

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

MAKİNE ÜRETİMİNDE MONTAJ İÇİN TASARIM UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MESUT AYDINLI

DENİZLİ, EKİM - 2020

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



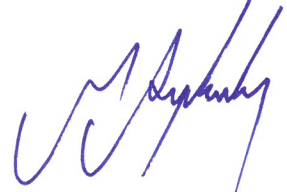
MAKİNE ÜRETİMİNDE MONTAJ İÇİN TASARIM UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MESUT AYDINLI

DENİZLİ, EKİM - 2020

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



MESUT AYDINLI

ÖZET

MAKİNE ÜRETİMİNDE MONTAJ İÇİN TASARIM UYGULAMASI

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

MESUT AYDINLI

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. KADİR ÖZKAYA)

DENİZLİ, EKİM 2020

Montaj İçin Tasarım (MiT), parça geometrisi ve boyutsal problemleri, montaj açısından dikkate alıp azaltmaya çalışır. Ürünün karmaşıklık seviyesine bağlı olarak ürüne ait parçaların birleştirme sırası ve tasarımı farklı şekillerde yapılabilir. Montaj İçin Tasarımın amacı, tasarlanan parçaların basit montaj talimatlarına sahip olması için tasarım unsurlarını kullanmaktır. Ayrıca ürün henüz tasarım aşamasında iken ürün iş süreçlerinin değerlendirilerek tasarımın iş süreçleri üzerindeki olumsuz etkilerinin yok edilmesi ile ürün işçilik, parça ve hammadde maliyetlerinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, asansör makine sanayinde kullanılan kabin ve kapı üretiminde, MiT prensipleri, eşzamanlı mühendislik kavramı ile birlikte kullanılarak bir yaklaşım sunulmaktadır. Araştırma kapsamında, Denizli’de bulunan ve asansör kabini ihracatı yapan orta ölçekli bir işletmede çalışılmıştır. İşletmede en çok üretimi yapılan yarı otomatik asansör kapısının kasa üretimi incelenmiştir. Tasarım iyileştirme sürecinde; kasa üretiminde kullanılan yan profiller, kafa sacı, alın sacı, taban sacı ve bunların alt parçaları ile birleştirme işlemleri ele alınmıştır. Asansör kapı kasasına ait iş süreçleri ve parçalar detaylandırılarak tasarım, montaj verimliliğini arttıracak şekilde iyileştirilmiştir. Tasarım iyileştirmesinde ölçme yöntemi olarak Boothroyd – Dewhurst tasarım etkinliği ölçme yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan iyileştirmeler sonucunda; mevcut tasarımında 98 parça olan yarı otomatik kapı kasası, yeni tasarım ile 55 parçaya düşürülmüştür. Parça sayısındaki azalma ve tasarım değişiklikleri ile toplam montaj süresi 847,3 s’den 561,2 s’ye düşürülerek montaj

süresinden %33,8 tasarruf sağlanmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucu Boothroyd - Dewhurst Tasarım Etkinliği %8,5'ten %12,8'e yükseltilmiştir.

Bu sonuçlara göre; çalışmanın en başında hedeflenen %25 üretim verimliliğinde artış, %33,8 olarak gerçekleşmiş ve deneme üretimi ile doğrulanmıştır. Parça sayısında sağlanan %43,9'luk iyileştirme ve tasarım etkinliğinde %50,6 bir artış sağlanarak ürün tasarımında yapılan iyileştirmelerin başarısı ortaya konmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: DFA, DFMA, Montaj İçin Tasarım, İmalat İçin Tasarım, Eşzamanlı Mühendislik, Boothroyd – Dewhurst Yöntemi, Asansör

ABSTRACT

DESIGN FOR ASSEMBLY PRACTISE IN MACHINE PRODUCTION

INDUSTRIAL ENGINEERING

MESUT AYDINLI

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: DOÇ. DR. KADİR ÖZKAYA)

DENİZLİ, OCTOBER 2020

Design for Assembly tries to take into account and reduce part geometry and dimensional problems in terms of assembly. Depending on the complexity level of the product, the assembly sequence and design of the parts of the product can be done in different ways. The purpose of Design for Assembly is to use design elements so that the designed parts have simple assembly instructions. In addition, while the product is still in the design phase, it is aimed to eliminate the negative effects of design on assembly processes by evaluating the product assembly processes and to reduce the costs of product labor, parts and raw materials.

In this study, an approach is presented by using design principles for assembly together with the concept of concurrent engineering in cabin and door production used in the elevator machinery industry. Within the scope of the research, the frame production of the semi-automatic elevator door that is produced the most in the company was examined. In the design improvement process; Side profiles, head plate, front plate, base plate and their lower parts and their joining processes are discussed. The work processes and parts of the elevator door frame are detailed and the design has been improved in a way to increase assembly efficiency. Boothroyd - Dewhurst design efficiency measurement method was used as the measurement method in design improvement.

As a result of the improvements made; parts number of the semi-automatic door frame, which is 98 pieces in its current design, has been reduced to 55 pieces with the new

design. With the reduction in the number of parts and design changes, the total assembly time was reduced from 847.3 seconds to 561.2 seconds and saving 33.8% in assembly time. Boothroyd & Dewhurst Design Efficiency has been increased from 8.5% to 12.8% as a result of the improvements made.

According to these results; The 25% increase in production efficiency targeted at the beginning of the study was realized as 33.8% and was confirmed by trial production. The success of the improvements in product design has been demonstrated by providing 43.9% improvement in the number of parts and a 50.6% increase in design efficiency.

KEYWORDS: DFA, DFMA, Design for Assembly, Design for Manufacturing, Concurrent Engineering, Boothroyd – Dewhurst Method, Elevator

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
RESİM LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	2
1.2. Kapsam.....	2
2. TASARIM GELİŞTİRME SÜREÇLERİ	4
2.1. Sıralı Mühendislik	4
2.2. Eşzamanlı Mühendislik	6
2.3. Eşzamanlı Mühendisliğin Temel Unsurları.....	8
3. ÜRETİM GELİŞTİRME METOTLARI VE GELİŞİMİ	10
4. İMALAT VE MONTAJ İÇİN TASARIM (DFMA – İMİT)	13
4.1. DFMA Prensipleri	14
4.2. DFMA’de Tasarım Etkinliği Ölçümü	21
4.2.1. IPA Stuttgart Metodu	22
4.2.2. Westinghouse Metodu	22
4.2.3. Hitachi Metodu	23
4.2.4. Lucas Hull Metodu	24
4.2.5. Boothroyd – Dewhurst Metodu	24
4.3. DFMA Sürecinde Kullanılan Üretim Verileri.....	30
4.3.1. Üretim Yerleşim Planı	30
4.3.2. Üretim İş Akışı	31
4.3.3. Dengelenmiş Üretim Hattında İş Paylaşımı (Yamazumi Metodu).....	32
4.3.4. Üretim Çalışanları Beceri Matrisi.....	32
4.3.5. Üretim Ekipmanları	33

4.3.6.	Malzemelerin Fabrika İçinde Tedarik Süresi ve Stok Miktarı	33
4.3.7.	Kalite Kontrol Kriterleri	33
4.4.	DFMA İçin Analizler	33
4.4.1.	DMAIC Analizi	33
4.4.2.	İş Etüdü.....	35
4.4.3.	ECRS Analizi	36
5.	LİTERATÜR ÖZETİ.....	40
6.	UYGULAMA	45
6.1.	Uygulamanın Amacı	45
6.2.	Uygulamanın Yapılacağı Sektör ve İşletme Analizi	46
6.3.	Araştırmanın Yöntemi.....	48
7.	BULGULAR.....	54
7.1.	Veri Toplama ve Mevcut Durum Analizi	54
7.2.	Mevcut Tasarım Etkinliğinin Ölçülmesi	57
7.3.	Analiz	59
7.4.	İyileştirmeler	61
7.4.1.	İyileştirme 1 (Alın sacı)	62
7.4.2.	İyileştirme 2 (Ara destekler)	63
7.4.3.	İyileştirme 3 (Kafa Sacı).....	64
7.5.	Diğer Denemeler	66
7.6.	Doğrulama	67
8.	SONUÇ	70
9.	KAYNAKLAR.....	74
10.	EKLER	79
11.	ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Sıralı Mühendislik.....	5
Şekil 2.1: Duvar Üstünden Sendromu.....	6
Şekil 2.3: Eşzamanlı Mühendislik.....	6
Şekil 2.2: Tasarım değişim grafiği	8
Şekil 4.1: DFMA ve tasarım süreci ilişkilendirme.....	14
Şekil 4.2: Parça sayısının azaltılması prensibine örnek bir tasarım çalışması.....	15
Şekil 4.3: Birleştirici sayısının azaltılmasına prensibine örnek bir tasarım çalışması.....	16
Şekil 4.4: Kolay yerleşebilen parça örneği.....	16
Şekil 4.5: Montaj yeri görünürlüğü.....	17
Şekil 4.6: El ile tutulması zor parçalara örnek.....	17
Şekil 4.7: Yeniden yönlendirmenin önlenmesi prensibine örnek tasarım uygulaması.....	18
Şekil 4.8: Yanlış montajın önlenmesi prensibine örnek tasarım uygulaması.....	18
Şekil 4.9: Asimetrisinin kullanılması prensibine örnek tasarım uygulaması.....	19
Şekil 4.10: Modül tasarım prensibine örnek tasarım uygulaması.....	19
Şekil 4.11: Benzer parçaların farklı renklendirilmesi.....	20
Şekil 4.12: Yerçekimine uygun tasarım prensibine örnek	20
Şekil 4.13: Boothroyd – Dewhurst prensipleri değerlendirmesi örneği.....	26
Şekil 4.14: Boothroyd – Dewhurst prensipleri ile oluşturulan yeni tasarım.....	29
Şekil 4.15: Örnek yerleşim planı.....	31
Şekil 4.16: Örnek iş akış planı.....	31
Şekil 4.17: Örnek hat dengeleme tablosu.....	32
Şekil 6.1: Yöntem ağacı.....	49
Şekil 6.2: Ürün ağacı.....	50
Şekil 6.3: Yarı otomatik kapı CAD çizim gösterim.....	51
Şekil 6.4: Diktatör sacı CAD çizim gösterim.....	51
Şekil 7.1: Yarı otomatik kapı iş akış şeması.....	54
Şekil 7.2: İşletme fabrika yerleşim planı.....	55
Şekil 7.3: Yarı otomatik kapı iş akış diyagramı.....	56
Şekil 7.4: Alın sacının eski ve yeni tasarımları.....	63
Şekil 7.5: Alın sacı sürgülü montaj.....	63
Şekil 7.6: Yan profil ara destek parçalarının çıkartılması.....	64
Şekil 7.7: Kafa sacı eski hali.....	65
Şekil 7.8: Kafa sacı yeni hali.....	65
Şekil 7.9: Kasa birleştirme eski hali ve önerilen hali.....	66

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Parça sayısı ve montaj süresi tablosu örneği.....	28
Tablo 4.2: Yeni tasarım parça sayısı ve montaj süresi tablosu örneği.....	29
Tablo 4.3: DMAIC analizi ve DFMA süreci ilişkisi.....	35
Tablo 4.4: ECRS ve DFMA kriterlerinin eşleştirilmesi.....	38
Tablo 6.1: 2018 Yılı Asansör Sektörü toplam ihracat verileri.....	47
Tablo 6.2: 2018 Yılı Asansör Sektörü toplam ithalat verileri.....	47
Tablo 7.1: Kasa hazırlık (menteşe tarafı).....	57
Tablo 7.2: Kasa hazırlık (kilit tarafı).....	57
Tablo 7.3: Kafa hazırlık.....	57
Tablo 7.4: Kasa Birleştirme.....	57
Tablo 7.5: Mevcut tasarım parça sayısı ve montaj süreleri.....	58
Tablo 7.6: İşlem gruplarına göre işçilik sıralaması.....	59
Tablo 7.7: Yeni tasarım parça sayısı ve montaj süreleri.....	68
Tablo 7.8: İşlem grubu bazında iyileştirme oranları.....	69

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 6.1: Eşzamanlı Mühendislik toplantısı.....	52
Resim 7.1: Eşzamanlı Mühendislik saha toplantısı.....	62

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana rehberlik ederek akademik yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Kadir Özkaya'ya ve tez uygulaması için bizlere kapısını açan Ayha Asansör A.Ş. yöneticilerine teşekkürü borç bilirim. Ayrıca tez çalışmamda bana destek olan Prof. Dr. Aşkîner Güngör ve Pamukkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü hocalarıma teşekkür ederim.

Eğitim hayatıma vermiş oldukları önem ve maddi manevi tüm destekleri için öncelikle muhterem annem ve babama, bu tezin hazırlanması sürecinde kendilerine daha az zaman ayırmama sabır gösteren değerli eşim ve oğluma teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Büyüme arzusunda olan küçük ölçekli işletmelerin sanayileşme kültürünü oluşturabilmeleri için günümüzde birçok fırsatlar bulunmaktadır. Ancak atölyeden fabrikaya geçişteki bu ara süreç birçok sorun ve çelişkiyi bir araya getirmektedir. İşletmeler yeni makinelerle iş hacmini büyütmek isterken bir yandan atölye koşullarındaki yönetim anlayışı ile devam etmek isterler. Günümüz serbest piyasa koşulları bu çelişkili durumda olan işletmeleri bir süre sonra yok olmaya mahkum etmektedir. Ülkemizde bu şekilde büyüme arzusunu gerçekleştiremeden yok olan işletme örnekleri oldukça fazladır.

Ayakta kalma çabasında ve çözüm odaklı olan işletme sahipleri bu dar boğazdan çıkmak için işe sorunlarının tespiti ile başlar. Bu işletmelerin karşılaştığı en büyük problem ürün tasarımı ve üretim organizasyonudur. Üretim süreçlerinin ürün tasarımına uygun olarak organize edilmemesi; fire artışı, iş gücü kaybı, iş teslimatının gecikmesi gibi sorunlarla işletmenin verimliliğini etkiler. Bu nedenle işletmelerin yapması gereken öncelikli iş ürün üretiminin girdi ve çıktıları ile birlikte yeniden tasarlanmasıdır.

Ürün karmaşıklığının arttığı günümüzde üretim etkinliğini arttırmak ve kalitesi yüksek ürünler üretmek için modern üretim metotlarının önemi daha fazla ön plana çıkmaktadır. Mevcut endüstri şartlarında üreticiler rekabet güçlerini koruyabilmek için elde edebildikleri minimum üretim maliyetiyle yaşam döngüsü içerisinde en fazla kaliteyi sağlayabildiği üretim metotlarını uygulamaları gereklidir (Molloy ve diğ. 2012).

18. yy sonlarında başta İngiltere olmak üzere birçok ülkede üretimde teknolojik gelişmeler kullanılmaya ve faydaları gözlemlenmeye başlamıştır. Bu durum atölye tipi çalışma yerine fabrika mantığında çalışmayı beraberinde getirerek endüstriyel bir farklılık oluşturmaya başlamıştır (EBSO 2015). 19. yy başlarında ve ortalarında ise sanayi dönüşümünü başarmış işletmelerde üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve üretimin kolaylaştırılarak maliyetlerin azaltılması ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu dönemde Henry Ford'un bant tipi üretime geçişi ve elektriği üretimde etkin olarak kullanmaya başlaması önemli bir kilometre taşıdır (Soylu 2018). Henry Ford'un yapmış olduğu üretim geliştirme çalışmaları II. Dünya Savaşı'ndan yeni çıkmış olan Japonya için de bir örnek oldu. Özellikle Toyota başta olmak üzere birçok Japon firma hızlı bir kalkınma gerçekleştirmek için bugün Yalın Üretim Sistemleri diye adlandırılan uygulamanın temel yapı taşını oluşturacak çalışmaları başlatmışlardır.

Sanayi devriminden II. Dünya Savaşı sonrası Japonya'nın kendi üretim tekniklerini uygulanmaya başlamasına kadar geçen sürede çoğunlukla üretim süreçlerine odaklanarak montaj ve imalatın tasarım kısıtları çerçevesinde gelişimi sağlanabilmiştir. Tasarım kısıtları sanayici ve bilim insanlarını yeni metotlar geliştirmeye teşvik etmiştir.

1.1. Amaç

Bu çalışma ile asansör kabin ve kapıları üretimi yapan bir işletmede ürün tasarımları üzerinde montaj için tasarım prensipleri uygulanarak tasarım etkinliğindeki ve üretim sürelerindeki iyileşmeler incelenecektir. Bu uygulama ile ülkemiz sanayinde montaj için tasarım uygulamalarına bir örnek oluşturmak ve literatüre uygulama ile katkı sağlamak amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Ürünlerin montajının tasarım olarak kolaylaştırılması gerekliliği ilk defa 1960'lı yıllarda konuşulmaya başlandı. O yıllarda daha çok üretim talimatları geliştirilerek üretimin anlaşılabilirliği ve kolaylığı artırılmıştır (Boothroyd 2002).

1970'li yıllara kadar tasarımların sayısal metotlarla ölçülmesine yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Bu konuda ilk çalışma Montaj Değerlendirme Metodu (Assembly Evaluation Method – AEM) adıyla Hitachi firmasında geliştirilmiştir. Bu metot “Bir Parça Bir Hareket” yaklaşımı temelinde geliştirilmiştir. 1977'nin başlarında Geoffrey Boothroyd tarafından ürünlerin montaj maliyetini ve montaj sürelerini tahmin etmek için Montaj İçin Tasarım yöntemi geliştirildi. Bu çalışma sonrasında, Amerikan Bilim Vakfı (U.S. NSF-U.S. National Science Foundation) Montaj İçin Tasarım (Design For Assembly – DFA) ve İmalat İçin Tasarım (Design For Manufacturing – DFM) çalışmalarının ülke genelinde yaygınlaştırılmasını teşvik etmiştir (Boothroyd 2002).

1970'li yılların sonlarına doğru NSF destekli olarak makine imalatı yapan küçük ölçekli işletmelerde uygulanan DFA metodu ile elde edilen ilk somut sonuçlar “Montaj Mühendisliği (Assembly Engineering)” başlığında rapor edilmiştir. Bu rapor neticesinde çalışmanın en büyük destekçilerinden olan Xerox firmasının üretim yöneticisi Sidney Liebson, DFA metodu hakkında, DFA işletmemize önümüzdeki 10 yıl içerisinde milyonlarca dolar tasarruf ettirecek, diyerek metoda güvenini belirtmiştir. DFA konusunda asıl dönüm noktası 1988 yılında Ford firmasının, geliştirdiği DFA yazılımını Taurus modeli

üretiminde kullanmaları ile milyonlarca dolar tasarruf ettiklerini açıklaması olmuştur (Boothroyd 2002).

Hızlı ürün döngüsü kısıtının bir gerekliliği olarak “ilk seferde doğru” yaklaşımının önemli olduğu üretim sistemlerinde Eşzamanlı Mühendislik yaklaşımı ile tasarım sürecini yürütme gerekliliği daha fazla ön plana çıkmıştır. Eşzamanlı Mühendislik yaklaşımı DFA çalışmalarının temelini oluşturan bir yaklaşımdır. DFA çalışmalarından daha hızlı fayda sağlayabilmek için üretim ve tasarım ekiplerinin birlikte çalışma yapması gereklidir (Molloy ve diğ. 2012).

Eşzamanlı mühendislik çalışmaları uygulanmayan tasarım süreçlerinde, her tasarım birimi kendi alanı ile ilgili tasarım çalışmasını tamamladığında bir sonraki tasarım birimine bilgileri iletmektedir. Eğer bir sorun varsa önceki tasarım süreçleri uyarılarak tekrar düzeltmeler yapılır. Bu durum tasarımda çok fazla değişiklik yapmaya, yüksek tasarım maliyetine ve tasarımdan üretime geçişin yavaşlamasına neden olmaktadır. Tasarım hatalarının veya montaj zorluklarının üretimde fark edilmesinde ise genellikle telafi edilemeyen bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu tip tasarım süreçlerine “sıralı mühendislik” adı verilmektedir (Yavuz 2016).

Sıralı mühendislikte yaşanan sorunların çözümü için eşzamanlı mühendislik çalışmalarında üretim dahil tüm birimler ortak bir çalışma yaparak tasarım sürecini yürütmektedirler.

Eşzamanlı mühendislik kavramı üretim ve kalite dahil tüm teknik birimleri bir araya getirerek tasarım çalışmalarını çeşitli bilgi birikimleri ile zenginleştirdiği için MiT uygulamasında etkin olarak kullanılmaktadır. Üretim ve montaj tecrübesinin yer almadığı tasarım süreçlerinde, diğer tüm tasarım birimleri eşzamanlı çalışıyor olsa da üretim şartlarının değerlendirilmesi konusu eksik kalacağı için tam anlamı ile eşzamanlı mühendislik sağlanamayacaktır.

2. TASARIM GELİŞTİRME SÜREÇLERİ

Endüstriyel tasarım, duyularla hissedilebilen bir ürünün tümü veya bazı kısımlarında yapılan değişikliklerdir.

Katılımcı Tasarım ilk olarak 1960'lı yıllarda İskandinav ülkelerinde ortaya çıkmış olup, tasarımla ilgili herkesin tasarıma katkı yapmasını sağlayan bir yaklaşımdır. Kullanıcılar, işverenler, müşteriler vb. tüm taraflar tasarım üzerinde fikir belirterek ürün geliştirilir (Akdemir 2017).

Günümüzde teknolojik gelişmeleri ve dünya üzerinde teknolojinin yayılma hızındaki artış, aynı ürünü çok sayıda işletmenin benzer kalitede üretebilmesini sağlamaktadır. Fiyat ve kalitenin ön plana çıktığı pazar koşullarından ziyade hali hazırda fiyatı pazarın belirlediği ve kalitenin olmazsa olmaz bir nitelik olduğu yeni düzende, tasarım farklılaşması hem rekabet edebilirlik hem de maliyet tasarrufları ile karı optimize etmek için gerekli bir olgu olarak ortaya çıkmaktadır (Özdemir ve diğ. 2013).

Tasarımın fiyat dışındaki rekabet faktörlerinde her geçen gün daha önemli hale gelmesi dışında üretim maliyeti ve ürün yaşam döngüsü üzerindeki etkisi de 1980 sonrası çalışmalarda vurgulanmıştır.

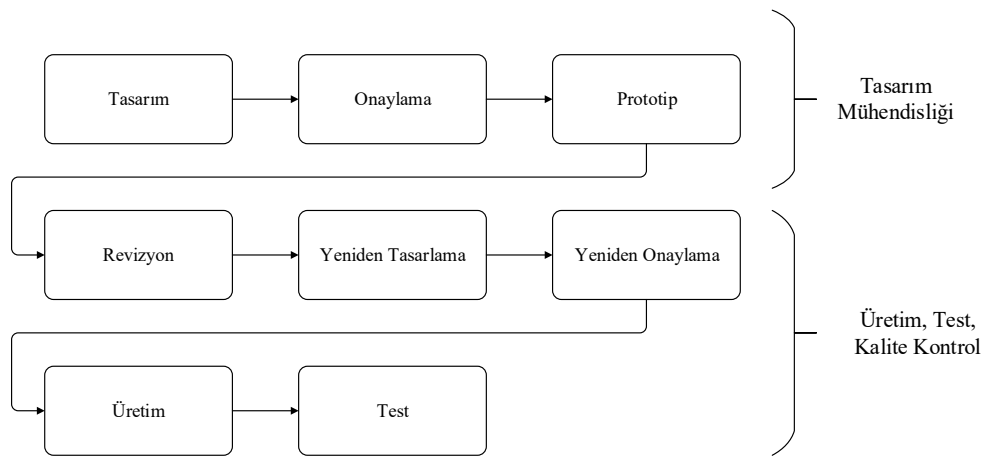
Er ve arkadaşlarına (2010) göre fiyat dışı rekabet faktörleri MiT çalışmaları kapsamına girmektedir. MiT çalışmalarında, ürünlerin kolay üretilmesi, üretim süreçlerinin kısaltılması, teslim zamanının kısaltılması ve arıza durumlarında kolaylıkla tamir edilebilmesi göz önünde bulundurulmaktadır.

Tasarım en geniş anlamıyla, bir ürünün pazar ve teknoloji kaynaklı fırsatlarından faydalanarak müşteri, üretici, satıcı ve kullanıcı faydalarının en üste çıkarılmasıdır. Başka bir deyişle müşterinin ulaşabildiği ürünü işletmenin teknolojik imkanlarını da kullanarak daha fazla kar elde edecek şekilde planlamasıdır. Bu tanımları birlikte ele aldığımızda tasarım, üreticilerin teknolojik üretim kabiliyetlerini ve pazardan elde edilen bilgileri değerlendirerek geliştirilmiş bir ürün ortaya çıkartma çalışmasıdır (Er ve diğ. 2010).

2.1. Sıralı Mühendislik

Klasik ürün geliştirme süreci olan sıralı mühendislikte ürün geliştirme basamakları bir önceki işin tamamlanması ile başka bir işe geçiş şeklinde ilerler. Bu ürün geliştirme

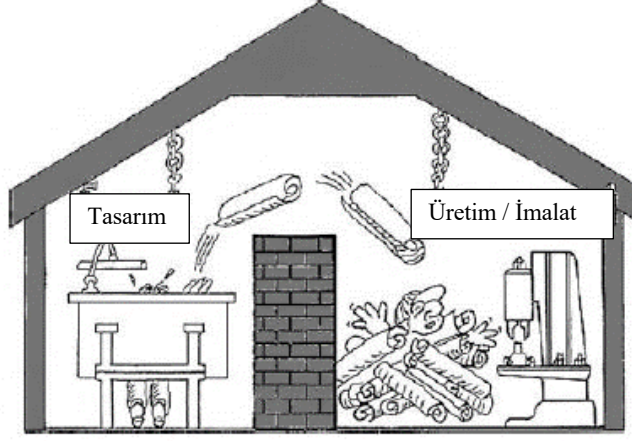
yönteminin en zayıf tarafı birimler arası iletişimin çok zayıf olmasıdır. Bu yüzden müşterinin beklentilerinden çok ürünlerin fonksiyonelliği ön planda tutulur. Ürün geliştirme departmanları arasındaki iletişim zayıflığı nedeniyle yaşanacak bir sorunda tüm veri akışı geriye doğru olmaktadır. Bu durum sıralı mühendislik çalışmalarında tasarım ve ürün geliştirme sürecinin uzamasına, ürünün pazara çıkmasının gecikmesine ve üründen yaşam döngüsü içerisinde daha az kar elde edilmesine neden olmaktadır. Tasarım üzerinde çok defa değişiklik yapılması, sürecin yavaş ilerlemesi, değişikliklerden doğan yüksek maliyetler ve geliştirme ekibindeki motivasyon düşüklüğü sıralı mühendisliğin genel karakteristiğidir (Ulugergerli 2009).



Şekil 2.1: Sıralı Mühendislik (Ulugergerli 2009)

Sıralı mühendislikte Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi tasarım mühendisliği ve üretim, test ve kalite kontrol mühendislikleri birlikte çalışmadığı için üretim sırasında yaşanan bir sorunun çözümü çok zor ya da imkansız olabilmektedir. Örneğin; üretimde en büyük maliyetlerden biri olan kalıp ve sarf malzemelerin üretim başladıktan sonra değiştirilmesi üretimin aksamasına ve düzeltme maliyetine neden olacaktır. Bu sebeple çoğu işletme üretim başladıktan sonra tasarım hatalarını fark etse bile üretime devam etmek zorunda kalmakta veya o üründen elde edeceği karın bir kısmından vazgeçme durumuyla karşı karşıya kalabilmektedir.

Sıralı mühendislikte tasarım geliştirme çalışmaları ve üretim arasında adeta bir duvar varmış gibi iletişim sorunları ile karşılaşmaktadır (Bkz. Şekil 2.2). Birimler arası bu tür iletişim duvarlarının örülmesi durumuna Duvarın Üstünden Sendromu (Over The Wall Sendrome) denilmektedir (Tini 2019).

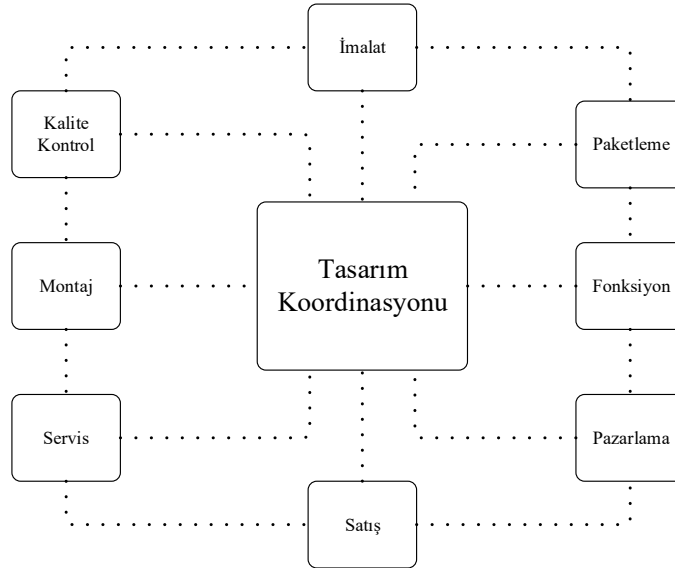


Şekil 2.2: Duvar Üstünden Sendromu (Tini 2019)

2.2. Eşzamanlı Mühendislik

Eşzamanlı Mühendislik kavramı günümüzde gelişen teknoloji ile ürünlerdeki karmaşıklığın artması nedeniyle firma içindeki tüm birimlerin ürün hakkında daha detaylı ilgi sahibi olması gerekliliği, ürün maliyetlerinin artması ve ürün karmaşıklığının getirdiği daha fazla kalite sorunu nedenleriyle ortaya çıkmış bir metottür (Prasad 1995).

Sıralı ürün geliştirme süreçlerinin aksine ürün geliştirme süresince, bilginin ilgili tüm birimler tarafından sürekli akışının sağlandığı ve iletişim kanallarının aktif olarak kullanıldığı sürece *eşzamanlı mühendislik* denir (Bkz. Şekil 2.3) (Ulugergerli 2009).



Şekil 2.3: Eşzamanlı Mühendislik (Ulugergerli 2009)

Günümüzde birçok işletme ürün geliştirme stratejilerini işletmenin ana stratejisi olarak yürütebilmektedir. Ürün geliştirme stratejilerinin etkin olarak kullanılması rekabet

gücünü arttırarak işletmenin temel amaç ve stratejilerine uzun vadeli olarak etki edebilir. Bu yüzden ürün geliştirme stratejileri belirlenirken mutlaka teknolojik değişimler, zamanlama, küresel ekonomi, pazarlama, ürün farklılaştırma ve pazar araştırmaları dikkate alınmalıdır (Yayla ve diğ. 2010).

Ürün geliştirme performansı yüksek olan işletmeler diğer işletmelere göre ciddi bir rekabet avantajı elde ederler ve hızlı ürün değişimi ile pazarı sürekli besleyerek müşteri beklentilerini hızlı tatmin edebildikleri için müşterilerin başka rakip firmalara gitmelerini engelleyebilmektedir. Ayrıca rakiplerinden daha düşük maliyetlerle ürün geliştirme sağlayan bu işletmeler, bu durumu fiyatlarına yansıtarak rekabet gücünü koruyabilmektedirler.

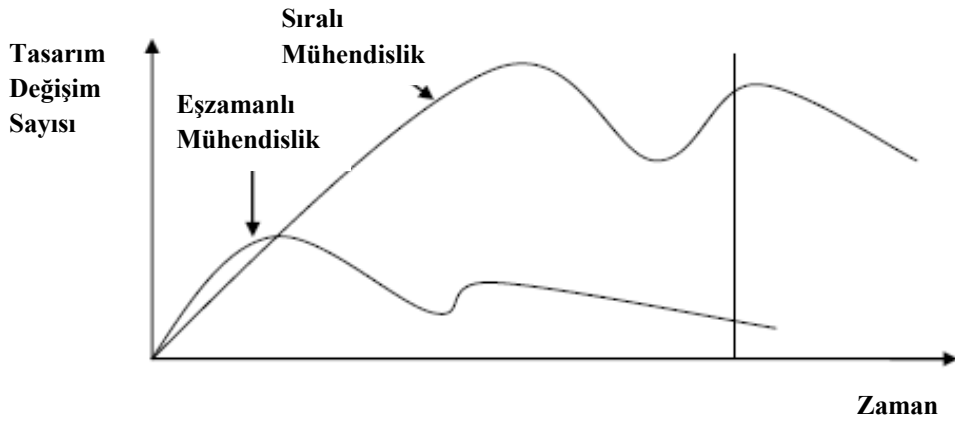
Firmaların genel anlamda ürün geliştirme stratejisi olarak benimsediği 4 strateji vardır (Yayla ve diğ. 2010):

1. En iyi kalitede ürün geliştirmek
2. Etkin bir ürün geliştirme organizasyonu kurmak
3. Ürün geliştirme süreçlerini kısaltarak performansını arttırmak
4. Ürün geliştirme ile uzun vadeli rekabet avantajı elde etmek.

Firmaların ürün geliştirme için benimsediği bu 4 önemli strateji, Eşzamanlı Mühendislik ile başarılabilir. Eşzamanlı Mühendislik çalışmaları ile üründe sonradan yaşanabilecek tüm kalite sorunları tasarım aşamasında fark edilip tasarım kaynaklı olanların düzeltilmesi ve diğerleri için de önlem alınması sağlanabilir.

Eşzamanlı Mühendislik çalışmasını doğru bir şekilde yürütebilmek için geliştirilen ürün ile ilgili tüm uzmanlık alanlarından kişilerin katılımı gereklidir. Bu ekipte özellikle mavi yaka üretim ve kalite çalışanlarının veya direk bu kişilerle çalışan uzmanların bulunması gereklidir. Çünkü ürün geliştirmede en etkili veri kaynağını sahadan gelen bilgiler ve etütler oluşturmaktadır. Kurulan bu ekip ile düzenli toplantı yapılması, ürün ile ilgili alınması gereken aksiyonların sistematik olarak not edilmesi ve aksiyonların sürekli takip edilmesi gereklidir. Kurulan ekip üst yönetim tarafından desteklenerek ekip çalışması ve alınan kararların bağlayıcılığı için yönetim otoritesi hissettirilmelidir. Tüm bunlar sağlandığında işletmeler için ürün geliştirme stratejilerinden birisi olan “etkin bir ürün geliştirme organizasyonu kurmak” amacı da gerçekleşmektedir.

Eşzamanlı mühendislik kavramı sıralı mühendislikte yaşanan olumsuzlukların (çok defa revizyon talebi, zaman kaybı gibi) önlenmesi için geliştirilmiş bir metottür. Eşzamanlı Mühendislikte ilgili tüm birimler aktif olarak iletişim halinde olduğu için düzeltilmesi gereken kısımlar tasarım devam ederken anlık olarak düzeltilmektedir. Bu sayede çok sayıda uzmanlık alanından istifade edilerek tasarım süreci kısaltılmakta ve işletmelere oldukça ağır maliyetler oluşturan tasarım revizyon sayısı azalmaktadır (Bkz. Şekil 2.4). Revizyon sayısının azalması ve defalarca geriye dönülmesi nedeniyle yaşanan gecikmeler önlenerek, işletmeler için stratejik öneme sahip ürün geliştirme sürecinin kısaltılması da sağlanmış olur.



Şekil 2.1: Tasarım değişim grafiği (Ulugergerli 2009)

Küreselleşmenin gerekliliği olarak yeni pazarlar yeni ürünleri beraberinde getirmektedir. Eşzamanlı Mühendislik kavramı, işletmelere pazara yeni ürün sunma sürekliliğini sağlamakta ve üretim maliyetlerinin azaltılması, hızlı ürün geliştirme gibi birçok avantajlar sayesinde rekabet gücünü arttırmaktadır.

2.3. Eşzamanlı Mühendisliğin Temel Unsurları

Eşzamanlı mühendisliğin temel unsurları şunlardır:

- a. **Çapraz Fonksiyonel Ekip:** Eş zamanlı mühendislik çalışmasında yer alacak farklı uzmanlık alanlarındaki ekipleri tanımlar (Yıldız ve Yayla 2017).
- b. **Eşzamanlı Ürün Geliştirme Süreci:** Ürün geliştirme sürecinde adımlar sıralı olarak değil paralel olarak ilerleyerek eşzamanlı mühendislik çalışması oluşturulur. Burada birimlerin birbiri ile iletişiminden sağlanan katkılar sürece

yansıtılarak ürün geliştirme adımları birbiri ile paralel ama birbirini tamamlar nitelikte devam eder (Ulugergerli 2009).

- c. Bütünleşik Tasarım Yönetimi:** Temelde ürün geliştirme sürecinin en başından itibaren birimler arası erken işbirliğinin sağlanarak tasarımın tüm birimlerle ve alınan ortak kararlarla bir bütün olarak tamamlanmasıdır (Üren 2020).
- d. Tedarikçilerin Sürece Dahil Edilmesi:** Ürün için kritik ürün üreten tedarikçiler de sürece dahil edilmelidir. Ürün üzerinde yapılan değişikliklerden ve tedarik edilen hammaddede oluşabilecek değişiklik gerekliliklerinden tedarikçilerinde bilgisi olması buna göre hazırlık yapması gereklidir. Tedarikçilerin tüm teknik bilgi ve deneyimlerinden ürün geliştirme sürecinde istifade edilmeli (Ulugergerli 2009).
- e. Müşteri Beklentilerine Odaklanma:** Eşzamanlı mühendislik çalışmasında müşteri beklentileri önceden belirlenerek ürün geliştirme süreci buna uygun olarak sürdürülmelidir. Özellikle ürün geliştirme süreci göz önüne alınmalı ve bu sürenin sonunda ürün pazara sunulduğunda oluşacak müşteri beklentileri ön planda tutulmalıdır.
- f. Bilginin Kullanımı:** Günümüz şartlarında artan ürün karmaşıklığı ürün geliştirme süreçlerinde daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmasını beraberinde getirmiştir. Farklı kanallardan gelen bu bilgilerin ürün geliştirme çalışmalarında kullanılarak ürün tasarımına yansıtılması tasarım etkinliği açısından oldukça önemlidir.

3. ÜRETİM GELİŞTİRME METOTLARI VE GELİŞİMİ

Üretim geliştirme metotları 1. Dünya Savaşı sonrası özellikle otomotiv sektöründe ön plana çıkmaya başlamıştır. Henry Ford ve General Motors'dan Alfred Sloan emek ve iş becerisine dayalı üretimden seri üretime geçişin temellerini atmış ve üretim metotlarının gelişmesine katkı sağlamıştır. 2. Dünya Savaşı sonrası toparlanma sürecine giren Japonya'da ise Taichi Ohno önderliğinde, Toyota üretim sistemi ve yalın üretim sistemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Tüm bu üretim sistemleri üretim geliştirme metot ve analizlerine öncülük etmişlerdir. Bu iki sistem birbirinin tamamlayıcısı niteliğindedir. Yalın üretim sistemi mevcut montaj hatlarındaki önemli israflara odaklanarak bunların yok edilmesi temelinde geliştirilmiş bir metottur. (Ersöz ve diğ. 2020).

Fordist Üretim Yaklaşımı, Frederick Winslow Taylor'ın üretim yönetimi metotlarını temel almaktadır. Taylor'ın 1900'lerin başlarında yazdığı Bilimsel İş Yönetimi İlkeleri adlı kitabında bahsettiği gibi üretim adımlarının çalışma esnasında en ince ayrıntısına kadar incelenerek, bu işlerin çalışanların kendi metotları ile gerçekleşmesi yerine bilimsel iş standartları ile gerçekleşmesinin verimlilik, zaman ve enerji tasarrufu bakımından gerekliliği vurgulanmıştır. Bu doğrultuda yapılan uygulamalarda işler en küçük parçalarına ayrılarak kronometre yardımıyla bu işlerin ölçümü yapılmış ve standart süre kavramı geliştirilmiştir. Bu sayede her iş için bir standart süre belirlenerek bu süreye bağlı iş süreçlerinde geliştirmeler yapılmıştır (Sadioğlu ve Altay 2020).

Bu iş ilkeleri ve Taylor sistemi Henry Ford tarafından 1913 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Henry Ford bu uygulama ile T modelinde 514 dk olan montaj hazırlık süresini 1,19 dk'ya düşürmüştür. Ford yaptığı uygulamada Taylor'ın belirttiği iş ayrımlarını çok iyi şekilde yaparak montajı yapılan otomobilin çalışanın önüne gelmesini sağlamıştır. İyi organize edilmiş bu üretim metodu ve işlem sırasına uygun şekilde dizilmiş iş istasyonları bir montaj hattı örneği oluşturmuştur. Sonraki yıllarda Amerika ve Avrupa'da bu metot çok benimsenmiştir (Akyurt 2010).

Fordist üretim sisteminde tek modellenmiş yüksek miktarlı üretim şekli ön plandayken 1950'lere gelindiğinde daha çok farklı modellenmiş üretimler ve bunların pazarda kabul görmesi önemli hale gelmiştir. Özellikle Fordist üretim sisteminin temeli olan itme sistemi, yalın üretim sisteminde kanban metotlarının da geliştirilmesi ile çekme sistemine dönüştürülmüştür. Bu dönüşümün dünyadaki ekonomik ve satış politikalarından da

kaynaklandığı unutulmamalıdır. Bu şartlarda Toyota üretim sisteminde daha esnek bir üretim şeklinin gerekliliği ve buna uygun üretim geliştirme tekniklerinin gerekliliği vurgulanmıştır. İlk başlarda Fordist üretim sistemi ile çalışan Toyota, Ford'un yıllık üretim miktarının yakınlarına bile ulaşamazken Taiichi Ohno tarafından geliştirilen metotla kalıp değişim sürelerini 8 saatten 3 dk'ya kadar indirmiş ve çok miktartlı üretim yerine daha farklı model üretebilme kabiliyeti kazanmıştır. Bu da parça maliyetlerinin ve parça stok maliyetlerinin tasarrufunu sağlamıştır (Akyurt 2010).

Fordist Üretim Sistemi ve Yalın Üretim Sistemi incelendiğinde temel olarak şu üretim geliştirme metotları ön plana çıkmaktadır:

- a. İşlerin Parçalanması
- b. Montaj Hattı
- c. Montaj Hattı dengeleme
- d. Tam Zamanında Üretim
- e. Kaliteli Üretim
- f. Üretimde İsrafların Önlenmesi (7 israf)
- g. Kaizen Metodu
- h. SMED (Kalıp değişim sürelerinin kısaltılması)
- i. DFMA (Design For Manufacturing and Assembly)

1970'li yıllara gelindiğinde Yalın Üretim Sistemindeki belirli kısıtlar nedeniyle, üretim geliştirme hızının yavaşladığının gözlemlenmesi ve bu kısıtların en önemlilerinden olan tasarım kısıtının çözülmesi için DFMA metodu ortaya çıkmıştır. DFMA metodu ile tasarım kaynaklı olarak üretim gelişimini engelleyen unsurlar belirlenerek bunların tasarım olarak çözümü ve üretim geliştiriminin devamlılığı sağlanacaktır. Teknolojik ürün üretimi yapan bir işletmede yapılan gözlemlere dayanarak bir örnek vermek gerekirse bir montaj hattında yalın üretim metotları ile en verimli montaj hattının dengesi %72 - %77 arasında iken DFMA metodunun da kullanılması ile bu rakam %80'lerin üzerine çıktığı gözlemlenmiştir.

DFMA sürecinde özellikle eşzamanlı mühendislik çalışmaları kapsamında geliştirilecek olan yeni tasarımların imalat ve montaja en uygun hale getirilmesi çalışmanın temel amacıdır. Bu amaç kapsamında eşzamanlı mühendislik ekibine dahil olacak olan üretim, imalat ve kalite ekiplerinin tasarım üzerinde yapacakları yorumlar kritik öneme

sahiptir. Bahsedilen Fordist ve Yalın Üretim yaklaşımları günümüz üretim yaklaşımının temelini oluşturduğu için MiT sürecinde üretim ekibi bu yaklaşımların temel unsurlarını ele almalı ve bu unsurları destekleyici tasarım değişikliklerini önermelidir.

4. İMALAT VE MONTAJ İÇİN TASARIM (DFMA – İMİT)

DFMA, ürünlerin üretiminde karşılaşılan verimsizliklerin tasarım iyileştirmesi yapılarak çözülmesini sağlayan bir metottur. DFMA metodu eşzamanlı mühendislik ürün geliştirme yöntemini temel alarak tasarım geliştirmeleri yapılmasını öngörür. DFMA'in temel amacı tasarım etkinliğinin ölçülerek, tasarımın üretimdeki verimsizlik yansımasının sayısallaştırılması ve tasarım iyileştirmeleri sonucunda da tasarım etkinliğindeki yükselişin takip edilerek çalışmanın doğrulanmasıdır (Boothroyd ve diğ. 2002).

DFMA'in temelinde parça sayısının azaltılarak işlem sayısının azaltılması ve azaltılmayan parçaların ise montajının kolaylaştırılması vardır. Ürün maliyetlerinin azaltılması ve üretimde yaşanacak tasarım kaynaklı sorunların tasarım sürecinde öngörülerek çözülmesi de DFMA'in önemli hedeflerindedir (Boothroyd ve diğ. 2002).

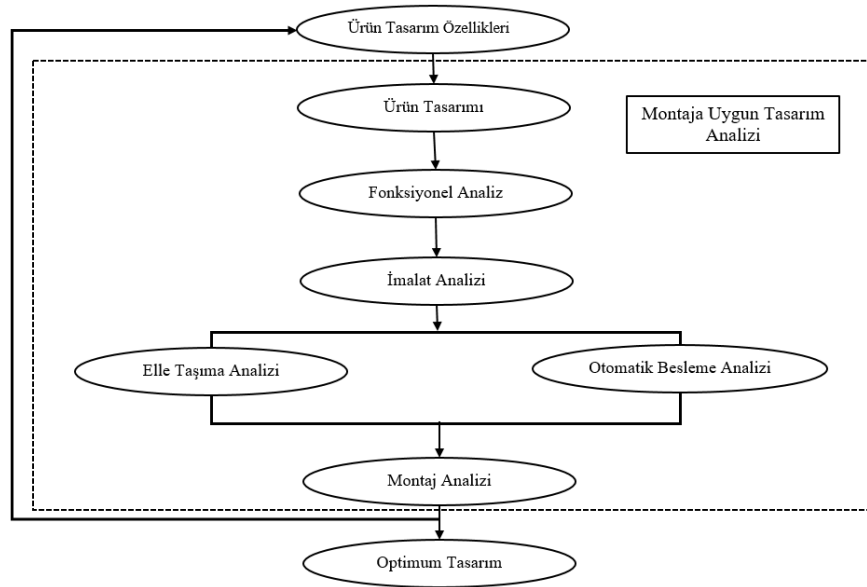
DFMA'in amaçlarını şu şekilde sıralayabiliriz (Kocakoç 2008):

- Tasarımı yapılacak ürünün daha yalın bir yapıda tasarlanması için yol gösterici bir metod oluşturmak,
- Montaj hattında karşılaşılan katma değersiz işlerin ürün tasarımında düzeltilmesi ile ürün işçilik maliyetlerinden tasarruf sağlanması,
- Otomasyon ve robotik sistemlere uygun bir ürün tasarımı için kuramlar geliştirilmesini sağlamak,
- Montaj kolaylığı sağlamak ve gereksiz taşıma işlemlerini yok etmek,
- Üretimde kullanılan montaj ve üretim talimatlarının sayısını azaltmak,
- Üretim hattının daha dengeli olmasını sağlamak,
- Hatalı üretimi engellemek,
- Yaşanabilecek montaj hattı darboğazlarına ön çözümler bulmak,
- Ürün farklılaşmasını hızlandırmak,
- Montaj hattında kullanılan ekipmanlara uygun bir tasarımın yapılması veya üretim sürecine kadar gerekli ekipmanların temin edilmesini sağlamaktır.

Montaj sürecinin temel operasyonları olan işlerin sıralanması, parçaların taşınması, birleştirme, bağlama, kontrol ve dokümantasyon işlerinin planlanmasında tasarım ile üretim arasında önemli bir ilişki vardır. Üretim sırasında bu operasyonlarda oluşan çoğu aksaklık tasarım iyileştirmesi ile giderilebilir. Tasarım sürecinde bu aksaklıkların ön görülmemesi sonucunda üretim maliyetlerinin yükselmesi ve kalite sorunlarının artışı kaçınılmaz

olmaktadır. Ürünlerin imalat ve montaj maliyetlerinin %70'inin belirlendiği tasarım sürecinde, farklı disiplinlerdeki mühendislik ve teknik personelin eş zamanlı çalışması ve DFMA yaklaşımı ile daha az üretim maliyeti olan ve daha kaliteli bir ürün geliştirilebilecektir (Karaçalı ve Demirci 2009).

DFMA çalışması, tasarım süreci içerisinde ürünün fonksiyonel özelliklerinden ve kalitesinden ödün vermeden yapılmalıdır. Bu aşamada ürünün temel özellikleri ve piyasanın üründen beklediği özellikler her aşamada ele alınmalı ve iyileştirme önerileri bunlara uygun olarak geliştirilmelidir. Sonrasında yapılan montaj ve imalat analizi ile tasarım üzerinde işçilik maliyetlerini en aza indirecek öneriler ele alınmalı ve uygun olanlar değerlendirilerek montaj ve imalata en uygun tasarım ortaya çıkartılmalıdır (Bkz. Şekil 4.1).

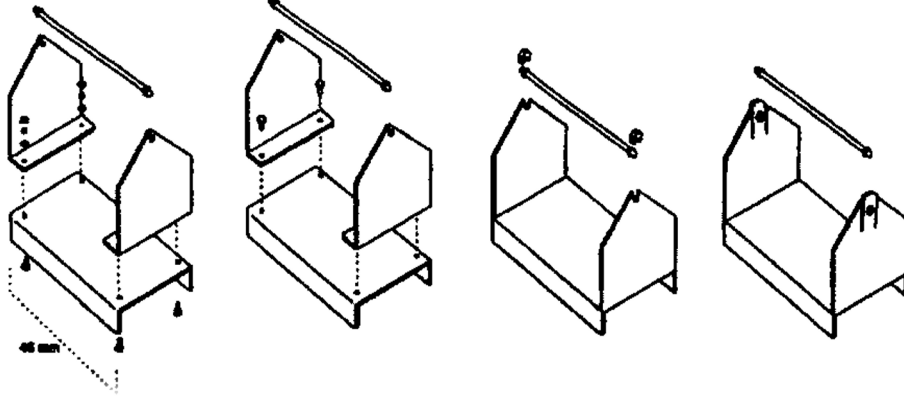


Şekil 4.1: DFMA ve tasarım süreci ilişkilendirme (İmrak ve Salman 2010)

4.1. DFMA Prensipleri

DFMA metodunun genel kabul görmüş bazı prensipleri vardır. Bu prensipler tasarımlarda parça sayısının azaltılması ile montaj işçilik sürelerinin kısaltılmasını temel alır. Ayrıca tutma, hareket ettirme, yönlendirme ve yerleştirme hareketlerinin kolaylaştırılması da montaj işçilik süresinin azalmasını sağlayacaktır. Tüm bunların en iyi şekilde uygulanması ile DFMA çalışmasından elde edilecek maliyet tasarrufu maksimize edilecektir. DFMA'nın en iyi şekilde uygulanması için tasarım üzerinde düşünülmesi gereken prensipler şunlardır:

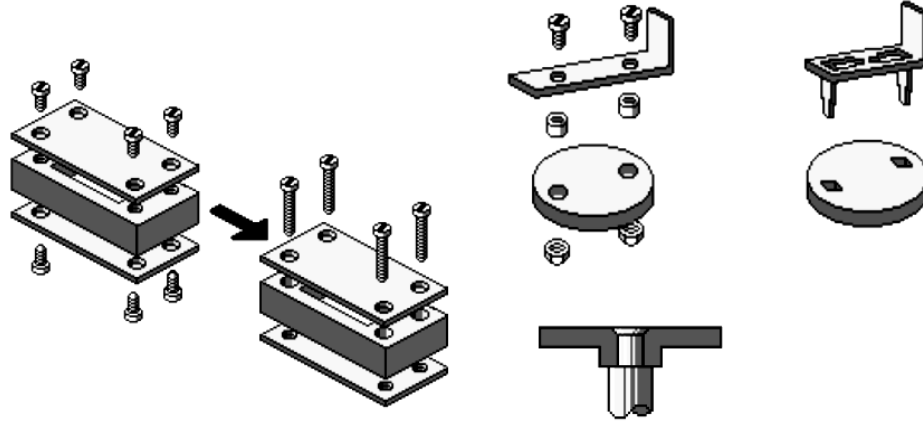
- **Parça sayısının azaltılması:** DFMA'in temel prensibidir. Montaj işçiliği, temelinde parçaların birleşimini sağladığı için daha az parça sayısı daha az işçilik gerekliliği anlamına gelmektedir (Bkz. Şekil 4.2) (Kokane ve diğ. 2015; Kumar 2020).



Şekil 4.2: Parça sayısının azaltılması prensibine örnek bir tasarım çalışması

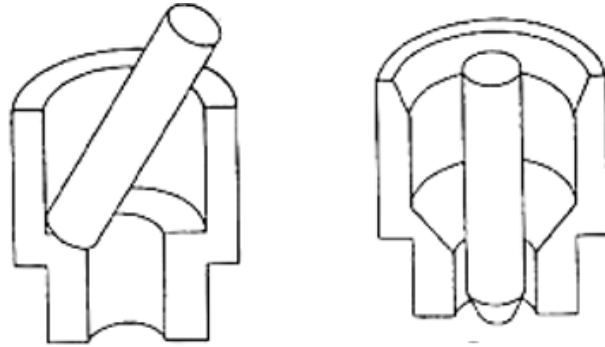
- **Parça çeşitliliğinin azaltılması:** Parça çeşitliliğinin azaltılması ile montaj hattındaki karmaşıklık da azalmaktadır. Bu sayede hatalar önlenmekte ve parça seçmek için kaybedilen zamandan tasarruf edilmektedir. Ayrıca fabrika içindeki parça hareketliliği de azaltılmaktadır. Birleştirici parçaların çeşitliliğinin azaltılması ise montaj hattında alet alıp bırakma işlemlerini yok ettiği gibi ayrıca montaj hattının dengelenmesi için daha esnek bir yapı da oluşturmaktadır.

- **Birleştirici sayısının azaltılması:** Birleştirici sayısının azaltılması otomatik olarak parça sayısının azaltılmasını da sağlamaktadır; ancak bazı durumlarda birleştiriciler tamamen yok edilememektedir. Bu durumda birleştiricileri daha fonksiyonel kullanmak bir çözüm olabilir (Bkz. Şekil 4.3).



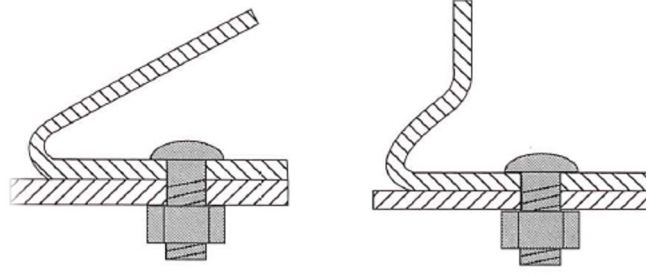
Şekil 4.3: Birleştirici sayısının azaltılmasına prensibine örnek bir tasarım çalışması

- **Parçaların kolay yerleştirilmesi ve yönlendirilmesi:** Parçaların kolay yerleştirilmesi ve yönlendirilmesi işlemin daha hızlı yapılabilmesini sağladığı gibi montaj hattında daha az dikkat gerektirdiği için hata sayısını ve düzeltme sayısını da azaltacaktır. Daha az düzeltme daha verimli montaj hattını sağlamaktadır (Bkz. Şekil 4.4) (Kokane ve diğ. 2015).



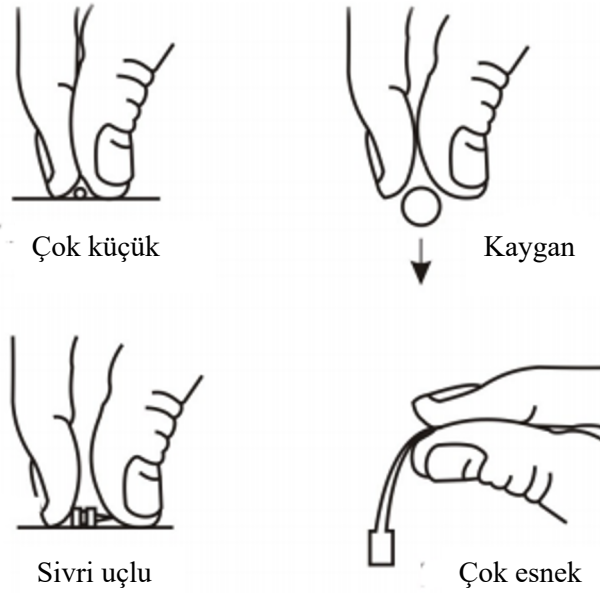
Şekil 4.4: Kolay yerleşebilen parça örneği

- **Montaj yerinin tam görünürlüğü:** Montaj yerinin tam olarak görünür olması montajı yapılacak parçanın kolaylıkla yerine sabitlenmesini sağlayacaktır. Kör noktalarda yapılacak montajlar hem süre kaybına hem de hatalara yol açacaktır (Bkz. Şekil 4.5) (Kokane ve diğ. 2015).



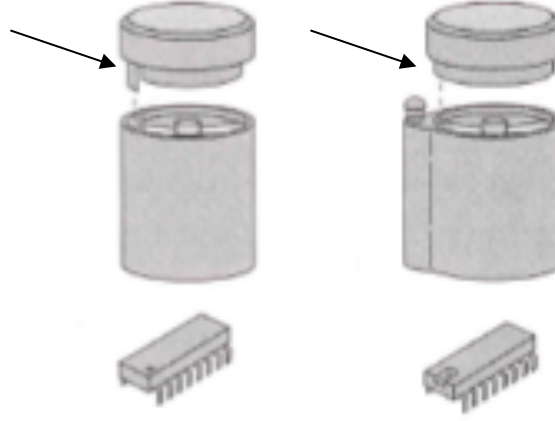
Şekil 4.5: Montaj yeri görünürlüğü

- **Parçaların kolay tutulabilir olması:** Kolay tutulabilir parçalar daha kolay monte edilebilir. Özellikle bağlantı elemanlarının yok edilemediği durumlarda, çok küçük vida ve bağlantı elemanları montaj hızını olumsuz etkileyecektir (Bkz. Şekil 4.6) (Kumar 2020).



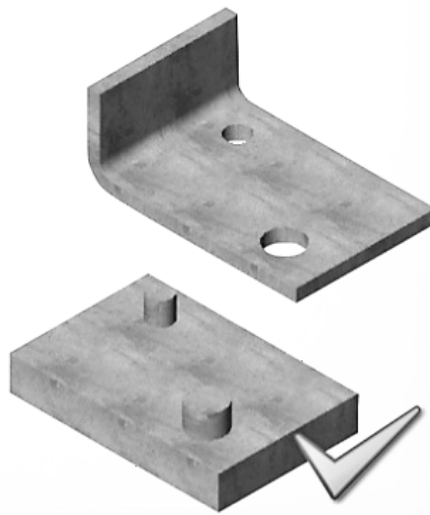
Şekil 4.6: El ile tutulması zor parçalara örnek

- **Yeniden yönlendirmenin önlenmesi:** Montajı yapılacak parçaları çok defa yön değiştirmesi önlenmelidir. Tüm yönleri ile montajı yapılabilecek parçalar daha iyidir. Yönü olması gerekiyorsa mutlaka üzerinde bir kılavuz veya kalıptan bir referans noktası olmalıdır (Bkz. Şekil 4.7) (Kokane ve diğ. 2015).



Şekil 4.7: Yeniden yönlendirmenin önlenmesi prensibine örnek tasarım uygulaması

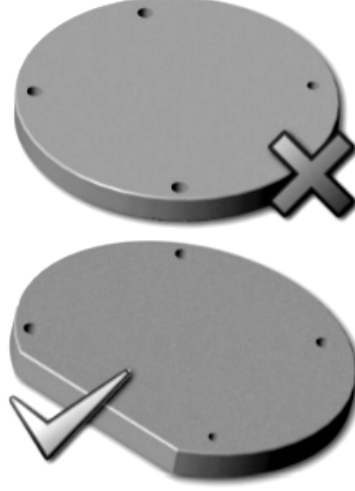
- **Parçaların yanlış monte edilmeyecek şekilde tasarlanması:** Montajı yapılacak parçalar yanlış monte edilmeyecek şekilde tasarlanarak parçaların monte edilip tekrar sökülmesi gibi gereksiz işçilikler yok edilmiş olacaktır. Ayrıca yanlış monte edildiği fark edilemeyen parçalar için kalite sorunları oluşacaktır (Bkz. Şekil 4.8) (Kokane ve diğ. 2015).



Şekil 4.8: Yanlış montajın önlenmesi prensibine örnek tasarım uygulaması

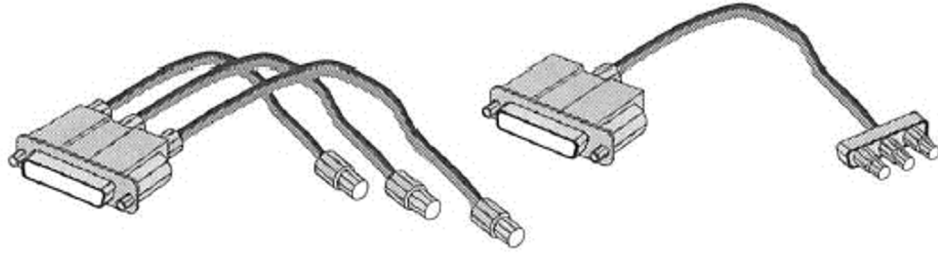
- **Tam simetrik parçalar veya görsel asimetrinin sağlanması:** Tam simetrik parçaların montajı kolaydır. Her yönden monte edilebilirler. Bu yüzden tam simetrik parçalar özellikle tercih edilir. Örneğin beşgen bir parça yerine silindir

şeklinde bir parça daha simetrik olacaktır. Silindir yerine küre kullanılması tam simetri sağlayacaktır. Tam simetrinin sağlanmadığı durumlarda ise parçaya asimetric bir kısım yapılarak monte edileceği yer ile simetrisi sağlanabilir (Bkz. Şekil 4.9) (Kokane ve diğ. 2015).



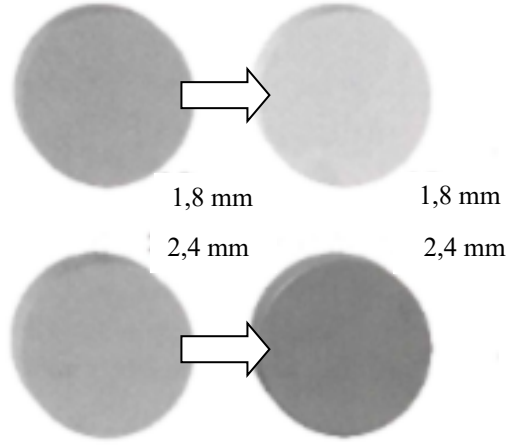
Şekil 4.9: Asimetrinin kullanılması prensibine örnek tasarım uygulaması

- **Parçaların modül olarak tasarlanması:** Montajı yapılacak bazı parçaların birleştirilmesi ile modüler bir yapı oluşturularak tek seferde birden çok parçanın montajının yapılabilmesidir (Bkz. Şekil 4.10) (Kumar 2020).



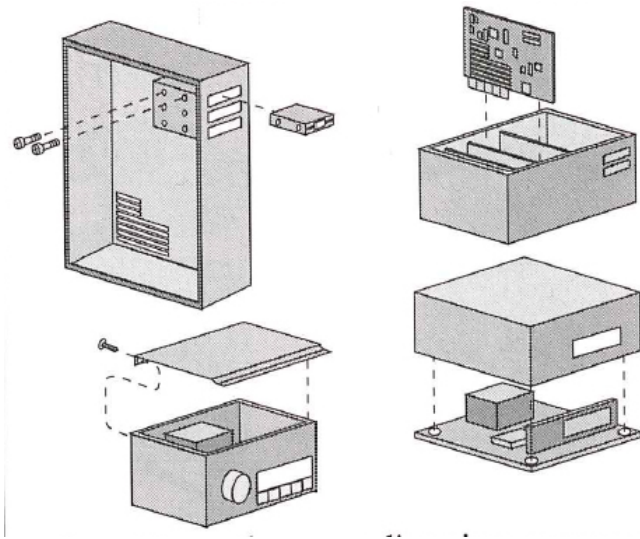
Şekil 4.10: Modül tasarım prensibine örnek tasarım uygulaması

- **Şekil olarak benzer parçalarda farklı renk kullanımı:** Şekil olarak birbirine benzeyen parçalarda montaj sırasında karışıklığı önlemek için farklı renklendirmeler kullanılmalıdır (Bkz. Şekil 4.11) (Kumar 2020).



Şekil 4.11: Benzer parçaların farklı renklendirilmesi

- **Yerçekimine uygun montaj sıralaması:** Montajı yapılacak parçaların yerçekimine uygun olması parçaların kendi ağırlıklarının da kullanılarak daha kolay yerleşmesini ve montaj sırasında sabit durabilmesini sağlayacaktır. Yatay ve yerçekimine ters montaj uygulamaları çok fazla enerji harcanmasına ve montaj hatalarının artmasına neden olacaktır. Parça küçükte olsa bu prensip montaj süresine olumlu katkı sağlayacaktır. Hatta bazı küçük parçalarda bu prensibin önemi daha fazladır. Örneğin bir parçanın tasarımda kullanılması gerekli olan bir vida ile yerçekimine ters bir şekilde montajı yapılmaya çalışıldığında tutma zorluğu, sabitleme zorluğu ve vidalamak için güç uygulama zorluğu gibi zorluklarla karşılaşılacaktır. Bu tasarım yerçekimine uygun hale getirildiğinde bu zorluklar yok edilmiş olacaktır (Bkz. Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Yerçekimine uygun tasarım prensibine örnek

4.2. DFMA'de Tasarım Etkinliği Ölçümü

DFMA çalışmasının en önemli aşamalarından birisi de tasarım etkinliğinin ölçülerek, bu etkinliğin yeni geliştirilen tasarım ile ne kadar iyileştiğinin karşılaştırılmasıdır. Bu sayede geliştirilen tasarımın sürekli iyileşmesi takip edilebilmektedir.

DFMA çalışmalarında kullanılan nitel ve nicel değerlendirme kriterleri mevcuttur. Nitel değerlendirme kriterlerinde daha çok maliyet yapısı, tasarım normları ve faaliyetler arası ilişkilendirilmiş maliyetler ön plana çıkartılarak tasarım değerlendirilir. Tasarımda kurallar ve maliyet unsurlarının nitel gözlemler ile incelendiği bu metodun, çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır.

Nitel değerlendirmenin avantajları:

- DFMA çalışmasının farklı adımlarında uygulanabilir olması,
- Maliyet analizini kesin değil yaklaşık veya nitel olarak ele alabilme kolaylığı (maliyet düşer, maliyet artar gibi)

olarak verilebilir. Dezavantajları ise:

- Tasarımcının tasarım kuram ve normlarını sürekli hatırlama gerekliliği ve bilgiye hızlı ulaşma gerekliliği,
- Bazı tasarım normlarının net bir şekilde açıklanmamış olmasından kaynaklı uygulama ve değerlendirme zorlukları

olarak belirtilebilir (Tenekeci 2012).

Nicel değerlendirme yöntemlerinde ise detaylı montaj maliyetleri, montaj endeksleri ve tasarım etkinliğinin sayısal olarak ölçülmesi yer almaktadır. Literatürde de daha yoğun olarak kullanıldığı gözlemlenen nicel yöntemlerin içinde en çok tercih edilen metotlar şunlardır:

- IPA Stuttgart metodu
- Lucas Hull metodu
- Hitachi metodu
- Westinghouse metodu
- Boothroyd – Dewhurst metodu

4.2.1. IPA Stuttgart Metodu

IPA Stuttgart metodu Fraunhofer Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Bu metot bütün tasarım boyunca ürünün tasarım ve montaj edilebilme kolaylığı açısından değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Teknik gereksinimler DFMA süreci içerisinde tanımlanır ve tasarımın farklı aşamalarında uygulanır (İmrak ve Salman 2010).

IPA Stuttgart metodunu diğer metotlardan ayıran en önemli özelliği tasarımı parçalara ayırması ve her parçayı ayrı ayrı değerlendirmesidir. Böylece tasarımın dezavantaj sağlayan kısımları alt montaj parçalarında ortaya çıkabilmektedir. IPA Stuttgart metodunda tasarım ve tasarım kuralları şu alt gruplara ayrılarak ele alınır:

- Ürünün ana yapısıyla ilgili olanlar,
- Alt montaj adımlarıyla ilgili olanlar,
- Bireysel parçalarla ilgili olanlar,
- Birleştirme teknikleriyle ilgili olanlar (Tenekeci 2012).

IPA Stuttgart metodunda ürünün alt parçalara ayrılarak incelenmesi tasarımcılar için bir n çalışma olarak her montaj parçasının ayrı ayrı incelenmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca detaylı maliyet analizi parça parça yapılarak tümevarım metodu ile nihai maliyet hesaplanabilmektedir.

4.2.2. Westinghouse Metodu

Westinghouse metodunda birçok faktör gerekli üretim süreleri temel alınarak incelenmektedir. Montaj veya imalat sürecindeki tüm işlem süreleri en küçük işlemler de dahil olmak üzere gözlemlenerek tasarım girdisi olarak kullanılmaktadır. Bu işlem süreleri ile birlikte ayrıca işlem sürelerini uzatan faktörlerin getirdiği verimsizlik ortaya konularak tasarım iyileştirmeleri bunlara göre gerçekleştirilmektedir. Örneğin; diğer metotlarda bir montaj hattının 12 s. olarak ölçülen bir işleminin süresi, Westinghouse metodunda hizalama süresi, ekipman alma bırakma süresi, parçayı yönlendirme süresi vb. süreler de hesaplanarak bu faktörlerin etkisini azaltacak tasarımların geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Kamath 2009).

Westinghouse Metodu aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanmaktadır:

1. Adım: Parça zelliklerinin Tanımlanması

Montajdaki her parçayı tanımlanır ve her parçanın işlevleri belirlenir.

2. Adım: Ürünün Sökülmesi

Ürünü sökölür ve sökme sırası dikkatlice kaydedilir.

3. Adım: İşlev Tanımlama

Adım 1'de ayrıntıları verilen işlevleri sağlayan tüm parçalar tanımlanır.

4. Adım: Balık Kılçığı Diyagramı

Montajın görsel bir temsilini sağlamak için bir balık kılçığı diyagramı oluşturulur.

Montaj alt adımları bu balık kılçığı üzerinde belirtilir.

5. Adım: Montaj Süresi Hesaplamaları

Her bir alt montaj ve ana montaj işlemlerinin sırası belirlenir ve süreleri gözlemlenir.

6. Adım: Pareto Analizi

Tüm işlemler ve temel montaj işlemleri için bir pareto analizi hazırlanır ve temel montaj işlemlerinin yüzdesi bulunur (Katma değerli işlerin toplam süreye oranı).

7. Adım: Tasarım Önerileri

Parça entegrasyonuna odaklanarak yeni tasarım önerileri geliştirilir (Kamath 2009).

Temel olarak Westinghouse Metodu, montaj hattında yapılan işlemleri en küçük parçalara ayırarak bu işlemlerden katma değer üretmeyen ve asıl montaj işlemi olmayanların yok edilmesine odaklanarak tasarım iyileştirmeleri yapılmasını sağlamaktadır.

4.2.3. Hitachi Metodu

1976 yılında Japon Hitachi firmasında “Tek Parça - Tek Hareket” felsefesi ile Montaj Değerleme/Değerlendirme Metodu (AEM - Assembly Evaluation Method) geliştirilmiştir. 1976 yılından itibaren bu metodu birçok işletme benimseyerek kullanmış ve en etkili DFMA metotlarından birisi olduğu literatürlerde vurgulanmıştır (Tenekeci 2012).

Otomatik montaj sistemlerinin gelişmesi için tasarımın kolaylaşmasını hedefleyen Hitachi metodu, ilk montaj edilebilirlik değerlendirme metodu olarak çeşitli alanlarda yüksek maliyet tasarrufları sağlamıştır. Bu metotta tasarım sürecinin ilk aşamalarında tasarım kalitesi ölçülmekte ve tasarımın montaj edilebilirlik yönünden kötü kısımları ele alınarak geliştirilmektedir. Bu metotta “Tek Parça - Tek Hareket” felsefesi ön planda tutularak montajın kolaylaştırılması sağlanmaktadır. Daha karmaşık yapıları tasarımlarda ise “Bir nokta kaybet” düşüncesi ile tasarım yalınlaştırılmaktadır. Bu metot sırası ile şu adımları izlemektedir:

1. Adım: Ürünü oluşturan parçaların montajı için gerekli iş adımları belirlenir ve sıralanır.
2. Adım: İşlem karmaşıklığını da hesaba katarak bir ceza puanı belirlenir. (İşlem süreleri ve parça sayısı burada kullanılabilir.)
3. Adım: Ürün AEM puanı ortalama olarak hesaplanır.
4. Adım: Ürüne ait AEM puanını ve parça sayısını kullanarak montaj ve işlem süreleri hesaplanır.

4.2.4. Lucas Hull Metodu

1980’li yıllarda Lucas Cooperation tarafından İngiltere’de geliştirilen Lucas Hull Metodu, diğer metotlardan farklı olarak zorlukları puanlama şeklinde tasarım etkinliğini ölçmektedir. Bu metot tasarımcılara üretim maliyetleri arasındaki ilişkinin görülebilmesini sağlamaktadır. Böylelikle tasarımcıların parça azaltırken ve tasarım geliştirirken öne sürdükleri fikirlerin maliyet olarak yansımaları göz önüne alınmaktadır. Hangi parçanın azaltılması ile daha çok maliyet tasarrufu sağlanabileceği görülebilmektedir. Lucas Hull metodunun dezavantajlı kısmı sadece parça sayısının azaltılmasına odaklanmasıdır. Çok işlevsel parçalarda bu durum daha da karmaşık yapıların oluşmasına neden olurken, parça maliyetinden tasarruf edildiği halde üretim maliyetlerini arttırabilmektedir (Kamath 2009).

Lucas Hull metodu uygulanırken şu adımlar izlenmektedir (Kamath 2009):

1. Adım: Fonksiyonel Analiz; burada ürünün parçaları işlevsellik olarak ele alınır. Ürüne ait tüm parçalar ayrılarak işlevselliği 2 gruba ayrılır. A grubuna ürünün asıl fonksiyonu için gerekli parçalar, B grubuna ise ürünün asıl fonksiyonları için gerekli olmayan parçalar yazılır (sabitleyiciler gibi).
2. Adım: Besleme Analizi; bu adımda parçaların işlenmesi ve montajının yapılması için gerekli süreler hesaplanır. Süre kayıpları ile ilgili cezalar burada belirlenir.
3. Adım: Fitting Analiz; bu adımda 1. Adım ve 2. Adımdaki veriler eşleştirilir.
4. Adım: Üretim Analizi; Bu adımda her parçanın üretim maliyeti hesaplanır. Maliyeti çok düşük olan parçaların bile üretimde ek bir maliyet oluşturabileceği burada değerlendirilerek tasarım fikirleri ortaya atılır.

4.2.5. Boothroyd – Dewhurst Metodu

1977 yılında Geoffrey Boothroyd ve Peter Dewhurst tarafından Massachusetts Üniversitesi’nde Boothroyd – Dewhurst (B&D) Metodu geliştirilmiştir. Bu metodun

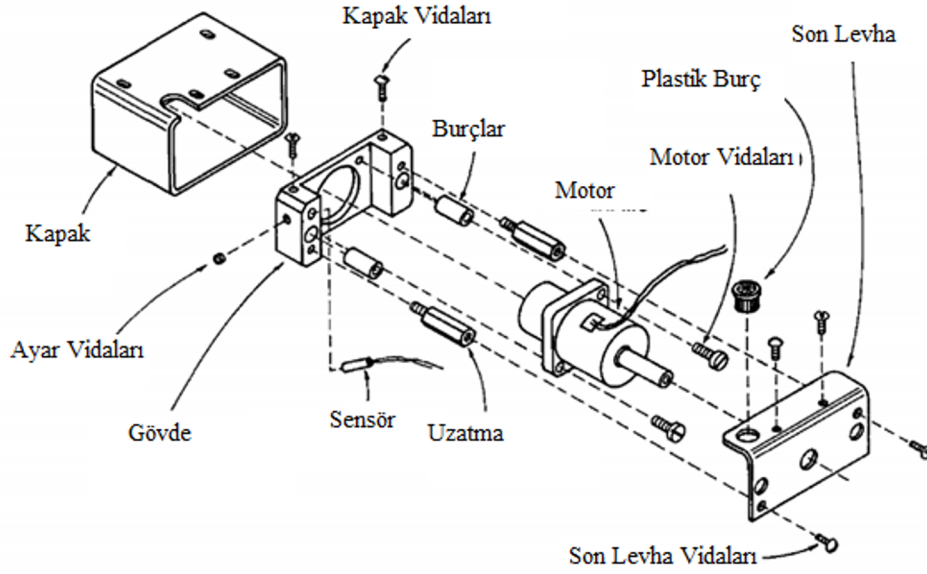
Amerika’da ülke genelinde, sanayide kullanılması için Amerikan Bilim Vakfı tarafından işletmeler desteklenerek teşvik verilmiştir. 1980’li yıllara gelindiğinde Xerox, Ford, General Motors ve HP tarafından ilk somut faydalar elde edilmeye başlanmıştır (Boothroyd 2002).

Boothroyd ve Dewhurst tarafından geliştirilen sistemde hem manuel işçilikler hem de otomatik işçilikler zaman ve maliyet olarak hesaplanmaktadır. B&D Metodunda temel 3 prensip vardır:

- **Parça Yok Etme Prensibi:** İncelenen parça diğer parçalar ile ilişkili hareket ediyor mu? Eğer öyleyse ilişkili parçalarda birbirinin fonksiyonları sağlanarak bir parça yok edilebilir.
- **Parça Birleştirme Prensibi:** İncelenen parçadan önce montajı yapılan parçaların hangi malzemeden yapıldığı veya diğer parçalardan yalıtılma durumu araştırılmalıdır. Eğer aynı malzemeden yapılması mümkün ise sadece çok özel durumlar kabul edilebilir. Diğer durumlarda birleştirilmelidir.
- **Tamir Edilebilme Prensibi:** Belli temel parçaların önceden monte edilmiş diğer tüm parçalardan ayrı olması gerekmektedir. Aksi takdirde diğer parçaların montajı veya gerekli durumlarda sökülmesi imkansız olacaktır.

B&D Metodunun en önemli farklarından birisi de parçaya bakınca görünmeyen ama montaj hattında zorunlu olan taşıma ve ekleme hareketleri gibi bazı hareketlere de ceza puanları belirleyerek tasarım geliştirme sürecine nicel olarak dahil etmesidir (Boothroyd ve Diğ. 2002).

Aşağıda B&D temel prensiplerinin daha iyi anlaşılması için Geoffrey Boothroyd vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada gösterilen bir örnek incelenmiştir. Örnekte, bir elektromotor ve monte edildiği kasanın parçaları Şekil 4.13’te gösterilmiş ve B&D temel prensiplerine göre değerlendirilmiştir.



Şekil 4.13: Boothroyd – Dewhurst prensipleri değerlendirmesi örneği (Boothroyd ve diğ. 2002)

1. Gövde: Monte edilen ilk parça olması nedeniyle birleştirilebileceği başka bir parça yoktur. Bu sebeple teorik olarak gerekli parçadır.
2. Burçlar (2 adet): Bu parçalar prensiplere uygun değildir. Çünkü teorik olarak Base parçası ile aynı malzemeden üretilbilir ve birleştirilebilir.
3. Motor: Motor tedarikçiden temin edilen ve kendi içinde ayrı alt montajı olan bir parçadır. Bu sebeple arıza veya sökölme gerekliliği oluşabilir düşüncesiyle 3. prensip gereği ayrı olması gerekir.
4. Motor Vidaları (2 adet): Ana parçalardan ayrı bağlantı elemanları hiçbir zaman kriterleri karşılamaz. Bu sebeple teorik olarak entegre bir bağlantı sistemi mümkündür.
5. Sensör: Bu parça motor gibi tedarikçiden temin edilen bir parça olması ve kendi içinde ayrı bir alt montaj barındırdığı için diğer parçalardan ayrı olmalıdır.
6. Ayar Vidaları: Teorik olarak gerekli değildir.
7. Uzatmalar (2 adet): Bu parçalar prensiplere uygun değildir. Teorik olarak Base parçası ile aynı malzemeden imal edilerek birleştirilebilir.
8. Son Levha: Montaj gerekliliği için ve 3. prensibe göre ayrı olmalıdır.
9. Son Levha Vidaları (2 adet): Teorik olarak gerekli değildir.
10. Plastik Burç: Teorik olarak End Plate parçası ile aynı malzemeden üretilerek birleştirilebilir.
11. Kapak: Teorik olarak End Plate parçası ile birleştirilebilir.

12. Kapak Vidaları (2 adet): Teorik olarak gerekli değildir (Boothroyd ve diğ. 2002).

İlk tasarımın ön analizi yapıldıktan sonra tüm parçaların süre ve teorik minimum sayıları belirlenerek (Bkz. Tablo 4.1) B&D metoduna göre tasarım etkinliği hesaplanmıştır.

$$T. E. = \frac{a \times (X_{min})}{(t)} \quad (4. 1)$$

Eş. 4.1’de X_{min} teorik olarak tasarımda olması gereken ve çıkartılması mümkün olmayan minimum parçaların sayısını, t toplam montaj süresini ve a parametresi bir parçanın teorik minimum montaj süresini ifade etmektedir. B&D metodu kullanılarak yapılan çalışmalarda ortalama teorik montaj değeri 3 s. olarak kabul edilmiştir (Boothroyd ve Dewhurst 2002, İmrak 2012, Adam ve Shukor 2018).

B&D metodunda tasarım etkinliği formülünde toplam parça sayısının yer almaması dikkat çekmektedir. Toplam parça sayısından çok teorik minimum parça sayısına odaklanılmakta olduğu görülmektedir. Formülde her ne kadar toplam parça sayısı yer almıyor gibi görünse de aslında toplam montaj süresi içerisinde toplam parça sayısı da gizlenmiş olarak formüle dahil olmaktadır. Toplam parça sayısı azaldıkça, montaj süresi azalacak ve tasarım etkinliği değeri artacaktır. Böylece sadece parça sayısındaki azalış değil en yüksek süre kaybı yaşatan parçaları öncelikli tutarak parça sayısında azalış yapılması tasarım etkinliğini daha hızlı yükseltecektir.

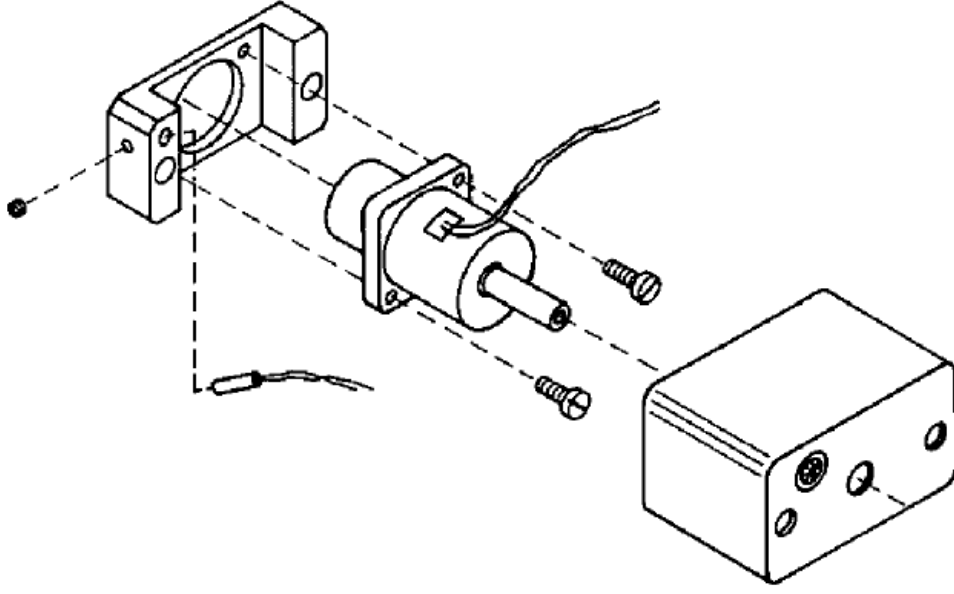
Tablo 4.1: Parça sayısı ve montaj süresi tablosu örneği (Boothroyd ve diğ. 2002)

İşlem Adı	Mevcut Parça Sayısı	Teorik Minimum Parça Sayısı	Montaj Süresi (s. /adet)	Montaj Maliyeti* (100 adet)
Gövde	1	1	3,5	2,9
Burç	2	0	12,3	10,2
Motor	1	1	9,5	7,9
Motor Vidaları	2	0	21	17,5
Sensör	1	1	8,5	7,1
Ayar Vidaları	1	0	10,6	8,8
Uzatma	2	0	16	13,3
Son Levha	1	1	8,4	7
Son Levha Vidaları	2	0	16,6	13,8
Plastik Burç	1	0	3,5	2,9
Kablo düzenleme	-	-	5	4,2
Yönlendirme	-	-	4,5	3,8
Kapak	1	0	9,4	7,9
Kapak Vidaları	4	0	31,2	26
TOPLAM	19	4	160	133

*İşçilik Maliyeti: 30 \$/saat üzerinden hesaplanmıştır.

Eş. 4.1'e göre hesaplanan ilk tasarım etkinlik değeri %7,5'tir. Mevcut tasarımın T.E. değeri hesaplandıktan sonra tasarım üzerinde fikir geliştirme süreci başlamaktadır. Bu aşamada, geliştirilen yeni tasarımda toplam parça sayısının teorik minimum parça sayısına düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu hedefe ne kadar yakın bir tasarım ortaya konulursa tasarım etkinliği o kadar yüksek çıkacaktır.

Verilen örnekte yapılan çalışmalar sonucunda ürün tasarımı Şekil 4.14'te verildiği gibi olmuştur.



Şekil 4.14: Boothroyd – Dewhurst prensipleri ile oluşturulan yeni tasarım (Boothroyd ve diğ. 2002)

Şekil 4.14'te görüldüğü üzere ilk tasarıma göre daha yalın bir tasarım ortaya çıkmıştır. Bu yeni tasarımın parça sayısı ve montaj süreleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Yeni tasarım parça sayısı ve montaj süresi tablosu örneği (Boothroyd ve diğ. 2002)

Parça Adı	Mevcut Parça Sayısı	Teorik Minimum Parça Sayısı	Montaj Süresi (s. /adet)	Montaj Maliyeti (100 adet)
Gövde	1	1	3,5	2,9
Motor	1	1	4,5	3,8
Motor Vidaları	2	0	12	10
Sensör	1	1	8,5	7,1
Ayar Vidaları	1	0	8,5	7,1
Kablo düzenleme	-	-	5	4,2
Plastik Kapak	1	1	4	3,3
TOPLAM	7	4	46	38,4

İşçilik Maliyeti: 30 \$/saat üzerinden hesaplanmıştır.

Verilen örnekte de görüldüğü gibi B&D prensiplerinin tasarım üzerinde uygulanması ile ürünün parça sayısı 19'dan 7'ye düşürülmüş, Eş. 4.1.'e göre hesaplanan tasarım etkinliği %7,5'ten %26'ya çıkartılmıştır (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2). Bunların yansıması olarak 100 adet için toplam montaj maliyeti 133 \$'dan 38,4 \$'a ve toplam parça maliyeti 35,44 \$'dan 20,44 \$'a düşürülmüştür (Boothroyd ve diğ. 2002).

B&D Metodunda montaj süreleri gözleme dayalı olarak zaman etüdü çalışması ile hesaplandığı gibi G. Boothroyd ve P. Dewhurst tarafından belirlenen bazı standart süreler ile de hesaplanabilmektedir. Bu standart sürelerle ayrıca parçalara bir kodlama yapılabilir (EK A). Bu ikili kod numarasının ilk hanesi 0'dan 9'a kadar işlem zorluğunu gösterirken ikinci hanesi tablodaki işlem türünü göstermektedir. Kod numarasında ilk hanenin düşürülmesi de tasarım etkinliğinin arttığının göstergesidir.

4.3. DFMA Sürecinde Kullanılan Üretim Verileri

DFMA ekibinde yer alan üretimle direk temas içerisinde olan ekip üyelerinin tasarım üzerinde fikir beyan ederken hali hazırda olması gereken veriler bulunmaktadır. Bu veriler:

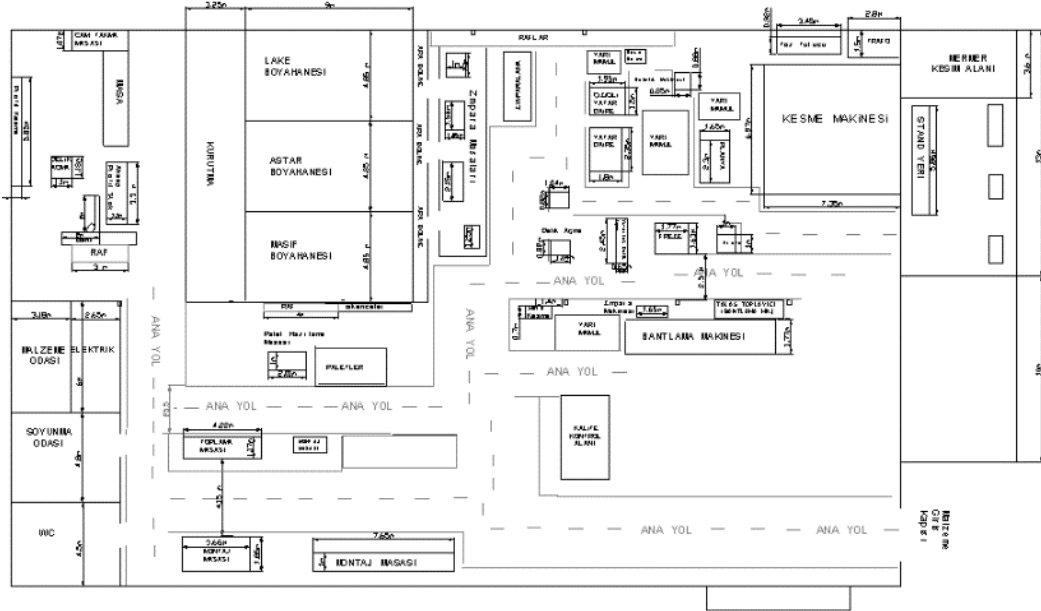
- a. Üretim yerleşim planı
- b. Üretim iş akışı
- c. Dengelenmiş üretim hattında iş paylaşımı
- d. Üretim çalışanları beceri matrisleri
- e. Üretim ekipmanları
- f. Malzemelerin fabrika içinde tedarik süresi ve stok miktarı
- g. Kalite kontrol kriterleridir.

Üretimden elde edilecek bu 7 önemli veri ile eşzamanlı mühendislik çalışmalarında tasarım üzerinde daha etkili ve verilere dayalı fikir geliştirme sağlanabilecektir.

4.3.1. Üretim Yerleşim Planı

Üretim hat düzeni, üretimde montaj işlemlerinin ve imalat işlemlerinin yapıldığı hattın istasyon düzenini göstermektedir (Bkz. Şekil 4.15). Bu düzen işletmelerde çoğu zaman bina yapısı gereği değiştirilemez durumda olmaktadır. Bu yüzden tasarımda bu düzeni göz ardı etmemek gereklidir. Geliştirilen tasarım üretime aktarıldığında bu tasarıma ait tüm parçaların istasyonlarda belirli miktarlarda stoklanacağı unutulmamalıdır. Büyük

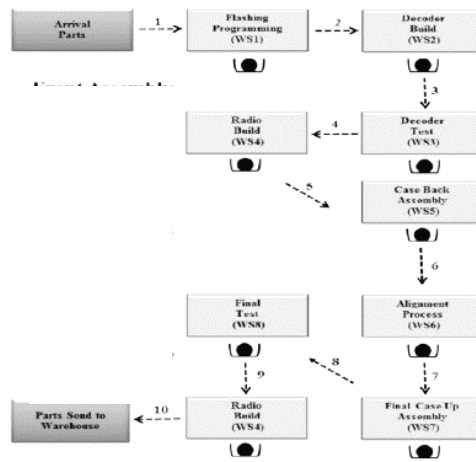
parçaların üretim için bekleyeceği alanlar, geçiş güzergahı ve istasyonun yapılacak işlemlere uygunluğu değerlendirilmelidir. Burada üretim hat düzeni ve istasyonların yerleşimi, birbiri ile ilişkileri de dikkate alınmalıdır (Kumar 2020).



Şekil 4.15: Örnek yerleşim planı

4.3.2. Üretim İş Akışı

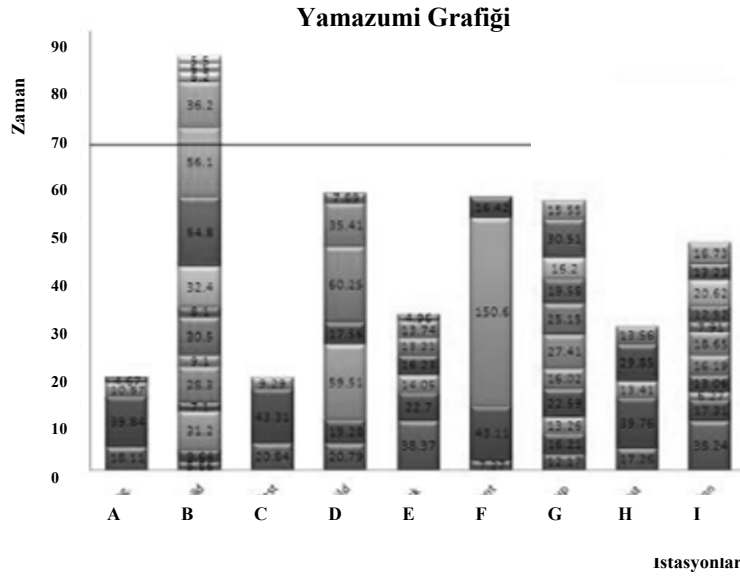
Üretim iş akışında ürüne ait parçaların montaj işlem sıralaması gözlemlenebilir. Bu veri ile işlem öncelikleri ve birbirine bağlı işler görülebilir. DFA çalışmalarında tasarımda birbirine bağlı parça sayısını azaltmak iş akışının daha esnek olarak düzenlenebilmesine imkan sağlayabilir (Bkz. Şekil 4.16) (Kumar 2020).



Şekil 4.16: Örnek iş akış planı (Effendi ve diğ. 2012)

4.3.3. Dengelenmiş Üretim Hattında İş Paylaşımı (Yamazumi Metodu)

Mevcut üretim hattında ürün için geliştirilmiş en dengeli iş paylaşımı ele alınmalıdır. Bu mevcut durum Yamazumi Metodu ile bir grafik olarak gösterilip ele alınmalıdır (Bkz. Şekil 4.17). Yamazumi Japonca “yığmak” anlamında bir kelimedir. Japon üretim sistemlerinde uygulanan bu metot ile üretim hattının dengesi takip edilmekte ve iyileştirmeler yapılmaktadır (Güven 2016). Üretim hattının %100 dengede olması durumu çoğu zaman imkansızdır. Bunun en önemli sebebi tasarıma bağlı olarak işlerin bölünebilmesidir. Hat dengesinde önemli kısıtlardan birisi olan ürün tasarımında bu bakış açısı ile geliştirilerek üretim hattı daha dengeli hale getirilebilecektir. Özellikle darboğaz olan istasyonlardaki işlemlerin tasarım iyileştirmeleri ile bölünebilir olmasını sağlamak ve diğer istasyonlara bu işleri paylaşırabilmek darboğazın çözülmesine ve buna bağlı olarak üretim çevrim süresinin kısaltılarak verimliliğin artmasını sağlayacaktır (Kumar 2020).



Şekil 4.17: Örnek hat dengeleme tablosu (Effendi ve diğ. 2012)

4.3.4. Üretim Çalışanları Beceri Matrisi

Çalışanların becerilerinin aldıkları iş başı eğitimler ve teorik eğitimler ile ve önceki iş tecrübeleri ile birleştirilerek oluşturulan tabloya beceri matrisi denir. Bu tablo çalışanın ilk yöneticisi tarafından doldurularak beceri gelişim süreci takip edilir.

Yapılacak tasarım değişikliklerinde yeni oluşacak işler için o istasyonlarda çalışan personelin beceri matrisi göz önünde bulundurulmalıdır. Beceri matrisinde o iş için uygun birisi belirlenemiyorsa üretime geçilene kadar üretim personelinin beceri matrisi

geliştirilmelidir. Ayrıca hat dengeleme ve darboğaz çözümü için yapılacak tasarım iyileştirmelerinde de bir önceki veya bir sonraki operasyona dağıtılacak işlerle ilgili o istasyonda çalışanların beceri matrisleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Beceri matrislerine bağlı olarak üretime geçilene kadar gerekli hazırlıklar yapılmalıdır.

4.3.5. Üretim Ekipmanları

Tasarım geliştirme sürecinde yapılacak olan eşzamanlı mühendislik çalışmasında üretimde kullanılan ekipmanlar da değerlendirilmelidir. Tasarım değişikliği temin edilmesi zor ekipman veya makine varsa buna göre yapılmalıdır. Küçük alet veya temini kolay alet ve ekipmanlara ihtiyaç duyulacak bir tasarım geliştirilmesi durumunda ise tasarımın üretime dönüşmesinden önce bu ekipmanlar üretimin kullanımı için hazırlanmalıdır (Kumar 2020).

4.3.6. Malzemelerin Fabrika İçinde Tedarik Süresi ve Stok Miktarı

Tasarım geliştirme sürecinde geliştirilen yeni fikirlerde tasarımda gerekli olacak parçaların tedarik sürelerini de ele almak gereklidir. Özellikle tam entegre üretim tesislerinde ihtiyaç duyulan yeni parçaların tedarik süresinin ana montaj hattını yavaşlatabileceği ihtimali göz ardı edilmemelidir. Ayrıca tedarik sürelerine bağlı olarak gerekli olabilecek stok miktarları da tespit edilmelidir. Gerekli stok miktarı için ilgili istasyonda yeterli alan ve stok şartları olup olmadığı da değerlendirilmelidir (Kumar 2020).

4.3.7. Kalite Kontrol Kriterleri

Kalite kontrol operasyonlarının katma değerli iş olmadığı bilinmektedir. bu operasyonlar montaj hatları için önemli israflardan birisidir. Kalite kontrol gerekliliği montaj yapılan ürünün hataya açık olması ile artacaktır. Ürün tasarımında yapılacak değişikliklerle kalite kontrol gerekliliklerinin azaltılması ve gerekli kalite kontrol operasyonlarının da kolaylaştırılması montaj hattı verimliliğine olumlu etki edecektir. Ayrıca hatalı ürün sayısını azaltarak montaj hattında düzeltme işlemleri azaltılabilir. Bu da düzeltme işlemleri için harcanan zamanın tasarruf edilmesini sağlayacaktır (Kumar 2020).

4.4. DFMA İçin Analizler

4.4.1. DMAIC Analizi

DMAIC analizi ismini Define – Measure – Analyze – Improve – Control kelimelerinin baş harflerinden almaktadır. Genellikle 6 Sigma çalışmalarında kullanılan bu

analiz DFMA çalışmalarında da kullanılmaktadır. DFMA çalışmalarına 5 adımlık temel bir yapı oluşturan DMAIC analizine göre;

- Define (Tanımla)
- Measure (Ölç)
- Analyze (Analiz et)
- Improve (Geliştir)
- Control (Kontrol et)

adımları takip edilir (Chang ve Peterson 2012).

DMAIC analizinin 6 Sigma ve FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) gibi kalite çalışmalarında temel olarak kullanılması ile birlikte üretim geliştirme çalışmalarında da temel analiz olarak kullanıldığı çeşitli literatürlerde görülmüştür (Sağnak ve diğ. 2012).

Chang ve Peterson (2012) yaptıkları çalışmada DMAIC analizinin DFMA için kullanımını Tablo 4.3'te verildiği gibi açıklamışlardır.

Tablo 4.3: DMAIC analizi ve DFMA süreci ilişkisi

Tanımla (Define)	Tasarım Sorunlarını ve İyileştirme Fırsatlarını Tanımla <ul style="list-style-type: none">• Üretim ve montaj hakkında bilgi topla.• Montajı parçalara ayır.• Parçaları ölçümlendir.• Parçaların üç boyutlu çizimlerini yap.• Toplam simetri derecelerini belirle ($\alpha+\beta$)
Ölç (Measure)	Montaj Hattı Performansını Ölç <ul style="list-style-type: none">• Tahmini taşıma süresi ölç.• Tahmini yerleştirme süresi ölç.• Teorik minimum parça sayısı belirle.• Hat etkinliğini ölç.• Tahmini montaj maliyetini belirle.
Analiz Et (Analyze)	Montaj Zorluklarının Analiz Edilmesi <ul style="list-style-type: none">• Montaj kolaylıklarını analiz et.• Montaj sıralamasını analiz et ve doğrula.• Parça kullanımının zor olduğu noktaları analiz et.• Parça yerleştirmenin zor olduğu noktaları analiz et.• Olası çözümleri belirle.
Geliştir (Improve)	Parça Sayısı ve Parça Çeşitliliğini Azaltarak Montajı Geliştir <ul style="list-style-type: none">• Tasarım değişikliğini doğrulayın ve tasarrufları ilişkilendir.• Gereksiz parçaları yok et.• Parçaları birleştir.• Parça boyutlarını geliştir.• Toplam simetri açısını azalt.
Kontrol Et (Control)	En İyi Tasarımı Standartlaştırın <ul style="list-style-type: none">• Nedensel etkileri ve çözümleri onayla.• Düzeltme ve çözümleri test et.• Çözümleri seç ve test et.• Sonuçları doküman et.• Sürdürülebilir gelişim sağla.

4.4.2. İş Etüdü

İş etüdü, operasyonların ve işlerin ekonomikliğini ve etkilendiği tüm kaynakların incelenmesi ve zaman etüdü ile sayısal olarak ifade edilmesidir. İş etüdü verimlilikle doğrudan ilişkilidir ve operasyonlarda çok az yatırım yaparak veya hiç yatırım

gerektirmeden verimlilik artışını sağlayabilir. Tam bir iş etüdü çalışması için gerekli 8 ana adım bulunmaktadır (Sabır ve Dönmez 2013):

1. İncelenecek ve etüdü yapılacak iş veya istasyonun seçimi
2. Belirlenen bir kayıt yöntemi ile operasyonların kayıt edilmesi
3. Kaydedilen operasyonların eleştirel bir gözle incelenerek israfların tespit edilmesi
4. En iyi ve maliyeti en düşük üretimi gerçekleştirecek metodun tespit edilmesi
5. Seçilen operasyonların standart zamanının hesaplanması
6. Yeni yöntemin tahmini standart zamanının hesaplanması
7. Yeni yöntemin test edilmesi ve faydasının onaylanması
8. Yeni yöntemin standartlaştırılması.

DFA çalışmalarında üretimden sağlanacak en önemli verileri iş etüdü çalışmaları sağlamaktadır. İş etüdü kapsamında yapılan detaylı standart zaman etütleri ile tasarım değişikliğinde yeni tasarımın teorik olarak üretim süresi hesaplanabilmektedir. Ayrıca B&D Metodunun temelini oluşturan tasarım etkinliğinin hesaplanması da iş etüdü verileri ile yapılmaktadır.

4.4.3. ECRS Analizi

ECRS analizi, incelenen iş parçaları üzerinde yapılan incelemeler sonucu elde edilen verileri;

- Eliminate - Yoketme,
- Combine - Birleştirme,
- Rearrange - Yeniden Düzenleme,
- Simply–Basitleştirme

bakış açısı ile değerlendirerek montaj hattında yer alan istasyonların darboğaz istasyonundan itibaren iyileştirilmesini öngören bir metottur. Bu metotta sırasıyla;

1. Ürün üzerinde katma değer oluşturmayan işlerin yok edilmesi,
2. Yok edilemeyen işlerden varsa birleştirilebilir olanların birleştirilmesi,

3. İş sıralamasının, iş dağılımının ve istasyonun yeniden düzenlenerek toplam sürenin kısaltılması,
4. Yapılan işlerin basitleştirilerek işlem sürelerinin kısaltılması

adımları takip edilir (Ünal 2018).

DFA çalışmasında ECRS metodu ile tasarım değerlendirilmeli ve yukarıda bahsedilen 4 adım izlenmelidir. Geliştirilecek yeni tasarımda yok edilebilecek ya da birleştirilebilecek parçalar / işler, montaj sıralamasının montaj hattına göre yeniden düzenlenmesi ve montajı yapılacak parçaların basitleştirilmesi adımları DFA prensipleri ile doğrudan uyum sağlamaktadır.

Tablo 4.4: ECRS ve DFMA kriterlerinin eşleştirilmesi (Chang ve Peterson 2012)

DFMA Ana Prensipleri	ECRS Analizi Prensipleri	DFMA Alt Prensipleri	B&D Değerlendirme Kriterleri
Parça sayısının azaltılması	Yoket (Eliminate) Birleştir (Combine)	1. Parça sayısı ve parça çeşidini azaltın 2. Birleştirici sayısını ve çeşidini azaltın 3. Standart parçalar kullanmaya çalışın 4. Tüm parçaların fonksiyonlarını inceleyin gereksiz parçaları yok edin.	Teorik Minimum Parça Sayısı: 1. Göreceli Hareket 2. Farklı malzemeler 3. Tüm montaj parçalarının ayrılması
Montaj kolaylığı	Birleştir (Combine) Yeniden Organize (Rearrange) Kolaylaştır (Simplify)	1. Kolay erişimi ve montaj yeri görünürlüğünü en iyi hale getirin. 2. Yerçekimine uygun montajı sağlayın. 3. Parça çeşitliliğini azaltın. 4. Tek elle yapılabilir ve beceri gerektirmeyen parça montajı tasarlayın. 5. Ayarlama ve düzeltme gerekliliğini en aza indirin. (Kablolar, kanallar... vb.)	1. Toplam simetri açısı ($\alpha+\beta$) 2. Kolay tutma ve el işçiliği 3. Kendiliğinden yerleşim ve hizalama 4. Kolay erişim ve montaj yeri görünürlüğü 5. Parça büyüklük ve kalınlıkları 6. Tek el ve alet gerektirmeme 7. Ayar gerektirmeme
Parçaların kolay tutulması ve kullanılması	Kolaylaştır (Simplify)	1. Yeniden yönlendirme gerekliliğinin en aza indirin. 2. Parçaların kullanımını kolaylaştırın. 3. Parçaların tutulmasını ve stoktan alınmasını kolaylaştırın. 4. Mümkün olduğunca en yüksek parça simetrisini sağlayın.	1. Kavrama aleti veya yardım gerekliliği 2. Toplam simetri açısı ($\alpha+\beta$) 3. Kolay tutma ve el işçiliği 4. Parça büyüklük ve kalınlıkları 5. Tek el ve alet gerektirmeme
Parçaların kolay eklenmesinin sağlanması	Birleştir (Combine) Yeniden Organize (Rearrange) Kolaylaştır (Simplify)	1. Basit ekleme hareketleri kullanın (aşağı, yukarı vb. tek yön). 2. Eşzamanlı hareketlerden kaçının. 3. Kolay sabitleme sağlayın. 4. Birleştirici kullanılacak parçalarda asimetrik bir referans noktası oluşturun.	1. Parçanın tam olarak güvende olduğundan emin olma. 2. Kolay erişim ve montaj yeri görünürlüğü 3. Basılı tutup bekleme gerekliliği 4. Takma veya yerleştirme için uygulanan kuvvet 5. Kolay hizalama ve konumlandırma 6. Eşzamanlı işlem
Hata önleyici tasarım	Birleştir (Combine) Yeniden Organize (Rearrange) Kolaylaştır (Simplify)	1. Parçaları yanlış monte edilemeyecek şekilde tasarlayın. 2. Hatayı önleyici engeller koyun. (Poka yoke araçları) 3. Parçaları yanlış monte edilmeyi önleyici net bir şekilde tasarlayın. (toleranslar)	1. Parçaların simetrik yapılması 2. Asimetrik referans noktaları 3. Kolay hizalama ve konumlandırma 4. Esnek parçalardan ve ayardan kaçınma

Tablo 4.4'te de görüldüğü gibi DFMA ve ECRS birlikte kullanılabilir prensiplerdir. ECRS bakış açısıyla ürün tasarımlarını değerlendirmek DFMA çalışmasının daha etkin olmasını sağlayacaktır. Çünkü ECRS prensibinde işçiliklerden tasarruf edilmesi ve bu tasarrufun hangi bakış açısıyla sağlanabileceği ele alınmaktadır.

5. LİTERATÜR ÖZETİ

Montaj için Tasarım (DFA) konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar “Montaj İçin Tasarım”, “Design for Assembly”, “DFA” ve “DFMA” anahtar kelimeleri ile taranarak araştırma yapılmıştır. Araştırmada en çok kaynak “DFMA” anahtar kelimesi ile bulunmuştur.

Karaçalı ve Demirci (2009) tarafından yapılan 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda otomotiv sektöründe jant, teker ve mil montajında DFA metodunu kullanarak bir vaka çalışması sunulmuştur. Otomotiv endüstrisinde ekonomikliğin temel unsurlarından birisi olan montaj sürecinde özellikle sektörde yaygın olarak kullanılan otomasyon sistemlerinin de göz ardı edilmeyerek tümünü entegre eden bir DFA sistemi üzerinde çalışılmıştır.

İmrak ve Salman (2010) tarafından asansör sanayinde kabin kapılarının montajı üzerine yapılan çalışmada; B&D DFA prensiplerini kullanarak montaj maliyetlerinde %20 - %30 aralığında ve üretim maliyetlerinde yaklaşık %10 - %15 tasarruf sağlanmıştır.

İmrak ve Kocaman (2012) tarafından çift kabinli asansör üretiminde B&D Metodunu uygulanarak parça sayısında %52, montaj süresinde %49 ve tasarım etkinliğinde %207 iyileştirme sağlanmıştır (İmrak ve Kocaman 2012).

Akhir (2014) yaptığı tez çalışmasında uçakların kanat uçlarındaki küçük kıvrımlı kanatçıkların tasarımında DFMA metodunu kullanmıştır. Çalışmada B&D DFMA yazılımı ve tasarım etkinliği metodu kullanılmıştır. Çalışmada minimum parça sayısı, işçilik süresi, işçilik maliyeti, montaj ekipmanları ve kalıpları, ürün maliyetleri ve DFA endeksi baz alınarak iyileştirme çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucunda DFA endeksi ilk iyileştirmede 1,1’den 1,3’e ikinci iyileştirmeden sonra ise 1,5’e yükselmiştir. İşlem süresi ve işçilik maliyetlerinde ise %23,8’lik tasarruf sağlanmıştır.

Moultrie ve Maier (2014) tarafından yapılan bir çalışmada; DFA metodunun uygulanmasında tüm ekiplerin katılımının ön plana çıkartılarak yazılım olarak veya teknolojik kaynaklar yerine bireysel tecrübe ve ekip çalışmasının DFA üzerinde etkisi vurgulanmıştır. Ayrıca kullanılan basitleştirilmiş puanlama metodu da çalışmanın özgün tarafıdır. Çalışmada öngörülen metod rekabet gerekliliği ismi ve sektörü gizli tutulan,

Hindistan'da faaliyet gösteren bir işletmede elektronik kart montajında uygulanmış ve bazı ürün gruplarında %60'a varan verimlilikler görüldüğü belirtilmiştir.

Kokane ve diğ. (2015) su sebili üretiminde yaptıkları çalışmada, B&D DFA Metodunu kullanarak su sebili içerisindeki çek valf tertibatı tasarımında parça sayısını azaltıp, montajı kolaylaştıracak ve tedarik zincirini daha rahat yönetebilecek bir tasarım yapmışlardır. Çalışma sonucunda parça sayısı 12'den 7'ye ve tasarım etkinliği %33'ten %57'ye çıkartılmıştır.

Favi ve diğ (2016) yaptıkları bir çalışmada CNC tezgahı takım tutucusu üretiminde B&D DFA Metodunu uygulamışlardır. Ayrıca çok kriterli karar destek sistemleri ile DFA metodunu entegre etmişlerdir. Vaka çalışmasında farklı tasarım çözümlerinin üretim süresi, manuel operasyonlar ve maliyetler açısından monte edilebilirliği ve üretilebilirliği nasıl etkileyebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, DFA yaklaşımının sonuçlarını doğrulamak için özel tasarım araçlarıyla bir doğrulama süreci (yeniden tasarım süreci) gerçekleştirilmiştir.

Suresh ve diğ. (2016) yılında otomotiv sektöründe yaptıkları bir çalışmada, araçlarda bulunan bir kasnak sistemi montajı üzerinde, Montaj İçin Tasarım (DFA) ve Çevre İçin Tasarım (Design for Environment –DFE) yaklaşımlarını bir arada inceleyerek tasarım iyileştirmesi sağlamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, DFMA ve DFE yaklaşımlarının birlikte kullanılması ile çevreye minimum etkisi olan sürdürülebilir tasarımlar ve yeni gelişmeler başlatılabileceği ve aynı zamanda ürün maliyetinin de düşürülebileceği vurgulanmıştır.

Harlalka ve diğ. (2016) tarafından tüketici elektroniği üretimi yapan Hintli bir işletmede 2016 yılında yapılan çalışmada DFMA metotlarından B&D Metodu uygulanarak pazarda hali hazırda satışta bulunan bir mutfak robotu üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda toplam maliyette 0,25 USD düşüş sağlandığı ve DFA endeksinin 15,99'dan 19,93'e yükseldiği bildirilmiştir. Bu makalede bahsedilen vaka çalışmasının benzer tipte ve tasarımda iyileştirmelere ve maliyet azaltmaya sahip tüketici dayanıklı ürünler için bir örnek niteliğinde olduğu da vurgulanmıştır.

Cabello Ulloa ve diğ. (2018) asansör parçalarının montajı için yaptıkları çalışmada tasarım prensipleri açısından B&D Metodu ve tasarım etkinliği ölçümü açısından da Lucas Hull metodu birlikte kullanılmıştır. Çalışma sonucunda %7,9 tasarım etkinliğinde artış olduğu belirtilmiştir.

Thompson ve diğ. (2018) yaptıkları bir çalışmada DFMA çalışmalarının hızlı ürün geliştirmeyi engelleyen ve ürünün kar getirisini geciktiren geç mühendislik değişikliklerini (Late Engineering Changes – Ecs) optimize etmede kullanılabilecek etkili bir yöntem olarak tanımlamıştır. Çalışmada hızlı ürün geliştirme gerekliliği olan endüstriyel bir sektörde geç mühendislik değişimleri ile ilgili bir vaka çalışması sunulmuştur. Ayrıca ürün geliştirme süreci boyunca verimliliği ve ürün kalitesini ölçmek ve geliştirmek için anahtar performans göstergeleri (KPI) içeren bir yöntem önermişlerdir. Çalışma sonucunda tasarım değişikliklerinin tasarımın en çok hangi aşamasında gerçekleştiği yüzde olarak ifade edilmiştir. DFA çalışması ile bu yüzdesel dağılımın öne çekilebileceği vurgulanmıştır.

Gao ve diğ. (2018) yaptıkları bir araştırmada Singapur’da inşaat sektörünün gelişimi için DFMA metodunun etkisi ortaya konmuştur. 2001 yılından 2018 yılına kadar prefabrik inşaat sektörünün sadece %11,2’sinde bu metottan faydalandığı belirtilmiştir. Çalışmanın temel amacı inşaat sektörünün DFMA metodunu kabul etmesini sağlamak için faydalarını ortaya koymak olarak ifade etmektedirler. Çalışmanın uygulama aşamasında DFMA'nın benimsenmesini etkileyen temel faktörler altı kategoride tanımlanmış ve bir anket hazırlanmıştır. Anket, Ar-Ge ekipleri, yüklenici işletmeler ve danışmanlardan oluşan bir örnekleme uygulanmıştır. Uygulama sonucunda Singapur'daki inşaat projelerinde DFMA teknolojilerini başarılı bir şekilde benimseyen işletmelerin metodun olumlu etkilerini gördüğü ve inşaat süresini kısaltmasının ise bu metodun benimsenmesindeki temel sebep olduğu vurgulanmıştır.

Remirez ve diğ. (2019) tarafından güneş panelleri üzerine yapılan çalışmada, uzun ömürlü ve büyük ebatlı (Long Life-Large Size, Ll-Ls) ürünler için DFA metotları ile birleştirerek yeni bir tasarım yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu ürünlerin montajı özel ekipman ve saha tecrübesi gerektirdiği için klasik DFA uygulamalarından farklı olarak bu noktalara da değinilmiştir. Çalışmada, Lucas-Hull metodu kullanılarak prototip ve deneme üretiminin oldukça zor olduğu bu ürünlerde test etmeye gerek kalmadan tasarım aşamasında farklı tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi sağlanmıştır. 4,6 MW kapasiteli 850 güneş panelinden oluşan bir tesiste yapılan uygulamada tasarım iyileştirmesiyle sağlanacak montaj maliyeti tasarrufu teorik olarak %22,8 hesaplanmıştır. Uygulama sonucunda %35 montaj verimliliği sağlandığı görülmüştür.

Ezpeleta ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada DFA metotlarının tasarım aşamasında tasarımcılara destek olduğu ve bu durumun üretim verimliliğine olumlu

etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Sadece tasarımın bazı aşamalarında sürece katkı sağlayan DFA metotlarını tasarımın tüm aşamalarında kullanılabilir olmasını sağlamak amacıyla en çok tercih edilen Boothroyd – Dewhurst, Lucas, Hitachi AEM ve Geliştirilmiş Westinghouse metotlarını birlikte sentezleyerek DFA-SPDP metodunu geliştirmişlerdir.

Gao ve diğ. (2019) çalışmalarında DFMA metodunun inşaat sektöründe uygulanmasına örnek oluşturabilecek bir uygulama yapmışlardır. Bu çalışmada DFMA'in sadece imalat ve montaj için değil tesis dışı ve yerinde montaj gibi inşaat sektöründe uygulanan üretim şekillerinde de uygulanabilir olduğu vurgulanmıştır. İnşaatteki DFMA uygulamasının temel üç perspektifte ele alındığından bahsedilmiştir:

- Yapının veya nesnenin DFMA ilkeleri ile nasıl üretileceğini, monte edileceğini ve tasarımın nasıl şekilleneceğini kapsayan bütüncül bir tasarım süreci;
- İmalat ve montajın verimliliğini değerlendirmek için teknolojik tasarım programlarından yararlanılarak geliştirilen bir tasarım etkinliği ölçümü;
- Hızlı değişim ve gelişim sürecinde rekabeti geliştirebilecek yeni bir strateji imkanı.

Bu çalışma, tasarım süreçlerinin yazılı ve kalıcı hale getirilmesi, çeşitli uzmanlık alanlarından bir ekip oluşturulması, görsel tasarım teknolojilerinin kullanılması ve yalın ilkelerin anlaşılmasının, DFMA'nın inşaat sektöründeki başarısını daha da artırabilecek faktörler olduğunu öne sürmektedir.

Gulo ve diğ. (2019) Endonezya'da siyah çay üreten bir şirkette yaptıkları çalışma sektörel anlamda ve DFA metodunun bakım süreçlerinde uygulanması ile örnek olabilecek niteliktedir. Üretim bölümünde, etrafa toz ve kirletici maddeler dağıtan ayırma makinesinin ergonomik gerekliliklerden dolayı düzenli bakımının yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bakım sürecinde değişimi veya temizliği yapılan toz toplayıcının tasarımı B&D DFA Metodu kullanılarak geliştirilmiş ve bakım süreci basitleştirilerek kısaltılmıştır. Çalışma sonucunda %24,43 bakım süresi verimliliği sağlanmıştır.

Naga Malleswari ve diğ. (2020) elektrik fişi üretimi yapan bir işletmede yaptıkları çalışmada B&D DFA Metodu kullanılarak toplam montaj süresi kısaltılmaya çalışılmıştır. Elektrik fişinin yeniden tasarlanması ile parça sayısı 16'dan 11'e, montaj süresi 87,4 s'den 33,9 s'ye düşürüldüğü ve tasarım etkinliğinin %36'dan %64,89'a yükseltildiği

belirtilmiştir. Bu çalışma ile mümkün olan en az sayıda parçanın ve basit montaj yapısının önemi ve montaj süresinde ortaya çıkarttığı iyileştirme vurgulanmıştır.

Rizzi ve diğ. (2020) çalışmalarında çift yönlü tahliye vanası üretiminde DFA metotlarını uygulamışlardır. CAD çizimleri üzerinden yapılan çalışmada işletmeye daha verimli üretim yapılabilecek bir model önerilmiştir.

Montaj için Tasarım (DFA) konulu literatür taraması yapıldığında sınırlı sayıda kaynak olduğu görülmekle beraber son yıllarda bu konuda yapılan araştırma sayısında da artış gözlenmiştir. Özellikle üretim maliyetlerinin artışı, rekabetin gün geçtikçe daha önemli olması ve ürün yaşam döngüsü içerisinde kalitenin sürekliliği DFA konusunu daha fazla gündeme getirmiştir.

Literatür araştırması ile 2009 – 2020 yılları arasında yapılmış toplam 20 çalışma ve bunlar içerisinde 2015 – 2020 yılları arasında yapılmış 13 çalışma ele alınarak metotları, uygulama alanları ve sonuçları detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmaların otomotiv, makine, küçük ev aletleri, elektrik malzemeleri, çay üretimi, inşaat ve elektronik kart gibi birçok farklı alanda uygulaması yapılarak olumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde ortalama %38 verimlilik artışı sağladığı ve tasarım etkinliği ölçme metodu olarak B&D Metodunun daha fazla kullanıldığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışma ile sınırlı sayıda kaynak olduğu gözlemlenen ve günümüz teknolojik gelişme hızından dolayı önemi daha çok artan ürün geliştirme sürelerinin iyileştirilmesi için kullanılabilecek bir metot olan DFMA ile ilgili bir uygulama örneği sunarak literatüre katkı sağlanacaktır. Ayrıca literatürde asansör sektöründe yapılan az sayıda uygulama örneğine bir yenisini daha ekleyerek bu sektörde DFMA kullanımının yaygınlaşması ile yeni kaynakların geliştirilmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

6. UYGULAMA

İnşaat sektöründeki dikey büyümenin artışı göz önüne alındığında yapılardaki önemli ergonomik iyileştirmelerden birisi de asansör sistemleridir. Uygulamanın yapılacağı işletme yolcu asansörleri kabin ve kapı üretimleri yapmaktadır.

İşletmenin montaj süreçlerindeki işçilik maliyetleri piyasadaki rekabet gücünü olumsuz etkileyecek düzeydedir. Bu durum yeni girdiği Avrupa pazarında kalıcı olmasını risk altına almaktadır. İşletme, üretim ve montaj süreçlerinde iyileştirme yapmak için bir danışmanlık firması ile yalın üretim sistem çalışmaları yapmıştır. Yalın üretim çalışmaları kapsamında üretimindeki süreç kaynaklı verimsizlikleri çözmüş; ancak üretim maliyetlerindeki bu iyileştirmenin yeterli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir.

İşletmenin iyileştirme sonrası üretim süreçleri incelendiğinde ürün tasarımlarına bağlı olarak kaynak ve bağlantı elemanlarının fazlalığı sorun olarak ön plana çıkmaktadır. Proje kapsamında ürün tasarımlarında, DFA prensiplerine göre geliştirmeler yapılarak montaj süreçlerinde iyileştirmeler sağlanmıştır. Ürünlerdeki kaynak ve bağlantı elemanları azaltılarak daha yalın bir tasarım ile montaj verimliliği arttırılmıştır.

6.1. Uygulamanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, sistematik yaklaşımla tasarlanan parçaların basit montaj talimatlarına sahip olması için tasarım unsurlarını kullanarak kolay montajı oluşturmaktır. Ayrıca ürün henüz tasarım aşamasında iken ürün iş süreçlerinin değerlendirilerek tasarımın iş süreçleri üzerindeki olumsuz etkilerinin yok edilmesi ile ürün işçilik, parça ve hammadde maliyetlerinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Yeni tasarımlarla mevcut tasarımın kar getirisi sorunlarına çözüm olmak adına bir örnek teşkil etmek ve ilgili metodolojilerin uyarlanıp geliştirilebileceğini göstererek ülkemizde geliştirilen tasarımların pazar etkinliğine destek sağlamak projenin ulusal amacıdır.

Asansör sektöründe tasarım sorunlarının üretimde verimliliğe önemli etkisi olduğu ve asansör sektöründe bu çalışmaya olan ihtiyacın fazla olduğu gözlenmiş, bu bağlamda sektörde yenilikçi bir yaklaşım oluşturma hedeflenmiştir.

Tasarıma bağılı olarak montaj talimatları ve iş akış sıralamasında oluşacak değişiklikler ele alındığında ilgili ürüne ait tedarik zinciri yönetimi ve buna bağılı süreç tasarımlarının da yeniden düzenlenerek daha verimli hale getirilmesi de çalışmanın sektörel amacıdır. Son olarak; montaj talimatlarının kolaylaştırılarak montaj sırasında oluşabilecek olan kalite ile ilgili hataların önlenmesi ve parça karmaşıklığının azaltılarak ürünün yaşam döngüsü içerisinde oluşabilecek kalite ile ilgili sorunlarının da azaltılması çalışmanın işletmeye bir diğer katkısı olacaktır.

6.2.Uygulamanın Yapılacağı Sektör ve İşletme Analizi

Uygulamanın yapılacağı işletme 1988 yılından itibaren asansör sistemi içerisindeki mekanik aksamaların üretimini gerçekleştirmektedir. Ana üretim grubu içerisinde asansör kabin ve taşıyıcı sistemleri, otomatik ve yarı otomatik asansör kapıları ve tüm bu ürünlerin sistem asansör olarak proje bazlı tedarikini sağlamaktadır.

İşletme, KOBİ sınıfında olmakla beraber son yıllarda iç piyasadaki durgunluk ve inşaat sektöründeki yatırım payının düşmesiyle dış piyasaya odaklanmış ve zaten mevcut olan Ortadoğu pazarındaki müşterilerine yenilerini eklemeyi hedeflemiş ve ilk olarak Almanya pazarında bir müşteri portföyü oluşturmuştur. Avrupa pazarındaki etkisini arttırmak isteyen işletmenin önündeki önemli zorluklardan birisi fiyat ve rekabet edebilme kabiliyetidir. Yapılacak uygulamadan elde edilecek faydalarla işletmenin tasarımlarını üretime dönüştürme sürecinde maliyet tasarrufu sağlanacak ve çeşitli ürün gruplarında Ortadoğu pazarındaki etkisi artacak ve Avrupa pazarında kalıcılık sağlayabilmesine destek olunacaktır.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığımızca yüksek katma değerli ürünlerin yerli imkan ve kabiliyetlerle üretimini amaçlayan, cari açığın kalıcı olarak düşürülmesi ve sanayimizde ithal ara malı oranının azaltılarak, daha güçlü bir ihracat sepetine de sahip olunmasını hedefleyen “Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi Programı’na ilişkin esaslar 18 Eylül 2019 tarihli Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Program kapsamında makine, bilgisayar, elektronik, optik, elektrikli teçhizat, eczacılık, kimya ve ulaşım araçlarından oluşan sekiz sektör orta-yüksek ve yüksek teknoloji seviyesinde odak sektör olarak belirlenmiştir. Özel olarak teşvik edilecek bu sektörlerden, ilk olarak makine sektörü için teşvik uygulaması başlatılmış ve teşvik edilecek “öncelikli ürünler” 18 Eylül 2019 tarihli Resmi Gazetede yayınlanmıştır. Makine sektörü başlığı

altında 54 ürünün öncelikli ürün olarak belirlendiği listede asansör sektörüne ait ürünler de “Öncelikli Ürün” olarak kabul edilmiş ve asansör yatırımları “Stratejik Yatırım” statüsüne alınmıştır (ASFED Basın Bildirisi).

MiT çalışması ile üretim ve kalite süreçlerinde tasarım kaynaklı verimsizliklerin ve sorunların tasarım aşamasında çözülmesi ile hem tasarım geliştirme sürecinin kısaltılması hem de iş gücü, sarf malzeme, ekipman ve parça maliyetlerinde tasarruf sağlanabilmektedir. Ayrıca son yıllarda devletimizin vermiş olduğu teşviklerle geliştirilen birçok tasarımın ticarileşmesindeki en önemli engellerden birisi üretilebilirlik ve tasarımın üretim maliyetlerinin rekabet edebilir düzeyde olmasıdır. Yapılacak uygulama bu anlamda bir örnek teşkil ederek tasarımdan üretime ve ulusal kazanca dönüşüme katkı sağlayacaktır.

2018 yılı toplam ithalat ve ihracat verilerine bakıldığında asansör sektörünün yaklaşık olarak 165 milyon \$ ihracat değerine karşılık 146 milyon \$ ithalat değerini ortaya koyduğu görülmekte olup asansör sektörünün dış ticaret hacmi yaklaşık olarak 312 milyon \$ seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu rakamlara göre bir değerlendirme yapıldığında sektörün yaklaşık olarak 18 milyon \$'lık dış ticaret fazlası vermiş olduğu görülmektedir (Bkz. Tablo 6.1, 6.2).

Tablo 6.1: 2018 Yılı Asansör Sektörü toplam ihracat verileri

GTİP* NO	GTİP* TANIMI	İhracat \$
842810	Asansörler	73.280.030
843131	Asansörlere ait aksam ve parçalar	92.339.876
Toplam		165.619.906

*Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu

Tablo 6.2: 2018 Yılı Asansör Sektörü toplam ithalat verileri

GTİP* NO	GTİP* TANIMI	İhracat \$
842810	Asansörler	110.311.235
843131	Asansörlere ait aksam ve parçalar	36.443.149
Toplam		146.754.384

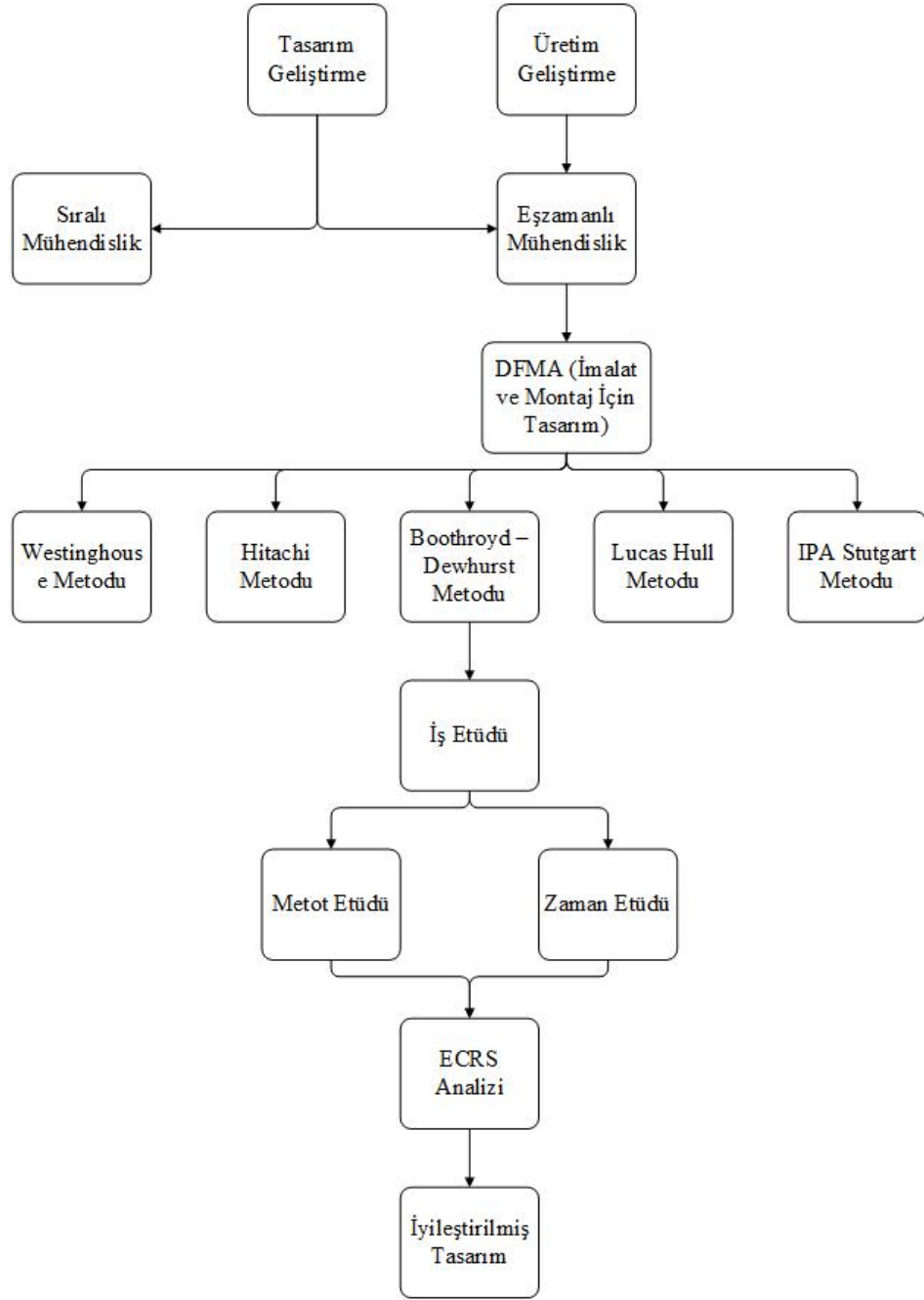
*Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu

Ülkemiz ihracat verilerinden Denizli ili özelinde rakamları filtrelediğimizde “Makine ve aksamları” kategorisi Denizli’de yapılan 26 ihracat kalemi içerisinde 2019 ilk 6 ayında 32.498.280 \$ ihracat rakamı ile 8. Sırada yer almaktadır. (Veriler, Türkiye İhracatçılar Meclisi, 2019 Yılı İl bazında Sektör Rakamları Raporundan alınmıştır). Bu

anlamda makine sanayi Denizli'nin istihdam ve ülke ekonomisine katkısı açısından önemli bir yere sahiptir. Bu alanlarda yapılacak olan iyileştirmeler uluslararası rekabet gücümüze de katkı sağlayacaktır.

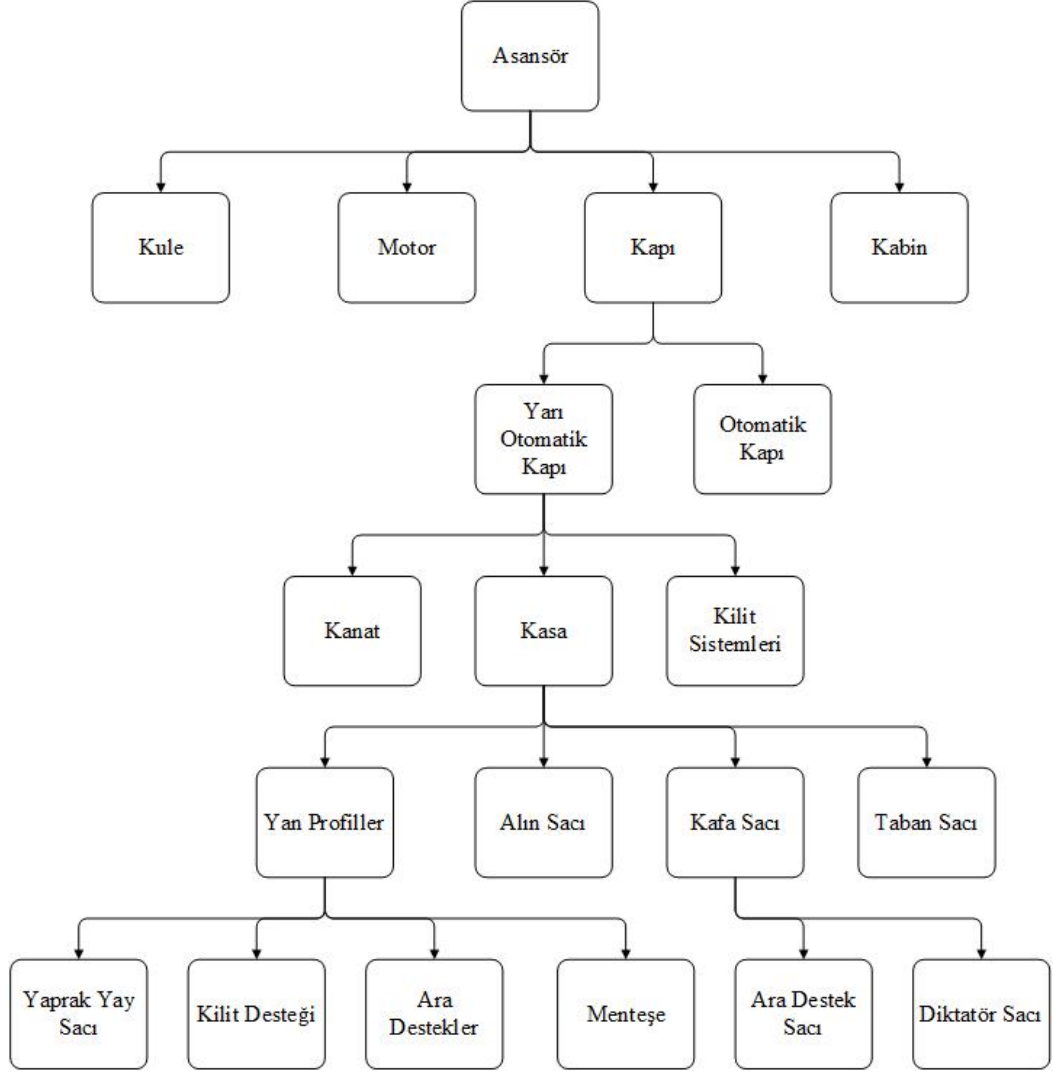
6.3. Araştırmanın Yöntemi

Uygulamada tasarım geliştirme ve üretim geliştirme bakış açısı eşzamanlı mühendislik çalışmaları ile bütünleştirilerek ele alınan ürün üzerinde farklı disiplinlerde bir bakış açısı geliştirilmeye çalışılmıştır. DFMA prensipleri ile tasarım iyileştirmesi yapılacak olan uygulamada, literatürde diğer yöntemlere göre daha fazla kullanıldığı gözlemlenen ve yöntem kısmında detaylı olarak bahsedilen B&D DFMA Metodu kullanılmıştır. Ele alınan tasarıma ait üretim süreçleri iş etüdü metodu ile analiz edilerek B&D ve ECRS prensipleri birlikte kullanılmış ve tasarım iyileştirme fikirleri ele alınmıştır (Bkz. Şekil 6.1).



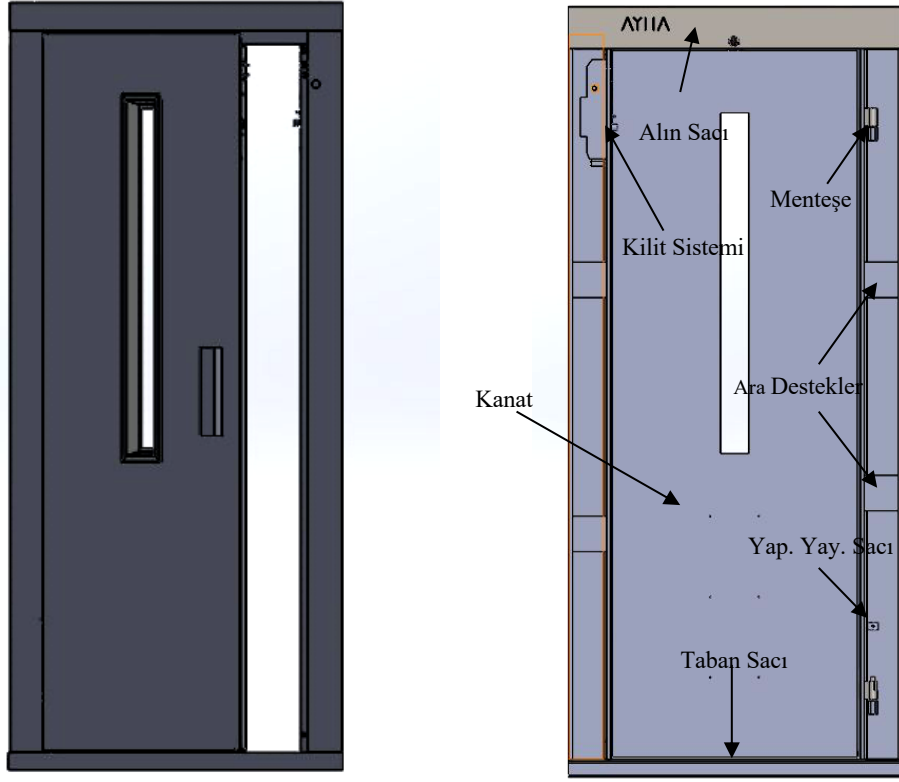
Şekil 6.1: Yöntem ağacı

Çalışma kapsamında; uygulama için, asansör parçalarından yarı otomatik kapının kasa tasarımı belirlenmiştir. Kasa üretiminde kullanılan yan profiller, kafa sacı, alın sacı, taban sacı ve bunların alt parçaları ile birleştirme işlemleri ele alınmıştır (Bkz. Şekil 6.2).

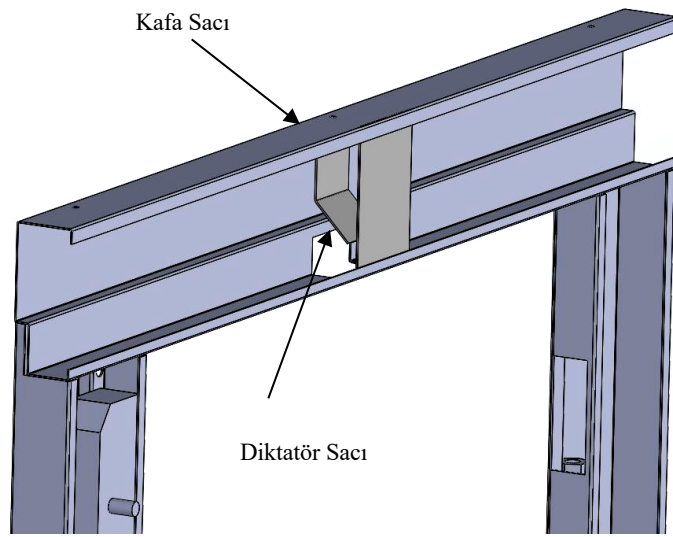


Şekil 6.2: Ürün ağacı

Uygulama aşamasında ele alınan yarı otomatik kapı kahasına ait parça çeşitleri incelenmiştir. Tasarımı, imalatı ve montaj şekli incelenen parçalar Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3: Yarı otomatik kapı CAD çizim gösterim



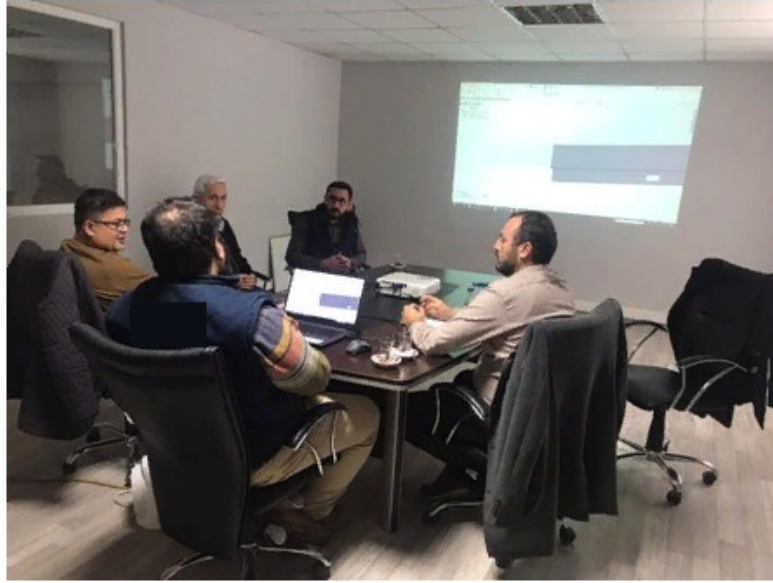
Şekil 6.4: Diktatör sacı CAD çizim gösterim

Yarı otomatik asansör kapılarının binalarda kullanımı sırasında asansör kabini katta değilse kapıyı kilitleyen sisteme diktatör adı verilmektedir. Kafa sacı üzerinde diktatörün rahat hareket edebilmesi için bir destek niteliğinde olan diktatör sacı kaynak ile monte edilmektedir.

Eşzamanlı mühendislik ekibi olarak;

- Ürün Geliştirme Mühendisi (Makine Mühendisi),
- Üretim ve Kalite Mühendisi (Makine Mühendisi),
- Satın Alma Mühendisi (Endüstri Mühendisi),
- Üretim Şefi (Ustabaşı),
- Stajyer Mühendisler (Endüstri Mühendisliği 4. Sınıf Öğrencileri)
- Araştırmacı (Endüstri Mühendisi)
- İşletme Sahibi (Fabrika Müdürü)

katılımı ile bir ekip kurulmuştur. Ekip tarafından mevcut tasarım ve saha analizleri yapılmıştır (Bkz. Resim 6.1).



Resim 6.1: Eşzamanlı Mühendislik toplantısı

Uygulama aşamasında, 25 Eylül 2019 itibariyle haftalık 1 gün ve ortalama üçer saat üretim sahasında gözlem ve ortalama ikişer saat ofis çalışması ile toplam 26 hafta boyunca yaklaşık 130 saat saha çalışması yapılmıştır. Yapılan gözlemlerden elde edilen veriler düzenli olarak kayıt altına alınmıştır. Saha gözlemlerinden elde edilen veriler ve bilgiler

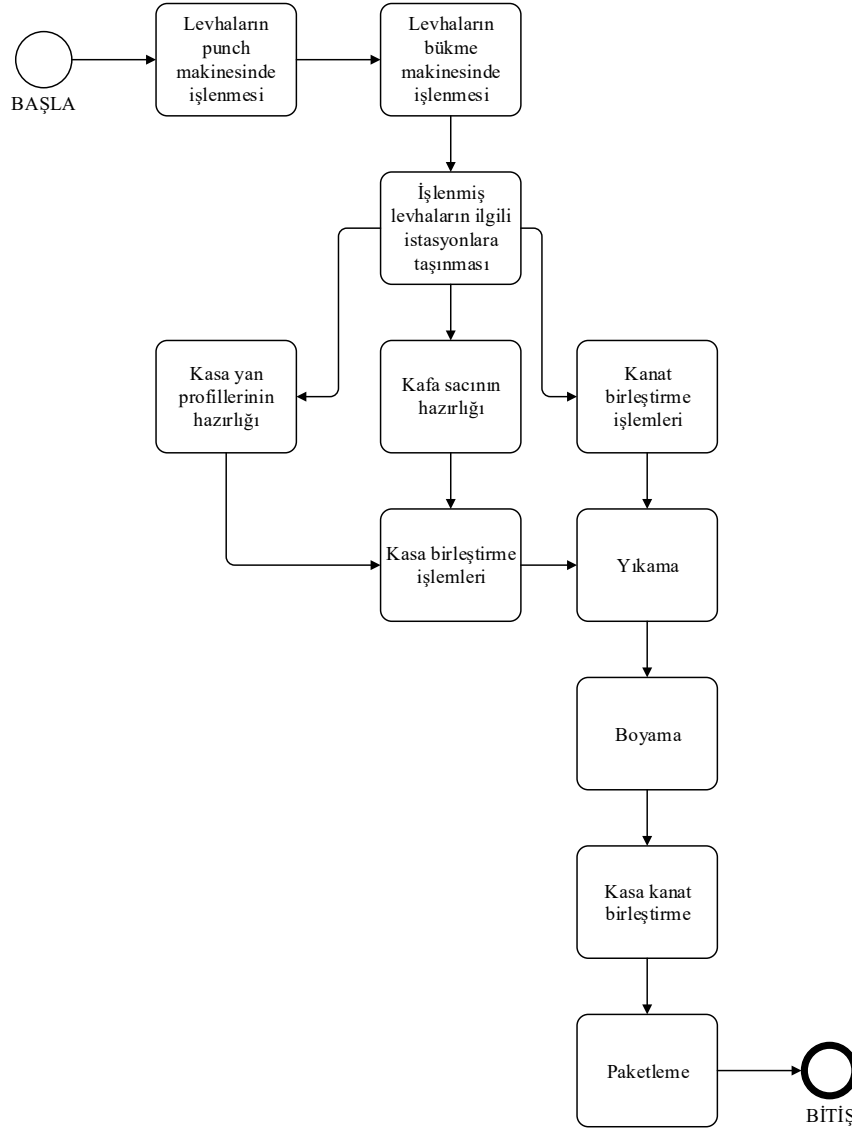
ışığında gerek ¼retimde gerekse ofiste eşzamanlı m¼hendislik çalışmaları yapılarak tasarım iyileştirme fikirleri geliştirilmiştir.

7. BULGULAR

7.1. Veri Toplama ve Mevcut Durum Analizi

İşletmede üretilen yarı otomatik kapı, otomatik kapı ve kabin üretimlerinden kritik öneme sahip olan yarı otomatik kapı üretimi uygulama yapılacak ürün olarak belirlenmiştir. Yarı otomatik kapı kasa üretiminde tasarım geliştirmesi planlanmıştır.

Yarı otomatik kapı üretiminde üretim süreci ve iş akışı ve istasyon yerleşimleri öncelikli olarak gözlemlenmiştir. Yarı otomatik kapı iş akışı Şekil 7.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 7.1: Yarı otomatik kapı iş akış şeması

başka bir birleştirici parça yerine tercih edilmiş ve tasarım üzerinde hacim kaplayan, ağırlık yapan ve fiziksel olarak görülebilen bir yapıdadır.

Tablo 7.5: Mevcut tasarım parça sayısı ve montaj süreleri

İşlem Grubu	İşlem Adı	Mevcut Parça Sayısı	Teorik Minimum Parça Sayısı	Montaj Süresi (s/adet)	Montaj Maliyeti* (100 adet)
Hazırlık	Kasa yan profili (menteşe tarafı)	1	1	38,8	37,94
Menteşe	Menteşe kaynağı (4 menteşe parçası+ 4 büyük kaynak)	8	8	66,9	65,43
Yaprak Yay Sacı	Yaprak yay sabitleme sacı (1 parça + 6 küçük kaynak)	7	1	25,1	24,55
Ara Destekler	Ara destekler (2 destek sacı + 6 küçük kaynak)	8	0	33,2	32,47
Spiralleme	Spiralleme	-	-	20,3	19,85
Taşıma	Taşıma	-	-	10,4	9
Hazırlık	Kasa yan profili (kilit tarafı)	1	1	39,0	38,14
Ara Destekler	Ara destekler (2 destek sacı + 6 küçük kaynak)	8	0	35,0	34,23
Kilit Desteği	Kilit desteği (4 parça + 4 küçük kaynak)	8	0	55,8	54,57
Spiralleme	Spiralleme	-	-	22,8	22,30
Taşıma	Taşıma	-	-	9,7	9,49
Kafa Sacı Hazırlık	Kafa sacı	1	1	10,5	10,27
Kafa Sacı Hazırlık	Diktatör destekleri (8 kaynak)	10	0	54,8	53,59
Taşıma	Taşıma	-	-	8,6	7,43
Birleştirme	Kafa hazırlık	1	1	42,5	41,56
Birleştirme	Kafa kaynak (6 büyük kaynak)	12	4	51,8	50,66
Birleştirme	Taban hazırlık	1	1	17,1	16,72
Birleştirme	Taban kaynak (6 büyük kaynak)	12	4	69,3	67,77

Alın Sacı	Alın sacı hazırlık	-	-	31,9	31,20
Alın Sacı	Alın sacı kaynak (20 küçük kaynak)	21	0	92,1	90,07
Spiralleme	Spiralleme	-	-	80,8	79,02
Taşıma	Taşıma	-	-	30,9	30,22
	TOPLAM	98	24	847,3	826,48

*İşçilik maliyeti kalifiye bir montaj personelinin brüt maliyeti baz alınarak 5634 TL üzerinden hesaplanmıştır.

$$TE = \frac{3 \times 24}{847,3} = 0,085$$

Tablo 7.5’de görüldüğü üzere ürün üzerinde katma değeri olmayan spiralleme işleminin ve sürelerinin yüksek olması göze çarpmaktadır. Spiralleme işlemleri kaynak işleminin gerekliliği olarak ortaya çıkmaktadır. Birleştirme işlemleri içerisinde alın sacının montajı en yüksek süresi olan işçiliktir.

Mevcut tasarımın tasarım etkinliği (TE) ölçüldüğünde 0,085 puanlık bir veri elde edilmiştir. Yapılacak iyileştirmeler sonrasında bu puanın yükselmesi hedeflenmiştir.

7.3. Analiz

İşçilik süreleri incelendiğinde parça ve ana işlemler bazında işçilikler gruplandırılarak sıralanmıştır. Bu sıralamaya göre detay analiz ve iyileştirme çalışmaları önceliklerine göre yapılmıştır.

Tablo 7.6: İşlem gruplarına göre işçilik sıralaması

İşlem Grupları	Parça Sayısı	İşlem Süresi	Oran
Birleştirme	25	180,7	21,3%
Alın Sacı	21	124	14,6%
Spiralleme	0	123,9	14,6%
Hazırlık	2	77,8	9,2%
Ara Destekler	16	68,2	8,0%
Menteşe	8	66,9	7,9%
Kafa Sacı Haz.	11	65,3	7,7%
Taşıma	0	59,6	7,0%
Kilit Desteği	8	55,8	6,6%
Yaprak Yay Sacı	7	25,1	3,0%
TOPLAM	98	847,3	100%

Kasa birleştirme işlemi tamamen kaynak ile yapılmaktadır (Bkz. Şekil 6.3). Kaynak işleminin çeşitli dezavantajları vardır. Görünür yerdeki her kaynak işlemi estetik kaygılar nedeniyle spiralleme işlemini gerektirmektedir. Yapılan zaman etütlerinde de görüldüğü üzere 1 adet kasa üretimi için toplamda 123,9 s spiralleme işlemi yapılmaktadır (Bkz. Tablo 7.6). Spiralleme işlemi toplam sürenin %14,6'sına denk gelmektedir. Önemli bulgulardan birisi de ek işçilik olarak görülen spiralleme işleminin yok edilmesi veya azaltılmasıdır.

Yapılan mevcut durum çalışmaları sonucunda 124 s'lik kaynak işçiliği olan ve hazırlık işlemleri ve spiralleme ile birlikte 180,8 s toplam işçilik süresiyle ikinci yüksek işçilik payına sahip parça olan alın sacı (Bkz. Şekil 6.3) montajının da öncelikli iyileştirme noktası olarak belirlenmesine karar verilmiştir. Alın sacı montajının toplam montaj işçiliği içinde %21,4'lük (spiralleme dahil) bir payı vardır. Ayrıca kaynaklar ile birlikte toplam 21 parçadan oluşmaktadır.

Diğer bulgu ise kasa yan profili ve kafa sacındaki ara desteklerdir (Bkz. Şekil 6.3). Bu ara desteklerin herhangi bir yük taşımadığı ve yatay yönlü olarak bir yüke maruz kalmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu ara desteklerinin kaynağı aşağıdan yukarıya doğru el ile desteklenerek yapılmaktadır (yerçekimine uygun değil) ve benzer işlemlere göre daha zordur.

Yarı otomatik asansör kapılarının binalarda kullanımı sırasında asansör kabini katta değilse kapıyı kilitleyen sisteme diktatör adı verilmektedir. Kafa sacı üzerinde diktatörün rahat hareket edebilmesi için bir destek niteliğinde olan diktatör sacı kaynak ile sabitlenmektedir. Bu parçanın da gerekliliği tartışmaya açık bir konu olarak bulgularımız arasındadır (Bkz. Şekil 6.4).

Elde edilen bulgular eşzamanlı mühendislik ekibi tarafından analiz edilmiştir. Mevcut tasarım ve bulgularda elde edilen öncelikli kısımlar değerlendirilerek iyileştirme önerileri alınmıştır.

Toplantılar ve saha incelemeleri sonucunda yapılabilecek değişiklikler B&D prensiplerine uygun olarak şu şekilde belirlenmiştir:

- Alın sacı için tek taraf geçme diğer taraf perçinleme yapılarak kaynak ve spiralleme işlemlerinin yok edilmesi.
- Alın sacının 2. alternatif olarak sıkı geçmeli bir sistem ile tasarlanması.

- Birleştirme işlemlerinin tamamen perçinleme ile yapılması.
- Ara desteklerinin geçmeli bir sistem olarak tasarlanması ile kaynak işleminin yok edilmesi.

Yapılan ilk tasarım değerlendirmesi ve analizlerden sonra tekrar yapılan eşzamanlı mühendislik toplantısı ve saha gözlemlerinden şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Alın sacının geçmeli bir sistemde, asansörün çalışma titreşimi ile gevşeme olabileceği ve ses yapma riski ortaya çıkmıştır.
- Alın sacının sıkı geçmeli sistem olarak tasarlanması metal işçiliği ve imalat makine parkuru için uygun olmadığı görülmüştür.
- Birleştirme işlemlerinin tamamen perçinleme veya hızlı vidalama ile yapılmasının gevşeme yapma riski olduğu tespit edilmiştir. Geçmişte bu denenmiş ve titreşim kaynaklı gevşemelerden dolayı müşteri şikayetleri olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle sadece kafa sacının perçin ile birleştirilmesinin uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Ara desteklerin tamamen ihtiyaç dışı olduğu sadece sektör alışkanlığı olduğu tespit edilmiştir. Müşteri görüşmeleri neticesinde ve bina montajı tecrübesi olan üretim şefinin tecrübelerine dayanılarak alınan görüşlerde, parçanın desteklediği kısımlarda herhangi bir yük taşımadığı ve yüke maruz kalmadığı tespit edilmiştir. Bu görüşmeler ve tecrübe paylaşımları sonucunda ara desteklerin tamamen tasarımdan çıkartılmasına karar verilmiştir.
- Yapılan saha toplantısında kafa sacı değerlendirilmiştir. Eşzamanlı mühendislik kapsamında tecrübe paylaşımları ile kafa sacındaki diktatör desteğinin tasarımdan çıkartılamayacağı ve gerekli bir parça olduğu tespit edilmiştir. Bu parçanın alın sacına monte edilebileceği değerlendirilmiştir.

7.4. İyileştirmeler

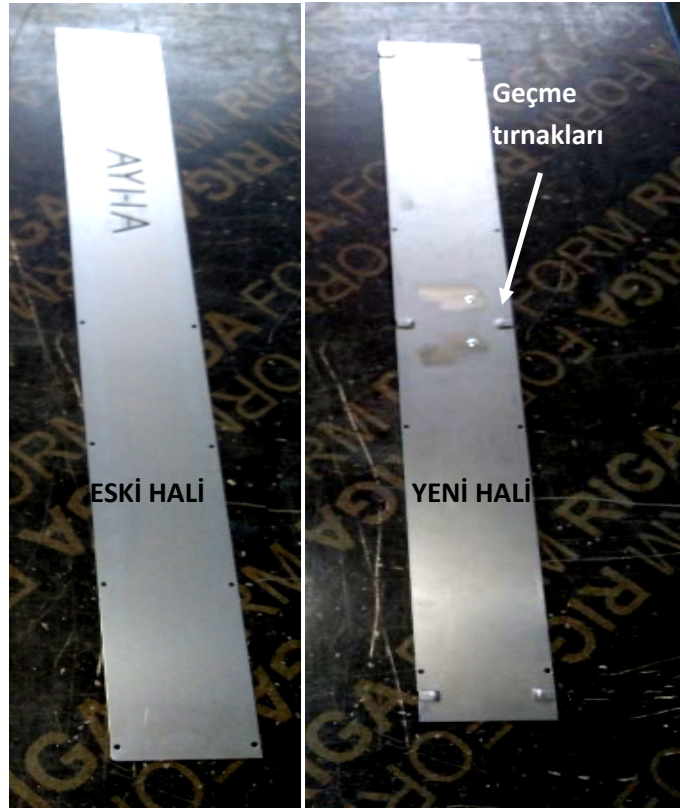
Elde edilen veriler, bulgular ve analizler gerek toplantı ortamında gerekse sahada yapılan eşzamanlı mühendislik çalışmaları ile değerlendirilerek öncelikli olarak belirlenen parçalar ve iş adımlarında iyileştirmeler yapılmıştır (Resim 7.1).



Resim 7.1: Eşzamanlı Mühendislik saha toplantısı

7.4.1. İyileştirme 1 (Alın sacı)

Alın sacının yaklaşık 20 adet (işlemi yapan operatöre göre farklılık gösterebilmektedir) küçük kaynak işlemi ile montajı yapılmaktadır. Kasa birleştirme istasyonundaki en yüksek işçilik payına sahip olan bu parçanın B&D yok etme prensibi gereği olarak, sıkı geçmeli tasarlanması ile birleştirici ihtiyacının yok edilmesi üzerinde çalışılmış ve yapılan eşzamanlı mühendislik toplantılarında sıkı geçmenin plastik deformasyon (kalıcı deformasyon) oluşturma riski olduğu öngörülerek alternatif bir çözüm daha geliştirilmiş ve sıkı geçmeli montaj uygulamasının ikinci seçenek olarak tercih edilmesinin daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Buna göre, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'te gösterildiği şekilde sürgülü bir tasarım geliştirilmiştir. Yapılan denemelerde alın sacının sürgülü yapılmasının işçilik, sarf malzeme ve parça tasarrufu sağlayacağı gözlemlenerek yeni tasarımın uygulanmasına karar verilmiştir.



Şekil 7.4: Alın sacının eski ve yeni tasarımları



Şekil 7.5: Alın sacı sürgülü montaj

7.4.2. İyileştirme 2 (Ara destekler)

Yapılan incelemeler ve araştırmalar sonucunda sağ ve sol yan profillerde mevcut olan ara desteklerin sektörde geleneksel olarak kullanıldığı, parçaya destek sağlayan veya kullanım koşulları içinde parça mukavemetini arttıracak bir etkisinin olmadığı

belirlenmiştir. Çünkü ara destekler parçaya yatay güce karşı bir destek sağlamaktadır. Eşzamanlı mühendislik toplantılarında montaj, taşıma ve kullanım koşullarının tümünde parçanın maruz kaldığı yükler incelenmiş, yatay bir yüke maruz kalmadığı ve yan destek saclarının kalınlığının yeterince mukavemet sağladığı düşünülerek bu destek saclarının tasarımdan çıkartılmasına karar verilmiştir (Bkz. Şekil 7.6). B&D yok etme prensibi gereği olarak, yeni tasarımda ara desteklerin kaldırılması montaj sırasında uygulanan 16 kaynak işlemini de ortadan kaldırmıştır.



Şekil 7.6: Yan profil ara destek parçalarının çıkartılması

7.4.3. İyileştirme 3 (Kafa Sacı)

Kafa sacında yapılan hazırlık işlemleri incelendiğinde; yan profillerde olduğu gibi destek sacının gereksiz olduğuna karar verilmiştir. Diktatör sacının çıkartılması durumunda uzun süreli kullanımlarda asansör kapılarının güvenliğini sağlayan diktatör sisteminin çabuk deforme olabileceği göz önüne alınmıştır. B&D tamir edilebilme prensibi gereği olarak, diktatör sacının alın sacına perçinlenerek monte edilmesinin daha kolay olacağına karar verilmiştir (Bkz. Şekil 7.7 ve Şekil 7.8).



Şekil 7.7: Kafa sacı eski hali



Şekil 7.8: Kafa sacı yeni hali

7.5. Diğer Denemeler

Kasa birleştirme işleminde yapılan kaynaklar ayrıca spiralleme işlemlerini de gerektirmektedir. Spiralleme işlemlerinin işçilikler içerisinde dördüncü sırada yer alması nedeniyle ECRS analizine göre yok edilmesi gerekliliği üzerinde çalışılmıştır. Spiralleme işlemlerinin yok edilmesi için birleştirme istasyonunda kaynak işlerinin yok edilmesi gerekmektedir. Bunun için kasa ana parçalarının birleştirilmesinde vidalama sisteminin kullanılmasına karar verilmiştir (Bkz. Şekil 7.9).



Şekil 7.9: Kasa birleştirme eski hali ve önerilen hali

Kasa birleştirme operasyonunda eski halinde birleştirici parça yok gibi görünse de profilin 3 tarafına büyük kaynak yapılmaktaydı. Daha önce de belirtildiği üzere; kaynak işlemlerini hacimsel olarak yer kaplaması, toplam ağırlığa etki etmesi ve görsel olarak yüzeyde görülebilmesi nedenlerinden dolayı parça olarak kabul edilmektedir. Burada kaynak işçiliğinden doğan spiralleme ek işçiliği operasyon süresini parça sayısından bağımsız olarak ayrıca uzatmaktadır. Vidalama sistemine geçiş ile spiralleme ek işçiliğinden tasarruf edileceği öngörülmüştür.

Yapılan deneme ve prototip üretiminde kasanın ana profillerinin birleşiminde kullanılacak olan vida ve somunlar için yan profillere ek olarak bir vidalama sacı (Şekil

7.9) montajı gerekliliği doğmuştur. Malzeme ve imalat usulleri gereği parça montajsız olarak imal edilememektedir. Bu parçanın eklenmesinden dolayı, daha önce öngörülen iyileştirme sağlanamamış, parça sayısı 24 adetten 32 adede yükselmekte ve montaj süresi 210,7 s'den (spiralleme dahil) 245 s'ye yükselmiştir. Bu sebeple bu deneme başarısız olmuş ve ana parçaların birleştirilmesinde kaynak işlemine devam edilmesine karar verilmiştir.

7.6. Doğrulama

Tasarım üzerinde yapılan değişikliklerin hayata geçirilerek sahada pilot üretimleri yapılmıştır. Bu pilot üretimlerinde operasyon süreleri gözlemlenerek, video çekimleri ile iyileştirmeler doğrulanmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda operasyon sürelerinde önemli miktarlarda tasarruf sağlanmıştır.

İyileştirme 1 (Alın sacı):Alın sacı montajının ilk hali spiralleme işçiliği ile birlikte 180,8 s sürmekteydi. Yapılan pilot üretim ve video çekimleri ile bu sürenin yaklaşık olarak 25 s'ye düştüğü görülmüştür. Kaynaklarla beraber 21 parça olan tasarım 1 parçaya düşürülmüştür.

İyileştirme 2 (Ara destekler): Eski tasarımda mevcut olan ara desteklerin yok edilmesi ile 68,2 s olan işçiliğin tamamından tasarruf sağlanmıştır. Kaynaklarla beraber toplam 21 parça yok edilmiştir.

İyileştirme 3 (Kafa sacı): Yapılan yeni tasarım ile kafa sacının hazırlık işlemlerinde 8,6 s'lik taşıma işlemi ile birlikte harcanan 73,9 s'lik işçilik yerine, alın sacına perçinlenen diktatör desteği için işçilik süresi yaklaşık 17 s'ye düşürülmüştür. Bu tasarım değişikliği ile 56,9 s'lik tasarruf elde edilmiştir. Kaynaklarla beraber 11 parça olan tasarım 4 parçaya düşürülmüştür.

Yeni tasarımın parça sayısı, işlem süreleri ve maliyet tablosu Tablo 7.7'deki gibidir.

Tablo 7.7: Yeni tasarım parça sayısı ve montaj süreleri

İşlem Grubu	Parça Adı	Mevcut Parça Sayısı	Teorik Minimum Parça Sayısı	Montaj Süresi (s /adet)	Montaj Maliyeti (100 adet/TL)
Hazırlık	Kasa yan profili (menteşe tarafı)	1	1	38,8	37,9
Menteşe	Menteşe kaynağı (4 menteşe parçası+ 4 büyük kaynak)	8	8	66,9	65,4
Yaprak Yay Sacı	Yaprak yay sabitleme sacı (1 parça + 6 küçük kaynak)	7	1	25,1	24,5
Spiralleme	Spiralleme	-	-	20,3	19,8
Taşıma	Taşıma	-	-	9,2	9
Hazırlık	Kasa yan profili (kilit tarafı)	1	1	39,0	38,1
Kilit Desteği	Kilit desteği (4 parça + 4 küçük kaynak)	8	0	55,8	54,6
Spiralleme	Spiralleme	-	-	22,8	22,3
Taşıma	Taşıma	-	-	9,7	9,5
Kafa Sacı Hazırlık	Diktatör sacı perçinleme	4	4	17	16,6
Birleştirme	Kafa hazırlık	0	0	42,5	41,5
Birleştirme	Kafa kaynak (6 büyük kaynak)	12	4	51,8	50,6
Birleştirme	Taban hazırlık	1	1	17,1	16,7
Birleştirme	Taban kaynak (6 büyük kaynak)	12	4	69,3	67,8
Alın Sacı	Alın sacı takma	1	0	25	24,5
Taşıma	Taşıma	-	-	30,9	30,2
Spiralleme	Spiralleme	-	-	20	19,7
	TOPLAM	55	24	561,2	549,3

*İşçilik maliyeti kalifiye bir montaj personelinin brüt maliyeti baz alınarak 5634 TL üzerinden hesaplanmıştır.

$$TE = \frac{3 \times 24}{561,2} = 0,128$$

Çalışmamızda TE değeri %8,5'ten %12,8'e yükselmiştir. Elde edilen TE değerleri literatürde B&D tasarım etkinliği ölçme metodu kullanılarak yapılan uygulamalardan Adam ve Shukor'un (2018) çalışmaları ile benzerlik göstermektedir.

Tablo 7.8: İşlem grubu bazında iyileştirme oranları

İşlem Grupları	Eski Tas. Parça Sayısı	Yeni Tas. Parça Sayısı	Parça Say. Azalma	Eski Süre	Yeni Süre	Verimlilik Artışı
Birleştirme	25	25	0%	180,7	180,7	0,0%
Alın Sacı	21	1	95%	124	25	79,8%
Spiralleme	0	0	0%	123,9	63,1	49,1%
Hazırlık	2	2	0%	77,8	77,8	0,0%
Ara Destekler	16	0	100%	68,2	0	100,0%
Menteşe	8	8	0%	66,9	66,9	0,0%
Kafa Sacı Haz.	11	4	64%	65,3	17	74,0%
Kilit Desteği	8	8	0%	55,8	55,8	0,0%
Taşıma	0	0	0%	59,6	49,8	16,4%
Yaprak Yay Sacı	7	7	0%	25,1	25,1	0,0%
TOPLAM	98	55		847,3	561,2	

Tablo 7.8'de görüldüğü üzere, ele alınan iyileştirme önerileri deneme bir üretimde tekrar gözlemlenerek doğrulanmıştır. İşlem grubu bazında parça sayılarında alın sacında %95, ara desteklerde %100 ve kafa sacı hazırlığında %64 iyileştirme sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca işlem gruplarındaki süre iyileştirmelerine bakıldığında alın sacında %79,8, spirallemede %49,1, ara desteklerde %100, kafa sacı hazırlığında %74 ve taşıma işlemlerinde %16,4 iyileştirme (verimlilik) sağlanmıştır.

8. SONUÇ

Serbest piyasa ekonomisi içerisinde artan rekabet ortamı, her iş kolunda olduğu gibi asansör sektöründe de işletmelerin maliyetler konusunda dikkatli olmalarını zorunlu kılmaktadır. Bunun için üretim sırasında oluşan maliyetlerin azaltılması, işletmelerin öncelikli hedefidir.

Son yıllarda inşaat sektöründe dikey büyümenin artması ile yapılardaki en önemli ergonomik ihtiyaçlardan biri asansör sistemleri olmuştur. Artık üç katın üzerindeki binaların üretilmesinde asansör kullanımı yasal olarak zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle asansör sektörünün, makine endüstrisi içerisindeki payı giderek artmaktadır.

Yapılan çalışma kapsamında, bu durum göz önüne alınarak asansör üretimi yapan bir işletmede incelemeler yapılmıştır. Öncelikle MiT ile ilgili literatür taranarak son yıllarda yapılan uygulamalar incelenmiştir. Literatürde asansör sektöründe tasarım sorunlarının, üretimde verimliliğe önemli etkisi olduğu ve asansör sektöründe işletmelerin bu çalışmaya olan ihtiyacının fazla olduğu gözlenmiş, bu bağlamda sektörde yenilikçi bir yaklaşım hedeflenmiştir.

Bu bilgiler ışığında bir yöntem belirlenerek tez konusu olan MiT çalışmasının ürün montaj işçiliğine sağladığı olumlu etki, örnek bir uygulama ile gösterilmiştir. Asansör üretim süreçleri incelendiğinde; ürün tasarımlarına bağlı olarak kaynak ve bağlantı elemanlarının fazlalığı üretim ve montaj aşamalarındaki en önemli sorun olarak ön plana çıkmaktadır. Buna göre ürün tasarımlarında, MiT prensiplerine göre geliştirmeler yapılarak montaj süreçlerinde iyileştirmeler sağlanmıştır. Ürünlerdeki kaynak ve bağlantı elemanları azaltılarak daha yalın bir tasarım ile montaj verimliliği arttırılmıştır.

MiT uygulaması için araştırmada B&D DFMA Metodu kullanılmıştır. Ele alınan tasarıma ait üretim süreçleri iş etüdü yapılarak analiz edilmiş ve B&D ve ECRS yöntemleri birlikte kullanılarak tasarım iyileştirme fikirleri ele alınmıştır.

Asansör üretimi ve montajı karmaşık bir süreci içermektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada işletmenin en fazla sipariş aldığı yarı otomatik kapı ile çalışan asansör modelinde kapı kasası üretimi incelenmiştir. Kasa üretiminde kullanılan yan profiller, kafa sacı, alın sacı, taban sacı ve bunların alt parçaları ile birleştirme işlemleri ele alınmıştır.

Mevcut üretimde kullanılan tasarımın etkinliği 0,085 puan olarak çıkmış ve işlem basamakları incelendiğinde 22 aşamalı bir işlem sürecinden geçtiği ortaya konmuştur. Bu işlem basamaklarına göre 1 adet kapı kasaının üretimi için 847,3 s zaman harcanmaktadır. Bu sürenin içerisinde 484 s kaynak işlemi, 123,90 s spiralleme işlemi yapılmaktadır. Geri kalan süreler işlem hazırlık ve taşıma işlemlerine aittir. Metal işlerinde montaj işlemi olarak kaynak uygulamaları ve arkasından yapılan spiralleme işlemleri işin gereği olarak zorunlu bir uygulamadır. Bu nedenle araştırmada kaynak uygulamalarının ve spiralleme işlemlerinin azaltılması üzerinde odaklanılmıştır. Bunun için mevcut kapı kasaı tasarımı detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Yapılan iş etüdü analizi sonuçlarına göre; kaynak ve spiralleme işlemlerinin (hazırlık dahil) yoğun olduğu üç işlem grubu öne çıkmıştır. Bunlar; alın sacı (180,8 s), kasa yan profili ara destekleri (127,60 s) ve kafa sacı (121,30 s) işlemleridir.

Montaj tasarım sürecinde eşzamanlı mühendislik çalışmaları ile değerlendirilerek öncelikli olarak belirlenen parçalar ve iş adımlarında iyileştirmeler yapılmıştır.

Birinci iyileştirme çalışması olarak alın sacı, sıkı geçmeli ve kızaklı bir model olarak tasarlanmıştır. Bu şekilde 21 olan parça sayısı 1'e düşürülmüş ve %95 parça sayısında tasarruf sağlanmıştır. Yeni tasarımla 124 s olan montaj süresi (hazırlık ve spiralleme süreleri hariç) 25 s'ye düşürülerek %79,8'lik bir verimlilik oranı sağlanmıştır.

İkinci iyileştirme çalışması kasa yan profillerindeki ara destekler üzerinde yapılmıştır. Oluşturulan yeni tasarımda ara desteklerin kaldırılması montaj sırasında uygulanan 16 kaynak işlemini de ortadan kaldırmış ve 68,2 s olan montaj süresinin (hazırlık ve spiralleme süreleri hariç) üretim sürecinden çıkarılması sağlanarak %100 verimlilik sağlanmıştır.

Üçüncü iyileştirme çalışması kasa üst kısmında yer alan diktatör parçasının kafa sacı adı verilen bölüme montajı üzerinde yapılmıştır. Yeni tasarım ile 11 olan parça sayısı 4'e düşürülerek %64'lük bir parça azalması sağlanırken, 65,3 s olan işçilik süresi 17 s'ye düşürülerek %74'lük bir iş verimi elde edilmiştir.

Belirlenen üç iyileştirme çalışması dışında birkaç farklı işlem üzerinde de tasarım iyileştirme çalışması yapılmış, ancak istenilen fayda ortaya konamamıştır.

Yapılan iyileştirmeler sonucunda; mevcut tasarımında 98 parça olan yarı otomatik kapı kasası, yeni tasarım ile 55 parçaya düşürülmüştür. Parça sayısındaki azalma ve tasarım değişiklikleri ile toplam montaj süresi 847,3 s'den 561,2 s'ye düşürülerek montaj süresinden %33,8 tasarruf sağlanmıştır. Bu tasarruf ile 100 adetlik bir üretim için montaj maliyeti 826,5 TL olan yarı otomatik kapı kasasının montaj maliyeti 549,3 TL'ye düşürülerek maliyetlerde %33,8 tasarruf elde edilmiştir. Yapılan iyileştirmeler sonucu B&D Tasarım Etkinliği %8,5'ten %12,8'e yükseltilmiştir.

Bu sonuçlara göre; çalışmanın en başında hedeflenen %25 üretim verimliliğinde artış, %33,8 olarak gerçekleşmiş ve deneme üretimi ile doğrulanmıştır. Parça sayısında sağlanan %43,9'luk iyileştirme ve tasarım etkinliğinde %50,6 bir artış sağlanarak ürün tasarımında yapılan iyileştirmelerin başarısı ortaya konmuştur.

Çalışma kapsamında model olması için sadece bir ürün modelinin (yarı otomatik kapı ile çalışan asansör) bir parçasına ait (kapı kasası) üretim süreci incelenmiştir. Bu araştırma; asansör modelinin diğer iş parçaları ve işletmede üretilen farklı asansör modelleri kapsamlı şekilde incelenerek işletme için üretim verimliliğinin daha da arttırılabileceğini göstermiştir.

Asansör sektöründe uygulanan literatürdeki diğer çalışmalara bakıldığında, C. E. İmrak ve Ö. Salman'ın 2010 yılında asansör sanayinde kabin kapılarının montajı üzerine yaptıkları çalışmada B&D DFA prensiplerini kullanarak montaj maliyetlerinde %20 - %30 civarında ve üretim maliyetlerinde %10 - %15 civarında tasarruf sağlamışlardır. C. E. İmrak ve M. Kocaman'ın 2012 yılında çift kabinli asansör üretiminde B&D metodunu uygulayarak parça sayısında %52, montaj süresinde %49 ve tasarım etkinliğinde %207 iyileştirme sağlamışlardır (İmrak ve Kocaman 2012). M. J. Cabello Ulloa ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada tasarım etkinliğinde %7,9'luk artış sağlanmıştır (Cabello Ulloa ve diğ. 2018). Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar kıyaslandığında bu çalışmada elde edilen %33,8'lik üretim verimliliği iyileştirmesi ortalama bir değer olarak görülebilir.

Bu çalışmada yapılan MiT uygulaması ülkemiz asansör sanayinde görülen az sayıda örnekten biri olup sektörde yenilikçi bir tasarım yaklaşımı oluşturabilecek niteliktedir. Geleneksel tasarım metotları ile üretim yapan ve maliyetlerini azaltma konusunda sorun

yaşayan işletmeler için tasarım süreçlerinin yenilikçi bir yaklaşım ile geliştirilmesi işletmelere olduğu kadar sektörel ve ulusal endüstrinin büyümesine de katkı sağlayacaktır.

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın hazırladığı asansör sektörü bazında 2019 raporunda belirtildiği üzere; asansör sektörünün geliştirilmesinin önündeki en temel sorun; sektör ar-ge alt yapısının güçlendirilmesine yönelik çalışmaların azlığı veya tamamen yetersizliğidir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020). Günümüzde sektördeki işletmeler üretimlerinde ar-ge çalışmalarına önem vermeleri ve inovatif yaklaşımlar geliştirmeleri gerekirken geleneksel üretim anlayışı ile devam etmeyi tercih etmektedirler. Teknolojinin hayatımızda vazgeçilmez olduğu bir dünyada, asansör üreticileri de kendilerini yenilemek durumundadır. Bunun için atılacak adımların ortaya çıkaracağı finansal yükler, birlikte ortak hareket edilerek aşılması mümkündür. Çalışmanın bu açıdan ele alınması ülkemiz sanayine sağlayacağı katkıyı da ortaya koymaktadır. Son olarak; bu araştırma sürecinde asansör montaj ve üretimi alanında çalışma yapacak araştırmacıların karmaşık üretimin sadeleştirilmesi, montaj işlemlerinin basitleştirilmesi, teknolojinin adaptasyonu, yapay zekanın işlevselliği gibi endüstriyel üretim problemleri konularında sektöre katkı sağlayabilecekleri görülmüştür.

9. KAYNAKLAR

Adam, A. and Shukor, A. I. A., “Evaluation of design efficiency using boothroyd dewhurst method for PCB drilling machine products”, International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology 19(5), 35 – 41, DOI: 10.5013/IJSSST.a.19.05.04, (2018).

Akdemir, N., “Tasarım Kavramının Geniş Çerçevesi: Tasarım Odaklı Yaklaşımlar Üzerine Bir İnceleme”, Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 7(1), 85-92, (2017).

Akhir, T., “Redesign Analysis Of Winglet Abc At Pt. X With Design For Assembly (Dfa) Approach”, Undergraduate Thesis, Department Of Industrial Engineering Faculty Of Industrial Technology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 78 – 87, (2014).

Akyurt İ. Z. , Modern Üretim Sistemleri, İstanbul Üniversitesi, Açık Öğretim Fakültesi Yayınları, (2010).

Boothroyd, G. and Dewhurst, P., Product Design for Assembly, Boothroyd Dewhurst, Inc., Wakefield, RI, USA, First Edition, (1983).

Boothroyd, G., Dewhurst, P. and Knight, W., Product Design for Manufacture and Assembly, 2nd Edition, Marcel Dekker, New York, (2002).

Boothroyd, G., “Design For Assembly [Online]”, (25 March 2020), https://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_assembly, (1980).

Chang, G. A. and Peterson, W. R., “Using Design For Assembly Methodology To Improve Product Development And Design Learning At Msu”, American Society for Engineering Education, 63 – 74, (2012).

EBSO, “Sanayi 4.0 [Online]” , (02 March 2020), Ege Bölgesi Sanayi Odası Araştırma Müdürlüğü, www.ebso.org.tr/ebsomedia/documents/sanayi-40_88510761.pdf, (2015).

Effendi, M., Ito, T., Salleh, M. R. and Nordin, N. A., “Simulation Study Towards Productivity Improvement For Assembly Line”, Journal of Human Capital Development, ISSN: 1985-7012, S. 59, (2012).

Özdemir, M., Şen, Y. ve Ekmekçi, İ., “Triz Metodu İle Ürün Geliştirme Yöntemi Ve Bir Uygulama”, 13. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 1129 – 1138, (2013).

Er, Ö., Er, H. A. ve Manzakoğlu, B. T., “Tasarım Yönetimi: Tanım, Kapsam ve Uygulama”, TÜSİAD Yayınları, Yayın No: TÜSİAD-T/2010, 12; 508, (2010).

Ersöz T., Sarız K. ve Ersöz F., “Demir-Çelik Üretim Hattında Yalın Üretim”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 801-826, (2020).

Ezpeleta, I., Justel, D., Bereau, U. and Zubezu, J., “DFA-SPDP, a new DFA method to improve the assembly during all the product development phases”, Procedia CIRP 84, 673–679, (2019).

Favi, C., Germani, M. and Mandolini, M., “Design for Manufacturing and Assembly vs. Design to Cost: toward a multi-objective approach for decision-making strategies during conceptual design of complex products”, Procedia CIRP 50, 275 – 280, (2016).

Francia, D., Seminerio, D., Caligiana, G., Firizzero, L., Liverani, A. and Donnici, G., “Virtual Design for Assembly Improving the Product Design of a Two-Way Relief Valve”, DOI: 10.1007/978-3-030-31154-4_26, 304 – 314, (2020).

Gao, S., Jin, R. and Lu, W., “Design for manufacture and assembly in construction: a review”, Building Research & Information, DOI: 10.1080/09613218.2019.1660608, 538 – 550, (2019).

Gao, S., Low, S. P. and Nair, K., “Design for manufacturing and assembly (DfMA): a preliminary study of factors influencing its adoption in Singapore”, Architectural Engineering and Design Management, 14:6, 440-456, DOI: 10.1080/17452007.2018.1502653, (2018).

Gulo, C. A., Rahayu, M., Martini, S. and Kurniawan, M. I., “Design of Dust Collector on Sorting Machine Vibro Mesh Type Using Design for Assembly (DFA) Approach with Boothroyd and Dewhurst Method in PT. Perkebunan Nusantara VIII Ciater”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 528, 012009, (2019).

Güven, S., “Yamazumi – İş Dengeleme [online]”, (26 Mart 2020), <https://serhatguven.wordpress.com/2016/09/14/yamazumi-is-dengeleme/>, 2016.

Harlalka, A., Naiju, C. D., Janardhanan, M. N. and Nielsen I., “Redesign of an in-market food processor for manufacturing cost reduction using DFMA methodology”, Production & Manufacturing Research, 4:1, DOI: 10.1080/21693277.2016.1261052, 209 - 227, (2016).

İmrak, C. E. ve Salman, Ö., “Asansör Kabin Kapılarının Montaja Uygun Tasarımı”, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 11-12 Kasım 2010- Balıkesir, 272 – 280, (2010).

Kamath, K., “Design for Assembly Line Performance: The Link Between DFA Metrics and Assembly Line Performance Metrics”, Master Thesis, Rochester Institute of Technology, New York, (2009).

Karaçalı, Ö. ve Demirci, H. İ., “Otomotiv Endüstrisinde Montaj İçin Tasarım Metodu”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Cilt 5, (2009).

Kocakoç, M., “Montaj Süreçlerinde Yalın Üretim Verileri Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2008).

Kokane, S., Joshi and D. , Patil, A. , “Use of DFA - Assembly Functional Analysis Tool to Reduce Number of Components in Hot - Cold Water Dispenser”, International Journal of Engineering Research & Technology, (IJERT) ISSN: 2278-0181 IJERTV4IS020654 , Vol. 4 Issue 02, 705 – 709, (2015).

Kumar, M. N. S., “Design For Manual Assembly [PDF Belgesi].”, Lecture Notes, Online Web Site: 23.04.2020 tarihinde <http://164.100.133.129:81/econtent/Uploads/08%20Design%20for%20Manual%20assembly.pdf> adresinden erişildi.

Molloy, O, Warman, E. A. and Tilley, S., Design for Manufacturing and Assembly: Concepts, architectures and implementation , Springer Science & Business Media., (2012).

Moultrie, J. and Maier, A. , “A simplified approach to design for assembly.”, Journal of Engineering Design, 25(1-3), 44-63, (2014).

Naga Malleswari, V., SurendraBabu, B. and Praneeth, C., “Redesigning of Electric Plug for Assembly Time Reduction Using DFA.”, Voruganti, H., Kumar, K., Krishna, P., Jin, X. (Eds.), Advances in Applied Mechanical Engineering, Lecture Notes in Mechanical Engineering, Singapore: Springer, 1179 – 1187, (2020).

Prasad, B., “Sequential versus Concurrent Engineering—An Analogy”, Concurrent Engineering, 1995:3 250, DOI: 10.1177/1063293X9500300401, 250, (1995).

Redford, A. and Chal, J., Design for Assembly Principles and Practice, McGrawHill Book Company, London, (1994).

Remirez, A., Ramos, A., Retolaza, I., Cabello, M., Campos, M. and Martinez F., “New design for assembly methodology adapted to large size products: Application on a solar tracker design” , Procedia CIRP 84, 468–473, (2019).

Sabır, E. C. ve Dönmez U., “İplik İşletmesinde İş Etüdü Uygulaması”, Tekstil ve Mühendis, 20: 92, 11-26, (2013).

Sadioğlu U. ve Altay S., Post-Fordizm ve Kamu Yönetimine Yansımaları, Sosyoekonomi, 28(45): 327-352, (2020).

Sağnak, M., Ada, E., Kazançoğlu, Y. ve Tayaksi, C., “Darboğaz Analizinin Gerçekleştirilmesinde Altı Sigma ve TÖAİK (DMAIC) Modeli”, YAEM 32. Ulusal Kongresi, Doğu Üniversitesi, 221, (2012).

Soylu, A., "Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar", Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, sayı 32, s.43-57, (2018).

Suresh, P., Ramabalan, S. and Natarajan, U., "Integration of DFE and DFMA for the sustainable development of an automotive component", International Journal of Sustainable Engineering, 9:2, DOI: 10.1080/19397038.2015.1096313, 107-118, (2016).

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Asansör Sektörü Raporu, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi, 2020.

Tenekeci, O., "Makina Konstrüksiyonunda İmalat Ve Tasarımın Eş Zamanlı Uygulamasının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2012).

Thompson, M. K., Jespersen, I. K. J. and Kjaergaard, T., "Design for manufacturing and assembly key performance indicators to support high-speed product development", Procedia CIRP 70, 114–119, (2018).

Tini, S. C., "Tipik Bir Korvet Savaş Gemisi Gövde Kapağının Eşzamanlı Mühendislik Yöntemiyle Montaja ve Bakıma Uygun Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (2019).

Uluggerli, M., "Eşzamanlı Mühendislikte Montaja Uygun Tasarım ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2009).

Ünal, C., "Ev Tekstili Üretiminde İki El Hareket Analizi Uygulaması", ISAS 2018, Volume 2, 262 – 265, (2018).

Üren, B. Y., "Entegre (Bütünleşik) Tasarım Yönetimi [online]", (17 Mart 2020), <https://epy.com.tr/tr-entegre-butunlesik-tasarim-yonetimi-97>, 2020.

Yavuz, G., "Bir Sistem Tasarım Ve Üretim Firmasında Eş Zamanlı Mühendislik Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2016).

Yayla, Y., Yıldız, A. and Akyüz, B., "Use Of Proactive And Reactive Product Development Strategies In Enterprises Applying Concurrent Engineering Approach: A Field Survey In Turkish Ceramic Sector", Journal of Engineering and Natural Sciences, 35-48, (2010).

Yıldız, A. ve Yayla, A. Y., "Ürün Geliştirme Ekip Yapısının Ürün Geliştirme Performansı Üzerindeki Etkisi: Otomotiv Yan Sanayiinde Bir Saha Araştırması", İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, 47-74, (2017).

EKLER

10. EKLER

EK A Manuel Parça Montajı Standart Süreleri

Tablo A.1: Manuel Parça Kullanımı Standart Süreleri (Boothroyd ve diğ. 2002)

TEK ELLE KULLANIM		Manuel Parça Kullanımı - Tahmini Süreler (Saniye)											
		Parçayı tutma ve kullanma kolay					Kullanım zorluğu olan parçalar (1)						
		Parça Kalınlığı > 2 mm			Parça Kalınlığı ≤ 2 mm		Parça Kalınlığı > 2 mm			Parça Kalınlığı ≤ 2 mm			
Parça tek elle alınıp kullanılabilir. Bir alete ihtiyaç duyulmaz.	Parça Boyu	Parça > 15 mm	6 mm ≤ Parça ≤ 15 mm	Parça < 6 mm	Parça > 6 mm	Parça ≤ 6 mm	Parça > 15 mm	6 mm ≤ Parça ≤ 15 mm	Parça < 6 mm	Parça > 6 mm	Parça ≤ 6 mm		
	Kod Numarası	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	$(\alpha+\beta) < 360^\circ$	0	1,13	1,43	1,88	1,69	2,18	1,84	2,17	2,65	2,45	2,98	
	$360^\circ \leq (\alpha+\beta) < 540^\circ$	1	1,5	1,8	2,25	2,06	2,55	2,25	2,57	3,06	3	3,38	
	$540^\circ \leq (\alpha+\beta) < 720^\circ$	2	1,8	2,1	2,55	2,36	2,85	2,57	2,9	3,38	3,18	3,7	
$(\alpha+\beta) = 720^\circ$	3	1,95	2,25	2,7	2,51	3	2,73	3,06	3,55	3,34	4		
TEK ELLE BİR ALET YARDIMI İLE KULLANIM		Parça kullanımında cımbız veya başka bir alete ihtiyaç duyulur.											
		Büyüteç ihtiyacı olmayan parçalar					Büyüteç ihtiyacı olan parçalar						
		Parçayı tutma ve kullanma kolay		Kullanım zorluğu olan parçalar (1)			Parçayı tutma ve kullanma kolay		Kullanım zorluğu olan parçalar (1)				
Parça tek elle kullanılabilir; fakat parçayı tutmak için bir alete ihtiyaç vardır.	Parça Kalınlığı	Kalınlık > 0,25 mm	Kalınlık ≤ 0,25 mm	Kalınlık > 0,25 mm	Kalınlık ≤ 0,25 mm	Kalınlık > 0,25 mm	Kalınlık ≤ 0,25 mm	Kalınlık > 0,25 mm	Kalınlık ≤ 0,25 mm	Kalınlık > 0,25 mm	Kalınlık ≤ 0,25 mm		
	Kod Numarası	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	$\alpha \leq 180^\circ$	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	4	3,6	6,85	4,35	7,6	5,6	8,35	6,35	8,6	7	7
		$\beta = 360^\circ$	5	4	7,25	4,75	8	6	8,75	6,75	9	8	8
	$\alpha = 360^\circ$	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	6	4,8	8,05	5,55	8,8	6,8	9,55	7,55	9,8	8	9
	$\beta = 360^\circ$	7	5,1	8,35	5,85	9,1	7,1	9,85	7,85	10,1	9	10	
İKİ ELLE KULLANIM		Parçayı tutma ve kullanma kolay					Kullanım zorluğu olan parçalar (1)						
		$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$		$\alpha \leq 180^\circ$			$\alpha = 360^\circ$			
		Parça Boyu	Parça > 15 mm	6 mm ≤ Parça ≤ 15 mm	Parça < 6 mm	Parça > 6 mm	Parça ≤ 6 mm	Parça > 15 mm	6 mm ≤ Parça ≤ 15 mm	Parça < 6 mm	Parça > 6 mm	Parça ≤ 6 mm	
Parça tek elle kaldırılabilir; fakat kullanımı için iki ele ihtiyaç vardır. (Karmaşık parçalar, çok esnek parçalar...vb.)	Kod Numarası	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	8	4,1	4,5	5,1	5,6	6,75	5	5,25	5,85	6,35	7		
İKİ ELLE BÜYÜK EBATLI PARÇALARIN KULLANIMI		Parça tek kişi tarafından, bir mekanik ekipman olmadan kaldırılabilir.											
		Parça çok karmaşık değil ve esnek değil.											
		Parça Hafif (< 10 lb)					Parça Ağır (> 10 lb)						
Parçayı tutma ve taşıma için iki el kullanımına ihtiyaç vardır.	Parçayı tutma ve kullanma kolay	Kullanım zorluğu olan parçalar (1)			Parçayı tutma ve kullanma kolay	Kullanım zorluğu olan parçalar (1)							
	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$					
	Kod Numarası	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9		

1) Yüzeyi kaygan, yapışkan, çok esnek, çok sıcak, kırılğan...vb.

Tablo A.2.Manuel Parça Takma ve Yerleştirme Standart Süreleri (Boothroyd ve diğ. 2002)

		Manuel Takma - Yerleştirme											
Parçanın sabitleyici olmadan takılması		Parçayı yerleştirdikten sonra yönünü ve yerini korumak için basılı tutmaya gerek yoktur.				Sonraki işlem için parçayı yerleştirdikten sonra yönünü ve yerini korumak için basılı tutmak gereklidir.							
Eklenen hiçbir parça eklendiği anda ne kendiliğinden ne de başka parçalar ile sabitlenmez.	Parça istenilen yere kolaylıkla ulaştırılır.	Hizalama ve konumlandırma kolay		Hizalama ve konumlandırma zor		Hizalama ve konumlandırma kolay		Hizalama ve konumlandırma zor					
		Takma direnci yok	Takma direnci var	Takma direnci yok	Takma direnci var	Takma direnci yok	Takma direnci var	Takma direnci yok	Takma direnci var				
		Kod Numarası	0	1	2	3	6	7	8	9			
		0	1,5	2,5	2,5	3,5	5,5	6,5	6,5	7,5			
Parçanın istenilen yere ulaştırılması zordur.	Erişim engeli veya sınırlı görüş var.	1	4	5	5	6	8	9	9	10			
	Erişim engeli ve sınırlı görüş var.	2	5,5	6,5	6,5	7,5	9,5	10,5	10,5	11,5			
Parça yerleştirildikten sonra hemen sabitlenmesi		Taktıktan sonra hemen kalıcı deformasyonu											
Vidalama ve plastik deformasyon yok. (tırnak, çiftçi, segman, ani presle yerleştirme, puntalama... vb.)		Parça bükülmesi veya burulması				Perçinleme veya benzer operasyon							
Eklenen parçalar eklendiği anda kendiliğinden veya başka parçalar ile sabitlenir.	Parça istenilen yere kolaylıkla ulaştırılır. Alet kullanımı kolaydır.	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma kolay, takma için direnç yok.		Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma kolay değil veya takma için direnç var.		Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma zor		Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma zor		Yerleştirdikten sonra vida ile sabitleme			
		Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma kolay	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma zor	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma kolay	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma zor	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma kolay	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma zor	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma kolay	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma zor	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma kolay	Yerleştirme, hizalama ve konumlandırma zor		
		Takma için direnç yok	Takma için direnç var	Takma için direnç yok	Takma için direnç var	Takma için direnç yok	Takma için direnç var	Takma için direnç yok	Takma için direnç var	Takma için direnç yok	Takma için direnç var	Takma için direnç yok	Takma için direnç var
		Kod Numarası	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8			
Parçanın istenilen yere ulaştırılması ve alet kullanımı zordur.	Erişim engeli veya sınırlı görüş var.	4	4,5	7,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	8,5	10,5	
	Erişim engeli ve sınırlı görüş var.	5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12	
Ayrı Operasyonlar		Mekanik birleştirme işlemleri (parça yerinde fakat henüz sabitlenmemiş durumda)				Mekanik olmayan birleştirme işlemleri (parça yerinde fakat henüz sabitlenmemiş durumda)				Birleştirme olmayan işlemler			
Yerinde katı parçalarda montaj süreçleri (yerleştirme süreleri hariç esnekliği olmayan parçalar)	Kod Numarası	Kalıcı deformasyon hiç yok veya lokal olarak var.		Geçme, klips... vb.	Metalurji işlemleri			Kimyasal işlemler (yapıştırıcılar...vb.)	El işçiliği ile parçaların tahrip edilmesi (torna...vb.)	Diğer işlemler (sıvı enjektörde edilmesi...vb.)			
		Kıvrıma, bükme veya benzer operasyonlar	Perçinleme veya benzer operasyonlar		Vidalama veya benzer operasyonlar	Ek malzeme olmadan (direnç, sürtünme kaynağı...vb.)	Lehimleme işlemi				Kaynak İşlemi		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
9	4	7	5	3,5	7	8	12	12	9	12			

11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : MESUT AYDINLI

Doğum Yeri ve Tarihi : İZMİR / 31.01.1989

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği

Elektronik posta : maydinli@pau.edu.tr

İletişim Adresi : Pamukkale Teknokent Yönetici A.Ş.
Çamlaraltı Mah. Pamukkale / Denizli

İş Deneyimi

1. Zorlu Holding / Vestel Elektronik A.Ş. (İş Süreç Geliştirme Mühendisi)
2. Özgörkey Holding / Etapak Baskı Ambalaj A.Ş. (Yalın Üretim Proje Sorumlusu)
3. Zeybekci Holding / Turkuaz Tekstil A.Ş. (Yönetim Temsilcisi – Kalite Müdürü)
4. Pamukkale Üniversitesi / Kalite Yönetimi ve Veri Değerlendirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (Öğretim Görevlisi)
5. Pamukkale Teknokent Yönetici A.Ş. (Genel Müdür Yardımcısı)