konmalıdır.

Seçilmesi Muhtemel Malzemelerin Belirlenmesi: Uygulama için gerekli ve yeterli mekanik ve fiziksel özelliklerine koşullarına sahip malzemelerin seçimini yapabilmek için uygun bütün malzemeleri kapsayan büyük bir veri tabanı esas alınarak seçim yapılmalıdır.

Uygun Malzeme Seçimi: Ürün performansı, maliyet, güvenilirliği, üretilebilirlik, garanti süresi ve uygunluk kriterleri göz önüne alınarak uygun malzemeler arasında bir analiz yapılır [30].

3.5 İmalat Mühendislerinin Sorumlulukları

İmalat mühendisleri iki tip sorumluluğa sahiptir. Öncelikle kesici takımları, imalat ekipmanları (iş parçası bağlama aparatları, takım tutucular gibi), işleme adımlarını ve ürünün ortaya çıkabilmesi için gereken diğer tüm teknik gereklilikleri sağlamaktır. İkincil olarak ise imalat organizasyonuna imalat yapılması için verilen tasarımın imalatı yapılabilirlik açısından yeterli düzeyde olmasının sağlanmasıdır. İyi çalışan bir tasarım-imalat organizasyonunda bir takım yaklaşımı kullanılmakta, imalat ve tasarım mühendisliği bir arada çalışarak en iyi üretilebilirliği sağlamaktadır [35].

İmalat mühendisinin görevleri arasından imalat maliyetini düşürmek özel olarak vurgulanması gereken bir noktadır. İmalat mühendisleri ve imalatla ilgili tüm çalışanlar imalat süreçlerinin başlangıcından itibaren sürekli olarak üretim maliyetini yükselten unsurların ortadan kaldırılması için çalışmışlardır. Bu çalışmalara büyük kaynaklar ayrılmıştır. Fakat görülmüştür ki en büyük kazanç tasarımın üretim maliyetlerini düşürecek şekilde yapılması ile elde edilebilmektedir [35].

3.6 Maliyet Faktörleri

Genel imalat maliyetlerinin giderlerinin üretim yerlerine mantıklı ölçüler içinde dağıtılabilmesi için bazı yükleme veya dağıtım ölçülerine ihtiyaç vardır. Bunlar aşağıdaki gibi 4 tanedir.

- 1) Ekonomik parça sayısı arttırılmalı, buda mümkün olduğunca standart parçalar kullanmaktan geçer,
- 2) Malzeme maliyeti düşmelidir. Bu maliyetin düşmesi, birim malzeme veya parça başına maliyetin düşmesi, gerekirse ön şekillendirilmiş dövme veya döküm malzemeler kullanılır fazladan malzeme israfını önlemek için,
- 3) İşçilik maliyeti düşmelidir. İşçilik maliyetlerinin düşmesi, parçaya yapılan manuel (elle) işlemlerin azalması, bu otomasyon imalatı ile gerçekleşir,
- 4) Takım tezgâhı ve kesici uç maliyeti düşük olmalıdır [35].

Seçilecek dağıtım ölçülerinin üretim miktarı ve değeri ile anlamlı bir ilişkisi olması ve üretim giderlerini temsil edebilme özelliği olmalıdır. İmalat işletmelerinde en çok kullanılan dağıtım ölçüleri şunlardır.

- Üretim adedi,
- Direkt işçilik gideri,
- Direkt hammadde ve malzeme gideri,
- Direkt işçilik saati,
- Makine saati (makine satın alım ücreti, makine bakım/onarım ücreti),
- Dolaylı işçilik
- Dolaylı ham madde ve yardımcı malzemeler
- Özel takımlandırma,
- Malzemenin şeklidir [38].

3.6.1 Genel Üretim Giderleri

Direkt ham madde ve malzeme giderleri ile direkt işçilik giderleri dışında olan, ancak ürün ve hizmet üretimi ile dolaylı ilişkisi olan üretim giderlerine “Genel Üretim Giderleri” adı verilmektedir [38].

3.6.1.1 Genel Üretim Giderlerinin Özellikleri

Genel üretim giderlerinin özellikleri özetle şöyle sıralanabilir:

- Genel üretim giderleri mamul malla doğrudan ilgilidir. Ancak üretimle doğrudan ilgili olmayan bu giderler üretimin sürdürülmesi için zorunlu giderlerdendir.
- Genel üretim giderleri maliyetlere doğrudan değil, birtakım hesaplamalar yoluyla yüklenen türden giderlerdir.
- Genel üretim giderleri işletmeden işletmeye farklılıklar ve zaman içinde düzensizlikler gösterir. Bir kısmı sabit bir kısmı değişken giderlerden oluşur.
- Bu giderlerin hesabı kesin olarak tespit edilemediği için dağıtım bazı yükleme ölçülerine göre yapılır. Genel üretim giderlerinin bazılarının kesin tutarları ancak dönem sonlarında ölçülebilir [38].

3.6.1.2 Genel Üretim Gideri Sayılan Harcamalar

Genel üretim giderleri çok çeşitlilik göstermektedir. Hangi giderlerin bu gruba dâhil edilmesi konusunda kesin bir liste vermek mümkün değildir. Bu durum işletmeden işletmeye, üründen ürüne değişebilir. Kural olarak bütün gider çeşitlerinden genel üretim giderleri hesabına pay verilebilir. Bununla birlikte aşağıdaki giderlerin genel üretim giderleri arasında gösterilmesi gerekmektedir [38].

- Dolaylı işçilik giderleri (Direkt işçilik giderleri dışında imal edilen emtianın maliyetini ilgilendiren fazla mesai ücretleri, kıdem tazminatları, ikramiyeler, bakım ve onarım işçilikleri, senelik izin ücretleri, doğum ve emzirme izinleri, yardımcı işçilik ve sosyal yardımlar bu gruba dâhil edilebilecek işçilik giderlerindendir.),
- Dolaylı hammadde ve yardımcı malzemeler,

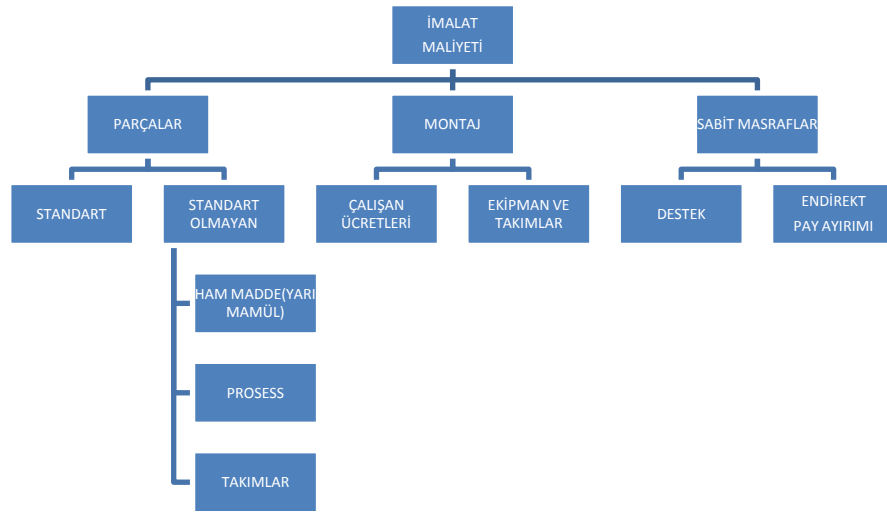
- Üretimde kullanılan sabit kıymetlerin amortisman giderleri. (Binalar, makineler, taşıt araçları, demirbaşlar v.b.),
- Üretimde kullanılan iktisadi kıymetlere ait vergi, resim, harç ve benzeri mali yükümlülükler,
- Enerji ve araç yakıt giderleri, (Elektrik, kömür, mazot, benzin, LPG, otogaz, su, oksijen ve argon tüpleri doğalgaz v.b.),
- Aydınlatma, ısıtma, serinletme (klima) ve havalandırma giderleri,
- Bakım ve onarım giderleri,
- Sosyal giderler, (yemek, sağlık, dinlenme, eğlenme ve sportif faaliyet giderleri) [3, 37].

Genel üretim giderleri her ne kadar direkt ham madde, malzeme ve işçilik kadar mamullerle doğrudan ilgilendirilemiyorsa da, en az bu giderler kadar mamul maliyetinin önemli bir unsurudur. Bu nedenle genel üretim giderlerinin maliyetlere aktarılması için seçilecek dağıtım ölçütünün giderle mamul arasındaki ilişkiyi gerçeğe en yakın biçimde ortaya koyacak nitelikte bir ölçü olmalıdır [37].

Genel üretim giderleri mamul ve hizmetlere doğrudan doğruya yüklenemeyen, ancak dağıtım anahtarı veya faaliyet ölçütü aracılığı ile yüklenebilen üretim giderlerini içermektedir. Özetle, direkt maliyetler dışında kalan dolaylı maliyetlerin bu maliyet unsurunun içinde yer aldığı sonucu çıkarılabilecektir. Genel üretim giderleri üretim işleviyle doğrudan doğruya ilgili olmayan, ancak üretimin kesintisiz sürdürülebilmesi için zorunlu olan giderlerden oluşur. Üretim işletmelerinde; otomasyona gidilmesi sonucu, günümüzde en yüksek katma değer meydana getiren unsur artık direkt işçilik giderleri değil, genel üretim giderleri ağırlık kazanmaya başlamıştır. Bu nedenle, esnek üretim sistemi uygulayan işletmelerde işçilik giderlerinde bir azalma gerçekleşirken, genel üretim giderlerinde ise önemli artışlar söz konusu olmuştur. Otomasyona dayalı üretim sistemleri nedeniyle mühendislik hizmetleri artmış, böylece, geleneksel üretim sistemlerinin aksine çok sayıda nitelikli eleman ihtiyacı işletmelerde ortaya çıkmıştır [38].

Yeni üretim teknolojilerine yapılan yatırımların neden olduğu amortisman giderlerindeki artıştır. İleri teknolojilerin kullanılması ve otomasyona gidilmesi

nedeniyle üretim sistemlerinde işçiliğin yerini makinalar ve robotlar almakta, böylece geleneksel ortama göre daha az işgücü kullanılmaktadır. Buna karşılık, emekten sermayeye yönelme nedeniyle sabit genel üretim giderleri niteliğindeki amortisman giderleri ile endüstriyel mühendislik araştırma, ürün geliştirme, malzeme tasarım ve makine bakım onarım gibi işlerde çalışanların oluşturduğu edolaylı işçilik maliyetlerinde yaşanan artış genel üretim giderlerinin oransal payının yükselmesine neden olmaktadır [39].



Şekil 3.4 İmalat Maliyeti [40]

3.6.2 Direkt Hammadde ve Malzeme

Tasarımcı, parça için malzeme seçimi yaparken, uygulanabilirliğini, maliyetini, standart olarak tedarik edilebilirliğini, işlenebilirliğini ve işleme gereksinimlerini göz önünde tutmalıdır. Bu faktörlerin her biri diğerini etkiler ve sonuçta en uygun seçim çeşitli gereksinimleri sağlamakla olacaktır. Değişik malzemelerin uygulanabilirliği parçanın nihai görevindeki, aşınmaya, estetikliğine, korozyon direncine, kullanılışı ortamın özellikleri, mekanik ve fiziksel özellikler gibi faktörlere göre seçim yapılır. Tasarımcı, parçanın toplam maliyetini en aza indirmeye yardım eden faktörleri göz önünde tutmalıdır. Ucuz malzeme parçaların en az maliyetini getirecektir. Standard formlarda bulunan ham malzeme kullanmak maliyeti düşürmekte bir etkindir. İşleme maliyeti daha düşük malzeme seçimi daha ekonomik olabilir ancak yüksek satın alma maliyetine sahip olabilir [3].

Direkt hammadde ve malzemeler, mamulün bünyesine giren, üretilen mamulün özünü oluşturan ve hangi mamul veya mamul grubu içinde tüketildiği miktarı izlenebilen ham madde ve malzemelerdir Bir başka deyişle, üretilen mamulün, bünyesine esas madde olarak katılan ve herhangi bir dağıtım anahtarına gereksinim duyulmayan ham madde ve malzemelerdir [39].

Otomobil üreten işletmelerde de dışarıdan satın alınan birçok motor parçaları, lastik, cam, akü gibi maddeler direkt hammadde ve malzeme niteliğindedir. Esnek üretim sistemini uygulayan işletmelerde çok sayıda tedarikçi ile çalışmak yerine az sayıda tedarikçi ile çalışmak, ham madde ve malzeme giderlerini önemli ölçüde kontrol etme olanağı sağlamaktadır [39].

İşletmenin teknolojik yapısı ve seçtiği üretim sistem tipine göre gerçekleşen yerleşim planı, hammadde malzeme taşıma süresini ve uzaklığını asgari seviyeye indirebilmektedir. Esnek üretim sistemlerinde yarı mamul stok düşük olduğundan, makine grupları arasındaki bütünlük ve iş parçalarının birbiri ardına işlem görmesi ihtiyaç duyulan alanın daha az olmasını sağlamaktadır. Esnek üretim sistemleri, %40-50 oranında yerleşim alanında küçülme sağlamaktadır. Yerleşim alanlarının küçülmesi sonucu sabit gider niteliğindeki amortisman giderlerinde veya kira giderlerinde azalma olmaktadır [39].

Bilgisayar Destekli İmalat sisteminde ulaşılan otomasyon sayesinde, kullanılan makine ve aletlerin sayısında önemli azalmalar sağlanmakta, tezgâh hazırlık sürelerinin kısılması ve enformasyon teknolojisinin etken kullanımı ile makine kullanım oranları oldukça yükselmektedir. Bilgisayar kullanımı sonucu, erken uyarı sisteminin bulunması ile makine ve teçhizatın ortaya çıkabilecek daha ağır hasar ve bozulmalar önlenabilmekte ve dolayısıyla bakım onarım giderlerinde, yeni teknoloji olması nedeniyle enerji giderlerinde, tasarruf sağlanabilmektedir. Esnek üretim sistemlerinin birbiri ile uyumlu olması; makine ve teçhizatın elimine edilmesini ve dolayısıyla amortisman giderlerini azaltabilmektedir [39].

3.6.3 Direkt işçilik

Direkt işçilik maliyetleri genel olarak üç faktör tarafından belirlenir; üretim sürecinin kendisi, parça veya ürünü tasarımı ve işi yapan çalışanın verimliliği. Genel anlamda tasarım karmaşıklıkça boyutsal toleranslar darlaşır, taşlama, lepleme, honlama, yüzey parlatma, gibi son işlemlerin talepleri artar. Kullanılan kesici takım sayısının azalması da direkt işçilik miktarını arttırır [35].

Bir parçayı tamamlayabilmek için gereken işlem adımları işçilik maliyetinin belirlenmesinde muhtemelen tek başına bile kullanılabilecek bir belirleyici faktördür. Her işlem adımı operatörün işlenmemiş parçayı bulunduğu yerden alması, tezgâha yerleştirmesi, konumlaması, işlem bittikten sonra parçanın sökülmesi ve işlenmiş parçalar arasına konması ve genellikle de işlem sonunda bir kontrol yapılması gerekmektedir. İşlem adımı sayısının artışı dolaylı maliyetleri de arttırır. Birçok farklı konumlama yüzeyi nedeniyle boyutsal hata olasılığı toplanarak artar. Daha fazla ayar gerekir, hurda ve ek iş artar, atölyenin planlanması giderek zorlaşır [35].

Daha önce de belirtildiği gibi imalat, hammadde ve malzeme ile işçiliğin bir araya getirilmesi ile gerçekleştirilebilir. İmalat için hammadde ve malzemeden başka en önemli girdi işçiliktir. İşçilik, üretim sürecinde üretime katılan emeğe ödenen parasal tutarı ifade eder. Ücret, işverene tabi ve belirli bir işyerine bağlı olarak çalışanlara hizmet karşılığı verilen para ve aylıklar ile sağlanan ve para ile temsil edilebilen menfaatler olarak tanımlanmıştır [38].

İşçilik giderleri; işletme faaliyetlerini yürütmek, üretim ve hizmetleri gerçekleştirmek amacıyla istihdam edilen işgücüne ödenen parasal tutarı içermektedir. İşçilik gideri; saklanması, stoklanması ve biriktirilmesi mümkün olmayan bir gider kalemidir. Hammadde ve malzeme ambardan üretime gönderilmedikçe, maliyet oluşma-maktadır. Oysa ki; bir işçi ya da memur bir iş sözleşmesine dayanarak işletmede bulunduğu sürece ücrete hak kazanmaktadır. Bu da işletme için mamul maliyetlendirmesinde bir maliyet gideri olarak kabul edilmektedir [39].

Esnek üretim sistemi uygulayan işletmelerde, gelişen teknolojiye yapılan yatırımlar, işçiliğin üretimde üstlendiği rolü azaltmış ve böylece direkt işçilik giderlerinin üretilen mamul maliyeti içerisindeki payı azalmıştır. Bunun yanı sıra, esnek üretim sistemini uygulayan işletmelerde yeni üretim teknolojilerinin kullanılması ile üretilen ürünün kalitesi artmış, tedarik süresi kısalmış, müşterinin istediği ürün ya da ürün çeşidi üretilmeye başlanmıştır [39].

Esnek üretim sistemi uygulayan işletmelerde, gelişen teknolojiye yapılan yatırımlar, işçiliğin üretimde üstlendiği rolü azaltmış ve böylece direkt işçilik giderlerinin üretilen mamul maliyeti içerisindeki payı azalmıştır. Bunun yanı sıra, esnek üretim sistemini uygulayan işletmelerde yeni üretim teknolojilerinin kullanılması ile üretilen ürünün kalitesi artmış, tedarik süresi kısalmış, müşterinin istediği ürün ya da ürün çeşidi üretilmeye başlanmıştır. Esnek üretim sistemlerinde üretim işlemleri büyük ölçüde otomasyona dayalı ve işlemler bilgisayar denetimli olarak gerçekleştirildiği için işçilik maliyetlerinde önemli azalmalar olmaktadır. Bununla birlikte, sistemde nitelikli eleman ihtiyacı endirekt işçiliğe olan talebi de arttırmaktadır [39].

Diğer yandan, uzman personelin kullanımı sistemde meydana gelebilecek hata miktarını azaltmaktadır. Azalan hata miktarı, daha az fire ya da tekrarlanan operasyon anlamı taşıyacağından maliyetlerde düşme yaşanabilecektir. Sonuç olarak esnek üretim sistemlerinde direkt işçilik maliyetlerinde %30-50 oranında düşüşler ortaya çıkabilmektedir. Üretim teknolojilerinin değişmesi, faaliyet ölçütü veya dağıtım anahtarlarının da değişimine yol açmıştır. Geleneksel maliyetleme sistemlerinde direkt işçilik saatleri, üretim işletmelerinde faaliyet ölçütü veya dağıtım anahtarı olarak bugüne kadar sıklıkla kullanılmıştır. Bununla birlikte, otomasyon sistemlerinin artması, işletmelerin dağıtım anahtarı ve faaliyet ölçütü olarak makine saatlerinin veya işlem sürelerinin kullanılması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Buna paralel olarak; esnek üretim sistemlerinde, makine saatleri ve işlem sürelerinin kullanılmaya başlanması maliyetlere açısından direkt işçilik saatlerinden daha anlamlı ve açık sonuçlar verdiği gözlenmiştir [39].

3.6.4 Dolaylı İşçilik

Ayarlama, kontrol, malzeme taşıma ve saklama, takım bileme ve tamirâtı, makine ve ekipman bakımı alternatif üretim metotlarının maliyetinin hesaplanmasında değerlendirilmesi gereken önemli etkenlerdir. Yüksek basınçlı dövmenin avantajları dövme kalıbının yüksek bakım maliyetleri nedeniyle kısmen kaybolmaktadır. Örneğin bazı durumlarda ayarlama maliyetlerinin daha düşük olduğu bir üretim metodu nispeten yüksek işçilik maliyetlerine tercih edilebilmektedir. Yılda 200–300 civarında vida açma tipi bir işlemin yapılması bir torna tezgâhında otomatik bir vida açma makinesine göre daha düşük maliyetle yapılabilir [35].

Dolaylı işçilikte makine giderlerinin azalması için aşağıdaki 3 madde dikkate alınmalıdır.

- 1) Takım tezgâhın rijit (eğilmez, bükülmez), ve titreşimsiz olması
- 2) Takım tezgâhın x, y, z ve yardımcı eksenlerde konumlama ve talaş kaldırma kabiliyeti,
- 3) Takım tezgâhın hassas ve ilerleme hızı yüksek konumlama yapması, eksen sayısının artması, dar yerlere rahat ulaşmasıdır [35].

3.7 Malzemenin Şekli ve İmalat Metodu

İş parçasının, işlemeden önce dövme, döküm, kaynaklı birleştirme metodu ile kısmen şekillendirilmiş olarak seçimi esas olarak temin edilebilirliğine bağlıdır. Metaller genellikle plaka sac, kütük, boru şeklinde geniş bir standart ölçüler yelpazesinde satılırlar. Tasarımcı standart şekilleri ve boyutları hammadde üretici firmalardan takip etmeli ve parçaları en az işleme operasyonuna göre tasarlamalıdır [3].

Parçalar genellikle, iş parçalarına eksensel ilk hareketi uygulayan tezgâhlarda daire, altıgen çubuk veya boru tiplerindeki ham maddelerden üretilirler. Bu tür parçalara dönen parçalar denir. Diğer parçalar kare veya dikdörtgen çubuklardan, plakalardan,

saclardan üretilirler ve bunlara dönmeyen parçalar denir. Üretilen parçalar kısmen işlenmeden önceki şekline bakılarak dönen ya da dönmeyen parçalar olarak sınıflandırılabilirler [3].

Birbirleriyle karşılaştırılan farklı üretim metotları çeşitli malzemelerin farklı miktarlarda ve formlarda kullanımını gerektiriyorsa, birim malzeme maliyeti büyük önem taşır. Örneğin bir alüminyum döküm parçanın maliyeti, kum kalıba dökülen dökme demir bir parçadan yüksek olacaktır [3].

- 1) Malzemenin (bitmiş parçanın) sertliği ve mukavemeti,
- 2) Malzemenin tokluğu, sünekliği,
- 3) Malzemenin homojenliği,
- 4) Malzemenin manyetik özelliğidir [35].

Bir mühendislik plastiği kullanımı daha da yüksek bir maliyete sahip olabilir. Toz metalurjisi ile üretim süreçlerinde döküm veya talaş kaldırma işlemlerine göre daha düşük miktarlarda fakat daha yüksek maliyetli malzemeler kullanır. Ayrıca hata maliyetleri malzeme maliyetlerini ciddi oranda etkileyebilir [35].

3.8 Titreşim

Talaş kaldırma olayında kesme işleminin sürekliliği herhangi bir sebepten dolayı bozulduğunda (örneğin iş parçası malzemesi mikro yapısındaki sert bir noktanın takım ağzına çarpması gibi,) takım ile iş parçası arasında titreşim oluşur. Bu titreşim, kesme kuvvetlerinde bir değişime neden olur. Titreşimin genliği zamanla artarsa, bu durum tezgâhın dinamik kararsızlığına yol açar. Takım tezgâhlarında oluşan titreşimler iki farklı grupta incelenebilir [41].

- Tezgâh yapısından kaynaklanan titreşimler
- Talaş kaldırma işleminden kaynaklanan titreşimlerdir [41].

Tezgâh yapısından kaynaklanan titreşimler, tezgâhta bulunan makine elemanlarının dairesel hareketlerindeki salgı problemlerinden, tahrik sistemlerinde çeşitli nedenlerle oluşan aşınmalardan, yataklardaki boşluklardan, uygun bağlanmamış iş parçası veya takımlardan kaynaklanır. Talaş kaldırma işleminden kaynaklanan titreşimler kesme kuvvetlerinin oluşturduğu elastik deformasyonlardan ve iş parçası arasındaki hareketlerden kaynaklanır. Talaş kaldırma yapılması durumunda titreşim, takımın kırılmasına, takım ömrünün azalması ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olacaktır. Kesme kuvvetlerinin etkisi ile ortaya çıkan bu tip titreşimler, iş parçası veya kesici takımda sehimlerin yanı sıra, değişen kesme derinliklerinin söz konusu olduğu talaş kaldırma işlemlerinde işleme koşullarındaki değişkenlikten, iş parçası malzemesinden ve yığılma kenar oluşumundan etkilenir [41].

Esasen parça kesici takım tezgâhı esnek bir sistemdir. Dolayısıyla talaş kaldırma sırasında, kesme kuvvetinin değişken olmasından dolayı titreşimler meydana gelebilir. Bu titreşimler şiddetli oldukları durumda, kötü bir yüzey kalitesine neden olan tırlama olayını oluştururlar. Tırlama olayı talaş kaldırma zincirini oluşturan iş parçası takım tezgâh sisteminin, eğilme ve burulma rijitliğinin yeterli olmamasından, parçanın uygun bir şekilde tutturulmamasından takım ile tutturma tertibat ve takımın çeşitli elemanlarla arasında dengelenmiş olmamasından, kesme koşullarının uygun olarak seçilememesinden dolayı meydana gelir [42].

Dolayısıyla, bu olayın etkisini azaltmak veya tamamen yok etmek için şu önlemler alınır. Parça takım tutturma tertibatının rijitliği arttırılır, takım iyi bir temas yüzeyine oturtulur, parçayı desteklemek için lunet veya lunetler kullanılır ve lunetler arası mesafenin çok büyük olmamasına çok dikkat edilir, tezgâh elemanları arasındaki boşluklar izin verilen değerlere indirilir. Gerekirse parça dengelenir, kesme koşulları bilhassa takımın kesici ağzı iyi bir durumda tutulur, yani aşınmış ve körelmiş takımlarla talaş kaldırma işlemi yapılmaz [42].

3.9 Kesici Takım Ömrü

Talaş kaldırma işlemini ekonomik kılan koşulların belirlenmesi arzu edildiğinde dikkate alınması gereken en önemli faktör kesici takımın ömrüdür. En eski tanımıyla takım

ömrü “**iki bileme arasındaki çalışma süresi**” olarak ifade edilir. Bu kavram bazı hallerde (örneğin delme, planyalama ve broşlama gibi işlemlerde) işleme uzunluğu veya frezeleme işleminde olduğu gibi talaş hacmi cinsinden de ifade edilebilir. Ancak teknolojik gelişmelere paralel olarak HSS (Yüksek Hız Çeliği) takım çeliğin yerini değiştirilebilir takımların (sert metal uç, seramik kaplamalı sert metal uç) alması sonucunda takım ömrü tanımı değişmiştir. Bilindiği sert metal uçlar bilinmezler kırıldığında, aşındığında, köreldiğinde yenisi ile değiştirilir. Kesici takımın yerine getirmesi gereken koşullar: istenilen yüzey kalitesi, boyut ve şekil hassasiyeti ve talaş kontrolüdür [43].

Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların ömrü ve maliyeti gerek üretilen parçaların kalitesi, gerekse toplam üretim maliyeti açısından büyük önem taşır. Talaşlı imalat alanında en önemli hususlardan biri en ekonomik imalat ve en ideal takım ömrü için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi işlemidir [43].

Takım (kesici) ömrü; pratik çalışmalarda istenilen boyutta ve yüzey kalitesinde iş parçalarını üretmek için takımın daha fazla kesme yeteneğini sürdürememesi olarak tanımlanmaktadır. Kesici takımın takım ömrü, çalışma şartları içindeki değerlerle sürekliliğini sağlayan kenarın yeteneği tarafından belirlenir. Fakat her bir takımın ömrü kesme şartlarına bağlı olarak farklı olacaktır [41].

Takım ömrü;

- İş parçası malzemesi,
- Takım(kesici) geometrisi,
- Kesme hızı,
- Kesme şartları,
- Soğutma sıvısı kullanımı etkenlerine bağlı olarak değişir [41].

Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ile takım ömrünün artırılması mümkün olmaktadır. Kesme hızının düşük seçilmesi takım ucunda kopmalara ve bunun sonucu takımın değiştirilmesine, kesme hızının yüksek seçilmesi ise takımın kısa sürede kırılmasına neden olmaktadır. Optimum kesme hızının belirlenmesinde takım ömrü ile talaş oluşum oranı ve üretim hızı arasında denge kurulmalıdır. En uygun

ilerleme ve talaş derinliğinin belirlenmesinde maksimum talaş derinliği ve ilerleme miktarı seçilmelidir. Çünkü bu iki parametrenin takım ömrüne etkisi kesme hızına göre çok azdır. Maksimum üretim hızı için kesme hızı, paso miktarı ve ilerleme hızı arasında minimum takım değiştirmeyi sağlayacak bir denge kurulmalıdır [41].

Üretim hızını etkileyen diğer faktörler;

- Tezgâh gücü (talaş kaldırma oranını sınırlar),
- Yüzey pürüzlülüğü (ilerleme hızını sınırlar),
- Tezgâh rijitliği (kesme hızı, ilerleme ve paso miktarını sınırlar),
- Talaş kaldırma rijitliği (paso miktarını sınırlar) [41].

3.10 Soğutma Sıvısı

Talaşlı imalatla kesici takımdaki yüksek sıcaklıkların oluşması ve büyük gerilmelerin ortaya çıkmasının nedenleri kesme sıvılarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Kesme sıvısının hem soğutucu hem de yağlama özellikli olması gereklidir. Soğutma özellikli kesme sıvılarının kullanımı takım üzerindeki yüksek sıcaklıkların oluşumunu azaltmakta, daha yüksek kesme hızlarının kullanımına olanak sağlamaktadır. Düşük kesme hızlarının kullanılması durumunda kesme sıvısının yağlama özelliğine sahip olması tercih edilir. Bor yağı düşük kesme hızlarının kullanılması durumunda tercih edilebilmektedir. Yüksek kesme hızlarında ise klor içerikli kesme yağlarının kullanılması daha olumlu sonuçlar vermektedir. Benim gördüğüm kadarıyla piyasada kesme sıvısı olarak %95 bor yağı su ile karıştırılıp kullanılıyor. Çok kullanılmasının nedeni Türkiye'nin dünyanın bor rezervlerinin %90'ına sahip olup ucuz olmasından ve suyun iyi soğutucu olmasından kaynaklanabilir [44].

Son yıllarda kesme sıvılarının çevresel sorunları dolayısıyla, bunların yerine kullanılabilecek teknolojilerin uygulanmasının gerekliliği üzerinde farklı bir yaklaşım ortaya çıkmıştır. Yukarıda belirtilen, soğuk talaşlı imalat yöntemi, kesme sıvılarının olumsuzluklarına yanıt verebilecek özellikler içermektedir. Yöntemde kullanılan soğutucu eleman, hem iş parçasının ve takımın soğutulmasının gerçekleştirmekte, hem de soğutucu/yağlayıcı bir özellik göstermektedir. Kullanılan

soğutucunun (örneğin sıvı azotun) çevreye vereceği zararlar çok azdır. Soğuk talaşlı imalat yönteminin kullanılması, ayrıca daha uzun takım ömrü ve iş parçasının homojen kalmasını sağlamaktadır [44].

Talaş kaldırma esnasında kullanılan sıvıların başlıca amacı düşük hızlarda yağlama, yüksek hızlarda ise soğutmadır. Yağlama ile takım ile talaş ve takım ile işlenen yüzey arasına nüfuz ederek sürtünmeyi azaltmak ve takım aşınmasını önlemek, soğutma ile ise talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan ısıyı çevreye ileterek ısı miktarını azaltmak amaçlanır. Yüksek kesme hızlarında kesme sıvısının takım ile talaş arasına ve takım serbest yüzeyine nüfuz etmesine yetecek kadar süre yoktur; düşük kesme hızlarında ise soğutmanın bir anlamı yoktur. Yağlamanın önem taşıdığı tipik talaş kaldırma işlemleri arasında broşlama, derin delik delme ve klavuzla diş açma, soğutmanın önem taşıdığı işlemler arasında ise tornalama ve frezeleme işlemleri sayılabilir [43].

Kesme sıvılarının doğru bir şekilde seçilmesi ve uygulanması bu avantajlarının yanında, talaşlı imalat maliyetini de aşağıdaki gibi olumlu yönde etkilemektedir [43].

Takım maliyeti düşer: Kesme sıvılarının belirli talaşlı imalat işlemlerinde kullanılması, takım aşınmalarını pozitif yönde etkilemekte, kesici takım ömrünü arttırmaktadır. Dolayısıyla kesici takım daha uzun sürelerde kullanılmakta, HSS takımlarda yeniden bileme ve değiştirilebilir uçlu takımlarda uç değiştirme zamanları uzamaktadır. Bu talaşlı imalat işlemlerinin hangi işlemler olduğu ve bu işlemlerde ne tip kesme sıvılarının kullanılacağı daha sonraki bölümlerde bahsedilecektir [43].

Üretim hızı artar: Kesme sıvısı sürtünmeden dolayı ortaya çıkan ısının kontrolünü sağlamaktadır. Oluşan ısının kontrolü çok yüksek kesme hızlarında çalışabilme olanağı verir ki bu üretim hızının artması demektir [43].

İşçilik maliyeti düşer: Takım maliyetlerinin düşmesi ve üretim hızının artması sayesinde parça başına işçilik maliyeti de düşecektir [43].

Güç sarfıyatı azalır: Kesme sıvısı soğutma ve yağlama özelliği ile ısı oluşumunu kontrol ederken sürtünmeyi ortadan kaldırır ve kolay talaş kaldırılmasını sağlar. Dolayısıyla, işlem sırasında tezgâh daha az güç sarf eder. Bu da bize gerek tezgâh gerekse kesici takım yönünden ekonomik bir çalışma verir [43].

Metallerin talaş kaldırma işlemlerinde soğutucu ve yağlayıcı sıvılar kullanılırsa, verim artar, kesici aletin ömrü uzar ve iş parçasının yüzey kalitesi iyileşir. Basit torna, planya ve vargel işlemlerinde soğutucu kullanılmayabilir. Fakat matkap işlerinde mutlak surette soğutma sıvısı kullanılmalıdır. Takım tezgâhlarında soğutucu ve yağlayıcıların kullanılması delinen, raybalanan, diş açılan yüzeyin temizliği ve aynı zamanda kesici aletin ömrünün uzatılması için zorunludur. Paslanmaz çeliğin işlenmesinde iki kısım kükürtlenmiş yağ, bir kısım karbon tetrakloritten meydana gelmiş karışım tavsiye edilir. Ancak karbon tetraklorit zehirlidir. Adi delme işlemleri için çeşitli yağlara 10 ila 20 katı kadar su karıştırılarak iyi sonuç veren soğutucular elde edilir [41].

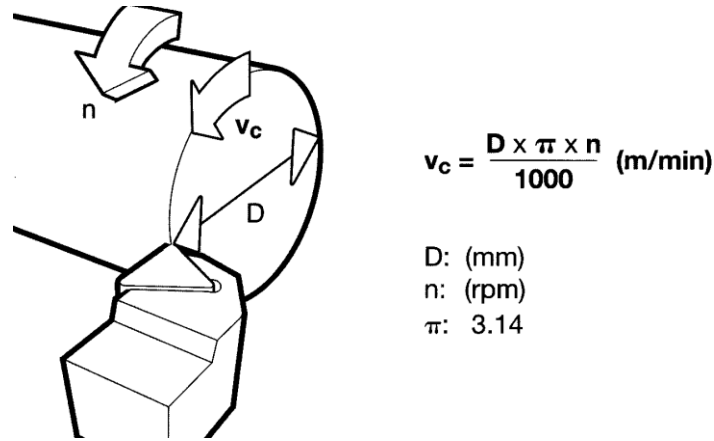
Kesme sıvısında aranan özellikler

- Hızlı soğutma sağlamalıdır,
- Malzeme ve takımlar ile kimyasal uyum yani iş parçası ve kesici takım ile kimyasal reaksiyona girmemelidir,
- İş parçası ile kesici arasına iyi girebilme, taşlama da taş gözeneklerini yıkayabilmelidir,
- Makine elemanlarını yağlayıcı görevi oksitlenmemesini sağlamalıdır.
- Yağın yanmaması,
- Makine ve İş parçası üzerinde talaş bırakmaması
- İnsan sağlığına özellikle solunum yoluyla akciğerlere zarar vermemesi
- Kullandıktan sonra atılması veya arıtılması kolay olmalı (Çevre İçin Tasarım) [41].

3.11 Kesme ve İlerleme Hızı

Hız talaşlı imalatın temel parametresidir. Kesme hızı kesici kenarın iş parçası yüzeyini işlediği (metre/dakika cinsinden) hızdır. Bu hız, talaş kaldırılan çapta kesici kenardan geçen iş parçasının çevresel hızıdır. Bu durum takımın dönüp iş parçasının sabit olduğu durum ile aynıdır, aradaki tek fark kesici takımın ana mil hızıyla dönmesi ve kesici kenarın belirli bir kesme hızıyla iş parçasına temasıdır [43].

Kesme hızı sabit bir ana mil hızı için işlenen çap değıştikçe değışir. Büyük bir çap kesici kenardan dakikada daha fazla yüzeyin geçmesi demektir. Her devirde kesici kenar daha uzun bir çevre ile temasta olmak durumundadır ki bu daha yüksek kesme hızı anlamına gelir. Modern CNC tezgâhlarda kesme hızının sabit tutulmaması mümkündür. Örneğin kesici takımın parça merkezine doğru ilerlediği alın tornalama işleminde kesme hızı çaptaki azalmayla orantılı olarak artırılan ana mil hızı sayesinde sabit tutulabilir. Ancak takım tezgâhlarında hız aralığının belirli sınırları vardır, dolayısıyla çok küçük çaplarda ve parça merkezinin çok yakınında kesme hızının sabit kalması söz konusu değildir [43].



Şekil 3.5. Ana mil - kesme hızı ilişkisi [42].

İlerleme hızı (mm/dev) iş parçasının bir devrinde takımın kat ettiği doğrusal mesafedir. Bu tanım tornalama işleminde takımın bir devrinde iş parçasının kat ettiği mesafe olarak değıştirilebilir. İlerleme hızı (mm/dak) takımın çeşitli yönlerde hareketinde dakikadaki ilerleme miktarıdır [43].

İşlenen yüzeyin kalitesinin belirlenmesinde ve uygun talaş oluşumunun sağlanmasında temel faktör olan ilerleme sadece paso miktarı üzerinde değil, talaş kırma işleminin kalitesi üzerinde de etkide bulunur [43].

Talaşlı imalatla işleme parametresi olarak kabul edilen diğer bir parametre ise ilerleme değeridir. Genel olarak, takım ömrü üzerinde çok büyük etkilere sahip olmayan ilerleme parametresi, titanyum çeliklerinde talaşlı işlenmesinde farklı bir

özellik gösterir. Küçük ilerleme değerlerinin kullanılması durumunda daha uzun takım ömrü değerleri elde edilmektedir Yüksek ilerlemenin seçilmesi ise talaşlı işlemenin verimliliğini arttırmakta, fakat yüzey pürüzlüğü üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır [44].

3.12 Takım Malzemesi

Genel olarak piyasa dört çeşit kesici takım malzemesi kullanılır. Bunlar Yüksek Hız Çeliği (HSS), sert metal uçlar, seramik ve elmaslardır. HSS az alaşımlı, alaşımsız çeliklerin işlenmesinde kullanılıyor. Diğer kesici malzemelere göre üstünlüğü kırılma direnci(tokluk) fazladır. Bu yüzden hala kullanılmaktadır. Ama paslanmaz çelik, titanyum çelikleri gibi sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmazlar. Titanyum çelikleri çok geniş bir şekilde uçak-uzay endüstrisinde kullanılmakta olan bir malzeme grubudur. Bu malzemenin yüksek sıcaklıklarda yüksek özgül dayanımı (dayanım değerinin ağırlığına oranının yüksek olması) özelliği, kırılma ve korozyon direncinin yüksek olması tercih edilme nedenleridir. Yeni takım malzemelerinin bulunması ve takım kaplama teknolojisindeki gelişmeler, talaş kaldırma yöntemlerinin gelişiminde en önemli etkenlerdendir. Böylece talaş kaldırma yöntemlerinin daha ekonomik olması, uygulandığı malzeme gruplarının artması sağlanmıştır. İşlenmesi zor olan malzemeler bile, geliştirilen takımlar ve kaplama teknolojilerindeki ilerlemeler ile günümüzde işlenebilir duruma gelmişlerdir. Kaplamalı sert metal uçlar, seramik ve elmas gibi son yıllarda yaygın olarak kullanılan takım malzemelerinde artış gözlemlenmektedir [44].

3.12.1 Yüksek Hız Çeliği

Yüksek Hız Çelikleri (HSS), yüksek alaşımlı asal çelikler olup 600° C sıcaklığa kadar sertliklerini muhafaza ettiklerinden yüksek kesme hızlarında (30-50 m/dak) talaşlı imalatla kullanılan kesici takımlardır. Tungsten veya molibden, HSS'lerin öncelikli alaşım elementlerindendir. Bu çelikler, alaşım elementleri miktarına bağlı olarak T (tungsten) esaslı, Mo (molibden) esaslı ve T-Mo esaslı olmak üzere üç temel alaşım serisi ile sınıflandırılır. HSS'ler yüzey kaplamalı olarak da

kullanılmaktadır. Bu kaplama TiN (titanyum nitrit) TiC (titanyum karbür) ve Al_2O_3 (alüminyum oksit) [45, 46].

Talaşlı işlemden eğilimin yüksek hızlara kayması nedeniyle yüksek hız çeliklerinin önemi giderek azalmaktadır. Kullanım sadece yüksek tokluk açısından gerçekleşir. Kullanım alanı ise; şekil ve görev itibarıyla yüksek tokluk beklenen takımlar, darbeli kesme şartları ve kararlılığı düşük eski tezgâhlar ile sınırlıdır. Yüksek Hız Çelikleri (HSS), diğer tip kesici takımlar ile karşılaştırıldığında aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık aşınma dayanımı açısından zayıftır, ancak buna karşılık, sahip olduğu yüksek tokluk ile darbeli-titreşimli kesme işlemlerinde özellikle CNC takım tezgâhı olmayan konvansiyonel takım tezgâhları için ideal gözükmetedir [46].

3.12.2 Sert Metal Uçlu Kesiciler

Sert metal (Hard metal) adını taşıyan sinterlenmiş karbürler, bağlayıcı malzemeleri kobalt (Co) olan: tungsten karbür (WC), titanyum (TiC) ve Tantal (TaC) karbürlerinden sinterleme yolu ile elde edilen malzemelerdir. Çok sert, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı, yüksek çalışma sıcaklığı ve kesme hızına sahip bu malzemeler günümüzde gittikçe daha çok kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı: 900-1000°C' sertlik 87-92RA, çelik için kesme hızı: 30...300 m/dak dır [47].

Sert metaller yüksek derecede sert ve bu nedenle aşınmaya dayanıklı toz metalurjik malzemelerdir. Temel mikro yapı, WC ve (yüksek ısılatma özelliği nedeniyle karbür tanelerini bağlayıcı görevini üstlenen) kobaltdan oluşur [46].

WC ile beraber TiC , TaC ve niobyumkarbür (NbC) de karışık karbür olarak mikro yapıda yer alabileceği gibi, bazı özel sert metallerde krom karbür, molibden karbür ve bağlayıcı metal olarak nikel bulunabilir [46].

DİN 4990'a göre sert-metal sınıflandırılması ile ilgili evre miktarları aşağıda gösterilmiştir.

K-tipi sert metal: % 0-5 $TiC + TaC (NbC)$ gerisi WC- C_o

M-tipi sert metal: % 6-10 $TiC + TaC (NbC)$ gerisi WC- C_o

P-tipi sert metal: % 1 $MO + TiC + TaC (NbC)$ gerisi WC- C_o [45].

3.12.3 Seramikler

II dünya savaşı sırasında arzu edilen seri imalatın yapılmasında kesicilerin yerini alacak yeni tip bir kesici arayış süreci, seramik kesiciler konusundaki çalışmaları hızlandırılmıştır. Makine imalat sanayinde, değişik işlenebilmesi her zaman sorun olmuştur. Seri imalatın yapıldığı otomotiv, uçak vb endüstrilerde, kır dökme demir, yüksek alaşımlı , titanyum alaşımlı, nikel alaşımlı çeliklerin mevcut kesicilerle (HSS, sert metal kesici uçlar) işlenmesi zor veya hiç yapılaması gibi sebepler , üretim maliyetini doğrudan etkilemektedir. Bu yüksek alaşımlı çelikler veya ser malzemelerin işlenmesinde seramik kesici takımlar kullanılır [45].

Seramikler, ana malzemesi alüminyum oksiti olan ve sinterleme yolu imal edilen malzemelerdir. İçerdiği alüminyum oksitin saflığı %99,7 civarında, en yüksek sertliğe sahip ,yüksek sıcaklığa ve aşınmaya karşı çok dayanıklı olan ve yüksek kesme hızlarında kullanılabilen seramiklerin darbe, basma ve eğilme mukavemetleri çok düşüktür. Bu nedenle ince veya çok ince talaşlı imalatta kullanılabirler. Seramik takım malzemelerin özellikleri 1800 °C sertliği 89-95 Rocwell A; çelikler ve dökme demirler için: kaba talaş $v=100-300$ m/dak ince talaş $v=200-1000$ m/dak'dır [40].

Seramikler bileşenlerine göre üç gruba ayrılabilirler. Bunlar, saf Al_2O_3 , Sermet (seramik+metal) denilen ve Al_2O_3 ile Mo , Cr , Fe , Ni gibi metallerin karışımı ; Al_2O_3 ile TiC , WC gibi metelik karbürlerin karışımıdır Seramik takımları kullanıldığı işlenlerde iyi sonuç alabilmek için, tezgah tutturma tertibatı ile takım iş parçasını oluşturan sistemin rijitliği yüksek olması gerekir [42].

3.12.4 Elmaslar

En sert kesici malzeme olan elmas, sıcaklığa ve aşınmaya karşı çok dayanıklı fakat çok kırılğan ve pahalı malzemelerdir. Kırılğan olduğu için ince veya çok ince talaş kaldırma işlemlerinde kullanılır. Yüzeylerin pürüzlülüğü 0,1 mikron civarındadır. Normal İşlemlerde 100 ile 500 m/dak arasında olan kesme hızı, özel hallerde 3000 m/dak 'ya çıkabilir. İşleme sıcaklığı 1500 °C kadardır. Elmas ile işlenen başlıca malzemeler şunlardır Alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, bakır ve alaşımları, altın, gümüş, sert ve yumuşak lastik, pleksiglas, bakalit, sert kâğıttır [42].

Elmas işlenmesi zor olan malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Elmasın doğal ve yapay olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Doğal elmaslar, metal olmayan veya çelik olmayan metallerin işlenmesinde süper performans göstermektedir [45].

3.13 DFM Metodunun Firma İçinde Yayılımı

İmalatçıların esas amacı, tasarım kâğıt üzerinde değişmeyecek hale gelmeden önce imalat yöntemleri ile ilgili sınırlamaların tasarım koordinatörleri tarafından fark edilmesini sağlamaktır. İmalat yöntemi tasarım kuralları, belirli endüstrilere özgü imalat yöntemlerinin kurallarıdır veya önerileridir. Örnek olarak otomotiv endüstrisi araba şasisini üretirken sac şekillendirmede bu tasarım kurallarını kullanmaktadır. Minimum eğrilik yarıçapı, kalıptaki maksimum bükme açısı, şekillendirme ve yüzey işleme arasındaki ilişki kurallarla belirlenmelidir [5].

Tasarım mühendisi, çok geç olmadan veya değişikliklerin yapılması çok pahalı olduğundan tasarım yöntemi esnasında bu kuralları göz önünde bulundurmalıdır [5].

3.13.1 Yönetimin Rolü

Yönetimin rolü aşağıdaki 9 madde sıralanmıştır.

- 1) Yöneticilerin Rolü
- 2) Planlanmış Sıralama
- 3) Tasarımı Yeniden Düzenleme İçin Çaba Harcama
- 4) Takım
- 5) Takım Oluşumunu Yorumlama
- 6) Eşzamanlı Mühendislikte Risk Alma
- 7) Eş Zamanlı Mühendislikte Direnmeyi Değiştirme
- 8) Yeni Sistem Yönetimi
 - a. Takım Lideri
 - b. Sistem Araçlarıyla Takımda Yardımlaşma
 - c. CAD-CAM-CAE
 - d. Standardizasyon
 - i. Mühendislik Çizim
 - ii. Tasarım Özellikleri
 - iii. Parçalar
 - iv. Birleştirici Elemanlar, Malzemeler Ve Ticari Parçalar
 - v. Modüler
 - vi. Modüler
 - vii. Tasarım Organizasyonu Ve Prosedürler
 - viii. İşlem Sıraları
- 9) Arzu Edilen Sıralı DFM Faaliyetleri
- 10) Yeni Fikirler Üretmek İçin toplanma (Beyin Fırtınası)
- 11) Takımdakileri Eğitim Ve Öğretim
 - a) İş Eğitimi
 - b) Eğitim Kaynakları
 - c) Geleceğe Yönelik Eğitim
 - d) Bireysel veya Grup Eğitimi
 - e) Uzman Teknik Bilgiler İçin Kaynak [40].

3.13.2 Tasarım Çalışmalarının Yönlendirilmesi

Tasarım mühendisinin bu aşamada önündeki en büyük engel kendisinin birçok alanda uzman olmasının beklenmesidir. Tasarım mühendisinden genel olarak beklenen yeni ürün özellikleri, uygun fonksiyonellik ve kalitenin yanında DFM ile birlikte şimdi birde üretilebilirliğin sağlanması beklenmektedir. Birçok tasarımcı için bunun anlamı diğer alanlara temelden bir yönelim ve odaklanmadır. Artık sadece görevini yerine getiren ve istenen özelliklere sahip bir ürün üretmek yeterli olmamaktadır. Eş zamanlı mühendisliğin doğasında olan takım çalışması birçok firma için ürün geliştirme sürecinin şimdi olmadığı gibi geçmişte de bir parçası olmamıştır [35].

Aşağıdaki 4 madde olası etkileşimleri açıklamaktadır.

- 1) **Eşzamanlılık:** Ürün ve süreç tasarımı paralel ilerler ve aynı zamanda oluşur,
- 2) **Kısıtlar:** Süreç kısıtları ürün tasarımının bir parçasıdır,
- 3) **Koordinasyon:** Ürün ve süreçler etkin olabilmek için koordine edilmelidir,
- 4) **Uyuşma:** Kararlar bütün takımın katılımıyla alınmalıdır. Dolayısıyla ortak bir takım amaçlara sahip olunmalıdır. Eşzamanlı mühendislik sayesinde karar verme sorumluluğu örgütün en alttan üstte kadar her kademesinde vardır ve sorun çıktığında bilgi alışverişi tüm birimler arasında mümkündür [31].

3.13.3 Takım

DFM'nin başlıca amaçlarından birisi de, firma çalışanlarının tamamının ürün geliştirme faaliyetlerine katılımını sağlayarak takım (ekip) çalışması yapmaktır. DFM'nin takım çalışmasının hedefi üstün düşünmesi, astın bu düşüncelere katkıda bulunarak uygulaması değildir. Hedef, her kademedeki birey için hem düşünmenin hem de uygulamanın birleştirilmesidir. Zaten bu konuda Dr. Deming, yöneticilere bölümler arası engelleri yıkın demektedir. Eğer bir firmada başarılı bir ürün ve/veya hizmet üretimi yapılmak isteniyorsa en üst seviyedeki personelden tabana kadar bütün çalışanların takım halinde hem düşünme hem de uygulanma çalışmalarına katılımı sağlanmalıdır [48].

Takım çalışması ürün ve hizmet veren bireylerin sinerjiyi ortaya çıkartılması ve sağlıklı bir iletişim gereğidir. Bu olumlu özelliklerin gelişmesine zemin hazırlanması yönüyle takım çalışması önemlidir [48].

Takım, şirket tarafından aynı amaç doğrultusunda bir araya getirilmiş, birbirleri ile iş ilişkisi içerisinde olan, beraber hareket eden, çalışmanın sorumluluğunu paylaşan bireylerden oluşmuştur. Takımlar bir amaç doğrultusunda hareket ederler. Takımlar yapılacak konu hakkında iş paylaşımını gerçekleştirerek hem mevcut işin hafifletilmesi sağlar, hem de işin her ayrıntısı için yüksek performans gösterirler. Bu paylaşım sayesinde planlanan iş zamanında yetişir, yüksek verim alınır ve süreç içerisinde fikir alışverişi yapılmış olur. Takım çalışmalarında süreç içerisinde fikir alış verişi çok önemlidir. Birden fazla kişinin aynı amaç doğrultusunda fikir beyan etmesi yapılacak işin verimliliğini daha da artırır. Takımı oluşturan kişiler arasında iş paylaşımı, işin niteliklerine ve çalışanların işlevsel özelliklerine göre belirlenir [49].

3.13.3.1 Takımların Temel Özellikleri

DFM’de takımların (ekiplerin) temel özellikleri;

- Aynı amacı paylaşma ve aynı vizyon anlayışı içinde çalışma,
- Açık iletişim içinde olma,
- Güven ve karşılıklı anlayış içinde olma
- Yaratıcılık ve etkin çalışma,
- Proje odaklı çalışma yöntemleri geliştirme,
- Uygun lider bulma,
- Düzenli bir şekilde çalışmalarını gözden geçirme ve durum değerlendirmesi yapma,
- Şirket içindeki diğer takımlarla iyi ilişkiler kurma,
- Kişisel başarı beklemeden çalışma,
- Sabırlı ve düzenli çalışma,
- İyi bir muhakeme ve değerlendirme yeteneği olma,

- Planlama ve planlanana yapma yeteneğine sahip olmalıdır [17].

3.13.3.2 Takımlarda Bulunması Tavsiye Edilen bölümler

Takımlarda bulunması gereken bölümler aşağıdaki gibidir.

- İmalat
- Bakım ve onarım
- Kalite Kontrol
- Mühendislik [50].

3.14 Takımın Yönetilmesinde Yararlı Olacak Sistem Araçları

Takımın (ekibin) yönetilmesinde yararlı olacak sistem araçları Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat, Beyin fırtınası DFM aktivitelerinin yapılması için eş zamanlılığının uygulanmasını kapsar. Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat, Bilgisayar Destekli Tasarım, Bilgisayar Destekli İmalat, Bilgisayar Destekli Mühendislik konularını içerir [51, 52,53].

3.14.1 Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat

Tasarım projesinin yürütülmesinde, aşağıdaki noktaların göz önünde tutulması gerekmektedir. Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat (CIM), bilgisayar teknolojisinin imalat alanındaki amacı mühendislik ve işletim etkinliklerini aynı çatı altında toplamaktır. Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat tamamen otomatik bir fabrika oluşturmaktan çok, değişik teknolojileri kullanarak otomasyon ve insan bütünlüğünü sağlayarak azami kârla çalışan bir fabrika oluşturmaktır. CIM aslında birçok küçük yapı taşının ortaya çıkardığı bir bütündür. Dolayısıyla tek başına bir CIM kavramından bahsetmek mümkün değildir. CNC tezgâhlar, ana bilgisayarlar, CAD-CAM-CAE programları, yerel ağlar, bilgisayarlı idari sistemler vb. Bilgisayar Bütünleşik İmalat denince akla gelen birkaç yapı taşıdır [51].

3.14.1.1 Bilgisayar Destekli Tasarım

Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) herhangi bir Ar-Ge veya tasarım probleminin çözümünde, grafik özellikler kullanılarak iki veya üç boyutlu çizimlerin ve tasarımların, bilgisayar desteği ile oluşturulmasına dayanan çalışma yöntemlerinin tümüdür. CAD, bilgisayar sistemlerinin kullanılarak parça çizme, düzenleme, analiz ve tasarımın optimizasyonu gibi işlemleri kapsamaktadır. Bu sistemler yazılım ve donanım kısımlarından oluşur. Yazılım olarak, parçaların ve mekanizmaların çizimleri, dinamik ve kinematik simülasyonları, ısı transferi hesapları ve mukavemet analizleri örnekleri verilebilmektedir [52].

Bilgisayar Destekli Tasarımın Avantajları

- Kullanımı kolay biçimde tasarıma olanak sağlamalı,
- Yeni ürünlerin en kısa sürede, etkin ve çekici üretimi sağlamalı,
- Müşterilerin hızlı ve ayrıntılı taleplerine cevap verebilme zamanının kısalması,
- Daha çok tasarım alternatifleri arasından seçim yapabilmeyi sağlaması,
- Gelecekteki gereksinimler için etkin ve kolay ulaşılır kayıt tutmasıdır [51].

3.14.1.2 Bilgisayar Destekli İmalat

Bilgisayar Destekli İmalat (CAM), genel olarak bir hammaddeyi satışa hazır hale gelmiş ürüne çeviren, bilgisayar kontrollü üretim teknikleri ve onların ön hazırlık basamaklarının tümü olarak tanımlanabilir. Bilgisayar Destekli İmalat, Bilgisayar Destekli Tasarım, Bilgisayar Destekli Stok Kontrolü ve bilgisayar kontrollü işletim arasında köprü oluşturmaktadır [51].

CAM, imalatla bilgisayar faaliyetlerinin bütününe kapsamaktadır. Bu sistemlerde imalat süreci bilgisayar kontrolü ile yapılmaktadır. CAM sistemleri tasarım veri tabanını kullanma yoluyla, bir hammaddenin nihai (son) mamule dönüşmesini sağlayan tüm imalat tekniklerini kapsamaktadır. CAM, tezgâh hareketlerinin ve

kesme parametreleri gibi imalat işlemlerini bilgisayar kontrolünde yapılmasıdır. Değişik parça üretebilmesi, sık sık tasarım değişikliği yapılabilmesi, karmaşık imalat süreçleri ve bir parça üzerinde birden çok işlem yapılabilmesi şeklinde değerlendirilebilir. CAD bir parçanın tanımını oluşturur, CAM ise bu tanımlamayı yorumlayarak parçanın imalat tekniklerini tespit eder [53].

CAD sistemlerinin sağladığı yararlar şöyle sıralanabilir

Tasarım Kalitesi: Bilgisayarda geliştirilen model üzerinde bir çok seçeneğin değerlendirilebildiği ve model parametreleri için optimum sonuçlara ulaşılabildiğinden dolayı tasarımın kalitesi yükselmektedir.

Tasarım Güvenilirliği: Tasarımlar için hassas analiz teknikleri kullanıldığından ve sümilasyon yöntemi ile tasarımlar denendiğinden, güvenilirlik yükselmiştir.

Dokümantasyon: Tasarımı yapılan parçaların, grafiklerin, raporların otomatik olarak kısa zamanda hazırlanabilmesidir.

Yapma Kolaylığı: Tasarımda ve imalatda yapılabilecek değişiklikleri hızlı bir şekilde uygulayabilmek ve bu şekilde hataları kısa zamanda düzeltebilmek mümkündür. Ayrıca bu şekilde yeni modellere ulaşmak daha kısa sürede ve kolay olacaktır [53].

3.14.1.3 Bilgisayar Destekli Mühendislik

Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE), tasarımcının ürünün nasıl tepki vereceğini ve CAD geometrisini analiz eden, böylece tasarımı yenileme, iyileştirme imkânı bulabilmesine olanak sağlayan bilgisayar sistemleridir. CAE araçları çok geniş bir analiz yelpazesine hitap eder. Örneğin, kinematik programları mekanizmaların hareket yollarını ve ayrılmazlık hızlarını belirler. Geniş yer değiştirme dinamik analiz programları otomobil gibi karmaşık oluşumların yük ve yer değişimlerini belirler. Mantıksal zamanlama ve doğrulama programları karmaşık elektronik devrelerin işleyişini taklit ederler [54].

Belki de, mühendislikte en çok kullanılan bilgisayarlı analiz metodu sonlu-elemanlar Yöntemi tekniğidir. Bu yöntem, diğer yöntemlerin zorlandığı gerilim, deformasyon, ısı transferi, manyetik alan dağılımı, akışkanlık ve diğer sürekli alan problemlerini çözmede kullanılır. Sonlu elemanlar analizinde yapıyı parçalı elemanların (ki bilgisayarın işleyiş prensibine uygundur) oluşturduğu bir analiz modeli temsil eder [54].

3.15 Beyin Fırtınası

Basit anlamda, bir grup insanın yaratıcı bir şekilde düşünerek fikir üretmesi tekniğidir. Beyin Fırtınası, mevcut bazı kural ve teknikleri kullanarak yeni fikirlerin teşvik edilmesi ve oluşturulması yöntemidir. 1941 yılında “Alex Osborn” tarafından geliştirilen bu yöntem, özel bir grup oturum şeklinde olup değerlendirme ve geliştirme için bir soruna çok sayıda çözüm bulma tekniğidir. Beyin fırtınasında karşılaşılan problemlerin belirlenmesi, çözümlenmesi, yönlendirilmesi, kolaylaştırılması, sistematik bir yaklaşımla bilgi ve verilerin değerlendirilmesi amaçlarına yönelik olarak tasarlanmıştır [55].

Beyin fırtınası tekniğini yönetmede üç temel metot kullanılır.

Çember Metodu: Grubun her elemanı, sırayla, tartışmanın amacıyla ilgili bir fikir beyan eder. Her fikir bir tablo üzerinde kaydedilir. Sıradaki elemanın söyleyebileceği bir şeyi yoksa kısaca “pas” der. Bir sonraki turda bu kişi farklı bir fikir üretebilir veya yeniden “pas” diyebilir. Herkesin söyleyecekleri bitene dek, fikirler kaydedilir.

Serbest Çark: Metodu: Ekip üyeleri fikirlerini özgürce ve rastgele söyler, her fikir kaydedilir. Süreç kimsenin ekleyeceği bir şey kalmayınca biter.

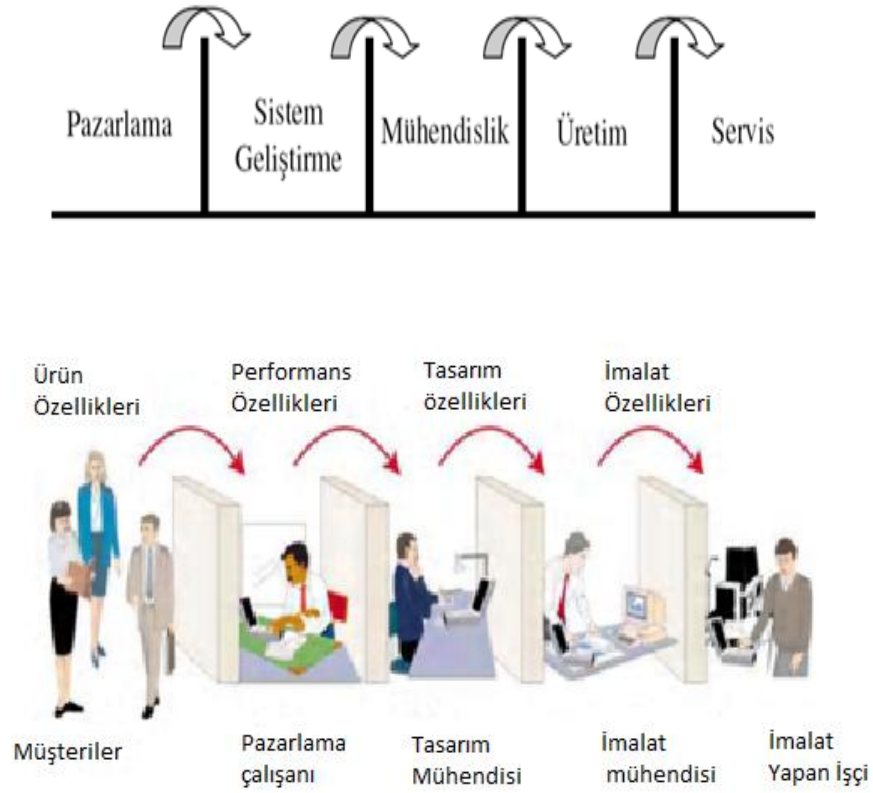
Slip Metodu: Ekip üyeleri bir konu, bir problem ya da seçenek üzerinde düşüncelerini bir kâğıda yazarlar. Mümkün olduğunca fazla fikir üretilmeye çalışılır. Kâğıtlar toplanır ve tüm fikirler tahtaya yazılır [56].

3.16 DFM Aktivitelerinin Yapılması İçin Eş Zamanlılığın Uygulanması

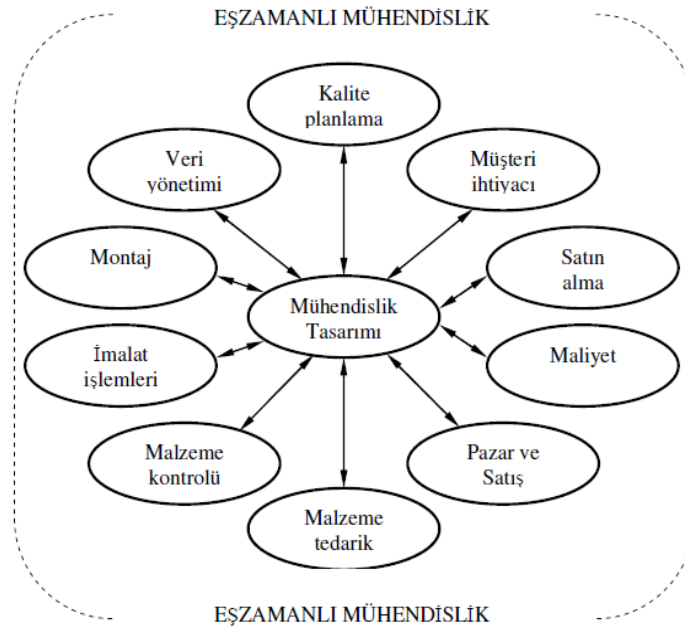
Seri mühendislikte de faaliyetler birbirinin peşi sıra gerçekleştirildiğinden, teknik bir karar verildiğinde bunun sonradan daha iyi bir alternatifiyle değiştirilmesi güçtür; çünkü böyle bir değişiklik, tüm sistemin yeniden ele alınmasını gerekli kıldığından, ürünün pazara sunulma zamanında gecikmelere sebep olmaktadır [56].

Diğer yandan, seri mühendislik anlayışıyla yürütülen bir ürün geliştirme sürecinde yapılacak düzeltmelerinin ürün yaşam çevriminin son aşamalarında oluşması bu değişikliklerden kaynaklanan maliyeti de arttırmaktadır. Bu durumu dikkate alan ürün tasarımcısı, imalatla ilgili konuları yapısal, işlevsel ve estetik gerekliliklerle paralel olarak mümkün olduğunca erken hesaba katmak zorundadır [56].

Sonuç olarak, fonksiyonlar arası yüksek revizyon, yoğun bürokrasi, gereksiz karmaşıklık, tasarım değişikliklerinden kaynaklanan yüksek maliyet, daima uzun tasarım ve yapım dönemi ile düşük kaliteden kaynaklanan müşteri şikâyetleri ve müşteri tatminsizliği seri mühendisliğin genel karakteristikleri olarak sayılabilmektedir. Hataların tasarımın son ve geri dönülemez aşamasında ortaya çıkması imalat masraflarını arttırabileceği gibi, geliştirilen yeni ürün pazarın ihtiyaçlarına cevap veremeyebilir. Bu da imalatçıları küresel pazarda yer alabilmek için mühendislik yöntemlerini yeniden gözden geçirmeye ve sistemlerinde köklü değişiklikler yapmaya itmektedir [56].



Şekil 3.6 Seri mühendislik sistemi akış diyagramları [7, 9].



Şekil 3.7 Eşzamanlı mühendisliğin tasarım araçlarını disipline etmesi [58].

3.17 Tasarımın Değerlendirilmesi

Yeni ürün gelişmesini çağdaş endüstriler için hayati bir çaba olduğunu belirtmiştir. Şirketler, yenilik yapmayı öğrenip, yeni ürünleri kontrol edip, fikirden somut adıma geçerken başarılı yeni ürünler için fikirleri birleştirmeleri gereklidir [58].

Performans ve karlılığın belirlenmesi için, yeni ürünün organizasyonel bir bakış açısıyla tekrar gözden geçirildiği aşamasıdır. Tasarım değerlendirmenin temel amacı, belirli bir sürede yeni ürünün finansal sonuçlarını incelemektir. İncelemede talep, rekabet koşulları ile satış, maliyet, kar ve zarar olasılığı belirlenir [31].

Ürünün şeklini, satış gücünü ve rakabetçilerle karşılaştırılan satış performansını göstermektedir. Ürün seviyesi göstergeleri, ürünün kalitesinin, performansının ve kullanıcı dostluğunun müşteriler tarafından nasıl değerlendirildiğini gösterir. Yeni bir ürünün finansal performans ölçüsü projenin karlılığı üzerine bilgi sağlamaktadır ve endüstri ortalamasıyla karşılaştırılan yeni ürünlerin yüzdesini içermektedir. Firma seviyesi olgusu ise firmanın satışının yüzdesi ve son 3 yılda pazara sunulan yeni ürünler tarafından elde edilen kar yüzdesi olarak tanımlanmaktadır [31].

3.18 Montaj Değerlendirme Sistemleri

Montajın etkinliğinin ilk ölçümü, ürünün bileşen parçaların veya alt montajların sayısına bağlıdır. Her bir ayrı parçanın mevcudiyeti sorgulanmıştır ve tasarımcının parçanın neden eleme edilemeyeceği veya diğerleri ile birleştirilemeyeceği sorusunu yanıtlamalıdır. Sandalye iskeletinde (Şekil 3.8) bir bileşenin teorik asgari bir parçası vardır, fakat eskisi dokuz ayrı parçadan oluşmaktadır [59].



Şekil 3.8 Sandalye iskeleti

Gerçekten ayrı olmaları gerekip gerekmediğini görmek için bileşen parçaların teorik minimum sayısını bulunuz, her çift bitişik bileşen parçaları inceleyiniz. Aynı zamanda, cıvatalar, somunlar ve klipsler gibi birleştirici parçalara da bakınız [59].

$$\text{Gelişim potansiyeli} = \frac{(\text{Parçaların mevcut sayısı}) - (\text{teorik asgari. parça sayısı})}{\text{Bileşen parçaların mevcut sayısı}}$$

$$\text{Gelişim potansiyeli} = (9-1)/9 = \% 89 \text{ mevcut tasarım zayıftır.}$$

Gelişim potansiyelini ölçünüz. Şayet gelişim potansiyeli: %10'dan daha az ise, mevcut tasarım mükemmeldir. %11-20 ise, mevcut tasarım çok iyidir. % 21-40 ise, mevcut tasarım iyidir. 41-60 ise, mevcut tasarım yeterlidir %>60 ise, mevcut tasarım zayıftır [59].



Şekil 3.9 Sandalye İskeletinin Yeniden Tasarımı

$$\text{Mevcut gelişim} = \frac{(\text{Önceki tasar. bileşen sayısı}) - (\text{yeniden tasar. bileşen. sayısı})}{\text{Önceki tasarımdaki bileşen parça sayısı}}$$

Mevcut gelişim $= (9-4)/9 = \%56$ mevcut tasarım yeterlidir.

Montajı verimli şekilde yapınız. Şayet montajı yapılacak bir N bileşen parçası varsa, bu potansiyel N!'dir. Bunlar için farklı muhtemel montaj yerleştirmeleri (örneğin $10! = 3,628,800$) Verili bir montaj, montajı birkaç adımda tamamlayabilendir. Bileşen parçalara zarar vermekten çekininiz. Biçimsiz ya da istikrarsız ürün pozisyonlarından, montaj işçisi ve makinelerden kaçınınız. Daha sonra birleştirilecek alt parçaların bağlantısız kalmalarından kaçınınız [59].

4. MONTAJA İÇİN TASARIM

İmalat İçin Tasarım, ürünün tasarımında imalat süreçlerinin kullanımını azami seviyeye çıkaran sistematik bir süreç olarak tanımlanabilir. Kısaca ürünün tasarım aşamasında, üretim aşamalarının da dikkate alınması olarak tanımlanabilir. Geleneksel tasarım/üretim sürecinde tasarımcılar kendilerine verilen görevin sadece; ürünün performansı, güvenilirliği ve estetik görünüm kazandırılmasından ibaret olduğunu ve tasarlanan ürünü imal etmenin de imalat mühendislerinin görevleri olduğunu düşünmektedirler. Fakat akısı sağlayabilmek için ürünün üretim şeklinin de değiştirilmesi gerekebilir. DFM imalatı daha kolay ürünler tasarlamaktır. Montaj İçin Tasarım (DFA) ise onun bir alt kümesidir ve ürünün montajını kolaylaştıracak şekilde tasarlanmasıdır. Çalışmada daha kolay üretilebilirlik ve akışın sağlanabilmesi için ürününün montaj tasarımında değişiklik yapılmıştır [57].

4.1 DFA Yönteminin İlkeleri

DFA'nın Yönetim İlkeleri Aşağıdaki Gibidir.

- Tasarımcının her bir parça için bu parçanın neden elenemeyeceğini veya diğer parçalarla neden birleştirilip tek parça olarak kullanılamayacağını sorgulaması,
- Özel olarak bu amaç için geliştirilmiş belli işlemlerin standart zamanlarını içeren veritabanlarını kullanarak gerçek montaj zamanının bulunması,
- Tasarımın verimlilik indeksinin elde edilmesi,
- Üretim ve kalite problemlerine neden olabilecek montaj zorluklarının tanımlanması olarak özetlenebilir [6].

1970'lerden günümüze kadarki geçen sürede birçok DFA yöntemi geliştirilmiştir. Boothroyd ve Dewhurst yönteminin dışında Lucas yöntemi de önemli bir yöntemdir. Ayrıca endüstriyel kuruluşların kendileri için geliştirdikleri DFA değerlendirme

yöntemleri vardır. Bunlardan biri Hitachi şirketinin geliştirdiği, montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi ismini verdikleri sistem, bir diğeri Sony şirketinin geliştirdiği, Montaja İçin Tasarımda maliyet verimliliği yöntemi ya da yine General Elektrik şirketinin mühendislik ve üretim departmanlarının geliştirdiği, elle ve otomasyon sistemi montajlar için parçaların yeniden tasarlanmasını değerlendiren yöntem örnek olarak verilebilir [6].

Montaj işlemindeki kayıpları azaltmak, montaj operasyonunu hızlandırıp, montaj süresini minimize ederek, montaj maliyetlerini düşürmek için çeşitli optimizasyon metotları geliştirilmiştir. Kullanılan metotlardan birisi de “Montaj İçin Tasarım (DFA)’dır [60].

DFA metodolojisi; ürünün montaj maliyetini en aza indirmek için ürünün sistematik bir şekilde analiz edilerek ürün dizaynının basitleştirilmesidir [60].

Bu basitleştirme işlemi:

- 1) Ürün tasarımındaki parça sayısını azaltmak,
- 2) Geri kalan parçaların kolaylıkla montaj edilebilir olmasını ile sağlanır” [60].

DFA yöntemi ile montajdaki parça sayısı azaltılmakta ve montaj parçalarının daha kolay birbirine bağlanması hedeflenmektedir. Montaj parçalarının azaltılması ve kolay montaj operasyonunun sağlanması, montaj zamanını azaltacağı gibi maliyeti de düşürecektir. Meydana gelen problemlerin montaj esnasında aşılması maliyetli olacağından, problemlerin tasarım aşamasındayken çözülmesi hedeflenmektedir [60].

DFA uygulamaları genelde iki şekilde olmaktadır.

- 1) İmalatçı kurulunun, imal etmekte olduğu bir ürünün yeniden tasarımında,
- 2) Tasarım safhasında olan bir ürünün alternatif tasarımlara göre değerlendirilmesinde uygulanabilir [60].

Montaj işleminden etkin verim alınması için montaj operasyonunun en aza sürede tamamlanması gerekir. Montaj parçalarının doğru ve kaliteli, birbirlerine montajının

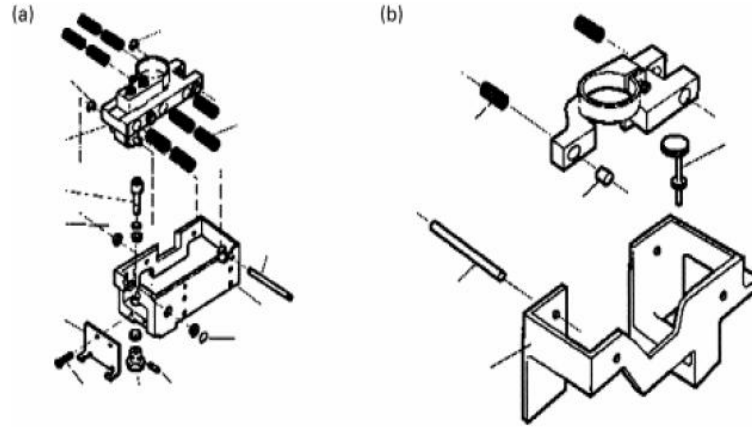
yapılabilmesi için gereksiz montaj adımları çıkartılmalı, tasarım aşamasında kolay montaj ve montajın en aza parça ile gerçekleşmesi için tasarım yapılmalıdır. DFA ile parça sayısı azalacak, tasarım ile imalat aşamalarında daha az parça için işlem yapılacaktır. Tasarım ve imalat süreçlerindeki parça sayısının azaltılması sonucu daha az envanter takibi, dökümanlarda azalma, malzeme akışında kolaylık gibi sonuçlar elde edilecektir. Daha az montaj parçası ile işlem yapılacağından kalıp, tutucu aparatlar ve ekipmanların maliyetlerinde de azalma olacaktır [60].

4.2 DFA ‘nın Hedeflediği Avantajları

DFA’nın Hedeflediği avantajlar aşağıdaki gibidir.

- Belli montaj operasyonlarını eleyerek ya da basitleştirerek montaj maliyetlerini azaltır,
- Tasarımı oluşturacak parça sayısını indirmek için yönlendirici olmalıdır,
- Montaj otomasyonunu sağlamak ya da robotik montaj teknikleri içinde uygun, olanları değerlendirmek için tasarım kuramları geliştirmektir,
- Montaj rahatlığını, basit idare ve taşımayı sağlamaktır,
- Tertibat ve parça, tasarım farklılığı, montaj hareketleri, montaj yönergelerinin sayısını indirmektedir,
- Otomatik hat dengeleme sağlamaktır,
- Görülebilir tıkanmayı, eşzamanlı tertibat operasyonlarını, montaj hataları olasılıklarını engellemektir,
- Modüler elemanların birleşmesiyle farklı ürün üretimini düzenlemektir [42].

Bir montajda ürünün ya da alt montaj grubunun maliyetini etkileyen iki temel faktör vardır. Bunlar toplam parça sayısı ve taşıma, ekleme ve sabitleme işlemlerinin kolaylığıdır. **Şekil 4.1** aynı fonksiyonu gerçekleştiren bir alt montaj grubunun hem geleneksel yöntemle hem de DFA yöntemi uygulanmış haliyle yeniden göstermektedir [6].



Şekil 4.1 Bir alt montaj grubunun geleneksel ve DFA yöntemi uygulanmış tasarımlarının karşılaştırılması [18].

4.3 DFA Yönteminin Önemli Kriterleri

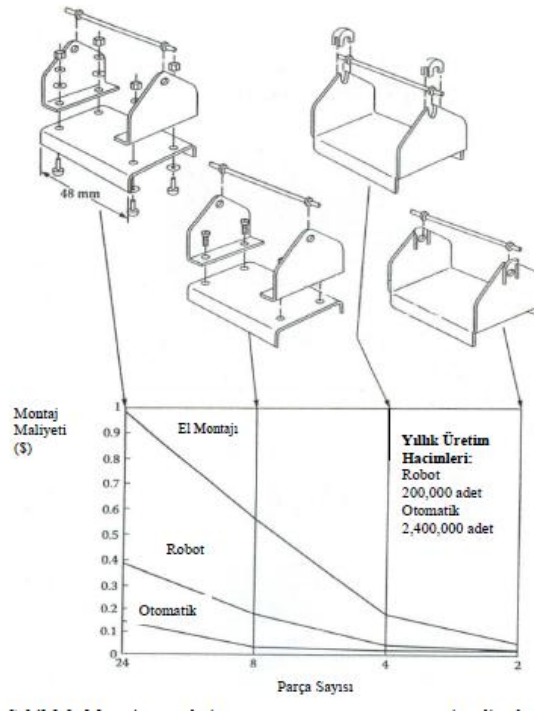
- Parça sayısını, olası montaj çeşitliliğini, olası montaj yönünü azaltmak
Montajda otomatik hizalamayı, montajın yapılacağı yüzeye kolay erişmeyi, simetrikliği ya da aşırı asimetrikliği, parçaların basit taşıma ve eklenmesini sağlamak,
- Görsel engellerden, eşzamanlı bağlantı işlemlerinden, ön ayar gerektiren işlemlerden, montaj hatasına neden olacak işlemlerden kaçınmaktır [6].

Herhangi bir tasarım ya da tasarım aktivitesinde iki temel hedef vardır. Bunlar gerekli ve beklenen fonksiyonelliğin sağlanması ve maliyetin azaltılmasıdır. Bu iki hedef, montaj yöntemi ve montaj maliyetlerini göz önüne almaksızın başarılamaz. İşte bu yüzden montaj işlemi, ürün tasarım ve üretim yöntemlerinde karar verme pozisyonundaki sorumluların dikkate alması gereken önemli ve vazgeçilemeyecek bir unsurdur [18].

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

El montajı ister tek istasyonlu ister bir hat isterse hibrit yöntemlerle yapılsın, araştırması ve kurulması detaylı çalışma gerektiren bir yöntemdir. Bu yöntemde farklılık yaratacak teknolojik gelişmeler kolay kolay olmaz. Aslında oluşan gelişmelerde üretim sisteminden, malzeme akışındaki düzelmelerden ya da hizmetsel kayıplardaki azalmalardan kaynaklanır [6].

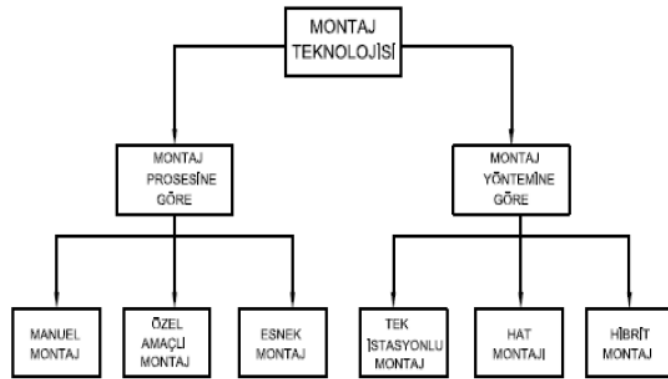
Otomasyon montaj ise kendi içinde özel amaçlı otomasyon montajı ve esnek montaj olmak üzere ikiye ayrılır. Otomasyon sistemlerde genel olarak her bir üniteye görevi ve sorumluluğu belli bir tip montaj aktivitesi yapılır. Özel amaçlı otomasyon sistemleri, seksen yıla yaklaşan bir süreden beri kullanılan pek fazla teknolojik değişikliğin görülmediği sistemlerdir. Buna karşın iyi ve uygun koşullarda çalışan özel amaçlı otomasyon makineleri, maliyet verimliliği açısından çok rekabetçi sistemlerdir. Esnek montaj sistemi ise kendine özgü tasarım kuralları olan, kendine özgü ekipmanları olan ve birden çok montaj aktivitesiyle sorumlu olan sistemlerdir [6].



Şekil 4.2 Montaj proseslerine ve parça sayısına göre montaj maliyetleri [6].

Montajda oluşabilecek hatalar düşünüldüğünde elle montajdaki hata en son eklenen parçadaysa hatanın telafisi kolay, hata önceki parçalardaysa hatanın telafisi olasıdır fakat çok pahalıdır. Özel amaçlı otomasyon sistemlerinde hata tespiti kolay ama hatanın telafisi çok zordur. Esnek montaj sistemlerinde ise hata tespiti genelde kolay ama hatanın telafisi bazı durumlarda mümkün iken bazı durumlarda mümkün olmamaktadır. Montaj proseslerine göre montaj tiplerindeki montaj maliyet eğrilerini gösteren grafik **Şekil 4.2**'de verilmiştir.

Diğer taraftan ise montaj sistemleri montaj yöntemine göre tek istasyonlu montaj, hat montajı ve hibrit montaj olmak üzere üç çeşittir. Tek istasyonlu montaj, tüm montaj faaliyetlerinin tek bir yerde yapıldığı montaj tipi iken hat montajı ise her bir işlem noktasında yalnız bir çeşit aktivitenin yapıldığı, montaj edilecek parçaların hareketli olarak işlem noktalarına geldiği ve montajın bu şekilde tamamlandığı sistemdir. Hibrit sistem ise tek istasyon ve hat montajının birleştirilmesiyle oluşmuş sistemlerdir. Montaj sistemlerinin genel yapısı **Şekil 4.3**'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Montaj teknolojisi [6].

Ürün tasarımında montaj yöntem ve proseslerine bağlı olan ve olmayan çeşitli faktörler vardır. Bunlar arasında

Montaj yöntemi ve proseslerinden bağımsız olan ürün tasarım faktörleri;

- Üründeki operasyon sayısı
- Montaj öncelik sırası
- Standardizasyon [31].

Montaj proseslerine bağlı olan tasarım faktörleri;

- Yıllık üretim sayısı
- Gerekli hizmet ve ekipman sayısı
- Parça büyüklüğü ve ağırlığı [6].

Diğer taraftan montaj yöntemine bağlı olan tasarım faktörleri ise;

- Olası montaj hatalarını düzeltme kolaylığı,
- Ekipman karmaşıklığı ve ekipman değişim süresi olarak özetlenebilir [6].

Montaj hattının tasarımı için tüm olası ve en uygun montaj sıralarının tespit edilmesi son yıllarda önemli bir araştırma konusudur. Bu alandaki son çalışmalar oldukça kısa sürede mümkün olduğunca kullanıcı etkileşiminden uzak, en uygun ve en uyguna yakın montaj sıraları üretmeyi ve bu sıraları gerçek bir montaj sistemine uygulamayı hedeflemiştir. Montaj sıralarının elde edilmesi iki nedenden dolayı çok zordur. İlki, geçerli olası montaj sıralarının sayısı, az sayıda parçadan oluşan üründe bile fazla olabilmekte iken, parça sayısı çok olan ürünlerde ise şaşırtıcı derecede çok olabilmektedir. İkinci ise, küçük tasarım değişiklikleri montaj sıralarının uygun seçeneklerini tamamen tekrar düzenlemeyi gerektirebilir Montaj teknolojisi, montaj prosesine ve montaj yöntemine göre ikiye ayrılmaktadır [5].

4.4 Montaj prosesi

Montaj prosesine göre kendi arasında aşağıdaki üçe ayrılır

- 1) Manuel (elle) montaj
- 2) Özel amaçlı montaj
- 3) Esnek montaj [32].

Manuel montaj; bu tip montajda operatörün yetenekleri ön plana çıkmaktadır. Operatör, yapılan işlem sırasında neyin doğru olarak yapılacağını belirlediğinden olanaklar geniş bir aralığı kapsamaktadır. Operatörler, farklı yerlerdeki, farklı amaçlar için hizmet eden parçaları bir araya getirmektedir. Küçük parçalar, ağır veya büyük parçalar, kavraması zor olan parçalar (keskin, kırılabilir, kaygan vb.) operasyon aşamasında işlenmesi uzun zaman alan parçalardır. Özel amaçlı montaj ve esnek montaj otomasyon montaj sisteminin kendisi içinde iki ayrı bölüm olarak ayrılır. Bu tip montaj sistemlerinde genel olarak her bir üniteye görevi ve sorumluluğu belli bir tip montaj aktivitesi yapılır. Özel amaçlı montaj sistemleri iyi ve uygun koşullarda çalışırken, maliyet verimliliği açısından çok rekabetçi sistemlerdir. Esnek montaj sistemlerinde ise kendine özgü tasarım kuralları olan, kendine özgü elemanları olan ve birden çok montaj aktivitesiyle sorumlu olan sistemlerdir [47].

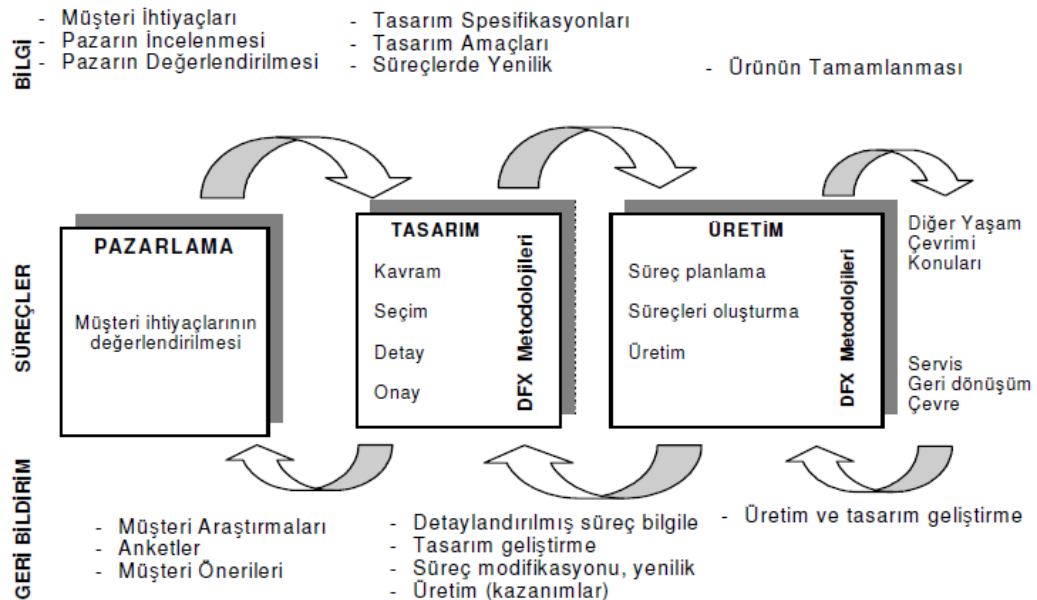
Tek istasyonlu montaj; tüm montaj faaliyetlerinin tek bir yerde yapıldığı montaj tipidir. Hat montajı ise her bir işlem noktasında yalnız bir çeşit aktivitenin yapıldığı, montaj edilecek parçaların hareketli olarak işlem noktalarına geldiği ve montajın bu şekilde tamamlandığı sistemdir. Hibrit montaj sisteminde ise, tek istasyon ve hat montaj sistemlerinin birleştirilmesiyle oluşmuş montaj sistemidir [46].

Montaj yöntemine göre ise aşağıdaki gibi 3 ayrılır.

- 1) Tek istasyonlu montaj
- 2) Hat montaj
- 3) Hibrit montaj

5. MÜKEMMELLİK İÇİN TASARIM

Ürün geliştirme aşamalarında ürünün, üretilebilirliği, montaj edilebilirliği, çevreye etkileri, geri dönüşümü gibi birçok faktöre bağlı olarak geliştirme çalışmalarının yapılması söz konusudur. Ürünün mükemmelliğini sağlayan bu teknikler DFX metodolojileri olarak adlandırılmaktadır. Amaç, ürünün en uygun tasarımının gerçekleştirilmesi, üretilmesi ve olası sorunların tasarım aşamasında dikkate alınması ve çözülmesiydi. X için tasarım DFX olarak gösterilmektedir Ürünlerin ürün yaşam çevrimi boyunca, kalitesi, üretimi, çevreye etkileri gibi tasarım değişkenlerinden her birinin, dikkate alınmasını sağlar. Ürünün tasarımında her hangi bir konuda karar verilmesi aşamasında dikkate alınmaktadır. Örneğin montajın kolay değerlendirilmesi için, Montaj İçin Tasarım (DFA) tekniği, ürünün üretilebilirliğinde: İmalat İçin Tasarım (DFM) tekniği, bir ürünün çevreye etkileri ile ilgili yapılan çalışmalarda, Çevre için Tasarım (DFE) tekniği kullanılmaktadır. Ürün geliştirme çalışmalarında DFX çevrimi Şekil 5.1de görülmektedir [9].



Şekil 5.1 Ürün Geliştirme Çalışmalarında DFX çevrimi [9].

Bu çalışmalar genel olarak Mükemmellik İçin Tasarım (DFX) olarak tanımlanır. Günümüzde çevresel kaygı, tasarım etapları süresince sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm konularına eğilmeyi gerektirmiştir. Yenilikçi tasarım adına ürün için toplam hayat çevrimi maliyetlerini düşürme ihtiyacı Tam Zamanlı Üretim (JIT) endüstrisinin önemli parçası haline gelmiştir. Bu sebeplerden ötürü araştırmacılar DFA, DFM, DFD, DFE, DFR Tasarım, Geri Dönüşüm İçin Tasarım, Ürün Hayat Çevrimi İçin Tasarım Sürdürülebilirlik İçin Tasarım vb. yaklaşımlar üzerine de odaklanmışlardır. Bu çalışmalar genel olarak Mükemmellik İçin Tasarım (DFX) olarak tanımlanır [38, 61].

DFX araştırmaları, tüm tasarım hedeflerini ve buna bağlı kısıtları tasarımın erken etaplarında düşünmeyi ve irdelemeyi vurgular. Tüm hedefler ve kısıtlar erken planlanarak organizasyonlar daha iyi ürün üretebilir. Daha ilerisini düşünürsek, ürün pazara daha erken girebilir; çünkü yapısal olarak sadeleştirilmiş ürün, problemlerin, iptallerin ve sipariş değişikliklerinin etkisi olmaksızın ilk basta doğru mantıkla tasarlanır. DFX araştırmaları içerisindeki DFM ve DFA yaklaşımları, ürünleri daha düşük maliyetlerle daha kolay üretilmesini sağlar [20].

DFX metodolojisi, ürünün mevcut ve gelecekte olabilecek müşteri beklentilerini de karşılayacak biçimde tasarımını gerçekleştirmelidir. Ürün geliştirme sürecinin bütün aşamalarında ürünün tasarımında, ürünün kullanımı esnasında ya da ürünün ömrünü tamamladıktan sonra çevre ve insan sağlığına olan etkilerinin dikkate alınarak uygun malzeme seçimini sağlar [60].

De-montaj için, geri dönüşüm için ve ürün çevrimi için tasarımlar ise tasarımcı planlarını ürün hayat ömrü yararlarına göre yapılmasını sağlar. Çevre için tasarım çevre güvenliği ve sağlığı ile ilgili konulara odaklanır ve böylece dolaylı ürün maliyetlerini azaltır. Kalite, sürdürülebilirlik, güvenilirlik yeterlilikleri, tasarım ve süreç kontrolleri ile pahalı testler, teşhis ve ekstra çalışmalara göre daha optimal sağlanır [61].

5.1 Mükemmellik İçin Tasarım Başarı Faktörleri

5.1.1 Mükemmellik için Tasarım Yaklaşımında Entegrasyon

Mükemmellik için tasarım uygulamaları tasarımcılar ve mühendisler için bireyselden öte bir takım olarak çalışmayı gerektirir. Çoğunlukla bu proje içerisinde kırılmalara yol açabilir. Ayrıca tasarımcılar çok daha kapalı bir çalışma yapısına sahiptirler ve analizler sonucu ilk tasarımlarının yeterince etkin olmadıklarını fark ederler. Bunlar da mükemmellik için tasarımın, tasarım süreçleri içerisinde daha çok entegrasyona ihtiyaç duyduğunu gösterir. Bu entegrasyon makine araçları kontrolünden kalite kontrol departmanına gibi ürün tasarımından süreç planlamasına, parça üretiminden montaja ve lojistiğe giden işbirlikleriyle gerçekleştirilebilir. Yeni yönetim sistemleri pazar hedeflerini geliştirmek, karar almayı yaygınlaştırmak, pazar çevrimini genişletmek ve ürün hayat çevrimini kısaltmak için organizasyona yardım etmek adına geliştirilmelidir. Gelecek entegrasyon araştırmaları aşağıdaki konulara değinmelidir [61].

- Kullanıcı için ürün hayat çevrimi ihtiyaçlarını sistematik olarak tanımlamalıdır. Değer için tasarım ve QFD ile temel bir çalışma yapılmalıdır. Ayrıca bu ihtiyaçları tasarım adımlarına yayacak bir metodoloji yaratılması gerekli,
- Kullanıcılar için fonksiyonel ve hayat çevrim ihtiyaçlarını belirlemesini; tasarımlar için malzeme, konfigürasyon, geometri ve üretim sürecini belirleyecek uygun tasarım alternatiflerini bulmasını sağlayan metotların geliştirilmesi gerekli,
- Tasarımın etkinliği için anlaşılır ölçümlerin yapılması; güncel tasarım olurluluğu yaklaşımının belirlenmiş hayat çevrim maliyeti gibi tasarım adına kantitatif ölçüleri elde etmeyi sağlar, üretilebilirlik gibi belirli ürün hayat çevrimi değerleri üzerine deneyimsel bilgiler ve olay bazlı odaklandırılması gereklidir [61].

5.1.2 Mükemmellik için Tasarım ve İnsan Faktörü

Ergonomi (insanı baz alan teknolojiler) DFX uygulamalarıyla beraber düşünüldüğünde çok daha önemli hale gelmektedir. Bunun sebebi de sistem görüntüleme, iletişim, veri girişleri, süreçleme için doğan ihtiyaçlardır [61].

Kontroller sonucu elde edilen ergonomik sonuçlar, rahat iş ortamı, iletişim ve algılama kolaylığı ve gözlemlenebilme sebebiyle optimal hale getirilebilmektedir.

Teknoloji konfigürasyonu DFX'in başarılı uygulanmasına yardımcı olmaktadır. İnsanın rahatlığını ve sağlığını hedefleyen teknolojik unsurların geliştirilmesi işyeri tasarımı ve otomatikleştirilen iş ortamları ile sürekli devam eden bir prosestir. Bu doğrultuda aşağıdaki konular öncelik kazanır [61].

- Yerleşim modernizasyonu,
- Ekipmanların kullanıcı yüzeyleri adına genel montaj tasarımı ve insan faktörleri mühendisliği (ergonomi),
- Öğrenme konsepti ve prensipleri temel alınan iş eğitimleri,
- Değerlendirme ve geri beslemeyi sağlamayacak sistem tasarımıdır [61].

5.1.3 Zeki Mükemmellik İçin Tasarım Sistemleri

Bugün birçok tasarımcı için tasarımda mükemmellik konuları düşünüldüğünde doğru tasarım yorumlarını yapabilmek ya da tasarımları tatmin edici bir şekilde yönlendirmek için gerekli deneyim yıllar süresince elde edilmiştir. Günümüzde ise bilgi bazlı programlar tasarımcıya ürünün hayat çevrimine bile değinerek ürünün ihtiyacı olan özellik ve fonksiyonları tanımlayabilmektedir. İşte bu yüzden Bilgisayar Destekli Tasarım, tasarım ihtiyaçları, süreci ve iyileştirici önlemler önermesi tasarımcı adına faydalıdır. Yapay zekâ ve mühendisliğin sunduğu bilgi tasarımcıların bilgisayarda sembolik nedenleri ile üretebilmesini sağlar. Araştırmalar sonucunda, uzman sistemler tasarımı tek bir elde çok yönlü incelemeyi sağlaması adına etkilidir. Bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritma ve olay bazlı muhakeme

DFX’de kullanılabilen ve çalışmaların etkinliğini artıran zeki sistem örnekleridir [61].

Zeki imalat sistemleri, imalat fonksiyonlarının gerçekleştirilmesinde bilgisayarların desteği ve karar verme gücü ile sistemleri otomatik olarak çalıştırabilen ve kullanıcılara destek üreten sistemlerdir. Entegre sistemin tamamı için geliştirilebilecekleri gibi en küçük bir imalat fonksiyonu içinde geliştirilebilirler. Bu sistemlerin en temel özellikleri, insanın karar verme mekanizmasına benzer karar verebilme yeteneklerinin olmasıdır. Bunu sağlayabilmek için bir imalat sisteminin tüm veya ilgili fonksiyonlarının yapay zekâ teknolojilerini kullanması ve sonuçta zeki işlevler ortaya çıkarması gerekmektedir. O nedenle öncelikle zekâ ve yapay zekâ kavramlarına kısaca bir göz atmakta fayda vardır [62].

5.1.4 Zeki Sistemlerin Özellikleri

Adaptasyon (Uyarlanırlık): Sistemin kendi ortamı içinde, önceden görülemeyen değişimleri yerleştirmek için kendi davranışını değiştirme yeteneğinin olmasıdır.

Kişisel-bakım: Sistemin kişisel teşhis, koruyucu kişisel bakım ve yeniden yapılandırma (konfigürasyonla) ile kişisel tamir yaparak kendine ait durumunu sürdürme yeteneğidir. Arızalı bileşeni teşhis eden ve arızalı parçayı yedek parça elemanı ile değiştiren makine takımı, kişisel-bakım yeteneği ile derinleşir.

İletişim: Sistemin kontrolü inceleme, raporlama, bir yerden talimatlar alma, diğer sistemlerle rekabette olma ya da işbirliği yapma amacı ile diğer sistemlerle bilgiyi değiştirme yeteneğidir

Özerklik: Sistemin, insan operatör içeren diğer sistemlerden bağımsız olarak davranma yeteneğidir.

Öğrenme: Sistemin belirli görevleri uygulaması için eğitilmesi yeteneğidir. Öğrenme sadece hafızaya alma değil, aynı zamanda da içeriğe bağımlı anlamların Doğru yorumlanmasıdır [62].

Öğrenme sadece hafızaya alma değil, aynı zamanda da içeriğe bağımlı anlamların doğru yorumlanmasıdır.

Kişisel gelişim: Sistemin, diğer etmenler ya da insan operatörlerden gelen öğrenme ile bağlantılı geçmiş performansına dayanarak gelecek performansını geliştirme yeteneğidir. Kişisel-gelişim, kendi davranışından gelen bilginin toplanmasını, analiz edilmesini, yerleşik davranışsal kalıplara ayrıştırılmasını ve daha etkili olması muhtemel olan yenilerinin inşa edilmesini gerektirir.

Beklenti: Sistemin işlemini etkileyebilecek kendi ortamı içindeki değişiklikleri öngörme (önceden tahmin etme) yeteneğidir.

Amaç araştırma: Sistemin belli stratejik avantajlara ulaşma isteğiyle amaçları formüle etme ve inceleme yeteneğidir. Yetersiz bilgiye sahip bir ortam içinde çalışmak için, sistem tüm strateji tarafından empoze edilen kısıtlar içinde ulaşılabilir [62].

5.2 DFX Özelliklerinin Değerlendirilmesi

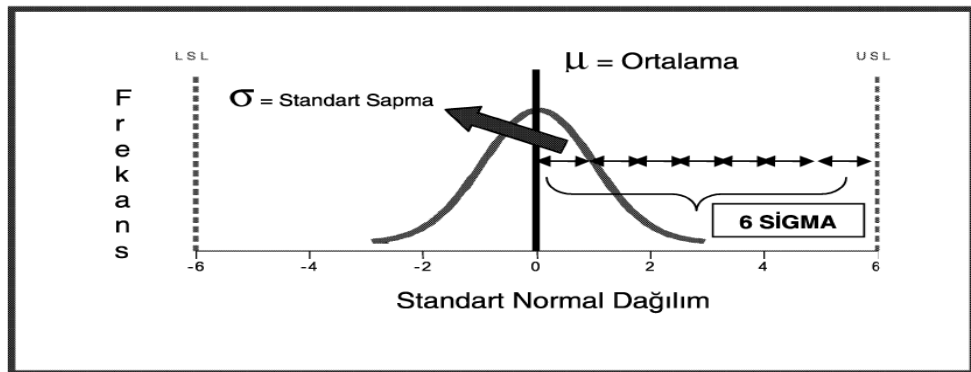
DFX yöntemleri içerisinde DFM ve DFA çalışma hayatında en popüler ve en çok kullanılan yöntemlerdir. DFM ve DFA yaklaşımları, ürünleri daha düşük Maliyetlerle daha kolay üretilmesini sağlamaktadır Montaj İçin Tasarım'da maliyetleri düşürmek ve güvenilirliği artırmak için anahtar rolü parça sayısı üstlenmiştir. Genel olarak DFA parçaların işlevlerinin birleştirilmesi, yukarıdan aşağıya (yerçekimi yardımıyla) montaj ve tasarımın her aşamasında takım elemanlarının fikren ortak noktada buluşması üzerinde yoğunlaşmıştır. Diğer taraftan imalat için tasarım ise yapılacak işlemlerin ve malzemelerin maliyetlerin karşılaştırmasını yaparak en etkin tasarımı bulmaya çalışır [39].

5.3 Altı Sigma

Altı Sigma tasarım, üretim ve müşteri ile ilgili aktivitelerde güçlü istatistiksel analizler ve ölçümler sağlayarak ürün ve hizmetten kaynaklanan hataları tahmin edilemeyecek seviyede azaltan ve sıfır kusur stratejisinin ulaşılabilir bir hedef olarak yaşama geçirilmesinde büyük rol oynayan bir kalite yöntem metodolojisidir. Müşterilere mükemmele yakın ürünler sevk etmeye yardım eden yüksek disiplinli bir süreçtir. Altı Sigma'nın altında yatan ana fikir sudur: Süreçlerde ne kadar hatanın olduğu ölçülebilir ise sistematik olarak bu hatalardan kurtulmak mümkün olabilir ve sıfır hataya yaklaşılabılır [63, 64].

Altı Sigma, öncelikle değişkenlik, işlem süreleri ve yararlılık derecesi faktörlerine yönelik iyileştirmelere uygun, projeye dayanan, son derece sonuç odaklı sistemli (sistematik) bir metodolojidir. Altı Sigma, yüksek düzeyde müşteri memnuniyetine ulaşmak için dünya çapında kaliteyi ve sürekli iyileşmeyi sağlayan bir is felsefesidir. Bu çerçevede yapılandırılan her şey, organizasyonun stratejik amaçları ve müşterilerinin ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda kurulmuştur [63, 64].

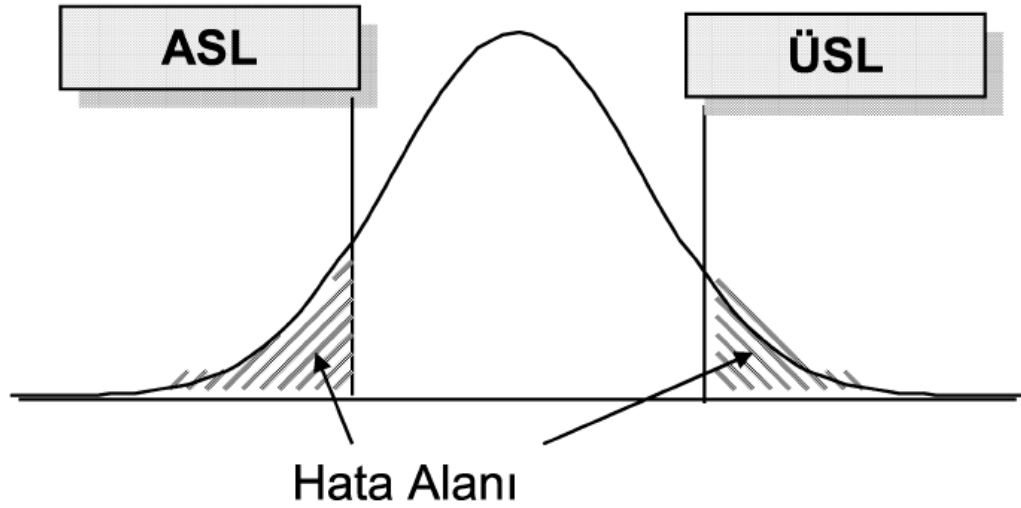
Birçok istatistiksel ölçümleri hata seviyeleri ve proses yeteneklerini karakterize etmede, ayırmada kullanır. Bu ölçümlerin en iyi bilineni 3,4 ppm hata oranını yakalamaktır. İş dünyasında, bir sürecin ne kadar iyi performans sergilediği ve bu süreçte hangi sıklıkla hata oluşabileceğini gösteren bir ölçüttür. Altı Sigma ise milyonda 3,4 hata sayısı ile mükemmelliğe ulaşmanın aracı konumundadır [63, 64].



Şekil 5.2 Standart normal dağılım grafiği [65].

Tablo 5.1 Merkezden Uzaklık ve Sigma Seviyelerine Göre Milyonda Hata Sayısı [64].

Mer. uzaklık	Sigma/kalite seviyesi						
	3 sigma	3.5 sigma	4 sigma	4.5 sigma	5 sigma	5.5 sigma	6sigma
0	2,700	465	63	6.8	0.57	0.034	0.002
0.25 σ	3,577	666	99	12.8	1.02	0.1056	0.0063
0.5 σ	6,440	1,382	236	32	3.4	0.71	0.019
0.75 σ	12,288	3,011	665	88.5	11	1.02	0.1
1.0 σ	22,832	6,433	1,350	233	32	3.4	0.39
1.25 σ	40,111	12,201	3,000	577	88.5	10.7	1
1.5 σ	66,803	22,800	6,200	1,350	233	32	3.4
1.75 σ	105,601	40,100	12,200	3,000	577	88.4	11
2.0 σ	158,700	66,800	22,800	6,200	1,300	233	32



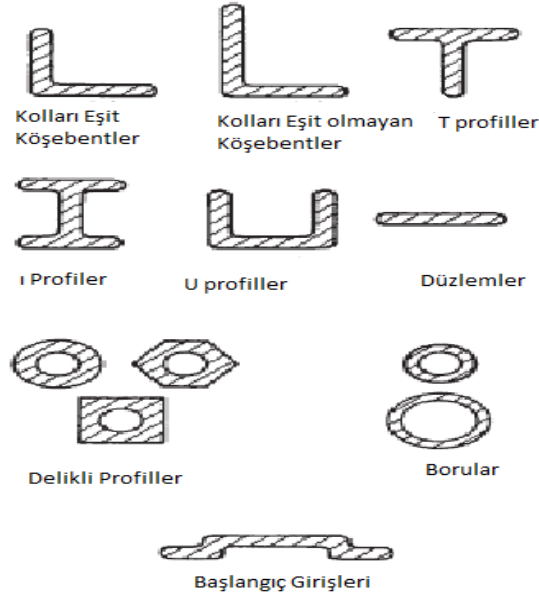
Şekil 5.3 Normal dağılım grafiği üzerindeki hata alanları [66].

Altı Sigma da kullanılan araçların kalite ve verimlilik üzerinde olağanüstü etkisi olmuştur. Bunlardan bazıları:

- Müşteri kazanımı,
- Büyüyen pazar payı,
- Hataların azalması,
- Maliyet azalması,
- Çevrim zamanının azalması,
- Hızlı ürün/servis geliştirilmes
- Yüksek seviyede sermayenin geri dönüşümü,
- Hedefi "mükemmel olmak (sıfıra yakın hata)" olan bir kalite ölçümü,
- Hizmetten üretime her türlü süreçteki hataları azaltmayı hedefleyen disiplinli ve veri odaklı bir metodolojisi,
- İyileştirme projeleri ile değişkenliğin azaltılmasına ve işlem (süreç) iyileştirmeye odaklanan ölçüm esaslı bir stratejisi,
- Bir yönetim felsefesi,
- İstatistiğe dayalı bir yönetim şekli,
- Duruma dayalı izleme yöntemi,
- Hatasız çalışma ve üretme anlayışı,
- Müşteri memnuniyetine odaklanma,
- Sürekli gelişme anlayışı,
- Yaratıcılığı tevsik eden bir yönetim şekli,
- Yapılan her işte hız ve mükemmellik, şirket içi iletişimi,
- Problemin tanımlanması, analiz edilmesi ve çözülmesi,
- Problemin gelecekte ortaya çıkma olasılığını da önlemesi,
- Üretkenlikte artış sağlama,
- Müşteri tatmininde artışı,
- Çevrim-süresinde azalması,
- Olumlu kültürel değişimi,
- Ürün/ hizmet geliştirmedir [63, 64, 65].

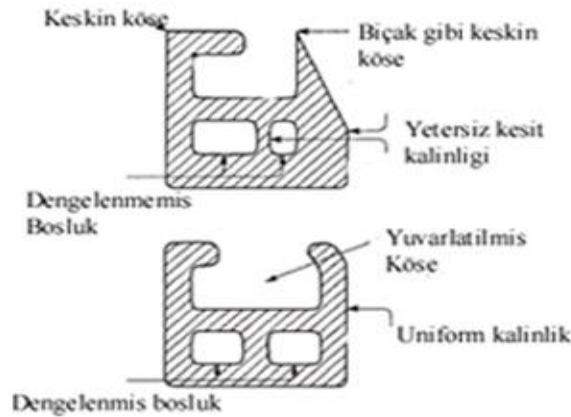
5.4 İmalat Alanında Karşılaşılan Problemler İçin Önerilere Örnekler

1) Metal ekstrüzyonunda standart geometrili parçalar imal edilmelidir aksi taktirde ekstrüzyon ile imal edilmiş parçaların maliyetleri artacaktır.



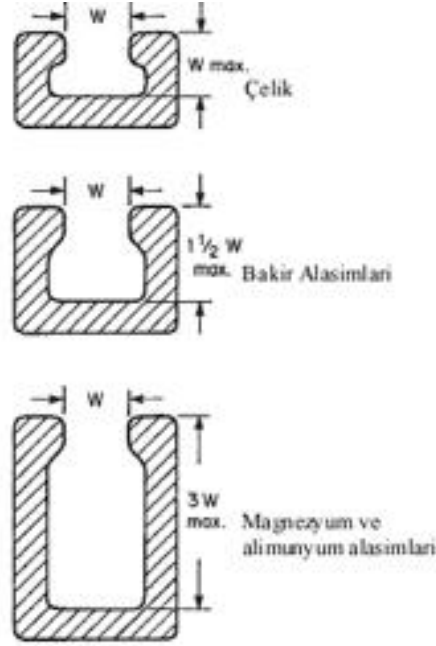
Şekil 5.4. Arzu edilen ve mümkün, ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmiş standart geometrili parçalar [40].

2) Metal ekstrüzyonu ile imal edilmiş parçaların köşeleri yuvarlatılmalıdır çünkü keskin köşe olursa genellikle problemler oluşur



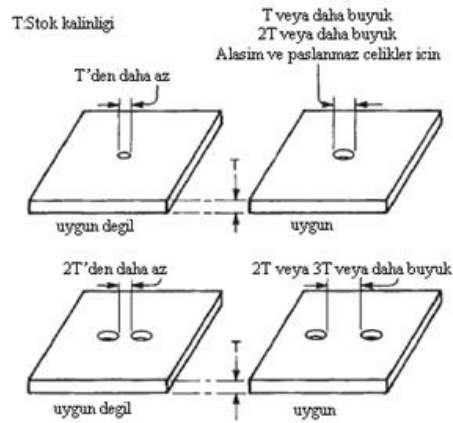
Şekil 5.5 Ekstrüzyonla imal edilmiş iyi ve kötü parça kesitleri [40].

3) Ektrüzyonla imal edilmiş parçaların kanalları için tasarım kuralları. Aşağıdaki şekildeki gibidir.



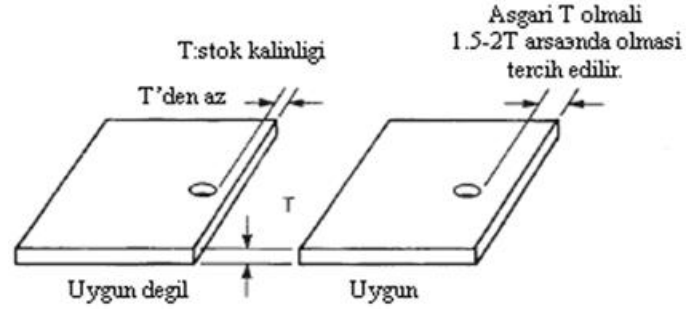
Şekil 5.6 Ektrüzyonda imal edilmiş parçaların kanalları için tasarım kuralları [40].

4) Saç metal kalıpcılığı ile imal edilmiş parçaların boyutları delik çapı aşağıdaki şekilde olduğu gibi T ile 2T arasında olmalı veya 2T'den büyük olmalıdır. Delikler arası mesafe 2T,3T ve 3T'den büyük olmalıdır.



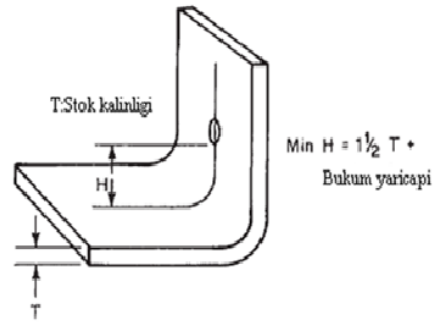
Şekil 5.7 Saç metal kalıpcılığı ile imal edilmiş parçaların boyutlar ve delik tasarım kuralları [40].

5) Sac metal kalıpcılığı ile imal edilmiş parçaların delikleri kenara uzaklığı aşağıdaki şekilde olduğu gibi asgari T olmalı ve 1.5-2T arasında olması tercih edilir.



Şekil 5.8 Delikler parçanın kenarına çok yakın olmamalıdır [40].

6) Bükme kalıplarında imal edilen parçanın Şekil 5.9'da görüldüğü gibi büküm yerindeki H yüksekliği asgari $H=1.5T+Büküm\ yarıçapı(R)$ olmalıdır.



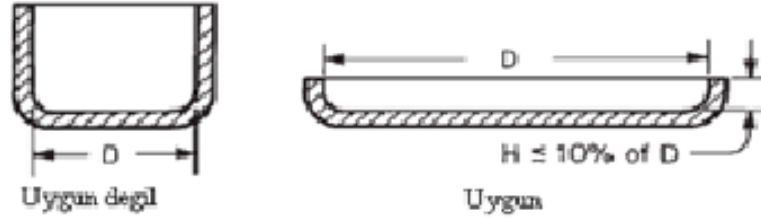
Şekil 5.9 Asgari aralık bırakmalı ve bükümle gerçekleştiğinde delikteki çarpılmayı önler [40].

7) Bükme kalıplarında imal edilen parça Şekil 5.9'da anlatılan asgari H yüksekliğinden az olursa Şekil 5.10'daki gibi parça dışarı doğru çarpılır.



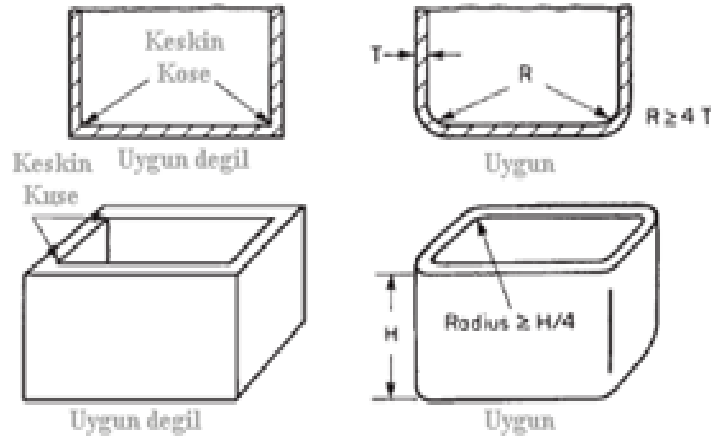
Şekil 5.10 Deliğin Bitişik yerleştirildiği büküm yuvarlağından dışarı çarpılması [40].

8) Gittikçe et kalınlığı incelen kabuklar ve flanşlı kabuklardan kaçınılmalıdır. Çünkü bu kabuklar düz silindirik kabuklara göre daha pahalıdır.



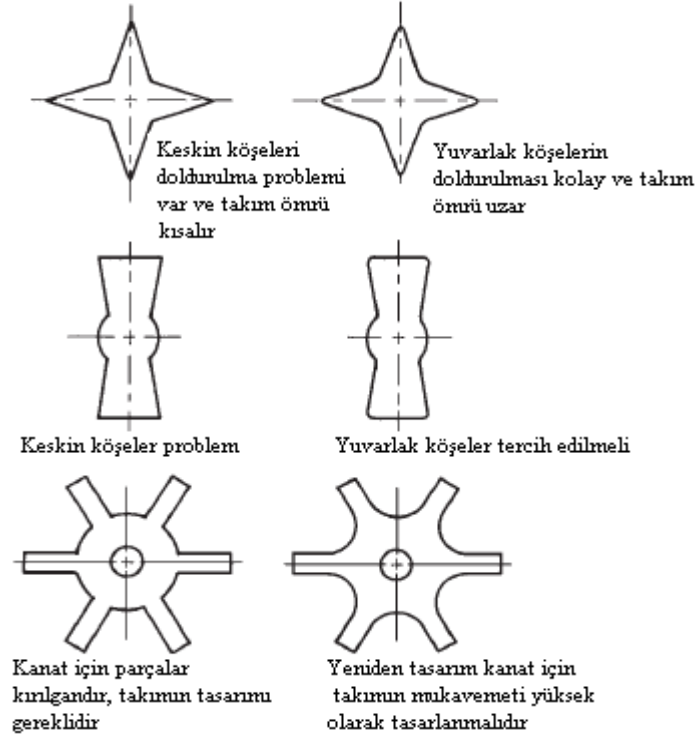
Şekil 5.11 Basit takım kullanıldığında zaman, az miktar oranlarında derin çekme parçaları üretilmelidir, Boşluk tutma özellikleri olmaksızın kullanılmalıdır [40].

9) Derin çekmede köşe keskin olmamalı kalıntı gerilmesi olmaması için ve yuvarlatma çapı et kalınlığı(T)'nin 4Tye eşit veya daha büyük olmalıdır aynı zamanda yuvarlatma yarı çapı parçanın yüksekliği(H)'nin dörtte biri veya daha büyük olmalıdır.



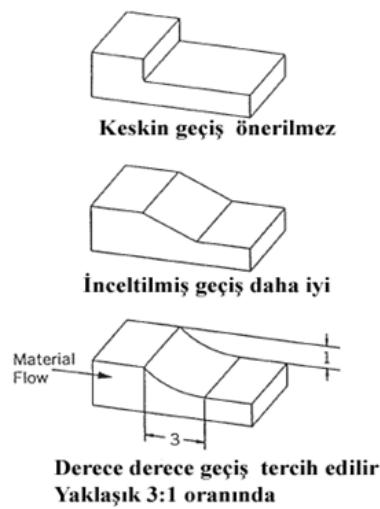
Şekil 5.12 Derin çekme için derinlik tasarım kuralları [40].

10) Toz metaruluji ile imal edilmiş parçaların şekil5.13'de gösterildiği gibi keskin köşeler uygun değildir çünkü bu keskin köşelerde kalıntı gerilmesi oluşur bu da parçanın çabuk kırılmasına neden olur.



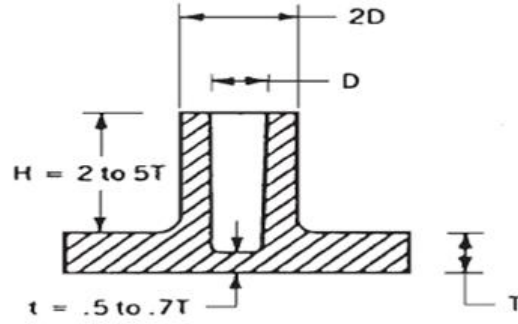
Şekil 5.13 Toz metalurjisi ile imal edilmiş parçaların köşeleri yuvarlatılmalı [40].

11) Enjeksiyon yöntemiyle imal edilen metal parçalarda uniform (homojen) et kalınlığı çok avantajlıdır. Et(cidar) kalınlığı homojenliği mümkün olmadığı zaman, Kalından inceye derece derece geçiş en çok tercih edilmelidir.



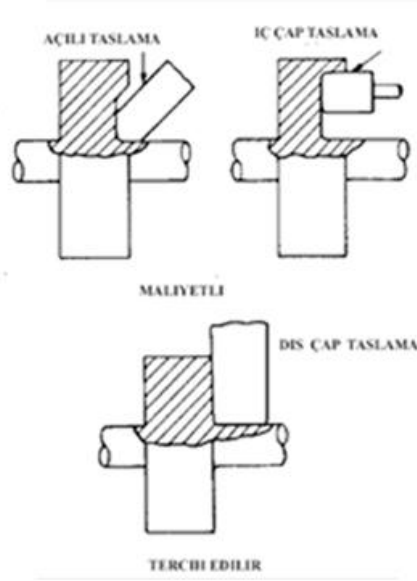
Şekil 5.14 Metal enjeksiyon ile imal edilmiş parçaların cidar kalınlıklarının inceltirilerek hataların giderilmesinin örnekleri [40].

12) Metal enjeksiyon kalıbı ile imal edilen parça tasarımında arzu edilen, istenen gövdeler ve desteklerin uygun olmasıdır.



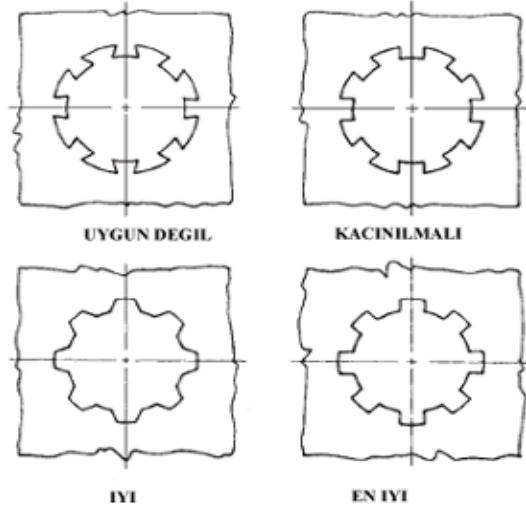
Şekil 5.15 Metal enjeksiyon kalıp parçasında gövdenin tavsiye edilen tasarımı [40].

13) Şekil 5.16’da görüldüğü gibi iç çap taşlama ve açılı dış çap taşlamadan kaçınılmalıdır çünkü bu işlemler maliyetlidir. bunun yerine düz dış taşlama yapılmalıdır.



Şekil 5.16 Silindirik taşlama [40].

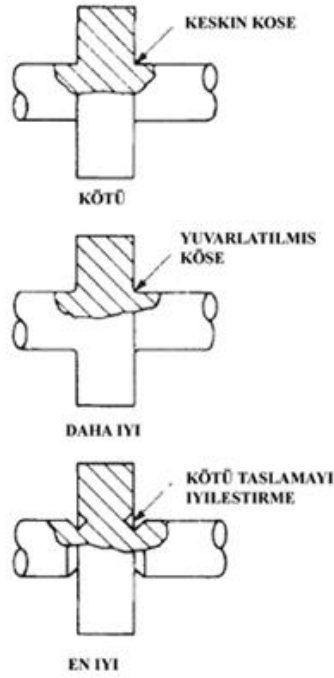
14) Kırılma kuyruğu şeklindeki kanal broşlamadan kaçınılmalı veya mümkünse bu kanallar açılı eğrilere dönüştürülmelidir.



Şekil 5.17 Broşlamada açılan uygun kanallar [40]

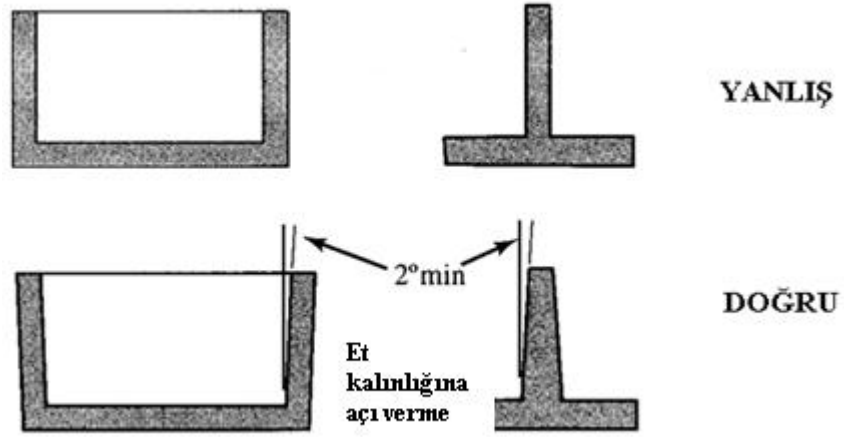
].

15) Silindirik dış taşlamada Şekil 6.18’de görüldüğü gibi taşlanan yüzeylerin birleşme yerleri keskin olduğu zaman kötü, keskin köşe yuvarlatılmış daha iyi çentik atıldı mı en iyisidir. Yalnız çentik atıldığı zaman malzemenin kırılma olasılığı artar.



Şekil 5.18 Silindirik dış taşlamada birleşik yüzeyler [40].

16) Plastik enjeksiyon kalıpcılığı ile imal edilen parçanın kalıptan kolay çıkması için uygun kalıp açısı sağlanır. Asgari alan kalınlıkları asgari seviyeye indirilir, soğutma süresi kenarların kalınlıkları ile orantılıdır, soğutma zamanının azalması ile maliyet de azalır



Şekil 5.19 Plastik enjeksiyon kalıpcılığı ile imale edilmiş ürün [59].

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Toplam Kalite Yönetimi ve Kaizen işletmelerde ve firmalarda en alt çalışanında en üst yöneticiye kadar hep sürekli gelişmeyi sağlar böylece firmaların faaliyetlerinde bir canlılık gelir, tüm personelin aynı hedef doğrultusunda çalışması hedeflenir, departmanlar birbirlerinin ortak problemlerini çözümler ve çalışanların bilgi düzeyi yükselir motivasyonları artar.

Yalın üretim, bilgi, sermaye, işgücünü ve zamanı en verimli şekilde kullanarak israfları yok denecek kadar azaltmayı yaparak üretim yapmayı hedefler. Yalın üretim de aynı zamanda hurda ürünler azaltmak istenir. Yalın üretim firmalarda uygulanmalıdır II.Dünya Savaşında ağır darbe alan Japonlar Türkiye’den geride idiler. Toplam Kalite Yönetimi, Kaizen ve Yalın üretimi firmalarda uygulayarak şu an dünyanın ekonomi ve üretim yapan ülkeler arasında dördüncü sıradır ANSI, DIN gibi Japonların normları vardır. Toyota şu an dünyanın en çok üretim yapan ikinci otomobil firmasıdır. Bizde hala kendimize ait otomobil fabrikamız bile yok. Sonuç olarak artık en küçük firmalardan en büyük firmalara kadar Toplam kalite yönetimi, Kaizen, Yalın Üretim uygulanmalıdır.

Küreselleşen (globalleşen) piyasa ortamında rekabet edebilmek ve dış piyasada yer edinebilmek için imal edilen ürünlerin, dış piyasada satılabilmesi için İmalat için Tasarım ve Montaj İçin Tasarım kurallarının bilinmesi ve firmalarda uygulanması gerekir aksi takdirde üretim hacmi yükselmez ithalat edilen ürünler ihraç ürünlerinden fazla olduğu vakit şimdiki gibi ekonomik krizler ülke ekonomisini rahat bırakmayacaktır. Ekonomik krizden çıkıp gelecek nesillerin hayata mutlu ve umutlu bakabilmesi için muhakkak üretim hacminin arttırılması gerekir. Üretim hacmini arttırmak tek başına yeterli olmaz diğer bir önemli husus üretilen ürünlerin satılabilmesidir. Bu ürünleri satabilmek için İmalat İçin Tasarım kurallarının firmalarda uygulanması büyük kazanç sağlayacaktır. Bilindiği gibi artık tasarım kâğıt üzerinde değil bilgisayar destekli yapılmaktadır. Bu tasarımların yapılabilmesi öncelikle İmalat İçin Tasarım ve İmalat İçin Montaj konuları içeren yazılımlar (programlar) Türkiye’de geliştirilip bu konular ve yazılımlar hakkında insanlar

eğitilmelidir. Böylece bu konular üzerinde insanlar uzmanlaşacaktır. Böylece DFM firmalarda uygulanmaya başlayacaktır. Ayrıca atelye ve küçük firmalarda yazılımlar maliyetten dolayı kullanılamayacağından hiç olmasa Design for Manufacturability, Assembly for Manufacturability handbook el kitapları Türkçeye çevrilip kullanılmalıdır. Temennim artık tüketici toplum olmaktan çıkıp üretici toplum olmaktır.

Mükemmellik İçin Tasarım, günümüzde hızlı değişen pazar şartlarına ve gittikçe çeşitlenen müşteri ihtiyaçlarına cevap vermeyi sağlayan ve giderek yaygınlaşan bir yaklaşımdır. Gerekli stratejik önlemler ve çalışmada belirtilen başarı destek unsurları dikkate alındığı sürece Mükemmellik İçin Tasarım teknikleri şirketlere büyük faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1]. Turgut, M. Catia V5 İle İmalat ve Analiz Kitabı Seçkin Yayıncılık A.Ş, 2006
- [2]. Oral, A, Ateş E. İmalat İçin Tasarım Makalesi Mak. Müh. Anabilim Dalı Balıkesir Ü., 2008
- [3]. Erzincanlı, F. İşleme İçin Tasarım Ders Notları Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 2010.
- [4]. Yılmaz. Y, Ünüvar, A. Ürün Tasarımında Eşzamanlı Mühendislik Mak. Müh. Anabilim Dalı, Selçuk Ü., 2001.
- [5]. Ulugergerli, M. Eşzamanlı Mühendislikte Montaja Uygun Tasarım ve Uygulaması Yüksek Lisans Tezi Mak. Müh. Anabilim Dalı İTÜ, 2009
- [6]. Özdemirkıran, A. Bilgisayar Destekli Mühendislikte Montaja Ve Bakıma Uygun Tasarım Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Mak. Müh. Anabilim Dalı İTÜ, 2008.
- [7]. Çakır, M. C. İmalat ve Montaj İçin Tasarım Dersi Projesi Mak. Müh. Anabilim Dalı 2008 Uludağ Ü., 2007
- [8]. Helvacıoğlu, H. Toplam Kalite Yönetiminin Ürün Geliştirmedeki Yeri, Önemi Uygulamadan Örnekler Yüksek Lisans Tezi Uluslar Arası Kalite Yönetimi Anabilim Dalı Marmara Ü., 1999.
- [9]. Akyüz, B. Ürün Geliştirme Çalışmalarında Kullanılan Araç ve Teknikler, Türk Seramik Sektöründe Bir Uygulama Doktora Tezi, Marmara Ü., 2007
- [10]. Kulaç, Ü. Yalın Fabrika Similasyon Oyunu V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Ü., 2005
- [11]. Yalın yaklaşım www.sistempatent.com'dan alınmıştır.

- [12]. Görener, A, Akkurt, M, Çınar, S. Eş Zamanlı Mühendislik Ve Yalın Üretim Anlayışlarının İmalat Sektörü Açısından Algılanmasına Yönelik İstatistiksel Bir Analiz Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma Cilt 26 Sayı 22, 2008
- [13]. Arslan, S. Yalın Üretim Ve Man Türkiye A.Ş’de Örnek Bir Yalın Üretim Uygulaması Yüksek Lisans Tezi Endüstri Müh. Anabilim Dalı Gazi Ü., 2008
- [14]. Kazıcıoğlu, B. Kitle Üretiminden Yalın Üretime Geçiş Süreci: Bir Lastik Fabrikasında Uygulama Yüksek Lisans Tezi Endüstri Müh. Anabilim Dalı Sakarya Ü., 2009
- [15]. Sevim, A. Toplam Kalite Yönetiminde Bir Aracı Olarak Toplam Kalite Maliyet Sisteminin Kurulması Doktora Tezi Sosyal Bilimler Enstitüsü Anadolu Ü., 1996
- [16]. Nam, Ş. Toplam Kalite Yönetiminde Lider Yöneticinin Rolü(Cp.Standart Gıda San .Aş .Örneği)Yüksek Lisans Tezi Çalışma Ekonomisi ve Endüstri ilişkileri Anabilim Dalı Sakarya Ü., 2004
- [17]. Şimşek, M. Toplam Kalite Yönetimi Kitabı Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd, 2001
- [18]. Özkan, A. Esmeray, C.Ü. Maliyet Kontrol Sistemi Olarak JİT Üretim Sistemi Ve Muhasebe Uygulamaları İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 3, Sayı 1 Erciyes Ü., 2002
- [19]. Köseoğlu, M. İmalat İşletmelerinde Bütünleşik İmalat Ve İş Özellikleri Arındaki İlişkiler Makalesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi 6/3(113-131) Gazi Ü., 2004
- [20]. Altıntaş, O. Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarında Kalite Liderliğinin Rolü ve Botaş Uygulaması Yüksek Lisans Tezi İşletme Anabilim Dalı Dumlupınar Ü., 2008

- [21]. Doğanay, P. Kaizen Sürekli İyileştirme İle Hastanelerde İnsan Kaynaklarının Geliştirilmesi Yüksek Lisans Tezi İşletme Anabilim Dalı Gazı Ü., 2008.
- [22]. Demirkır, M. S. Yalın Üretim ve Lastik Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Müh. Anabilim Dalı Sakarya Ü., 2008.
- [23]. Gökçe, B, Taşgetiren, S. Kalite İçin Deney Tasarımı Makine Teknolojileri Elektronik dergisi Cilt: 6, No: 1, 2009 (71-83)
- [24]. Tuzkaya, U. R. Grup Teknolojisi Ve Hücresel Üretim Ders Notu Endüstri Müh. Anabilim Dalı YTÜ, 2008
- [25]. Yılmaz G, Erdem S. Hücresel Üretim Sisteminde Makine-Parça Ailelerinin Oluşturulmasında Dengeli Talep-Kapasite ve Dengesiz Talep-Kapasite Durumunun Analizi Makalesi, 2006
- [26]. Şenol, G. Çevre Dostu Tasarım ve De-montaja Uygunluk Değerlendirmesi Yüksek Lisans Tezi Mak. Müh. Anabilim Dalı İ.T.Ü, 2007
- [27]. Gümüş, B. Ürün ve Sistem Tasarımı Ders Notu Endüstri Müh. Anabilim Dalı TOBB Ekonomi ve Teknoloji Ü., 2007
- [28]. Dereli, T. Baykasoğlu, A. Atıklar ve Çevre Sorunları: Mühendislik Çephesinden Çevre Sorunlarına Bakış Makale Endüstri Müh. Anabilim Dalı Gaziantep Ü., 2005
- [29]. Meteoğlu, E, Kartın, M.R, Demirel, E, Çalışkan, F.D Eşanlı Mühendislik Esnek İmalat Sistemleri Dönem Projesi Mak. Müh. Anabilim Dalı İTÜ, 2007
- [30]. Kıyak, M. İmalatta Bilgisayar Destekli Tasarım Ders Notları Fakültesi Makine Müh. Böl. Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı YTÜ, 2004

- [31]. Yıldız, A. Otomotiv Yan Sanayinde Hızlandırma Tekniklerinden Ürün Geliştirme Zamanı Üzerindeki Etkileri Yüksek Lisans Tezi Mak. Eğitim Anabilim Dalı Marmara Ü., 2007
- [32]. Yalçın, A. Kurumsal Bir İmalat Bilişim Modeli Önerisi Doktora Tezi Endüstri Müh. Anabilim Dalı Sakarya Ü., 2007
- [33]. Çoşkun, M. Eşzamanlı Mühendislik Ders Notu 2008, www.scbrid.com ‘dan alınmıştır.
- [34]. Chang, T. C. R. Wysk A. and H. Wang, Information Taken From Computer-Aided Manufacturing, Second Edition pages 596 to 598, Practice **1998**.
- [35]. Çilsal, O.O. Yenilikçi-Yaratıcı Sorun Çözme Yaklaşımının (Triz) İmalat İçin Tasarım (DFM) Alanına Uygulanması Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Uludağ Ü., 2005.
- [36]. Çebi, S, Çelik, M, Kahraman, C. Gemi Sistemleri İçin Entegre Bakım-Onarım Yönetimi Gereksiniminin Analizi Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi cilt 3 Sayı 4 Sayı 4 Sayfa 17-24, 2008
- [37]. Kanbur, F, Birgün, S. Yeni Kariyere Geçiş Danışmanlığı İçin Kavramsal Bir Model Fatra Fen Bilimleri Dergisi Sayı 13 Sayfa 111-137 İstanbul Ticaret Ü., 2008
- [38]. Şeker, S. İmal Edilen Malın Maliyeti Maliye Bakanlığı, 2005
- [39]. Çelik, M. ve Gönen, S. Esnek Üretim Sistemleri Uygulayan İşletmelerde Üretim Maliyetlerinin Değerlendirilmesi Makalesi İşletme Anabilim Dalı Dokuz Eylül Ü., 2007
- [40]. Bralla. J.G Design for Manufacturability Handbook, Second Edition -1998

- [41]. Kaderli, R. Talaşlı İmalat teknolojisi Ders notu Mak. Müh. Anabilim dalı Uludağ Ü., 2009
- [42]. Akkurt, M. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları Kitabı Birsen Yayınevi, 2000
- [43]. Işık, Y. Kesici Takım Teknolojisi Ders Notu Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Uludağ Ü., 2009
- [44]. Çakır, O, Kıyak, M, Altan, E. Titanyum Ve Alaşımlarının Talaşlı Şekillendirilmesi TMMOB Makina Mühendisleri Odası Konya Şubesi II. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi 26-27 Eylül 2003
- [45]. Şahin, Y. Talaş Kaldırma Prensipleri Kitabı Nobel Yayın Dağıtım, 2000
- [46]. Kesici Takım Malzemeleri Ders Notu www.koumakina2001.8m.com'dan alınmıştır, 2009
- [47]. Ünal, R. Talaşlı İmalat Yöntemleri Ders Notu mf.dpu.edu.tr'den alınmıştır, 2009
- [48]. Yaşar, A. İnsan Kalitesinin Üretime Etkisi Ve Bir Uygulama Yüksek Lisans Tezi Makine Eğitimi Anabilim Dalı Marmara Ü., 2007
- [49]. Üstünel, S. Bilgi, Bilgi Yönetim Süreci ve Yeni Ürün Geliştirme Takımları Yüksek Lisans Tezi İşletme Anabilim Dalı Kadir HAS Ü., 2008
- [50]. Sofuoğlu, S. Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarının Üretim Süreçleri Üzerindeki Etkisi ve Bir Uygulama Yüksek Lisans Tezi İşletme Anabilim Dalı Marmara Ü., 2006

[51]. Karakaya, T. Bilgisayar Tümleřik İmalat Sistemlerinin Türkiye İçin nemi Ve Türkiye’deki Kullanım Alanları Ders notu, 2009, www.turhankarakaya.com’dan alınmıştır.

[52]. Bakır S. Bilgisayar Destekli Mekanik Tasarım Yüksek Lisans Tezi Mak. Müh. Anabilim Dalı YTÜ, 2006

[53]. Altuę, M, Nalbant, M. Makine İmalat Sektöründe Faaliyet Gösteren Küçük ve Orta lekli İşletmelerin Rekabet Gücünün Artırılmasında İleri İmalat Teknolojileri ve Bir Alan Araştırması Cilt 11 Sayı 1 sayfa 19-29, 2008

[54]. şenalp, Z Bilgisayar Destekli Tasarım Notları Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 2010

[55]. zm Var Danışmanlık www.cozumvar.com.tr

[56]. Kazan H, Ergülen, A. Toplam Kalite Yönetimi Araç Ve Tekniklerinin retimde Etkin Kılınması Kosi Uygulaması Makalesi İktisadi ve İdari bilimler Fakültesi Cilt 13 Sayfa 159-182 Süleyman Demirel Üniversitesi, 2008

[57]. Kocako, M. Montaj Süreçlerinde Yalın retim Verileri Analizi Doktora Tezi Ekonometri Anabilim Dalı Dokuz Eylül ., 2008

[58]. Baęlan, H. İ. rn Hayat Sürecinde Tasarım ve İmalata Eşzamanlı Yaklaşım Yüksek Lisans Tezi Makine Eğitim Anabilim Dalı Zonguldak Karaelmas ., 2007.

[59]. Soydaş, S. Üretim Yöntemi Ve Montaja Yönelik Tasarım Doktora Semineri Fen Bilimleri Enstitüsü Kocaeli ., 2009

[60]. şahin, ř. Tasarım Ve İmalat Süreçlerinde Sistematik Problem zm Yöntemlerinin Montaj Tasarım Optimizasyonu İçin Uyarlanması Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Uludağ ., 2009

- [61]. Büyüközkan, G. Ürün Geliştirme Sürecine Destek Tasarım Teknikleri ve Anahtar Faktörleri Makalesi Galatasaray Ü., 2005
- [62]. Tekez, E. Zeki Bütünleşik İmalat Sistemlerinin Oluşturulması İçin Bir Referans Model Geliştirilmesi Doktora Tezi Endüstri Müh. Anabilim Dalı Sakarya Ü., 2006
- [63]. Balcı, Ş. Altı Sigma Süreç İyileştirme Tekniği Ve Sanayide Bir Uygulama Yüksek Lisans Tezi Endüstri Müh. Anabilim Dalı Gazi Ü., 2005
- [64]. Kök, L. Altı Sigma Metodolojisi Ve Bir Sanayi Uygulaması Yüksek Lisans Tezi Metal Eğitimi Anabilim Dalı Marmara Ü., 2007
- [65]. Albayrak, B. Süreç İyileştirmede Altı Sigma Yaklaşımı: Petek Yapılı Malzeme Üretim Sürecinde Bir Uygulama Yüksek Lisans Tezi Endüstri Müh. Anabilim Dalı Osmangazi Ü., 2007
- [66]. Özkan, H. Endüstride Altı Sigma Uygulamaları Yüksek Lisans Tezi Mak. Müh. Anabilim Dalı İTÜ, 2006

ÖZGEÇMİŞ

10 Eylül 1981 de doğmuştur. 1995 yılında Gültepe Endüstri Meslek Lisesi'ne başlayarak 1998 yılında bitirmiştir. Ekim 2000 tarihinde başladığı Marmara Üniversitesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümünü 07 Temmuz 2004 tarihinde bitirmiştir. 12 Ağustos 2005 ile 17 Ocak 2006 tarihleri arasında vatani görevini yapmıştır. Askerden geldikten iki gün sonra Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalına Yüksek Lisans için başvurmuştur. 15 Şubat 2006'da yabancı diller bölümünde bir dönem hazırlık okuyarak yabancı dil sınavını geçmiştir. 2006 Sonbahar döneminde derslere başlamıştır, hala bu bölümde eğitime devam etmektedir.

Lisans Tezim: Endüstriyel Tellerin Elastikiyet Modülünün Hesaplanmasına Ait Deney Sisteminin Geliştirilmesi, Marmara Ü., 2004