

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

**FABRİKA ÜRETİM HATTINDA ÜRETİM KAPASİTESİNİ ARTIRMAK VE ENERJİ
VERİMLİLİĞİNİ SAĞLAMAK**

HAKAN ÖZYURT

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

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ZEHRA YUMURTACI**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FABRİKA ÜRETİM HATTINDA ÜRETİM KAPASİTESİNİ ARTIRMAK VE ENERJİ
VERİMLİLİĞİNİ SAĞLAMAK**

Hakan ÖZYURT tarafından hazırlanan tez çalışması 15.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Zehra YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zehra YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Levent KAVURMACIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Dünya’da son yıllarda yaşanan hızlı nüfus artışı, buna bağlı olarak insanların ihtiyaçlarının ve taleplerinin artmasıyla beraber üretim sektörü hızlanmakta, üretim hacimleri artmaktadır. Talebin artmasına paralel olarak gelişen rekabet ile üretici firma sayısı da artmakta ve bu firmalar birbiri ile yarışmaktadır. Günümüzde tüketiciler, alacağı üründe yüksek kalite, düşük fiyat, düşük enerji tüketimi, ergonomi gibi beklentilere sahiptirler. Bu beklentilerin artmasıyla firmalar arasındaki rekabet kızışmakta, bir firma tercih sebebi olabilmek için bu beklentileri karşılamaya çalışmaktadır. Kar amacı güden bir firma bu nitelikteki ürünü düşük maliyet ile yüksek üretim kapasitesine sahip olarak üretme amacındadır.

Seri üretim sistemlerinde, kitle talebin olduğu ve üretimin birimler halinde gerçekleştiği durumlarda yüksek üretim hızı ve hacmiyle talebi karşılamanın yolu montaj hatlarında üretim hızını artırıcı çalışmaların yapılmasıdır. Üretimi hızlandırıcı iyileştirme çabaları hayata geçirildikçe üretim tesisinin üretim kapasitesi artacak, maliyet ve enerji verimliliği sağlanacaktır.

Bu tez çalışmasında buzdolabı üretim hattı incelenmiştir. Bu hattın seçilen modele özgü olan vardiyalık üretim kapasitesinin artırılması için mevcut olan problemler ve kısıt olan durumlar gözlenip analiz edilmiş, iyileştirme çalışmaları uygulanmıştır. Bu çalışmaların sonucunda üretim hattına daha yüksek tempo ile üretim yapılabilme yeteneği kazandırılmış, daha düşük maliyet ve enerji verimliliği sağlanmıştır. Tez aşamasında yapılan projelerde “6 sigma metodolojisi” ve “minitab” istatistik programı kullanılmıştır.

Çalışmamda beni yönlendirerek değerli yardımlarını eksik etmeyen tez danışmanı hocam Doç. Dr. Zehra YUMURTACI’ya ve hayatım boyunca yanımda olan, beni her zaman destekleyen aileme teşekkür ederim.

Temmuz, 2016

Hakan ÖZYURT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
ÜRETİM KAVRAMI VE MONTAJ HATLARI.....	5
2.1 Üretim	5
2.2 Üretim Tipleri	7
2.2.1 Genel Bilgi.....	7
2.2.2 Sürekli (Seri) Üretim	7
2.2.3 Kesikli (Parti) Üretim.....	8
2.2.4 Proje (Sipariş) Tipi Üretim.....	8
2.3 Montaj Hatlarının Üretimdeki Yeri	9
2.4 Montaj Hattı ve Tipleri	11
2.4.1 Genel Bilgi.....	11
2.4.2 Mekanik Olmayan Hatlar	14
2.4.3 Hareketli Bant Hatları	15
BÖLÜM 3	

MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ	16
3.1 Hat Dengeleme Kavramı	16
3.2 Montaj Hattı Dengelenmesinde Kullanılan Temel Kavramlar	18
3.2.1 İş Ögesi.....	18
3.2.2 İş İstasyonu	18
3.2.3 Toplam İş Süresi.....	18
3.2.4 İş İstasyonu Süresi	19
3.2.5 Çevrim Süresi	19
3.2.6 Gerekli En Az İş İstasyonu Sayısı	19
3.2.7 Ortalama İş İstasyonu Süresi	20
3.2.8 Teknolojik Öncelik Diyagramı	21
3.2.9 Öncelik Matrisi.....	21
3.2.10 Esneklik Oranı.....	21
3.2.11 Denge kaybı.....	22
3.2.12 Düzgünlük İndeksi	23
3.2.13 Hat Etkinliği	23
3.2.14 Kuramsal Etkinlik.....	23
BÖLÜM 4	
İŞ VE ZAMAN ETÜDÜ.....	24
4.1 İş Etüdünün Tanımı ve Kapsamı	24
4.2 Metod Etüdü	25
4.3 Zaman Etüdü	27
4.3.1 Genel Bilgi.....	27
BÖLÜM 5	
YALIN ÜRETİM SİSTEMİ VE 6 SİGMA METODOLOJİSİ.....	29
5.1 Yalın Üretim Sistemi.....	29
5.1.1 Toplam Kalite Yönetimi ve Yalın Yönetim Kavramı	29
5.1.2 Yalın Üretim	30
5.1.3 Yalın Üretimin Doğuşu ve Gelişimi	32
5.1.4 Yalın Üretim Sisteminin Uygulanması	33
5.2 6 Sigma.....	35
5.2.1 Altı Sigma'nın Tanımı	35
5.2.2 Altı Sigma Metodolojileri.....	39
5.2.2.1 TÖADD Metodolojisi	39
5.2.2.2 TÖAİK Metodolojisi	40
5.2.3 Altı Sigma'da Kullanılan Araçlar	45
5.2.3.1 Proje Onay Formu (Project Charter)	45
5.2.3.2 TGŞÇM (SIPOC) Diyagramı	48
5.2.3.3 Süreç Haritası	49
5.2.3.4 Kontrol Listesi:.....	50
5.2.3.5 Pareto Analizi	50
5.2.3.6 Sebep-Sonuç Diyagramı	51

BÖLÜM 6

ENERJİ KULLANIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	54
6.1 Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kullanımı.....	54
6.2 Sanayide Enerji Verimliliği	55

BÖLÜM 7

BUZDOLABI ÜRETEBİR ÜRETİM HATTINDA ÜRETİM TEMPOSUNUN ARTIRILMASI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN SAĞLANMASI	58
7.1 Projede Araştırılacak Problemin Tespiti ve Projenin Amacı	58
7.2 Projenin 6 Sigma Metodolojisiyle Gerçekleştirilmesi	59
7.2.1 Tanımlama	60
7.2.1.1 Proje Sözleşmesi.....	60
7.2.1.2 Üst Düzey Süreç Haritası	61
7.2.1.3 Problem Tanımı - KİK Ağacı & Gösterge & Hedef	61
7.2.2 Ölçme.....	62
7.2.3 Analiz	64
7.2.3.1 Balık Kılıcı.....	64
7.2.3.2 Hedef Çevrim Süresini Aşan Kritik Operasyonlar	65
7.2.4 İyileştirme	66
7.2.4.1 Panel Kent İstasyonundaki Kaldırılan Operasyonlar	66
7.2.4.2 Terminal Soketi Gruplama Operasyonunda Yapılan Değişiklikler	67
7.2.5 Kontrol	67

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGE LİSTESİ

C	Çevrim süresi
C*	Ortalama iş istasyonu süresi
D	Denge kaybı
Dİ	Düzensizlik indeksi
E	Esneklik oranı
GWh	Gigawattsaat
KWh	Kilowattsaat
kgpe	Kişi başına ticari enerji tüketimi
n	Dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı
n _{enk}	Gerekli en az iş istasyonu sayısı
n _{enaz}	Montaj hattını dengelemek için gerekli en az iş istasyonu sayısı
n _{olası}	Çevrim süresinin yarısından daha büyük süreye sahip olan iş ögesi sayısı
N	Montaj hattındaki iş ögesi sayısı
t _i	i no'lu iş ögesinin standart işlem süresi
T	Kullanılabilir üretim süresi
T _{enb}	İş istasyonu sürelerinin en büyüğü
T _i	İ. iş istasyonu süresi
TWh	Terawattsaat
Σ	Toplam sembolü
ÜS	Üretilmek istenen ürün sayısı
Y	Öncelik matrisinde sıfır değerine sahip göz sayısı

KISALTMA LİSTESİ

Enb	En büyük
HE	Hat etkinliği
HMEA	Hata modları etki analizi
KE	Kuramsal etkinlik
KİK	Kalite için kritik
max	Maksimum
MTM	Measuring Timing Methoding
ort	Ortalama
SIMO	Simultaneous motion cycle charts
TEP	Ton eşdeğer petrol
TGŞÇM	Tedarikçiler, Girdiler, Süreçler, Çıktılar, ve Müşteriler
TÖADD	Tanımla, Ölç, Analiz et, Dizayn, Doğrula
TÖAİK	Tanımla, Ölç, Analiz et, İyileştir, Kontrol et
yy	Yüzyıl

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Genel bir üretim sistemi	6
Şekil 2. 2 Kitle üretim sistemleri.....	10
Şekil 2. 3 Montaj hattı tasarımları.....	13
Şekil 3. 1 Öncelik diyagramı.....	21
Şekil 3. 2 Tam dengelenmiş ve dengelenmemiş hat durumları	22
Şekil 4. 1 İş etüdü	25
Şekil 5. 1 TÖAİK iyileştirme modeli.....	41
Şekil 5. 2 Akış diyagramı	49
Şekil 5. 3 Sebep sonuç diyagramı	52
Şekil 7. 1 Buzdolabında kabindibi bölgesi	59
Şekil 7. 2 Üst düzey süreç haritası	61
Şekil 7. 3 Tempo (Adet/Vardiya)	62
Şekil 7. 4 Minitab'de gage R&R modülü sonuçları	63
Şekil 7. 5 Minitab'de gage R&R modülü sonuçları	64
Şekil 7. 6 Balık kılçığı.....	65
Şekil 7. 7 Ele alınan istasyonlardaki çevrim süreleri.....	66
Şekil 7. 8 Panel kenet istasyonu için Two Sample Ti testi	67
Şekil 7. 9 Terminal soketi gruplama istasyonu için Two Sample Ti testi.....	68
Şekil 7. 10 İyileştirmeden öncesi-sonrası için I Chart testi	68
Şekil 7. 11 Sonuçlar – Tempo artışı	71
Şekil 7. 12 Sonuçlar – Elektrik tasarrufu.....	71

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5. 1 Türkiye’de Beyaz Eşya Satışları.....	35
Çizelge 6. 1 Elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere dağılımı (GWh).....	55
Çizelge 6. 2 Uzun Dönemli Elektrik Enerjisi Talebi (GWh).....	55
Çizelge 6. 3 Türkiye’de Beyaz Eşya Satışları.....	57
Çizelge 7. 1 Proje Sözleşmesi.....	60
Çizelge 7. 2 KİK ağacı & gösterge & hedef.....	62
Çizelge 7. 3 Ölçüm sonuçları.....	63

FABRİKA ÜRETİM HATTINDA ÜRETİM KAPASİTESİNİ ARTIRMAK VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ SAĞLAMAK

Hakan ÖZYURT

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra YUMURTACI

Günümüzde fabrikalar ve içerisindeki üretim montaj hatları insanların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla geliştirilmiş üretim sistemleridir. Bu üretim sistemlerinin amacı üretilen yüksek talepli ürünlerin verimli, kısa zamanda, ucuz fiyatlı ve beklenen kalitede üretilmesidir.

Çalışmadaki temel hedef, buzdolabı üreten bir fabrikada üretim hattının üretim kapasitesini artırmak, böylelikle daha düşük maliyet ile ürün üretme kabiliyetine sahip olmak ve fabrikada enerji verimliliği elde etmektir.

Üretim kapasitesini artırmada, üretim hattındaki operasyonların çevrim sürelerini incelemek ve tüm operasyonlar içerisindeki kritik çevrim süresini tespit etmek önemli bir ilk aşama çalışmasıdır. Bu çalışmada üretim montaj hattında bulunan imalat operasyonları araştırılmıştır. İlk önce kritik çevrim süresi değerleri bulunduktan sonra bu sürenin istenilen değere nasıl düşürüleceği araştırılmıştır. Kritik çevrime sahip operasyonlar tek tek incelenmiş, operasyon süresini gereksiz uzatan etkenler ortaya konulmuştur. İncelenen modelde analiz edilen etkenlere göre ekipman değişikliğine ve yapılan operasyonlarda değişikliğe karar verilmiştir. Bu değişiklikler modelde tespit edilen kritik çevrim süresinin istenilen değere düşürülmesini, böylelikle bir vardiyada üretilen ürün kapasitesinin artmasını sağlamıştır.

Yapılan analiz ve iyileştirmeler sonucunda ürünlerin üretim hattındaki vardiyalık temposu %23,5 artmıştır. Çalışan makinelerin ve operatörlerin verimlilikleri artmış, üretim maliyetleri düşmüştür. Üretim tesisinde yıllık 126000 kwh elektrik enerjisi tasarrufu sağlanmıştır. Bu gelişmeler ile yıllık 257000 TL parasal kazanç sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üretim, kapasite, üretim hattı, buzdolabı, üretim verimliliği.

**TO INCREASE PRODUCTION CAPACITY AND PROVIDE ENERGY EFFICIENCY
FOR FACTORY PRODUCTION LINE**

Hakan OZYURT

Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Zehra YUMURTACI

Nowadays, factories and factory production assembly lines are production systems to supply people needs. The target is to produce goods the shortest, cheapest, highest quality and most efficient possible.

In this study, main purpose is, increase production capacity, therefore achieving to skill to produce goods with cheaper cost and provide energy efficiency in the factory which produce refrigerator.

To increase production capacity, researching cycle times and finding critical cycle times in the whole operation units is one of the most important initial study. In this study, production phases in the production assembly lines have been researched. First off all, after critical cycle times values have been found in the whole production line, this time values have been tried to decrease below which has been wanted to. Peak times each have been analyzed and determined which operations caused to this overtime. According to analyzing causes, for determinated model refrigerator, changing equipmant and changing some operations in the refrigerator has been decided. These changings have provided to decrease critical cycle time and increase production capacity in a shift.

As a result of analysis and improvements made, products in the production line capacity in a shift increased %23,5. Running machines and operator's efficiency were enhanced, production costs were decreased. In the production facility, annually 126000 kwh electrical energy saving was provided. Within these developments, annually 257000 TL monetary gain is provided.

Keywords: Production, capacity, production line, refrigerator, production efficiency.

1.1 Literatür Özeti

1986 yılında yayınlanan “Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama Ve Kontrol Çalışmaları” adlı yayında bir montaj hattında ulaşılması gereken amaçlar; insan gücü ve makine kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak, üretim maliyetlerini düşürmek, işlemleri en kısa zamanda tamamlamak olarak belirtilmiştir [3].

2002 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi’nde yayınlanan “Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel” adlı makalede seri üretim sistemlerinde, kitlesel (büyük miktarlarda) talebin olduğu ve üretimin birimler halinde gerçekleştiği durumlarda, yüksek üretim hızıyla talebi karşılamanın yolu montaj hatlarının yapılandırılmasıdır ibaresi geçmiştir [4].

1991 yılındaki Milli Prodüktivite Yayınları’ndan çıkan “İş Etüdü ve Ergonomi” adlı kitapta iş etüdünün tanımı ve kapsamı ürün ve hizmet üreten işletmelerde amaç verimlilik seviyesini artırmak, kapasiteyi artırmak, ürün kalitesini artırmak, üretim maliyetlerini düşürmek ve insancıl bir çalışma ortamı sağlamak şeklinde tanımlanmıştır. İş etüdü çalışmaları bu bahsedilen hedefler doğrultusunda yapılması gereklidir [8].

Boğaziçi Üniversitesi’nde 2001 yılında yapılan bir Yüksek Lisans tezinde Altı Sigma’nın amaçları olarak müşteri odaklı olduğu, kalitesizlik ve maliyet kayıpları problemlerini azaltmayı amaçlama, verimliliğin ve karlılığın artırılması olarak tanımlanmıştır. Ayrıca 6 Sigma uygulamasının öznel yargılar ve kararlar yerine kanıtlanabilir gerçeklere dayalı

olduğu, veri odaklı kararların verildiği iyileştirme süreçlerinden meydana geldiği vurgulanmıştır [41].

Kanada'da bulunan General Motors firmasının otomobil üretim ve montaj hatlarında üretim kapasitesinin yükseltilmesi amacı itibariyle kullanılacak teknik olarak yalın üretim sistemleri denenilmiştir ve bu deneme sonuçları, 1996 yılında "Otomatik motor parçaları sisteminin optimize edilmesinde yalın imalat" isimli makalede yer almış ve tartışılmıştır [50].

2004 yılında yayınlanan bir makalede Amerika Birleşik Devletleri'nde elektronik endüstrisinde çalışan 77 üretim işletmesindeki datalardan oluşturulan bir çalışmada yalın üretim temasının kullanıldığı uygulamaların üretim maliyetlerinin azalması için maliyet ve bilgi sistemleri ile beraber kullanılması gerektiği belirtilmiştir [51].

Kayseri şeker Fabrikası 2002–2003 sezonu verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar doğrultusunda fabrika şeker üretim süreçlerinde daha yüksek verimler elde etmek için göz önüne alınan önerilerden biri şöyle tanımlanmıştır: Fabrikalarda tüketilen elektrik enerji miktarı düşürülmelidir. Böylece tüm sistemin verimleri artacaktır [52].

1991 yılında İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi'nde yayınlanan "Mobilya fabrikasında fiziksel planlama" adlı makalede fiziksel planlamada amaç; oplimal kalite düzeyindeki mobilya ürünlerinin, istenilen miktarda ve minimum maliyetle en kısa sürede üretilmesi olarak tanımlanmıştır. Bu amaca ulaşabilmek; malzeme, makine ve insan gücünün en etkin şekilde düzenlenerek, zaman ve işletme girdilerinden tasarruf edilmesine bağlı olduğu ifade edilmiştir [53].

2006 yılında Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'nde yayınlanan "Sanayi Sektöründe Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama" adlı makalede enerji taraması yapılan birimento fabrikasında elektrik ve kömüre dayanan oldukça yüksek enerji maliyetlerinin var olduğu, bu tür yüksek maliyetler içeren sektörlerde mutlak olarak enerji yönetiminin uygulanması gerektiği belirtilmiştir. Uygulanan enerji yöntemi sayesinde verimin artacağı, büyük enerji tasarrufları sağlanacağı ve böylece fabrikanın karlılık oranının artacağı ifade edilmiştir [54].

Aynı makalede fabrikada standart enerji tüketiminin oluşmama nedenleri değerlendirildiğinde; fabrikanın üretim hattında enerji tüketen proseslerin çalışma

saatleri, üretim miktarları, enerji tüketimi açısından ayrı ayrı değerlendirilmeleri gerektiği ve her bir bölüm için enerji taramasının yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Fabrikada enerji türlerine bağlı olarak, yapılacak tasarruf çalışmalarının, ayrı ayrı değerlendirilmesinin daha doğru olacağı düşünülmüştür [54].

2012 yılında Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi'nde yayınlanan "Süreç İyileştirme Çalışmalarında Veri Madenciliği Yaklaşımının Kullanılması Üzerine Bir Çalışma" adlı makalede işletmelerde süreç iyileştirmenin, işletmelerin iş süreçlerinin ve organizasyonel yapılarının, yapılacak olan inceleme ve analizler sonucunda, uygulanacak olan belirli yöntemler ile çevrim süresini azaltmak, maliyetleri düşürmek, kalite ve iş performanslarında artış sağlamak amacı ile yapılan, müşteri beklentilerini en üst düzeyde karşılamayı hedefleyen çalışmalar olarak tanımlanmıştır. Süreç iyileştirme, sürecin performans seviyesinin arttırılmasıdır. Süreç performansı, sürecin kaynaklarının optimum şekilde kullanması ve bunun takibi şeklinde tanımlanabilir. Yapılan iyileştirmelerinin ardından sürecin performansı arttıkça yeniden işleme ve israf azalacağı için süreç daha hızlı işleyecek ve çevrim süresi kısılacaktır. Diğer bir deyişle süreç iyileştirme iş akışında katma değer yaratmayan adımların ortadan kaldırılmasıdır [60].

1.2 Tezin Amacı

Sanayide, üretim yapan fabrikalarda ve üretim tesislerinde üretim kapasitesini artırmak, maliyetleri düşürmek, enerji verimliliği ve tasarrufunu sağlamak üretim sistemlerinin önemli çalışma konularındandır.

Bahsedilen amaçları gerçekleştirmek için yapılacak olan projelerde ve sahada üretim sistemlerinin teorik ve pratik bilgilerinden yararlanır.

Tezdeki temel hedef, buzdolabı üreten bir fabrikada üretim hattının üretim kapasitesini artırmak, böylelikle daha düşük maliyet ile ürün üretme kabiliyetine sahip olmak ve fabrikada enerji verimliliği elde etmektir.

1.3 Hipotez

Tez çalışmasında sunulan hedef, buzdolabı üreten bir fabrikada üretim hattının üretim kapasitesini artırmak, böylelikle daha düşük maliyet ile ürün üretme kabiliyetine sahip olmak ve fabrikada enerji verimliliği elde etmektir.

Üretim kapasitesini artırmada, üretim hattındaki operasyonların çevrim sürelerini incelemek ve tüm operasyonlar içerisindeki kritik çevrim süresini tespit etmek yapılacak projelerde ilk aşama çalışması olmalıdır. Kritik çevrim süresi değerleri bulunduğundan sonra bu sürenin istenilen değere nasıl düşürüleceği araştırılmalıdır. Kritik çevrime sahip operasyonlar tek tek incelenmeli, operasyon süresini gereksiz uzatan etkenler ortaya konulmalıdır. Daha sonra bu etkenleri ortadan kaldırmak için çeşitli tasarım değişiklikleri yapılmalıdır. Böylelikle tespit edilen kritik çevrim sürelerinin istenilen değerlere düşürülmesi ve üretilen ürün kapasitesinin artması beklenir.

Daha yüksek kapasite kabiliyetine sahip üretim hattında üretim yapılmaya başlanmasıyla aynı sürede daha fazla ürün üretilebilir hale gelir, ayrıca çalışan makinelerin ve operatörlerin verimlilikleri artar. Bu gelişmeler ile üretim tesisinde enerji verimliliği artar ve üretim maliyetleri düşer.

Üretim kapasitesini artırmada ve enerji verimliliği sağlamada montaj hatlarının dengelenmesi teoremleri, iş etüdü kavramı, yalın üretim ve 6 sigma metodolojileri gereklidir ve bu metodlar uygulanmalıdır.

ÜRETİM KAVRAMI VE MONTAJ HATLARI

2.1 Üretim

Üretim kavramı, uzmanlık alanı ekonomi olan kişiler tarafından değişik, mühendisler tarafından değişik biçimlerde tanımlanmaktadır. Mühendislere göre bir maddenin değerini artıracak bir değişiklik yapmak yada hammadde halinde veya yarı ürünleri kullanılabilir ürünlere dönüştürmeye üretim denilir. Ekonomistlere göre ise üretim faydalı birşeyler ortaya çıkarmaktır [1].

Buna göre üretim, insanların ihtiyacı olan ürünleri tabiattan doğal olarak elde edemedikleri, bu yüzden de elde edebilmek için bir ihtiyaç olarak doğmuş sistemlerdir. Üretim sayesinde insanlar için gerekli olan mal ve hizmetler yapılır.

Üretim sistemleri sadece düşünülen fiziki anlamda üretim olarak sınırlandırılmamaktadır. Örneğin eğitim, ulaşım, dağıtım vb. gibi hizmet üreten sistemlerde de girdilerde fiziki anlamda bir değişiklik (imalat gibi) olmamasına rağmen insanlığa bir değer üretilmektedir ve bu sistemler de üretim sistemi tanımına uymaktadır.

Üretim için gerekli olan malzemeler istenilen miktarda ve kalitede birleştirilir, böylelikle mal ve hizmet üretilir. Üretim sistemi bu şekilde amacına ulaşır.

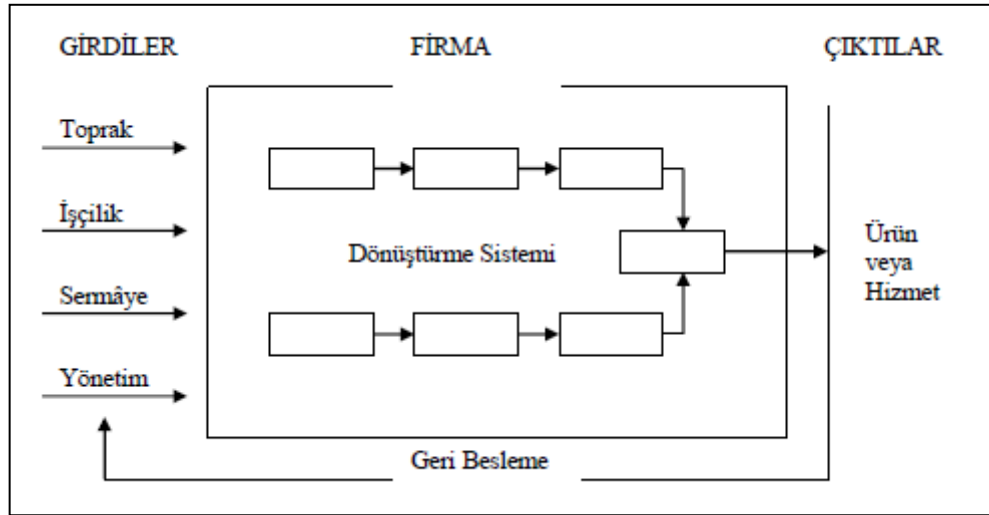
Üretim kaynakları arasında yer alan yönetim ögesi ise insanların sınırsız ihtiyaçları, sınırlı kaynak bulunması, hızla gelişen teknoloji, karmaşık hale gelen üretim sistemleri

ve üretimi oluşturacak olan kaynakların verimli kullanılması gerekliliği sonucunda oluşmuştur.

Bahsi geçen üretim kaynaklarının verimli kullanılması tüm üretim sistemlerinde konu olan ve belirlenen amaçlara ulaşmak için yönetilmesi elzem olan bir konudur. Üretim kaynakları dört başlıkta incelenir:

- Hammadde kaynakları
- İnsangücü kaynakları
- Anapara
- Yönetim

Üretim süreci ürün ve hizmet üreten üretim sistemlerinde, Şekil 2.1' de gösterildiği gibi şematize edilmiştir.



Şekil 2. 1 Genel bir üretim sistemi

Üretim sistemlerinin tamamı girdilerin yani kaynakların, çıktılara yani ürün veya hizmete dönüştürülmesi için gerekli olan tüm dönüşüm süreçlerine sahiptir. Üretim sistemlerinin tasarlanması, planlanması, yönetimi ve kontrolü üretim aşamaları içerisinde yapılır. Üretim yapmakta olan bir işletmeye girdi olarak katılan üretim kaynakları şunlardır: hammadde, sermaye, işçilik ve yönetim. Girdi olarak katılan bu üretim kaynakları üretim aracılığıyla ürün, mal veya hizmet şekline çevrilir. Yönetim faktörünün amacı ise bu uygulamaların düzenlenmesi, yapılması ve işletmenin sahip olduğu makine, malzeme, işgücü kaynaklarının, istenen süre ve kalitede, minimum

maliyetle birleştirilmesi, maliyet, miktar, kalite, süre parametrelerinin optimum hale getirilmesidir [2].

2.2 Üretim Tipleri

2.2.1 Genel Bilgi

Üretim sistemlerini kesin bir biçimde birbirinden ayırmak ve onları sınıflandırmak olanaklı değildir. Üretim biçimleri ele alınarak yapılacak bir ayırımın ardından oluşturulacak olan sınıflandırma esas alındığında bu sınıflandırmaya özgü genel yöntemler ve kurallar geliştirme olanağınının olmadığı görülür.

Üretim sistemleri günümüzde üretim yöntemlerine göre, üretim miktarı ve akışına göre, ürün tipine göre ve üretim iş rotasına sınıflandırılmaktadır. Üretim akışına ve üretim miktarına göre sınıflandırdığında üç tip üretim ile karşımıza çıkar. Bunlar sürekli, kesikli ve proje tipi üretimdir.

2.2.2 Sürekli (Seri) Üretim

Sürekli üretim çeşidinde ilk yatırım maliyeti fazladır, üretimin akışı sürekli olur ve üretilen ürün çeşidi azdır, üretim sadece ürünün özellikleri esas alınarak yapılır ve bu yüzden ekipman ve makine kısıtları yüzünden diğer ürünlere geçişi sağlayacak üretim esnekliği yoktur. Yatırım maliyeti fazladır, çünkü üretim pahalı ve özel amaçlı tezgahlarla gerçekleştirilir. Üretilen ürünün üretim hızının yüksek olması gerekir. Bu yüzden böyle bir sistem kurmak bu sistemle üretilen ürünlerin tümü alıcı buluyorsa anlamlı olacaktır.

Seri üretim sistemlerinde ürün çeşidinin az olması ve üretim hacminin büyük olması nedeniyle uzmanlaşma vardır ve üretilen ürünler standart hale getirilmiştir. Birim ürün maliyeti, sipariş tipine göre düşüktür. Planlama çalışmaları da daha kolay yapılır.

Sürekli üretim çeşidinde hammadde, üretilen yarı ürün ve parça gibi üretime ait girdiler, üretim sisteminin başlangıç noktasından girip, sistemdeki işlem birimlerinden geçer ve son ürün biçimine gelip sistemden çıkar.

Sistemdeki işlem birimlerinin işletme içindeki yerleşimi ürüne uygulanacak süreç akışına göre yapılır. Ürünün göreceği işlemlerin sırasına göre işlem üniteleri dizilir ve böylelikle bir üretim hattını oluşturur. Bu sebepten dolayı montaj ve transfer hatları da üretimin özelliklerine göre bu grubun içinde bulunur.

2.2.3 Proje (Sipariş) Tipi Üretim

Sipariş tipi yada diğer ismiyle proje tipi üretim büyük boyutlu ürünlerin üretiminde, tek veya az sayıda ürün üretildiğinde buna adı verilen üretim tipidir. Günümüzde özel ürünlerin üretimi ve sipariş üzerine üretime geçiş fazlaca yapılmaktadır. Bu tip üretimin tanımına istinaden üretim esnasında yapılacak olan işlemlerde tekrarlama minimum seviyededir. Kesikli üretim tipleri ile karşılaştırılacak olursa genel amaçlı yani üniversal iş makinelerine ihtiyaç olmaktadır. Ayrıca değişik tezgahlarda çalışabilen esnek işçi ihtiyacı vardır.

Gerçekleştirilecek olan projelerin planlanması, bunların en düşük maliyet ile ve optimum sürede gerçekleştirilmesi burada temel problem olarak çıkmaktadır. İlave olarak eldeki kaynakların yani finansman, işgücü, donanım, malzeme vb. dengeli ve optimum şekilde kullanılması önemli bir yönetsel problemdir. CPM ve PERT metodları da bu sebeple projenin planlanması ve kontrolü aşamasında çok kullanılırlar.

2.2.4 Kesikli (Parti) Üretim

Kesikli üretim tipinde genel olarak siparişe göre çalışılır. Üretilecek olan ürün çeşidi seri üretime göre kıyaslandığında daha fazladır. Ürün çeşidi fazla olduğundan genel amaçlı iş makineleri ve tezgahlar kullanılır. Ancak kullanılacak makinelerin üretim kapasiteleri yani üretebileceği ürün adedi hızı farklı olduğundan üretimde makineler arası boşluklara sebep olur; bu da üretim hızını büyük ölçüde yavaşlatır.

Sipariş tipi üretime göre bu tip üretimlerde üretim planlama ve kontrol faaliyetleri, belirlenen parti üretimleri belirlenen süre zarfında üretilmekte olduğundan daha kolay olmaktadır. Bu tip sistemde iki problem bulunmaktadır; bir partide üretilecek ürün sayısı, bu parti üretimlerinin çizelgenmesi, işlerin sınırlandırılması ve üretilecek olan partilerin miktarlarıdır.

Ürün çeşitliliği azaldıkça doğal olarak üretilecek ürünlerin üretim adetleri ve iş makinelerindeki yapılacak aynı işlemler artar. Böyle bir durum söz konusu olunca kesikli üretim sistemi sürekli üretim sistemi gibi olur, dolayısıyla üretim planlama ve kontrol faaliyetleri kolaylaşır. Eğer parti üretimlerinde sık sık tekrarlamalarla büyük partilerde ürün üretimi yapılırsa seri üretim, küçük partilerde ve bu partilerin üretime giriş aralıkları büyürse sipariş tipi üretim yapılıyor demektir. Bu da demek olmaktadır ki; kesikli üretim sistemlerinin sınıflandırılmasında kesin bir ayırım yoktur.

Bu tip sistemlerde (kesikli) üretim temposunun artırılması için grup teknolojisi yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım 1970'li yıllarda önce Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nde, sonrasında İtalya ve İngiltere'de uygulanmıştır. Bu yaklaşıma göre üretim partilere göre olmamakta, ürünlere ait olan parça ailesine göre oluşturulmaktadır. Aynı görevi gören ve içlerinde geometrik benzerlik bulunan parçalar parça ailesini oluşturur. Hazırlık süreleri, farklı mamullerde ve ürünlerde bulunan aynı parça ailesine ait operasyonlar birlikte yapılırken minimum seviyeye indirilir, üretim sürekliliği ve üretim hızı artırılır. Grup teknolojisi yaklaşımı ilk ortaya çıkarıldığı zamanlarda işletmeler tarafından çok fazla ilgi görmemiştir, ancak bilgisayar destekli imalat sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte kesikli üretim sistemleri için oldukça mühim bir yaklaşım haline gelmiştir. Bunun sebebi ise uygulama alanlarının genişlemiş olmasıdır.

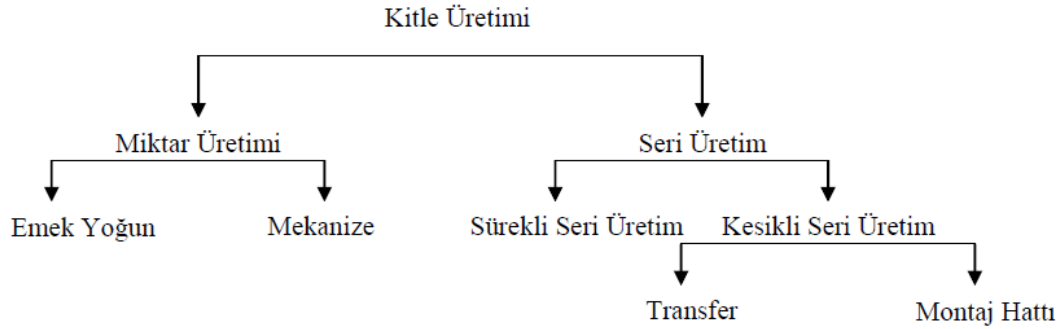
2.3 Montaj Hatlarının Üretimdeki Yeri

Parça üretimi, seri ve kesikli üretim sistemleri arasında bulunur. Uygulamada parti yani katile üretimi ve kitle üretimi, ayrıca bu ikisinin karışımı olan üretim sistemleriyle karşılaşılır. Mekanik üretim yöntemlerinin 18. yüzyıl sonlarında gelişmesiyle birlikte bu olay kitle üretim sistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Sonralarda bu olay kitle üretiminin bir teknoloji gelişimi haline gelmesiyle sonuçlanmıştır.

Kitle üretimi iki farklı üretim teknolojisini içerir. Bunlar miktar üretimi ve akış tipi üretimdir.

Şekil 2.2'de kitle üretimi ana başlığı altında sınıflandırma verilmiştir. Kitle üretiminde ürün yapısı karmaşılaştıkça, akış tipi üretim sistemlerinden bahsedilir. Yapısal olarak

basit ve çok karmaşık olmayan ürünlerin büyük miktarlardaki üretimi için ise miktar üretimi tanımı uygun olmaktadır. Karmaşık ürünlerin karakteristik özellikleri, üretimlerinin ürün akışı değişik bir kitle üretimi teknolojisiyle yapılabilir olmasıdır [3].



Şekil 2. 2 Kitle üretim sistemleri

Kesikli seri üretim sistemleri yada akış hatları iki gruba ayrılır ve incelenirler:

Montaj Hatları: Montaj hatlarında parça üzerindeki yapılacak işlemler hat boyunca sıra sıra belirlenir ve kullanılacak olan malzemeler de genellikle hat boyunca işgücüne vasıtasıyla kullanılır ve transferi yapılır. Üretim birimlerinin hattın tamamında iş akışları düzenlendikçe hat üzerinde gidilen süre azalır ve işgücü ihtiyacı minimuma düşürülür. Montaj hatlarında genellikle birbirine ikame olabilen yani birbiri yerine kullanılabilen parçalar kullanılır, bu yüzden üretimde kullanılacak yarı ürün ve parçaların doğruluk standartlarının yeterli olduğu garanti altına alınmalıdır.

Transfer Hatları: Transfer hatları transfer aletleri ile birbirine bağlanmış üretim hatlarıdır ve otomatik imalat makine serilerinin oluşurlar. Transfer hatları büyük makinelerden oluşur ve sistemleri karmaşıktır. Büyük makinelerin oluşturduğu bu hatlarda malzemenin transferi tüm hat boyunca otomatik olarak yapılır ve işlenecek parçaların da işlemi otomatik olarak yapılır. Transfer hatları devirli de olabilir ve ana özellikleri malzeme transferinin tüm hatta otomatik olarak yapılmasıdır, yine tüm hatta malzemenin ve işlenecek parçaların transferi yapılır ve otomatik olarak işgücü odaklı şekilde işlenir.

Bir diğer deyişle iş istasyonlarındaki akış hatlarında, daha fazla çeşitli aletlerde donatılmış işçi bulunduran hatta montaj hattı, istasyonlardan daha fazla makine bulunduran hatta ise transfer hattı adı verilir.

2.4 Montaj Hattı ve Tipleri

2.4.1 Genel Bilgi

Parça üzerindeki imalat işlemlerinin öncelik sıraları gibi durumlara bakılarak istasyonlar birleştirilir ve bir hat boyunca dizilmeleri sağlanır. Oluşan bu sisteme montaj hattı denilir. Montaj hattında bulunan malzemeler akış hattı boyunca işgücünden faydalanılarak transfer edilir. Kullanılacak olan bütün işgücü iş istasyonlarına sıkı bir şekilde bağlanmıştır ve son işleme gelinceye kadar işlemler bir bir tamamlanır. Sonuncu istasyonda hatta giren yarı ürün tamamlanmış olan şeklini alır.

Seri üretim sistemlerinde, kitlesel yani büyük miktarlarda talebin olduğu ve üretimin birimler halinde gerçekleştiği durumlarda, yüksek üretim hızıyla talebi karşılamanın yolu montaj hatlarının yapılandırılmasıdır [4].

Ürün oluşumu sırasında yapılması gerekli olan işlerin, montaj istasyonlarına kayıp süresini minimuma düşürecek şekilde verilmesi olayına, bir diğer deyişle iş öğelerinin iş duraklarına aitlenmesi ise montaj hattı dengeleme veya kısa söylemle hat dengeleme adı verilir. İstasyonlar arasındaki iş dağılımı, her bir görevi tamamlamak için gerekli zamana ve görevler arasındaki bulunan öncelik kısıtlarına bağlıdır. Ürünün her bir istasyonda maksimum yani çevrim süresi denilen bir süre kadar kalmasına izin verilir.

Montaj hatlarının sanayideki yeri çok önemlidir. Bu hatlar ayrıca kesikli (parti) seri üretimin akış hatlarının bir alt sistemidir. Montaj hatlarında yapılacak olan işlemlerin küçük parçalara bölünebilmeleri ve bu bölünmüş parçaların istasyonlar arasında dağıtılabilmek özelliği, montaj hatlarının bu çözümleri sağlayabilmesi açısından çok önemlidir.

Montaj hatlarının kullanımı ilk defa 1900'lü yılların başlarında Ford Motor Fabrikaları'nda başlamıştır. Bu hatlarda büyük üniteler motorlu araçlar, motor, beyaz eşya, ev aletleri vs. gibi ürünlerin yüksek miktarlarda üretimi için tasarlanırlar. Ekonomik konular herhangi bir montaj hattı kurulurken ön planda olmalıdır. Kurulum aşamasında incelenmesi gereken çok fazla faktör vardır. Bunlardan biri kullanım seviyeleridir ve ayrı bir önem taşır. Örnek verilecek olduğunda; mekanik tesislerin ağırlıkta olduğu bir sistem yapılacaksa akış hattı, sistem veya süreç tipi yerleşim düzenlerinden hangisinin

yapılacağı arasında bir karar vermek gerekir. Bu durumda ekipman kullanım oranlarını belirlemek ve analizini yapmak güzel bir etüt çalışması olacaktır [5].

Üretimde kullanılacak olan ekipmanların kullanım miktarlarının tespit edilme aşamasında, eldeki zaman değeriyle çıktının standart zaman değeri kıyaslanır. Fakat bu şekilde bir çözüm şekliyle problemlerin sadece bir kısmı incelenmiş olur. Ele alınması gerekli olan diğer faktörler: sistemin sürekliliği, ekipman güvenilirliği ve yatırım sermayesinin kullanımudur.

Montaj hatlarında gereksinimi olan ve kullanılacak işgücü maliyeti özel amaçlı tezgahlarda ve hatlarda çalışacak işgücünün maliyetinden daha düşüktür. Bu bahsedilen işgücü varlığının eğitim ihtiyacı da çok fazla olmayacağından eğitim planlamaları yapılmaz, böylelikle işe alma ve işte yer değiştirme konularında birtakım sorunlarla karşılaşılma ihtimali düşüktür [3].

Montaj hatlarında üretim istasyonlarındaki işlemlerin yarı otomatik ve tam otomatik olmasına bağlı olarak veya bu istasyonlar arasındaki bağlantılara göre sınıflandırma yapılmaktadır. Ayrıca montaj hatları, üretilen farklı model çeşitliliği bakımından da sınıflandırılırlar. Verilen bu bilgilere göre tanımlamalar aşağıdaki şekillerde yapılır:

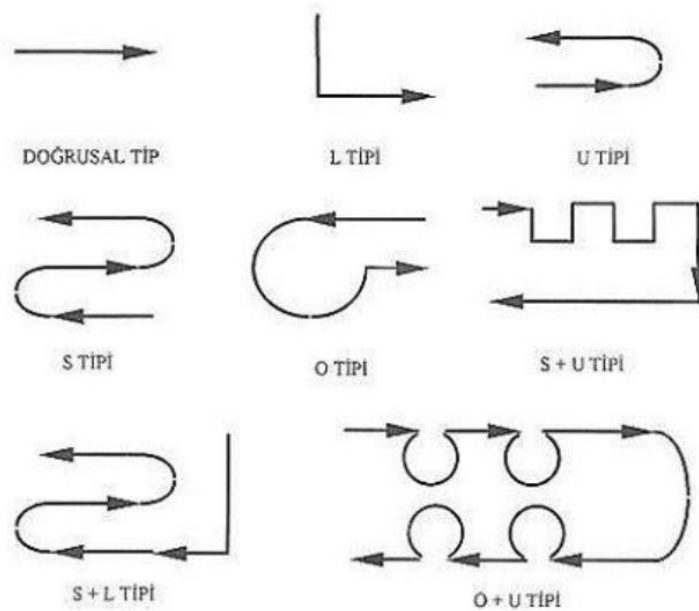
Tek Modelli Hatlar: Tek modellenli hatlar tek tipte model veya ürünün üretiminde kullanılmaktadırlar. Tasarımlarının yapımı kolaydır. Fakat bu hatları ortaya çıkan problem ise başka ürünlerin üretimine uyacak bir yapıya sahip olmamalarıdır.

Çok Modelli Hatlar: Bu tip hatlarda farklı farklı ürünler üretilir. Ayrıca bir ürünün iki veya ikiden fazla birbirine benzer tipi ayrı ayrı bütünsel olarak da üretilir. Herbir model, bu hat üzerinde ayrı bir üretim bütünü oluşturur. Bütün olarak bahsedilen üretimler büyük ise tek modellenli montaj hatlarına, küçük ise karışık modellenli montaj hatlarına benzerler.

Karışık Modelli Hatlar: Bu hatlarda iki veya ikiden daha fazla benzer ürün yada bir ürünün farklı modelleri karışık olarak ve aynı anda üretilmektedir. Bu tip üretimde, teorik olarak büyük miktarlarda bitmiş olan ürün stoklarına ihtiyaç olmaz ve çok modellenli hatların tam tersi olarak tüketicinin istekleri bu konuda sürekli olarak yapılan üretimle giderilir. Bu hatlarda bulunan olumsuzlukların en büyüklerin bir tanesi, modellerin özelliklerinden kaynaklanan farklı iş parçalarının üretim esnasında

bulunmakta olan boş istasyonlardaki süreler, iş akışlarının eşit olmaması ve bunların yarı bitmiş şekilde bulunan ürün stoklarına sebebiyet vermesidir. Karışık modelli montaj hatlarında karmaşık yapılmış tasarımlar ve işlem problemleri oluşmaktadır.

Hatlarda bulunan iş istasyonlarının yerleşim biçimleri ve mevcut donanımlar, üretim montaj hatlarını etkilemektedir. Bu hattın konumlandığı yer ve imalatı yapılacak ürünlerin spesifik özellikleri, hattın bürüneceği şekli oluşturur. Montaj hatları düz, yatay, dikey, dairesel, zig-zag, oval, yılankavi, U şekillerde olabilir, ayrıca değişik açılı veya rassal olarak da tasarımları yapılabilir. Şekil 2.3'de çeşitli montaj hattı tasarımları görülmektedir [6].



Şekil 2. 3 Montaj hattı tasarımları

Genel olarak üretim hatlarının yapımında ve yerleşiminde doğrusal hatlar tercih edilir. Çünkü doğrusal hatların sahip olduğu bazı önemli özellikler vardır; bunlar hattın basit ve sistematik olması, içerisinde kolay bir biçimde yerleşim yapılabilmesi, konveyör sistemlerinin hatta kolaylıkla entegre olabilmesi, düşük maliyet ile uygulanabiliyor olması, hattın köşelerinde genelde karşılaşılan transfer zorluklarının ortadan kalkması gibi özelliklerdir. Ancak sanayide her zaman bu hatları kullanmak mümkün olmamakta, diğer bahsedilen şekillerde hatların da uygulanması zorunlu olabilmektedir. Aşağıda bahsedilen özel durumlarda değişik biçimlerde montaj hatları kullanılmaktadır:

1. Hattın boyu çok uzun ise, mevcut olan alana sığmamaktaysa veya düz hat olarak yerleştirme yapıldığında boşta kalan alanın boyutları çok büyükse, bu gibi durumlarda dairesel şekilde veya U şeklinde hatlar kullanılmaktadır.
2. U şeklindeki montaj hatları yüksek maliyetle üretilmiş bir makinede operatörün birden fazla ve farklı operasyonlar yapması gerekiyorsa kullanılmaktadır.
3. Bir başka U şeklindeki hat kullanımı ise bir operatörün darklı bir işlem sırasındaki ve hatta bulunan makinelerden en az ikisiyle çalışmakta ise olur. Bu gibi durumlarda ayrıca yılankavi şeklindeki hatlar da kullanılır.
4. Fabrika üretim tesisindeki alan düz hatta uygun değilse ve dar alanda birbirine bağlı düzenlemeler gerekiyorsa düz hat hariç diğer uygun biçimdeki hatlar kullanılmaktadır.
5. Elektrik, basınçlı hava, su gibi tesisat bağlantıları, boruları aynı kaynaktan birden daha istasyona yapılacaksa, yılankavi yada U şeklindeki hatlar tercih edilmektedir.

Bunların dışında bir başka sınıflandırma ise fonksiyonel montaj hatları sınıflandırmasıdır. Bunlar üretilecek olan ürünün özelliklerine ve şekil biçimlerine göre seri, paralel, seri+paralel yani bileşik ve besleyici montaj hattı çeşitleri olacak şekilde 4 tipte incelenir.

Montaj hatlarının işleyişine göre başka bir sınıflandırma yapımına şuana kadar gerek görülmemiştir.

Fakat daha kompleks, büyük çaplı, malzeme çeşidi ve adedi fazla olan karmaşık üretim hatlarında hattın işleyiş özelliklerine göre iki sınıfta gruplama daha mevcuttur. Bunlar hareketli bant hatları ve mekanik olmayan bantlar olarak 2 biçimdedir. Bu hatlar aşağıda incelenecektir.

2.4.2 Mekanik Olmayan Hatlar

Mekanik olmayan hatlarda tüm hat boyunca malzemelerin transferini sağlamak için kullanılan bant veya konveyör kullanılmamaktadır. Bu tanıma uyan üretim hatlarında yapılan işlemler genellikle manuel olarak yönetilmektedir. Sanayideki üretim tesislerinde bu bahsedilen yöntemi uygulayan montaj hatlarında, istasyonlar arası boş süreler minimuma indirilir. İstasyonların boş kalma ve bloke olması ihtimali ise güvenlik

stokları oluşturulması ile bertaraf edilir. Bu özellikler hattın üretim kapasitesi için olumlu etkilerdir.

2.4.3 Hareketli Bant Hatları

Hareketli bant hatları kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar birimlerin banttandır alınabildiği ve birimlerin bant üzerinde sabit olduğu hatlardır. Bu tip montaj hatlarında hat boyunca malzeme transferleri ve ürün yerdeğiştirmeleri konveyör veya hareketli bant sistemleriyle gerçekleştirilir.

Birimlerin Banttandır Alınabildiği Hatlar: Birimlerin banttandır alınabildiği hatlarda tolerans zamanı tanımı ön plana çıkmakta ve önem arz etmektedir. Tolerans zamanı iş parçasının hattan alınması için gereken süredir ve bu süre iş parçasının o esnada bulunduğu istasyonun ve genel olarak hattın uzunluğunu belirler.

Birimlerin Bant Üzerinde Sabit Olduğu Hatlar: Birimlerin bant üzerinde sabit olduğu hatlarda iş akışı düzenli, çevrim süresi ise değişken olmaktadır. Çalışan operatörler/işçiler, operasyonlarını yapabilmek için ellerini/kollarını aşağı yada yukarı uzatmak ve hatta hat üzerindeki parçalar ile birlikte hat üzerinde yürümek zorundadırlar. Bahsedilen durum bu tipte hatların özelliklerden kaynaklanır. İşitsel, görsel sinyaller önemlidir, çünkü bu hatlardaki ünitelerin istasyonlar arasındaki akışı bu şekilde sağlanır.

MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ

3.1 Hat Dengeleme Kavramı

Hat dengeleme üretim hattında işçilerin yapacağı işlerin dağılımlarını düzgün ve eşit miktarda yapabilmek yani hattaki toplam iş yükünü istasyonlar ve işçiler arasında mümkün olduğunca eşit şekilde bölmektir. Bu tanım ile hat dengeleme kavramı akış hatları tasarlanırkenki ulaşılmaması gereken birincil hedef olarak karşımıza çıkmaktadır.

Henry Ford tarafından 1900'lü yılların başlarında klasik otomobil şasi hattı geliştirilmiştir. Bu hatta bulunan üretim sürecindeki işler küçük parçalara bölünmüştür. Bölünen işler yapılış sırasına göre hatta dizilmiş, bu sayede işçilerin üretim sırasında işinin gerektirdiği parçaları almak veya makine yada alet kullanmak için bir başka yere gidip gelmeleri önlenmiştir. İşçilerin boşuna zaman kaybı ile hareket edeceği sistem yerine, sıralanmış olan iş istasyonları ve parçaları işleyecek olan makineler vasıtasıyla üretimdeki sürecin gereklilikleri yerine getirilmiştir.

İlk olarak 1913'te hareket ve zaman etütleri yapılmıştır. Bunun sonucunda 140 montaj işçisine yaklaşık olarak 50 metrelik bir üretim hattındaki operasyonlar bölüştürülmüştür. Montajı tamamlanan şasi tekerlekler üzerinde belirli aralıklarla bir halat ile çekilmiştir.

Böylelikle büyük bir iyileştirme çalışması yapılmıştır. Şasinin montajı için gerekli olan süre 748 dakikadan, 350 dakikaya indirilmiştir.

1914 yılında ise mekanik olarak hareket etme kabiliyetine sahip olan montaj hattı ile üretime başlandığında bu sürenin 90 dakikaya düştüğü görülmüştür [7].

Sürekli üretim sistemlerinde, üretimin birimler halinde gerçekleştirildiği ve kitle talebin olduğu durumlarda, yüksek üretim hızıyla talebi karşılamanın en makul yolu montaj hatlarının yapılandırılmasıdır. Bir parçanın akış hattı üzerinde imal edilebilmesi için, tüm operasyon yükünün hatta bulunan iş istasyonları arasında eşit şekilde bölüştürülmüş olması gereklidir. Buna istinaden dengeleme problemi ile karşı karşıya kalınmıştır. Dengeleme problemi, montaj işlemlerinin yapılabilmesi için gerekli işlerin, bu işlerin ne kadar sürede alındıklarının ve işlerdeki öncelik ilişkilerinin de hesaba katılarak, işlerin optimum sürede ve şekilde iş istasyonlarına paylaştırılması olarak tanımlanmaktadır [4].

Bir ürünün fazla sayıda parça ve bileşenlerinin bir araya getirildiği ve bunların üzerinde bazı işlemlerin yapıldığı alanlar bilindiği üzere montaj hatları olarak adlandırılır. Bir montaj hattının karakteristik özelliği, herbir iş parçasının bir istasyondan diğerine hareket ediyor olmasıdır. İş istasyonlarında bulunan işçiler/operatörler, kendilerinin olan bir veya birden çok işlemi yapar ve giren yarı ürünlerin hattın sonunda ürün olarak çıkmasını sağlar.

Montaj hattı dengelemesi kavramı, iş yükünün eşit dağıtımı anlamında kullanılır. Bahsedilen dengeli iş dağıtımı uygun bir şekilde yapılmaz ise verimlilikte düşüşler olmaktadır. Normal olarak her bir iş istasyonunun belirli bir zaman dilimi içerisinde eşit sayıda iş parçasını işlemesi beklenir.

Birden fazla ürünün veya modelin ayrı ayrı partiler şeklinde üretilmesi, çok ürünlü veya modelli olarak adlandırılan bir durumdur ve her partinin üretimi için hatların yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Birden fazla ürünün veya modelin aynı anda üretilmesi ise karışık ürünlü veya modelli olarak tanımlanan bir durumdur ve bu durumda ise çözümü karmaşık olur ve güç planlaması sorunları ortaya çıkar. Örnek verilecek olursa hangi ürünün yada modelin hangi sıra ve miktarlarda hatlara konulması sorunu, çözümü kolay ama bir o kadar da önemli bir problemdir.

Bir montaj hattının kurulurkenki amaçları şunlardır: İnsan gücü ve makine kapasitelerinin en verimli şekilde kullanılması, düzenli malzeme akışının sağlanması,

boş sürelerin kapatılması, verimsiz geçen zamanların -ki bu denge kaybını oluşturur- istasyonlar arasında düzgün şekilde dağıtılması, hattaki operasyonların en kısa zamanda tamamlanacak şekilde ayarlanması, iş istasyonlarının sayısının minimumda tutulması -ki bu adam kazancı sağlamaktadır-, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve kısıtların belirlenmesi, ona göre tedbir alınmasıdır [8].

Montaj hattı dengelemesinde yukarıda bahsi geçen amaçların tümünü aynı zamanda gerçekleştirmenin mümkünatı yoktur. Bu sebep ile montaj maliyetlerinin minimuma indirilmesi, dengelemedeki temel amaçtır.

3.2 Montaj Hattı Dengelenmesinde Kullanılan Temel Kavramlar

3.2.1 İş Ögesi

Montaj hatlarında bulunan işler temel hareketlerden veya iş parçacıklarından oluşur. İş ögesi (work element); üretim esnasında, operasyonlarının içeriğinin, düzgün şekilde paylaştırılmış olan parçasıdır [9].

3.2.2 İş İstasyonu

Belirlenen bir operasyonun montaj hattı üzerinde işçiler tarafından icra edildiği bölüme iş istasyonu denir. İstasyonların her birinde bulunan işçilerin, parçanın imalatını veya montajını gerçekleştirecek alet ve ekipmanları bulunur. Kendilerine verilen sürede verilen işleri bitirmeleri istenir. İş istasyonuna İngilizce'de workstation denir ve bu kısım işçilerin çalıştığı yer olarak tanımlanır [10].

3.2.3 Toplam İş Süresi

Toplam iş süresi, montaj hattında üretilecek olan ürün için gerekli olan tüm işlerinin alacağı sürelerin toplamına denir. Toplam iş süresi [8];

N: Montaj hattındaki iş ögesi sayısı

t_i : i no'lu iş ögesinin standart işlem süresi (bir iş ölçümü yöntemiyle belirlenmiş süre)

Tanımlamaları yapılmıştır. Toplam iş süresi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sum_{i=1}^N t_i \quad (3.1)$$

3.2.4 İş İstasyonu Süresi

İş istasyonu süresi, montaj hattında bulunan bir istasyonda yapılacak operasyonun süresidir. Bu süre standardize edilir ve o istasyondaki iş süresi tanımı yapılır [8].

3.2.5 Çevrim Süresi

Çevrim süresi yani İngilizce'de cycle time, operatörün çalıştığı bir istasyonunda kendisine görev olarak tanımlanan işleri bitirebilmesi için gerekli olan süredir. Çevrim süresi; Aynı zamanda çevrim süresine, bir parçanın üretimi esnasında istasyondaki operasyonun o süre zarfı içinde yapılmasının zorunlu olduğu maksimum süreye denir [8].

Çevrim süresi yada kısaca (C) şu şekilde formülüne edilir:

$$C = T (\text{Kullanılabilir Üretim Süresi}) / \text{ÜS} (\text{Üretilmek İstenen Ürün Sayısı}) \quad (3.2)$$

3.2.6 Gerekli En Az İş İstasyonu Sayısı

Montaj hattındaki tüm iş yükünün hattaki izin verilebilecek çevrim süresi içinde gerekli olan minimum iş istasyonu ihtiyacına denir. Montaj hattında gerekli olan en az iş istasyonu sayısı (n_{enk}) aşağıda toplam formülüyle belirtildiği şekilde bulunur [8].

$$n_{enk} = \left[\sum_{i=1}^N \frac{t_i}{C} \right]^+ \quad (3.3)$$

Örnek:

Vardiyada 600 adet ürün üretilmesi istenecek. 425 dakika x 60 saniye = 25500 saniye

Maksimum çevrim (C)= 25500 saniye/ 600 = 42,5 saniye

$\sum_{i=1}^N t_i = 500$ saniye (bizim 1 adet ürün üretebilmemiz için gerekli toplam süre)

$500 / 42,5 =$ en az 11,76 adet istasyon gereklidir, \approx en az 12 istasyon gereklidir.

Çevrim süresinin yarısından daha büyük olan süreye sahip iki işlem aynı iş istasyonuna verilemez. (Örneğin 2 adet istasyon çevrim süreleri max çevrim= 42,5 olacak şekilde

21,25 sn nin altında olursa bu 2 istasyon birleştirilir.) Bu şekildeki iki işlem iki ayrı istasyona verilir. Buna istinaden ($n_{olası}$) kısaltma işaretiyle gösterilen gerekli iş istasyonu sayısı tanımı aşağıda gösterilen şekilde bulunmalıdır:

$$n_{olası}: \text{Çevrim süresinin yarısından daha fazla süresi olan iş ögesi sayısı} \quad (3.4)$$

Örnek:

500 saniyelik iş / 12 istasyon = 41,66 saniye ort. istasyon süresi

12 adet istasyonun süresi herhangi biri max 42,5 saniye olacak şekilde 41,66 saniyedir.

Örneğin: $42+42+42+42+42+42+42+42+42+42+42+x=500$ $x = 38$ sn

Çevrim süresinin yarısından daha fazla süresi olan iş ögesi sayısı= 12 => böylelikle gerekli iş istasyonu sayısı ($n_{olası}$) = 12 olur.

Montaj hattını dengelemek için gerekli olan minimum sayıdaki iş istasyonu sayısı (n_{enaz}), n_{enk} ve $n_{olası}$ değerlerinin en büyüğü şeklinde tanımlanır [11].

$$n_{enaz} = \text{Enb} (n_{enk}; n_{olası}) \quad (3.5)$$

3.2.7 Ortalama İş İstasyonu Süresi

C^* : Ortalama iş istasyonu süresi

n : Dengeleme sonunda eldeki iş istasyonu sayısı

olarak tanımı yapılmaktadır ve bunun için aşağıdaki eşitlik yazılır [12]:

$$C^* = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{n} \quad (n \geq n_{enaz}, C \geq C^*) \quad (3.6)$$

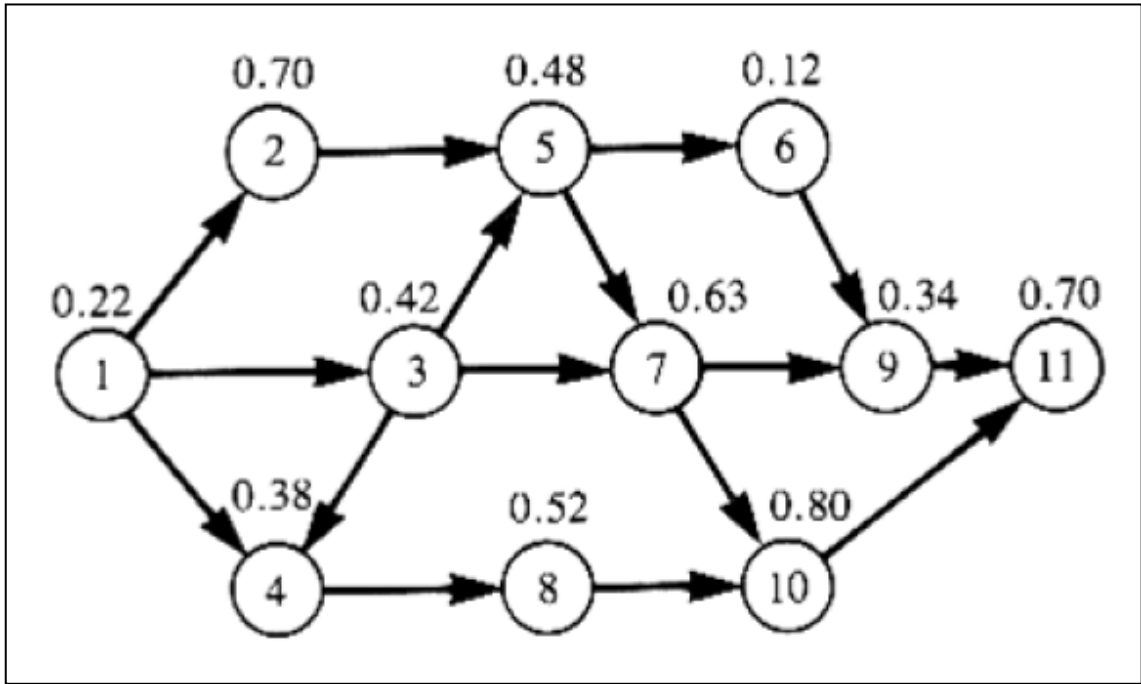
Örnek:

12 adet => dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı ise =>

Tüm iş öğelerinin ayrı ayrı sürelerinin toplamı / 12 adet istasyon = ortalama iş istasyonu süresini verir. (aritmetik ortalama)

3.2.8 Teknolojik Öncelik Diyagramı

Montajın içerdiği iş öğelerinin kendi aralarında bir öncelik ilişkisi vardır. Bir iş öğesinin yapılmaya başlanabilmesi, kendinden önce veya sonra gelen iş öğelerine bağlıdır ve iş öğelerinin birbirlerini izlemesi gerekmektedir. Bu özelliklere, öncelik ilişkileri adı verilir [13]. Teknolojik öncelik diyagramı tanımını yapmak gerekirse önceki cümlede bahsi yapılan öncelik ilişkilerini içeren diyagrama denilmektedir. Ayrıca ürünün tamamlanması için gerekli işlemlerin yapılabilme sırasını da gösterir.



Şekil 3. 1 Öncelik diyagramı

3.2.9 Öncelik Matrisi

Öncelik matrisi ise yukarıda tanımlanan teknolojik öncelik diyagramının üst üçgensel matris formundaki halidir [14]. Öncelik matrisinde, daha önde olan iş öğesi numaralı satırla gösterilir. Bunu takiben numaralı sütunun kesiştiği göze "1" sayısı konulur, bu göz hariç diğer gözlere ise "0" sayısı konulur.

3.2.10 Esneklik Oranı

Esneklik oranı yani İngilizce terim olarak flexibility ratio, montaj hattının süreçlerinde ortaya çıkan ve görülen uygun sıraların sayısının bir ölçüsü olarak tanımlanır [15].

E: Esneklik oranı

Y: Öncelik matrisinde sıfır değerinde olan göz adedi

olmak üzere şu şekilde ifade edilebilir:

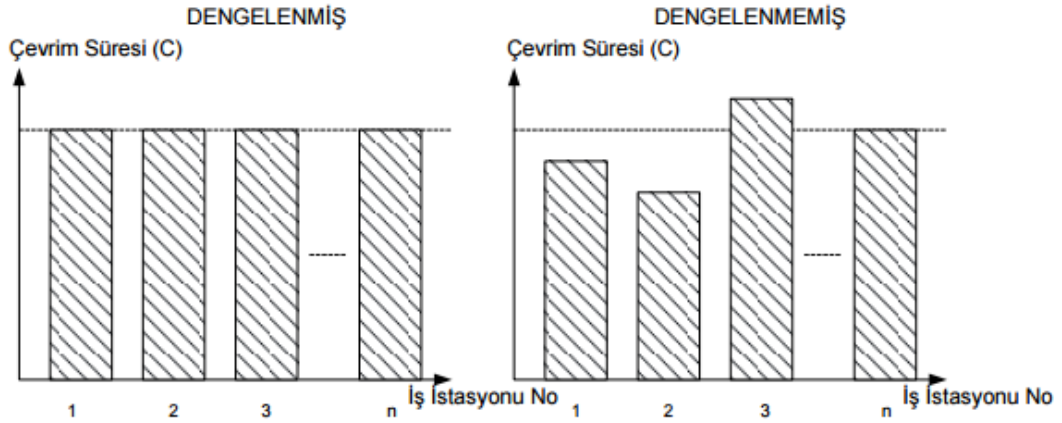
$$E = (2*Y) / [N*(N-1)] \quad (3.7)$$

3.2.11 Denge kaybı

Denge kaybı bir tane ürünün üretilmesinde gerekli süre ile ona ayrılan toplam süre arasındaki farkın ayrılan süreye oranlanmasıyla bulunur ve aşağıdaki şekilde formülize edilir [16]:

$$D (\%) = [(C-C^*) / C] * 100 = [(n*C - \sum_{i=1}^N t_i) / (n*C)] * 100 \quad (3.8)$$

Tam dengelenmiş hat durumları ve tam dengelenmemiş hat durumlarına ilişkin örnekler Şekil 2.2'de aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3. 2 Tam dengelenmiş ve dengelenmemiş hat durumları

Örnek:

Yukarıdaki örneklerde olduğu gibi dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı $n = 12$ alındığında;

Denge Kaybı (%) = $[(42 - 41,66) / 42] * 100 = [(12*42 - 12*41,66) / (12*42)] * 100 = \% 0,809$ (Eşitliğin sağındaki 12 çarpanı sadeleşir.)

3.2.12 Düzgünlük İndeksi

Düzgünlük indeksi, işlerin istasyonlar arasında düzgün, orantılı dağıtılıp dağıtılmadığını kontrol eder. Düzgünlük indeksinin küçük olması hat dengelemesinin iyi olduğu anlamına gelir. Düzgünlük indeksi aşağıdaki şekilde formülüne edilir [17]:

D_i : Düzgünlük indeksi

T_{enb} : İş istasyonu sürelerinin en büyüğü

T_i : i. iş istasyonu süresi

olmak üzere hesaplamada şu formül kullanılır:

$$D_i (\%) = \left[\sqrt{\frac{\sum (T_{enb} - T_i)^2}{n \cdot C}} \right] \cdot 100 \quad [i=1,2,\dots, n] \quad (3.9)$$

Örnek:

Yukarıdaki örneklerde olduğu gibi 12 adet istasyonun 11 adeti 42 saniye iş istasyonu süreli ve 1 adedi 38 saniye olacak şekilde alındığında (çevrim süresi = 42 saniye)

$$Düzgünlük \text{ indeksi } (\%) = [4 / (12 \cdot 42)] \cdot 100 = \% 0,793$$

3.2.13 Hat Etkinliği

Hat etkinliği (HE) hat üzerindeki toplam işgücünün ne kadarlık bir yüzdesinin kullanıldığını gösteren bir ölçüt olup aşağıdaki şekilde formülüne edilir [17]:

$$HE (\%) = \left[\frac{\sum t_i}{n \cdot C} \right] \cdot 100 \quad (3.10)$$

Örnek:

$$HE (\%) = [500 / (12 \cdot 42)] \cdot 100 = \% 99,206$$

3.2.14 Kuramsal Etkinlik

Kuramsal etkinlik (KE); hattın, belirlenmiş çevrim süresinden hareketle, en az istasyon sayısı ile kurulması durumundaki etkinliği olup, aşağıdaki şekilde formülüne edilir [17]:

$$KE (\%) = \left[\frac{\sum_{i=1}^N t_i}{n_{enaz} \cdot C} \right] \cdot 100 \quad (3.11)$$

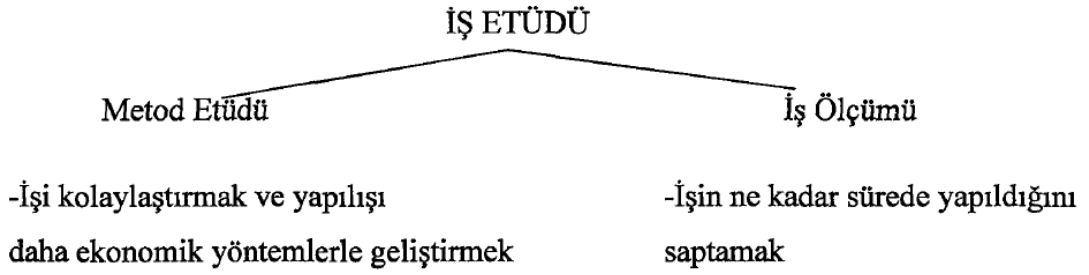
İŞ VE ZAMAN ETÜDÜ

4.1 İş Etüdünün Tanımı ve Kapsamı

Ürün yapan ve hizmet üreten işletmelerin amacı işletmedeki verimliliği yükseltmek, düşük maliyet ile çalışmak, kapasite artırmak ve daha kaliteli ürün üretmek ve insancıl çalışma ortamı sağlamaktır. İş etüdü çalışmalarının yapılması bu belirtilen amaçları gerçekleştirmek için gereklidir [18].

İş etüdü kavramı iş sistemlerinde yani makine, işgücü, malzeme ve donanımdan oluşan bütün bir sistemde kullanılmaktadır. Bu sistemlerde iş metodlarının daha verimli olması, daha yüksek kalitenin daha düşük maliyet ile sağlanması ve ayrıca daha işçiler için daha insancıl çalışma ortamlarının sağlanması amaçlanmaktadır. Bunun için yeni iş yöntemleri analiz ve yeniden tasarım ile tasarlanır ve buna ilişkin standart iş süreleri bulunur [18]. Bir diğer tanım olarak gelişebilmek için bir olayı, operasyonu yada etkinliği ekonomik boyutları ve etken olması açısından incelenen tüm faktörlerin araştırılması iş etüdür. Ayrıca bir işçinin çalışmasını kapsamlı tetkik eden bir tekniktir. Çoğunlukla iş ölçümü ve metod etüdü kavramları ile birlikte kullanılır [19].

Yeni yöntemlerin tasarlanmasına metod etüdü, yöntemin standart süresinin belirlenmesine zaman etüdü adı verilir [18,20].



Şekil 4. 1 İş etüdü

4.2 Metod Etüdü

Metod etüdü insanlar, makineler veya insan ile makinenin beraber olduğu sistemlerde gerçekleştirilen işlemlerde kullanılan bir metottur. Bu metod bahsedilen iyileştirme tanımlarının yani üretimin ve ürünün daha kolay şekilde daha güvenli olarak, düşük maliyet ve yüksek kalite ile, daha verimli, daha az zamanda ve ayrıca daha insanca çalışılabilecek bir ortamda yapılabilmesi için gereklidir. Bu yaklaşım ayrıca mevcut yöntemin incelenip kaydedilmesi, analizinin yapılması ve onun eleştirisi ile beraber yeni metotların geliştirilmesi amacıyla da kullanılır. Esas alınan bilgiler doküman inceleme, gözlem ve görüşme yoluyla elde edilenlerdir. Etüt sürekli ve aşama aşama daha iyiye ulaşma parolası ve çalışması sürdürülür. Amaçlanan, işin en etkin ve verimli nasıl yapılabileceğini belirlemektir. Bu ise işi yapan veya yapanlar arasındaki ilişkileri inceleyerek yapılır [18].

Metod etüdünde aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilir [18,20]:

- Etüdü yapılacak iş belirlenir.
- Dökümanlar, görüşme ve gözlemlerden faydalanılarak operasyonun yapılacağı makine, operasyonun sırası, donanım, operatör, malzeme ve iş ortamına ait bilgiler belirlenir.
- İş öğeleri arasında bulunan bağlantılar ortaya konur.
- Uygun bir metod etüdü tekniği ile elde bulunan tüm bilgiler şemalara veya grafiklere yansıtılır.

- Yöntem verimlilik, maliyet, kalite, süre, miktar, iş sırası, iş güvenliği, makine ve donanım kullanımı, insanca çalışma şartları açısından analiz edilir ve eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirilir.
- Elde bulunan imkanlar dahilinde işletmedeki amaçlar önem sırasına konur, değerlendirilirler. İçlerinden en uygun olanı seçilir.
- Seçilen yeni yöntemin deneme çalışmaları yaptırıldıktan sonra iş başı eğitimleri planlanır ve gerçekleştirilir.
- Yeni yöntem ile uygulama aksaklıkları izlenir ve çözümlenir.
- Yeni yöntem ile ilgili materyaller ve dökümanlar toplanıp dosyalanır.

Psikolojik, teknik ve ekonomik faktörler etüdü yapılacak işin seçimi için dikkate alınmalıdır [18]:

- a) Devamlı tekrar eden işler (montaj hattındaki işlemler veya imalat işlemleri gibi.)
- b) Darboğaz durumunda olan işler
- c) Sürekli veya sık malzeme taşıma durumu gerektiren işler
- d) Katma değeri yüksek olan işler
- e) Yoğun işgücü zamanı ihtiyacı bulunan işler
- f) Yeterli seviyede teknik bilginin mevcut olduğu işler
- g) Yapılacak yöntem değişikliğinin işçiler üzerinde çok fazla psikolojik tepkiye sebep olmayacağı işler

Etüdün ikinci adımında bulunan ve yöntemi oluşturan iş öğeleri yapıldığı sıra gözetilerek yazılır. Metod etüdünde bulunan ve kullanılan diyagramlar ve şemalar aşağıdaki A, B, C olarak sınıflandırabilir [18]:

A) Prosesi yani süreci temel alan şemalar:

Temel proses şemaları

Proses akış şemaları (donanıma, işçiye veya malzemeye göre olanlar)

İki el proses şemaları

B) Zamanı temel alan şemalar

Çoklu faaliyet şemaları

SIMO şemaları (İngilizce'de simultaneous motion cycle charts)

C) Hareketleri temel alan şemalar

Akış diyagramları

İp diyagramları

Çok boyutu diyagramlar

Gezi şemaları

4.3 Zaman Etüdü

4.3.1 Genel Bilgi

İş ölçümü, bir işin belirli çalışma koşulları altında ve belirli yöntemlerle yeteri kadar eğitim, bilgi ve yeteneğe sahip bir işçi tarafından, belirli bir çalışma hızı ile yapılması için geçen sürenin saptanması için uygulanan yöntemdir. Bu süreye işçinin kişisel gereksinimleri ve beklenmeyen gecikmeler için eklenen toleranslarla bulunan değere standart süre denir [19].

İş ölçümü herhangi bir faktör sebebiyle işin yapılmadığı zamanın yani etken olmayan sürenin araştırılması, azaltılması ve sonucunda da bertaraf edilmesiyle ilgilenir. İş ölçümü, esas olarak fabrika faaliyetlerinin organizasyonu ve denetimi için gerekli olan elzem bilgiyi sağlar ve planlama çalışmaları için en mühim girdiyi inşaa eder. Bu kısımda dikkat edilmesi gereken yer, iş ölçümünün metod etüdününden sonra uygulanması gerekli olduğudur. Çünkü etken ve doğru olmayan bir metod için standart sürelerin bulunması anlamsızdır. En çok kullanılan metod, işlemleri belirli kurallar takip ederek kronometre cihazı ile ölçmeye dayalı olan zaman etüdü tekniğidir.

Zaman etüdü, nitelikli bir işçinin normal tempoda belirli bir işi yapması için geçen sürenin saptanması için kullanılır [20].

Zaman etüdüleri farklı amaçlar için kullanılır [21]:

1. Üretim zamanlarının belirlenmesi: Fabrikada yapılacak çeşitli ürünlerin üretiminin ve faaliyetlerinin hangi zamanda başlayıp hangi zamanda biteceğinin belirlenmesi için işlerin standart olarak hangi zamanda yapılması gerektirir.
2. Gözetim ve kontrol standartlarını ortaya koymak için zaman etüdü elzemdir. Örnek: işçilerin iyi veya kötü çalıştığını belirleyebilmek için standart imal süresinin biliniyor olması gereklidir ki, fiilen elde edilen sonuçlar bunlar ile kıyaslansın.
3. Ücret sistemlerinin uygulanabilmesi için zaman etüdü yapılması elzemdir.
4. Ortak çalışan insanların işini aynı kılmak için zaman etüdü zorunludur. Örnek: 10 parçadan oluşan bir ambalaj üretiminde, işçilerinin her birinin standart yapıma süresi bilinmeyecek olursa işin kısa sürede bitirilmesi mümkün olan bölgelerini yapan işçiler, uzun zamanda bitirilecek işleri yapan işçilerin işlerini yapmasını bekleyecek ve o esnada boş duracaklardır.
5. Çeşitli çalışma yöntemlerini karşılaştırmak ve hangisinin daha iyi olduğunu anlayabilmek adına zaman etüdülerinin yapılması elzemdir.

Zaman etüdünün kademeleri şunlardır:

1. Ölçülecek işin seçimi.
2. Ölçümün yapılacağı iş istasyonunun ve ölçümü yapacak işçinin seçimi.
3. Bilgilerin toplanması.
4. İşlemin öğelerine ayrılması.
5. Ölçme ve gözlemin yapılması.
6. Gözlem adedinin hesaplanması.
7. İşçinin çalışma temposunun belirlenmesi.
8. Toleransların hesaplanması.
9. Standart sürenin hesaplanması.

YALIN ÜRETİM SİSTEMİ VE 6 SİGMA METODOLOJİSİ

5.1 Yalın Üretim Sistemi

5.1.1 Toplam Kalite Yönetimi ve Yalın Yönetim Kavramı

Toplam kalite yönetimi çağdaş yönetim ve post modern yaklaşımlarından birisi olarak tanımlanmaktadır. Toplam kalite yönetimi kavramı özellikle 1974 petrol krizinin ardından batı dünyasının neredeyse tamamının ilgisini çekmiştir ve “Japon yönetim felsefesinin” bir alt sistemi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu nedenle bazı istisnaları hariç tutarak toplam kalite yönetimi tümüyle Japon tarihinden kaynaklanmakta ve köklü Japon geleneklerini temel almaktadır [22]. Bu kavram klasik yaklaşımdan farklıdır. Bazı tanımlamalara göre toplam kalite yönetimi yöneticilerden ve çalışanlardan beklenen rolde yaşanan önemli değişiklikleri vurgular. “İşletmenin farklı bölümlerinin müşterilerin ihtiyaçlarını en ekonomik olmak suretiyle karşılaması için kalitenin yaratılması, yaşatılması ve bunun geliştirilmesi için gösterilen çabaların toplanıp koordine edildiği etkin bir yöntemdir” [23]. Toplam kalite yönetimi hakkında yöneticiler ve personel haricinde diğer ilgililerden beklendiği şekilde tanım ise; “işletmenin her tedarikçisinin, çalışanının, pazarlamacısının ürünün üretimindeki herhangi bir bölümünde emeği geçen her birimin ortaklığının söz konusu olduğu bir yönetim sistemidir” şeklindedir [24].

İşletmenin her üyesinin iyileştirme sürecine etkin katılımının sağlanması toplam kalite yönetiminin temel prensiplerindedir. Katılım bu anlamda yalnızca kalitedeki sürekli

gelişim için değildir. Aynı zamanda çalışanların moral ve motivasyonlarını yükseltmek için de önem taşır. Bu sistemde çalışanların önerilerini dinlemelidir, önerilerine değer vermek ve çeşitli şekillerde ödüllendirmek gerekmektedir [25]. Bu sayede personel üst yönetimin verdiği kararlara katılacak ve bunları daha uygulamakta daha dikkatli, istekli ve eğilimli olacaktır [26].

Toplam kalite yönetiminde rekabetçi yapı ve sürekli iyileştirme amacı bulunmaktadır. Bu konuda kaydedilen gelişimde, toplam kalite yönetimi sisteminin önemli figürlerinden birisi olan yalın yönetimin önemli etkisi olduğu bilinmektedir [27].

Toplam kalite yönetiminin başarı ile uygulanabilmesi yalın yönetimin doğru uygulanabilmesine bağlıdır. Bazı kaynaklarda yalın yönetim toplam kalite yönetiminin en önemli unsurlarından biri olarak değerlendirilmiştir; bazılarında ise tam tersi toplam kalite yönetimi yalın yönetimin en önemli figürlerinden birisi olarak değerlendirilmiştir [28].

İki farklı bakış açısı ele alındığında toplam kalite yönetimi ile yalın yönetim arasında felsefik açıdan bir fark bulunmadığı anlaşılmış, ayrıca bu iki kavramın birbirlerinin tamamlayıcısı oldukları belirtilmiştir.

Yalın yönetimin sisteminin temelini yalın düşünce oluşturmaktadır. Yalın düşüncede gerçek manada ihtiyaç olmayan her şeyden kurtulmak düşüncesi yatar. İşletmelerin daha az enerji, daha az sayıda çalışan ve daha kısa sürede ve üretim yapmasını bu düşünce destekler [29]. Bu sağlanırsa müşterilerin talepleri optimum şekilde daha ekonomik biçimde karşılanacaktır. Bu da toplam kalite yönetim kuramının en büyük hedefidir.

5.1.2 Yalın Üretim

Yalın üretimin yapısında hata, müşteri memnuniyetsizliği, maliyet, işçilik, stok, geliştirme süresi, fire, üretim alanı vb, şeklindeki gereksiz unsurlar yoktur [30]. Yalın üretimin izlediği temel strateji akış süresini azaltarak üretimin hızını artırma, teslimat performansı, kalite ve maliyeti eşzamanlı olarak iyileştirmektir. Yalın üretim, müşteri taleplerine istinaden bilgiyi veya malzeme biçimlendirir, dönüştürür. Katma değer yaratmak için kaynakları ve zamanı kullanmaktadır. Aynı zamanda üründe müşteri

talepleri açısından değeri olmayan veya genel anlamda katma değer yaratmayan faaliyeti ayırt etmektedir [31].

Yalın üretim ile seri üretim arasındaki en çok göze çarpan farklılık onların hedeflerinde görölmektedir. Seri üretim yapanların kafasında yeterince iyi şekilde düşünceler bulunur. Bu ise hedefi sınırlamaktır, az ile yetinmektir. Örneğin düşük kademeli standardize edilmiş ürünler, azami miktarda kabul edilebilir stoklar, kabul edilebilir sayıda ıskarta ürünler, kabul edilebilir anlamını taşır. Bu düşünceye göre bu hedefin üstüne çıkmak ve daha iyisini başarmak işgücünün, makinenin doğal kabiliyetlerini aşmakta, çok pahalıya mal olmakta veya efektif olmamaktadır.

Fakat yalın üretim düşüncesinde ve sisteminde, kesin bir biçimde kusursuz olmak amaçlanır. Amaç maliyetlerin sürekli düşmesi, sıfır sayıda ıskarta ürün, sıfır sayıda stok ve sonsuz sayıda ürün çeşitliliği maddelerin hep birlikte yapılabilmesi olmaktadır. Ancak yalın üretimi benimseyen ve yapan hiçbir firmada bu amaçlar tamamen sağlanamamıştır ve bunlara hiçbir zaman ulaşamayacaktır. Fakat sonu olmayan mükemmelliyetçilikle bu fikri benimsemekte ve bu şekilde üretim yapmaya devam etmektedirler.

Avrupa'da bulunan sanayisinin tamamına üretim sektöründe çalışan Japon firmalarının öncülüğünü yaptığı üretim yönetimine ilişkin sistemleri adapte edilmiştir. Bu adaptasyonun sonucunca yalın üretim sistemleri Avrupa dışındaki diğer ülkelerde de uygulanmaya başlanmıştır. 1990'lı yıllarla birlikte dünyada üretim yapan birçok firma, yalın üretimi küresel çaptaki rekabeti artırıcı bir strateji olması bakımından benimsemiştir. Bazı diğer firmalar ise yalın üretimi uygulamış ve bazı zorluklarla karşılaşmışlarsa da bu sistemin gereklerini yerine getirmek için hala çabalamaktadırlar [32].

Yalın üretim sekiz ilkesel maddeden oluşmaktadır, bunlar şunlardır:

- 1.Yatay bilgi sistemleri.
- 2.Sıfır hata prensibi.
- 3.Gereksiz olan elemanların elenmesi.
- 4.Çok fonksiyonu olan takımlar.

5.Sürekli iyileştirme metodoloji.

6.Takım veya ekip liderliği.

7.Sıralı bir süreç.

8.Hiyerarşik seviyelerin az olması.

5.1.3 Yalın Üretimin Doğuşu ve Gelişimi

Daha önceki yazılarda bahsedildiği şekilde yalın yönetim kavramı, yalın üretim sisteminin idare edilmesidir. Bu sebepten ötürü yalın yönetim kavramının temeli, yalın üretim kavramını baz alır.

I. Dünya savaşından sonra Ford'un kurucusu Henry Ford ve General Motors firmasından Alfred Salon, dünyada bulunan otomotiv sanayisini sanat ve emek temelli üretim tarzından seri üretim sistemine taşıdılar ve geçirdiler. Sanat ve emek temelli üretim tarzı yüzyıllarca Avrupalı firmalar başta olmak üzere yapılmaktaydı.

II. Dünya savaşının ardından Toyota Motor Company'den Taichi Ohno ve Eiji Toyota yalın üretim sistemlerine öncülük eden yöneticiler oldular. Japonya'nın bugünkü ekonomik gelişmişliği ve üstünlüğünün temelinde ise Toyota harici diğer firmaların da bu sıradışı sistemi kendi sanayilerine, üretim tesislerine adapte etmesi yatmaktadır. Bu sistemler Japonya'da kısa sürede ekonomik kalkınma yaşanmıştır [33].

Yalın üretimin sisteminin ilk sıralarda kullanımına başlandığı yerler şunlardır:

-Japonya'da bulunan yerli Japon otomobil üreticileri.

-Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan yerli Amerikan otomobil üreticileri.

2. Dünya savaşı sonrası zamanlarında otomotiv dışındaki diğer sanayi dalları ve Avrupalı üreticiler tamamiyle yalın üretim sistemin kullanmamaktaydı. Ancak yalın üretimin ortaya koyduğu evrensel prensipler ve rekabet üstünlüğü bütün dünya tarafından onay aldı ve kabul edildi. Şuanda dünyanın bütün ülkelerinde ve çeşitli sanayi dallarında yalın üretimin uygulama örnekleri göze çarpmaktadır.

Otomotiv sektörünün bu konuda belirleyici bir kilit sektör olması bahsi geçen yalın üretim sisteminin otomotiv sektöründe doğuş nedeni olmuştur. Yalın üretim sistemi

günümüzde otomotiv sektörünün de dışına yayılmıştır. Bu yayılım diğer sektörlerdeki birçok alışkanlığı değiştirmiştir. Günümüze bakıldığında kalkınma atağı olarak pek çok ülkede yalın üretim ve yalın yönetim anlayışı birlikte görülmektedir. Yalın yönetim sistemleriyle ilgili olarak enstitüler kurulmaktadır. Uluslararası arenada yalın yönetimin özellikleri, ilkeleri, sistematığı, kuramı tanıtılmaya ve yaygınlaştırılmasına çalışılmaktadır.

Günümüzde oluşturulan ve iyice gelişen, hızlanan internet ağı sayesinde yalın yönetim sistematığının uygulanışı daha da kolaylaşmıştır. Takım çalışması ile herkesin sistematığe katılımının artmasıyla envanterin azaltılması, hızlı şekilde düzen alma, sürekli olarak iyileşme vb. gibi yalın yönetimin temelini oluşturan birçok yöntem daha kolay yapılabilir hale gelmiştir. Bunun sebebi de internet ağının gelişim göstermesidir [32].

5.1.4 Yalın Üretim Sisteminin Uygulanması

Yalın üretim sisteminin uygulanabilmesi ve başarılı olması için kaynakların etkin şekillerde kullanılması, takım çalışması metodu uygulanması, israftan kaçınılması, tüm çalışanların sonuca etki ettiği bir iyileştirme sürecinin sağlanması ve personelin hızlı şekilde iletişime geçmesi gerekmektedir. Yalın üretim sistemi teslimatçılar ile güven dolu ve uzun süreli bir anlaşma ve işbirliğidir. Uygulama yöntemleri bu bağlamda üretimde gelişme ve teslimat ile toplam kalite güvencesi konsepti çerçevesinde hayat bulur. Bunun için bireysel satış tanımlamasının aksine takım veya ekip temeline dayalı olan organizasyonel bir satıştan söz edilmelidir. Etketif bir satış sonrası sağlanan servis hizmeti müşteriyi firmaya bağlar. Firma bu sayede müşteriye güven verir. Bunun şartı yüksek moral ve motivasyona sahip takımın takım ruhunda çalışmasıdır ve farklı işletme merkezlerinde yapılacak olan faaliyetler için etkili bir koordinasyondur sağlanmasıdır [35].

Yalın üretim sisteminin benimsendiği ve kullanıldığı işletmelerde yönetim yapısında genel olarak önemli değişiklikler olur. Bu tip işletmelerde klasik işletmelerdeki gibi çalışan işçilerin görevi yalnızca verilen emirleri yapmak değildir. Yöneticiler de onları kontrole yetkili oldukları halde katı bir hiyerarşik ayrıma girmezler. Tam tersine koordineli destek, işbirliği, problem çözümü, çalışma çözümü daha önemlidir veya

önem kazanmaktadır. Buna bakılarak yalın üretim sistemi aşağıda gösterilen elemanları bulundurmaktadır.

- 1.Daha az yönetici sayısına sahip olunması.
- 2.Yönetici ve işçi arasında daha az iş hiyerarşisi bulunması.
- 3.Daha hızlı karar verme yeteneğine sahip olunması.
- 4.Daha fazla yaklaşma ve fikirlerin çarpışması durumu.
- 5.Bürokrasiden kurtulunması.
- 6.Daha fazla yetkinin devredilebilmesi.

Bunlarla birlikte yalın üretim sistemini benimsemek ve uygulamaya koymadan önce belirli bir hazırlık sürecinin gerçekleştirilmesinin gerekli olduğu bilinmelidir. Bu hazırlık süreci ise aşağıda bahsedilecek olan maddelerden oluşur:

- 1.İşletmenin tümüne hakim bir ekip (takım) ruhunun verimliliğin yükseltilmesi için oluşturulması.
- 2.İyileştirmelerin devamlı olması.
- 3.Sıfır hata ilkesinin esas alınarak çalışılması.
- 4.Tedarikçilerle olan iletişimin yeniden düzenlenmesi.

Yalın üretim sistemi ve geleneksel örgütlerden farklarını Çizelge 5.1' de görüldüğü gibi tablo haline getirmek mümkündür.

Çizelge 5. 1 Geleneksel ve yalın örgütlerin yönetim açısından karşılaştırmaları

GELENEKSEL ÖRGÜTLERİN YÖNETİMİ	YALIN ÖRGÜTLERİN YÖNETİMİ
Yönetici işi planlar ve belirler	Yönetici ve takım üyeleri işi planlar ve belirler.
İşler dar olarak tanımlanmıştır.	İşler geniş beceri ve bilgi gerektirmektedir.
Bilginin büyük kısmı yöneticilerin mülkiyetindedir.	Bilginin büyük kısmı her düzeyde serbestçe paylaşılmaktadır.
Yönetici olmayanların eğitimi teknik beceriler üzerinde yoğunlaşmıştır.	Sürekli öğrenme anlayışıyla, herkes için yönetime ve teknik konulara yönelik her türlü eğitim söz konusudur.
Risk alma teşvik edilmez ve cezalandırılır.	Ölçülmüş risk alma teşvik edilir ve desteklenir.
Bireysel çalışma tarzı vardır. Ödüller bireysel başarıya dayanır.	Karşılıklı dayanışma ve yardımlaşma tarzı ile birlikte çalışma vardır. Ödüller takımın başarısına dayanır.
Yönetim en iyi yöntemleri belirler.	Yöntemleri ve süreçleri iyileştirmek için herkes sürekli çalışır.
Yönetim tarafından koyulan ve uyulması istenilen disiplin kuralları vardır.	Yönetim tarafından kolaylaştırıcı ortam sağlanarak işgörenler tarafından kabul edilen oto kontrole dayalı disiplin anlayışı vardır.
Tek fonksiyona dayalı uzmanlaşma vardır.	Esneklik ilkesi ışığında çalışılabilmesi için çok fonksiyonlu uzmanlaşma vardır.

5.2 6 Sigma

5.2.1 Altı Sigma'nın Tanımı

Bill Smith günümüzde pek çok kişi tarafından Altı Sigma'nın babası olarak bilinmektedir. Bill Smith 1989 yılında Motorola'da çalışırken Altı Sigma'yı tanımlamasını şu şekilde yapmıştır:

Altı Sigma ortak mantığın organize olmasıdır [36].

Richard Schroeder ve Mikel Harry Altı Sigma'nın önde gelen savunucularındandır. Yazarları oldukları Six Sigma The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations isimli kitaplarında Altı Sigma tanımlamasını şu şekilde yapmışlardır: Altı Sigma; firmaların iyi kazanmalarını sağlamak ve müşteri memnuniyetini sağlamak için kullanılan metottur. 6 Sigma kullanılacak olan kaynakların minimize edilmesi ve günlük aktivitelerin izlenerek kayıpların minimum seviyeye indirilmesi şekilde tasarımları sürecidir [37,38].

Richard Schroeder ve Mikel Harry yine aynı kitaplarında 6 Sigma için aşağıdaki tanımı da yapmışlardır: Altı Sigma'da çok fazla ve yoğun şekilde veri toplanır. Toplanmış olan verilerin istatistiksel analizi yapılır. Hata ve kayıp sebeplerini bulur ve bu sebeplerin ortadan kaldırılmasını hedef belirler [37,38].

Günümüzün en büyük tanınmış firmalarından olan General Electric de Altı Sigma metodolojisini kullanmaktadır. Altı Sigma tanımları ise şunun gibidir: Altı Sigma'da her süreç müşterilere hitap eder. Her üründe ve müşteriye sunulan hizmette mükemmel olmak hedeflenir. Altı Sigma buna odaklanan çok disiplinli bir metodolojidir.

Gerek iş çevrelerinde gerekse iş medyasında karşılaşılan 3 adet Altı Sigma tanımlamasına aşağıda yer verilmiştir. Bunlar şu şekildedir:

1.tanım: 6 Sigma mühendisler ve istatistikçilerce ürünleri ve ürünün üretilme aşamasındaki süreçleri aktif hale getirmek için kullanılmakta olan teknik anlam ifade eden bir metottur.

İstatistik bilimi Altı Sigma'nın temelini oluşturmaktadır. 1. Tanımda ise Altı Sigma'nın istatistiksel bir yaklaşım olduğunun altı çizilmektedir. Bu tanım bu açıdan bakıldığında doğru bir tanımdır.

2.tanım: Altı Sigma müşterilerin ihtiyaçlarına yöneliktir. Müşterilere mükemmel şekilde cevaplar vermeyi ilke haline getirmiştir.

3.tanım: Altı Sigma bir değişim gayretidir. Bu gayreti firmanın kar elde etmesi, müşteri memnuniyetini sağlaması ve ayrıca piyasadaki rekabet gücünü eline geçirmesi için gösterir.

Bu çeşitli tanımlamaların tamamında Altı Sigma'nın belirli özellikleri vurgulanmaktadır. Dolayısıyla genel bir biçimde aşağıdaki tanımlama kullanılabilir:

6 Sigma işletmeyi başarıya götürmeyi amaçlarken, bunun haricinde başarısını artırmak ve daimi kılmak ister. Esnek ve uygulanabilir bir sistemdir. Müşteri ihtiyaçlarına yönelik çözümler üreten, ölçülmüş verilere dayanan disiplinli bir yaklaşımdır. İstatistiksel analiz içeriği sayesinde işletme süreçlerinin yenilenmesini, iyileştirilmesini ve yönetilmesini sağlar [39].

Değişik kaynaklarda kavramsal olarak herbirinin kendi açısından önemli gördüğü kısmı ön plana çıkarılarak 6 Sigma tanımlamaları yapılmıştır. Bunlara ilişkin birtakım örnekler aşağıda yazılmıştır.

- Altı Sigma, bir firmanın amamen yenilenmesi ve firmadaki süreçlerin iyileştirilmesi programının ismidir.
- Ürün ve süreçlerin optimum düzeye getirilmesi amaçlanır. Bu yüzden mühendislik disiplinine sahip ama aynı zamanda istatistiksel bir metodolojidir.
- Altı Sigma ile her sürecin, her dönüşüm işinin ve her ürünün hatasız olarak yapılabilmesi hedefini gerçekleştirmeye imkan veren bir metodolojidir.
- Bu metodolojide müşteri gereksinimlerinin tam olarak karşılanması temel olarak amaçlanır.
- Altı Sigma firma müşterilerinin memnuniyetini artırmayı hedefler, ayrıca uygulamada karlılık ve yararlılığı güvence altına almayı hedefler.
- Toplam kalite yönetimi ile Altı Sigma birbirinden ayrı düşünülemez, Altı Sigma onun olgunlaşmış şeklidir.
- Bu metodoloji işletme başarısı için herşeyi yapar, bu başarıyı sürdürmek de bir diğer görev olur. Altı Sigma için müşteri ihtiyaçları çok önemlidir, bunlar tam bir şekilde karşılanmaya çalışılır ve bütün bunlar çok kapsamlı olarak ele alır.
- 6 Sigma metodolojisi istatistiksel verileri disiplinli bir şekilde kullanır, bunları analiz eder, sonuçlandırır, projelerin her birini birer uygulama olarak ele alır ve bunları büyük bir özenle işler.
- Altı Sigma, sanayinin ihtiyaçları dolayısıyla yine sanayideki firmalar tarafından geliştirilmiştir. Altı Sigma gözle görülür başarılar ortaya koyulabilmektedir. Bu başarısı sayesinde sanayinin her bölgesinde kullanımı yaygınlaşmıştır. Gelip geçici bir sistem olmaktan uzaktır, çözümlerin kalıcı olduğu bir uygulamadır.
- Altı Sigma hem hizmet sektöründe hem de üretim sektöründe uygulanabilmektedir. Düşük maliyet ile üretim yapmak ve satışları artırmak, pazar

payını ele geçirmek gibi büyük hedefleri olan şirketler için vazgeçilmez bir uygulamadır.

- Altı Sigma, yoğun ve disiplinli bir çalışma, yüksek seviyede dikkat gerektirir. Uygulamalarda uzun süreli kullanımı söz konusudur.
- Altı Sigma projelere dayalı, projelerde sonuç odaklı, yararlılık seviyesi yüksek olan, sürekli iyileşme amacı güden, uygulamalarda sistematik şekilde ilerleyen bir metodolojidir.
- Altı Sigma metodolojisinin başarıya ulaşması için öncelikle bunu kullanacak firmanın ciddi bir yönetim kadrosuna sahip olması gerekir. Bu metodoloji ancak ve ancak devamlı öğrenen, kendini geliştiren ve organizasyonel özelliklere sahip firmalarda işe yaramaktadır.

Altı Sigma müşteri odaklı bir yaklaşımdır, kayıp maliyetlerini ve düşük kaliteyi azaltmaya odaklanır, daha etkin olmayı amaçlar, üretim verimliliğinin ve şirket karlılığının artırılması için çalışır. Yukarıdaki tanımlamalarda da bunlardan bahsedilmiştir. 6 Sigma'da öznel düşünceler ve kararlar yerine ispatlanabilir nicel gerçek ve verilere dayanan kararlar bulunur. Bu şekilde iyileştirme süreçleri sürdürülür [41].

Yukarıda bahsedilenleri özeti olarak Altı Sigma'nın amaçları toparlanacak olursa, 6 Sigma en başta istatistiksel bir ölçüme dayanır. Proses, ürün ve sunulan hizmetlerin kalitesi hakkında bilgi vermeyi amaçlar. Bir ölçüm tekniğidir. Proses, ürün ve hizmetlerde bu metodun kullanıldığı ve kullanılmadığı yerlerde kıyaslamaya yapmaya yarar, bu durumda birinin diğerlerinden ne kadar ileride veya geride olduğunu ortaya çıkarır. Bunun sonucunda yol haritasını çıkarır ve rotayı belirler. İşletmelerin müşteri tatmini mücadelesinde yöneticilerine neler yapmaları gerektiğini gösteren bir ölçüm aletidir. Buna uygun olarak şu örnek verilmiştir: bir firmadaki herhangi bir proses 6 Sigma düzeyinde olursa, o kendi klasmanında en iyisidir. Fakat firmadaki bir başka proses 4 Sigma kalite düzeyinde ise, bu onun ortalama kalite seviyesinde olduğunu gösterir. Yani bir milyon hizmet veya üründe 6200 hatalı hizmet veya ürün üretiliyor anlamına gelir. Sigma kelimesi proseslerin, hizmetlerin ve ürünlerin yeterliliklerini ölçer, onları karşılaştırır. Bir ölçüm skalasıdır.

Altı Sigma işletmelerdeki bir yönetim politikasıdır. İşletmelerin diğerlerine göre rekabet üstünlüğünü kazanmaları için çalışır. Bunu yapısında bulunan stratejiler ve uygar yönetim anlayışı ile gerçekleştirir. İşletmeler için aynı zamanda kılavuzluk görevi görür. İncelenen olaylarda sigma seviyesi yükseldikçe, üretimdeki maliyetler azalır, ürün kaliteleri yükselmeye başlar. Müşteri memnuniyeti bu anlamda daha fazla sağlanmış olacaktır.

Altı Sigma daha akıllıca çalışmayı amaçlayan felsefik bir düşüncedir. Yapılan her işte zamanla daha az hata yapmayı hedef belirlemiştir. Proses, ürün ve hizmetler sapma yaratan, dengeyi bozan etmenler tespit edilir. Bunlar ortadan kaldırıldıkça sigma seviyesi sürekli olarak artar. Bunun paralelinde proses, ürün ve hizmetlerin kabiliyetleri artar ve bu da hataların azalacağını gösterir.

Altı Sigma yaklaşımı benchmark metodunu da kullanır. Benchmark bir kıyaslama metodudur, bir işletmenin kendisinden bir konuda daha önde olan bir işletmenin bir uygulamasını görüp tanınmasını sağlar. Altı Sigma metodolojisi sayesinde her türlü proses, ürün ve hizmetin sigma seviyesi olarak kalite seviyeleri ölçülebilmektedir [40].

5.2.2 Altı Sigma Metodolojileri

Altı Sigma'yı kullanan firmaların kullandığı metodolojilere bakıldığında birçok firmanın süreç üzerinde birtakım farklılıklara sahip olduğu görülmektedir. Ama hemen hemen hepsi temelde 6 Sigma'nın 2 farklı metodolojisine dayanmaktadır: bu ikisi ise TÖAİK yani kelimelerin baş harflerinin kısaltmaları olarak (Tanımla, Ölç, Analiz et, İyileştir, kontrol et) ve TÖADD (Tanımla, Ölç, Analiz et, Dizayn, Doğrula) olarak adlandırılan metodolojilerdir.

5.2.2.1 TÖADD Metodolojisi

TÖADD metodolojisi isminin baş harflerinden; tanımlama, ölçme, analiz, dizayn ve doğrulama kısımlarından oluşmaktadır. Bu kısımları kısaca tanımlayacak olursak:

Tanımlama: Projeninin hedefini belirler. İç ve dış müşteri göstergelerini ortaya koyar.

Ölçme: Müşterilerin ihtiyaçlarının ve beklentilerinin neler olduğunu ortaya koyar.

Analiz: Süreci analiz eder. Hedef müşteri ihtiyaçlarını karşılamaktır.

Dizayn: Müşteri beklentilerini karşılamak için süreci tasarlar.

Doğrulama: Dizayn bölümünde yapılan tasarımın müşteri beklentilerini karşılayıp karşılamadığını teyit eder.

TÖADD metodolojisi firmanın kullandığı TÖAİK metodolojisinin hala müşteri beklentilerini 6 Sigma düzeyinde karşılamaması halinde kullanılmaktadır. 6 Sigma projelerinde genellikle firmalar önce TÖAİK metodolojisini kullanırlar, amaç süreç iyileştirmedir, fakat TÖADD metodunun kullanılması daha uygun ve yerinde bir karar olmaktadır. Firmaların bu gerçeği anlaması ise genellikle projenin başlamasından 1 ay sonra olmaktadır.

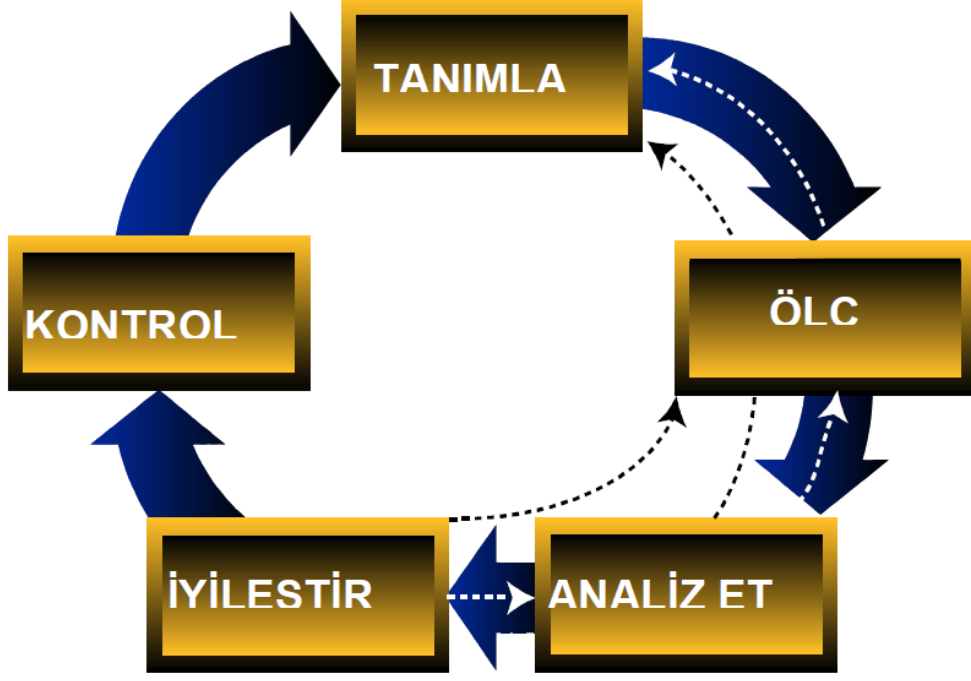
5.2.2.2 TÖAİK Metodolojisi

Altı Sigma TÖAİK (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol) metodolojisi ürün ve süreç iyileştirmeleri ve problem çözümü için bir yol haritasıdır. Çoğu firma bahsedildiği gibi Altı Sigma'da uygulamaya TÖAİK metodu ile başlar, organizasyonel kültür ve tecrübe seviyesi oluştuktan sonra Altı Sigma tasarımı burada devreye alınmaktadır.

TÖAİK metodolojisi müşteri odaklı Altı Sigma projelerinde kullanılan en yaygın metodlardandır. Bu metod, tanımlama, ölçme, analiz, iyileştirme ve kontrol fazlarından oluşmaktadır.

Literatürde genel olarak TÖAİK metodu süreci lineer olarak gösterilmektedir. Fakat uygulamalarda kısımlar arasında geri dönüşlere rastlanabilmektedir. Buna iyi bir örnek şu şekildedir: ölçüm kısmında veriler toplanır, bunun neticesinde proje ekibi süreç tanımının yeterli olmadığı kararına varırsa ve tekrar tanımlama kısmına dönerek tanımlama tekrar yenilerler. Benzer şekilde analiz kısmında proje ekibi kök sebepleri belirler, ancak burada daha fazla ölçümlerin alınması gerektiği neticesine varırsa ölçüm kısmına dönerler.

Uygulamalarda karşı karşıya gelinen bu kısımlar arasındaki geri dönüşler göz önüne alınarak TÖAİK iyileşme modeli Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5. 1 TÖAİK iyileştirme modeli

TÖAİK metodolojisi, şirkette mevcut bulunan fakat müşteri beklenti ve ihtiyaçlarını karşılayamayan bir ürün ya da süreç mevzu bahis olduğunda kullanılmalıdır.

Tanımlama Aşaması: Tanımlama aşamasında projenin amacı ve kapsamı belirlenir. Süreç ve müşteri hakkında gerekli olacak bilgiler toplanır. Seçilen projede kaliteyi artırma ve maliyetleri azaltma hedeflerinin gerçekleştirilebilir olma ihtimalinin fazla olması çok önemlidir [42].

Tanımlama aşamasında aşağıda yer alan maddeler hedef gösterilir:

- İyileştirilecek olan sürecin tanımlanması, başlangıç ve bitiş sınırlarının tespit edilmesi,
- Müşterinin tanımının yapılması ve ihtiyaçlarının tespit edilmesi,
- Müşteri beklentileri ile sürecin çıktıları arasındaki farkın sayısal olarak ortaya konması,
- Performans standartlarının belirlenmesi ve bunun için gerekli olacak ölçümlerin neler olduğunun belirlenmesi,
- Proje hedef ve amaçlarının tespit edilmesi,

- Projede kullanılması gereken olan kaynakların temin edilmesi.

Bu kısımda genel olarak aşağıdaki gibi maddeler vardır;

- Proje onay formu hazırlanmalıdır.
- Süreç haritası çıkarılmalıdır.
- Paydaş analizi yapılmalıdır.
- TGSÇM diyagramı oluşturulmalıdır. (Tedarikçiler, Girdiler, Süreçler, Çıktılar, ve Müşteriler)
- Ürün analizi yapılmalıdır.
- Müşterinin sesi dinlenmelidir.
- Kritik kalite faktörleri tanımlamaları yapılmalıdır.

Ölçüm Aşaması: Ölçüm kısmında süreç iyileştirilirken sürecin mevcut halinin tüm yönlerini açıklayan bilgiler edinilir. Sürecin mevcut performansı ve yapılan iyileştirmelerin etkilerini belirlemek için geçerli ve doğru ölçümler yapılmalıdır, bunu yapmadan belirlemek olanaklı değildir. İlave olarak sürece tesiri olduğu düşünülen kritik kalite karakteristiklerinin etkileri bu kısmın sonunda sayısal olarak yazılır. Bunun sonucunda $y=f(x)$ probleminin tanımı netleştirilir. Burada y sürece etki eden girdilerin fonksiyonudur. Bu aşamanın çıktısı aşağıdaki maddelerde açıklandığı gibidir:

- Çıktıda sürecin mevcut performansı belirlenir,
- Sorunu yada sorunun oluşum sebebini açıklayan veriler bulundurulur,
- Problemin daha detaylı ve spesifik olan tanımıdır.

Bu kısımda çoklukla aşağıdaki araçların yapılması beklenir;

- Detaylı süreç haritası çıkarılır,
- Sebep sonuç matrisi oluşturulur,
- Veri toplama planı oluşturulur,
- Veri toplama formları düzenlenir,

- Kıyaslama yani Benchmark çalışması yapılır,
- Frekans dağılımları çıkarılır,
- Ölçüm sisteminin doğrulanması sağlanır, (tekrarlanabilirlik, tekrar üretilebilirlik vb gibi.)
- Pareto kartları oluşturulur,
- Önceliklendirme matrisi yapılır,
- Süreç yeteneği analizi yapılır,
- Süreç mevcut sigma hesaplaması yapılır,
- Grafik teknikleri oluşturulur,
- Zaman serisi diyagramları çıkarılır.

Analiz Aşaması: Analiz kısmında hedef sorunun temel sebeplerini tanımlamaktır. Bu sorunların sebepleri burada kesin bir şekilde ortaya konulur. Bunu yapmak için ölçüm kısmında toplanmış olan verilerin analizi gerçekleştirilir. Sonrasında zaten bu kısmın çıktısı testi yapılan ve bunun doğrulandığı bir hipotez durumuna gelecektir. Analiz kısmının neticesinde $y=f(x)$ formülünde sürecin iyileştirilebilmesi için gerekli olan x 'ler belirlenmiş olacaktır [42].

Analiz kısmında neden yada nedenler doğrulanır. Bunlar bir sonraki kısmın girdisini oluşturur. Bu kısımda çoklukla aşağıdaki araçların yapılması beklenir;

- Sebep-sonuç diyagramı oluşturulur,
- Histogramlar yapılır,
- Frekans dağılımları oluşturulur,
- Hipotez testlerine bakılır,
- Pareto kartları çıkarılır,
- Regrasyon analizleri gerçekleştirilir,
- Kuvvet alan analizleri gerçekleştirilir,
- Örneklem ve istatistiksel analizler gerçekleştirilir,

- Serpme diyagramları oluşturulur,
- Koşu diyagramları çizilir,
- Süreç analizi gözden geçirilir ve analizi yapılır.

İyileştirme Aşaması: İyileştirme kısmında temel nedenleri ortaya çıkarılan problemlerin ortadan kaldırılması için gerekli olan çözümler denemektedir. Bu çözümler burada uygulamaya konulur. Bu çözümlerin özellikleri genellikle daha iyi bir ekipman, daha iyi bir tahmin, daha iyi bir prosedür veya daha iyi bir programlama şeklindedir. Bu kısımda sonuçların bir sonraki kısımda nasıl değerlendirileceğini ve kullanılacağını açıklayan bir planın da oluşturulması gerekmektedir [42].

Bu kısımda çoklukla aşağıdaki araçların yapılması beklenir;

- Beyin Fırtınası yapılır,
- Konsensus yapılır,
- Yaratıcılık teknikleri oluşturulur,
- Deney tasarımları yapılır,
- İdeal süreç haritaları çıkarılır,
- HMEA ve hata modları etki analizi gerçekleştirilir,
- Planlama araçları oluşturulur,
- Paydaş analizleri gerçekleştirilir,
- Simülasyon programları yapılır.

Kontrol Aşaması: Kontrol kısmında uygulanan iyileştirme planı ve buradan elde edilen sonuçlar değerlendirilir. Amaç elde edilen kazançların devamlı olması yani sürdürülebilmesi ve arttırılarak devam edilebilmesini sağlamaktır. Bunun için yapılması gerekenler ortaya konulur. Genel olarak bu kısmın sonucunda proje ekipleri iyileştirilmiş olan süreci sürecin sahiplerine teslim eder. Bu nedenle bu kısmın içeriğinde eğitim bölümü de mutlaka yer almalıdır [42].

Kontrol kısmındaki çıktılar aşağıdaki şekildedir;

- İyileştirmeye konu olan sürecin son durumu belirlenir,
- İyileştirme sonucu sağlanan kazançlar tespit edilir,
- İyileştirme sonucu ortaya çıkan fırsatlar ve tavsiyeler belirlenir.

Bu kısımda çoklukla aşağıdaki araçların yapılması beklenir;

- Kontrol kartları çıkarılır,
- Kontrol planı oluşturulur,
- Sürecin öncesi ve sonrasını kontrol etmek için frekans dağılımı, pareto kartı vb. kartlar yapılır,
- Kalite kontrol prosesi kartı oluşturulur,
- Standardizasyon çalışması yapılır.

5.2.3 Altı Sigma'da Kullanılan Araçlar

5.2.3.1 Proje Onay Formu (Project Charter)

Altı Sigma metodolojisinin ilk adımı Proje onay formudur. Bu form tanımlama fazında yer alır ve yapılacak projenin başarılı olup olmamasında direkt olarak etkilidir. Proje onay formu proje için gerekli olan kaynakların yada kısıt oluşturan etmenlerin net şekilde belirtildiği bir formdur. Projenin başarılı olmasında bu aracın büyük önemi vardır. Proje onay formu takım motivasyonunu düşürmemelidir, takımın etkinliği azaltmamalıdır. Net ifadelerden oluşmayan bir proje onay formu projenin başarısız olmasına neden olabilmektedir [42].

Proje onay formu projeyi yapan ekibin amacını belirtmelidir. Ayrıca yapılacak olan projenin organizasyonun amacı ile ilişkisini de içermesi gerekir. Bu kısımda aşağıdaki bazı noktalara dikkat edilmelidir:

- Hedef kısmının net olarak ifade edilmesi gerekir.
- Hedef tanımının çok geniş şekilde ifade edilmemesi gerekir.
- Problemin şiddeti ve yapısı tanımlanmalıdır.

- Projelerin organizasyonun başarısında etkin rol oynaması gerekir.
- Belirlenen amaç başka ekiplerin amacı ile çakışmamalıdır, ayrıca onları kapsamamalıdır.
- Belirlenen amaçlar yönetilebilir büyüklüklerde olmalıdır.
- Amaçlar kök nedene atak edecek şekilde olmalıdır.
- Proje göstergeleri mutlaka tanımlı olmalıdır.

Görev tanımları farklı olan ekipler kendi çalışma alanlarının dışına çıkmamalıdır, görev tanımlarının sınırları net olarak belirlenmelidir. Eğer bir çakışma söz konusu olursa proje sponsorları bir araya gelerek görev tanımları ve sorumlulukları tekrar netleştirmelidir.

Proje onay formunun hazırlanmasında 6 temel adım vardır, bunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. Problem tanımının yapılması gerekir,
2. Çıkar yada fayda sağlayacaklar belirlenir ve belirtilir,
3. Sürecin makro ölçekte akışının çıkarılır,
4. Ekip üyelerinin seçilir,
5. Ekibin eğitim gereksinimleri belirlenir,
6. Ekip liderleri seçilir ve atanır,

Bu adımlar detay seviyede gerçekleştirilmez, daha genel seviyede gerçekleştirilmesi sağlanır. Projede ilerleme kaydedildikçe herbir madde ekip tarafından daha detay seviyede incelenir ve gerekli yerler düzeltilir. Bu tip düzeltmelerde proje sponsoru ile iletişim halinde bulunulması elzemdir. Proje onay formunda yapılmış olan revizyonlar yani değişiklikler mutlaka dökümanete edilmelidir ve proje sponsoru tarafından onaylı olmalıdır.

Aşağıdaki başlıklar proje onay formunda yer almaktadır. Kısa açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir:

Proje Adı: Projenin isminin doğru ve uygun şekilde koyulması yapılan çalışmanın ileride başka şahıslara veya takımlara örnek olması bakımında iyi düşünülerek seçilmelidir.

Kara-Yeşil Kuşak: Yeşil yada kara kuşak sahibi kişi süreç iyileştirme projesini yöneten kişi olmaktadır.

Uzman Kara Kuşak: Projeyi yöneten kara yada yeşil kuşaklar karşılaşılan problemlerde bazen bilgi ve desteğe ihtiyaç duyar. İşte o zaman her projede danışabilecekleri bir uzman kara kuşak danışman olarak bulunmalıdır.

Proje Başlangıç Tarihi: Projenin tam olarak ne zaman başladığını göstermek önemlidir. Bir çok firmada ise proje tamamlanma sürelerinin kara kuşak ve uzman kara kuşakların performansını belirlemek için kullanıldığı görülmektedir.

Hedef Tamamlama Tarihi: Hedefi tamamlamak için verilecek olan süre genellikle bir danışman yada uzman kara kuşak tarafından belirlenir. Hedefi gerçekleştirebilmek için verilecek olan sürenin uzunluğu projeyi yapacak takımın projeye ayıracağı mesai zamanlarını, tatil zamanlarını vs. gözönünde bulundurarak belirlenmelidir.

Düşük Kalite Maliyeti: Bu kısımda projenin tamamlanmasının ardından yapılmış olan iyileştirmenin getireceği kazanç yazılmaktadır.

Sürecin Önemi: Bu kısım probleme yönelik yapılan iyileştirmenin firma ya da müşteri açısından önemini açıkladığı kısımdır.

Problem: Süreçte yaşanacak olan bütün problemlerin yazıldığı kısımdır.

Süreç Başlangıç-Bitiş Noktaları: Projede başlangıç ve bitiş noktalarının noktalarının sürecin tanımının netleşmesi açısından belirlenmesi gerekmektedir.

Proje Hedefleri: Projenin sonunda nelerin beklendiği kısımdır.

Proje Ölçümleri: Proje boyunca yapılacak olan bütün ölçümler bu kısımda belirtilir.

Ekip Üyeleri: Projede çalışan ekip üyeleri belirtilmelidir. Burada aşağıdaki roller atanmalıdır:

- Proje üyeleri
- Sponsor

- Proje Lideri

Proje Zaman Çizelgesi: Projedeki kısımlarda hedef başlangıç tarihleri, sunuş zamanları gibi projenin seyrini değiştiren dönüm noktaları zamanlamaları bu kısımda yazılır.

5.2.3.2 TGSÇM - SIPOC Diyagramı

TGSÇM kelimesi İngilizcede Supplier (Tedarikçi), Input (Girdi), Process (Süreç), Output (Çıktı) ve Customer (Müşteri) kelimelerinin baş harflerinden kısaltılmasıyla oluşmuştur. Bu diyagram süreç iyileştirme projelerinde kullanılmaktadır. İyileştirilecek süreçle ilgili tüm elementlerin belirlenmesi sağlayanır [42].

TGSÇM diyagramında kullanılmasını gerektiren bazı sorular aşağıda yazılmıştır:

- Girdilerde ne tür spesifikasyonlar bulunmaktadır?
- Sürecin girdileri kimler tarafından sağlanmaktadır?
- Müşterilerin gereksinimleri, ihtiyaçları nelerdir?
- Sürecin gerçek müşterileri kimdir?

TGSÇM diyagramlarının tamamlanması için aşağıda verilen adımların yapılması gereklidir:

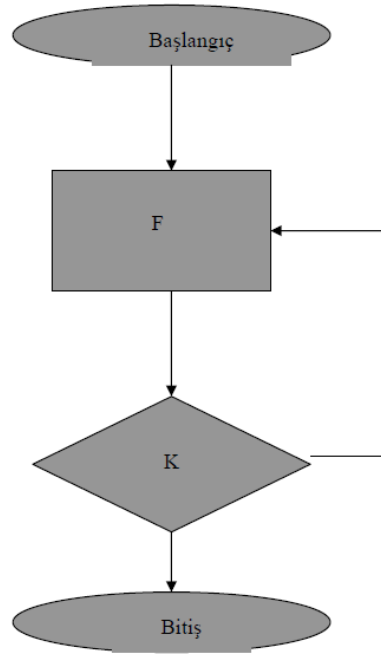
1. Takım TGSÇM diyagramı üzerine ilavelerini yapabileceği bir alan yaratmalıdır. Bu yarattığı alan içerisinde konu başlıkları maddelenmelidir.
2. Süreç 4-5 ana basamakta tanımlanmış olmalıdır.
3. Sürecin çıktılarını tanımlanmış olmalıdır.
4. Sürecin çıktılarını alacak olan müşteriler tanımlanmış olmalıdır.
5. Sürecin doğru işlemesi için gereken girdiler tanımlanmış olmalıdır.
6. Sürecin ihtiyaç duyduğu girdilerin imalatçıları tanımlanmış olmalıdır.
7. Müşterilerin ihtiyaçları ön hazırlık olarak kayda geçirilmelidir. Bu ihtiyaçların doğrulanmasının ölçüm kısmında yapılması gereklidir.
8. Proje şampiyonu, proje sponsoru ve projedeki diğer ekip üyeleri ile yapılan diyagram tartışma sonucunda doğrulanmalıdır.

5.2.3.3 Süreç Haritası

Süreç haritaları bir proses, hizmet veya ürünün izleyeceği gerçek ve ideal olan yolun belirlemesini sağlar. Süreç boyunca olan adımları ve sonuçları içerir.

Altı Sigma'da süreç haritası aracı tanımlama ve iyileştirme kısımlarında kullanılırlar. Projenin tanımlama kısmında sürecin mevcut süreç haritası oluşturulur. İyileştirme kısmında ise ideal süreç haritasının ne şekilde olması gerektiği tartışılır.

Akış diyagramlarında sürece ait iş akışını ve çevrimlerini, başlangıç ve bitiş noktalarını, karar basamaklarını, faaliyet adımlarını göstermek için birtakım sembollerden yararlanılır.



Şekil 5. 2 Akış diyagramı

Akış Diyagramı Nasıl Kullanılır?

1. İlk önce incelenecek sürecin kısımlarını temsil edecek kişilerden bir takım çıkarılır.
2. Sürecin nerede başlayıp nerede biteceğine karar verilir.
3. Süreçteki başlıca karar noktaları ve faaliyetler belirlenir. Bunun için de beyin fırtınası metodundan yararlanılır.
4. Süreçteki başlıca faaliyetler akış yönünü gösteren oklardan faydalanarak sıralanırlar.
5. Karmaşık şekildeki faaliyetler ayrı şekilde gösterilir.

Burada dikkat edilmesi gereken faktörler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- İncelenecek olan sürecin sınırlarının ve içeriğinin tam olarak belirlenmesi elzemdir
- Detay düzeyi akış diyagramında verilmelidir ve önceden belirlenmiş olmalıdır.
- Geri besleme çevirimlerinin tamamının bir çıkış noktası vardır, bu bilinmelidir.

5.2.3.4 Kontrol Listesi:

Kontrol listesi örnek gözlemlerden elde edilen verilerden faydalanır. Kontrol listesi kullanılarak aşağıdaki verilen sorulara cevap bulunmaya çalışılır;

- Ne tarz olaylar olmaktadır?
- Olaylar ne kadar sıklıkta ve ne zaman oluşuyor?
- Olayların yeri neresidir?
- İncelenen olay tek başına mı yoksa diğer birtakım olaylar ile birlikte mi oluyor?
- Unutulan başka herhangi bir şey var mı?

Kontrol Listesi Nasıl Kullanılır?

1. Listede hangi verilere ihtiyacın olduğu tespit edilir.
2. İhtiyaç olunan verilerin kaydedileceği kişisel kontrol listesi formu hazırlanır.
3. Kişisel kontrol listesi formlarından sonuçlar alınır ve sonuçların gösterileceği sonuç kontrol listesi formu hazırlanır.

Burada dikkat edilmesi gereken faktörler aşağıda verilmiştir:

- Gözlenecek olay üzerinde herkesin hemfikir olduğuna emin olunmalıdır.
- Gözlem zamanı belirlenmiş olmalıdır.
- Kolay kullanılacak ve kolay anlaşılır bir form hazırlanmalıdır.
- Veriler toplanırken titiz ve tutarlı olunmalıdır.

5.2.3.5 Pareto Analizi

Pareto analizleri mevcut problemlerin veya şartların bağlı büyüklüğünü ve önemini göstermek için kullanılır. Başlıca hedefleri şunlardır:

1. Problemi çözmek için bir başlangıç noktası seçmek,
2. Probleme ait önemli sebepleri belirlemek,
3. Elde edilecek başarıyı görmek.

Pareto Analizi Nasıl Kullanılır?

1. Diyagramda gösterilecek olan problemlerin seçilmesi gerekir.
2. Ölçüm yapılacak olan standart karşılaştırma birimleri belirlenir.
3. Seçilen problemler elde bulunan verilerden faydalanarak önem sırasına tabi tutulur.
Bunlar diyagramın sol tarafından başlanarak yerleştirilir.
4. Yatay yani X eksenine problemin tipi, düşey yani Y eksenine problemlerin meydana gelme sıklığını gösteren diyagram çizilir. Y ekseninin görevi tekrar edenlerin kümülatif yüzdesini göstermektir.

Burada dikkat edilmesi gereken yerler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Maliyetleri en yüksek olan ve en sık karşılaşılan problemlerin daha sıradan problemler ile aynı yerde olmamalıdır. Örnek verilecek olursa; ölümle sonuçlanan iki trafik kazası, yaralanma ile sonuçlanan 100 trafik kazasından daha fazla dikkat çekmelidir.
- Verilerin toplandığı zaman periyodu açık bir şekilde belirtilmelidir.
- Mümkünse veriler normalize edilmelidir. Böylece verileri gelecekteki pareto diyagramlarında da kullanarak değişimler gösterilebilir.

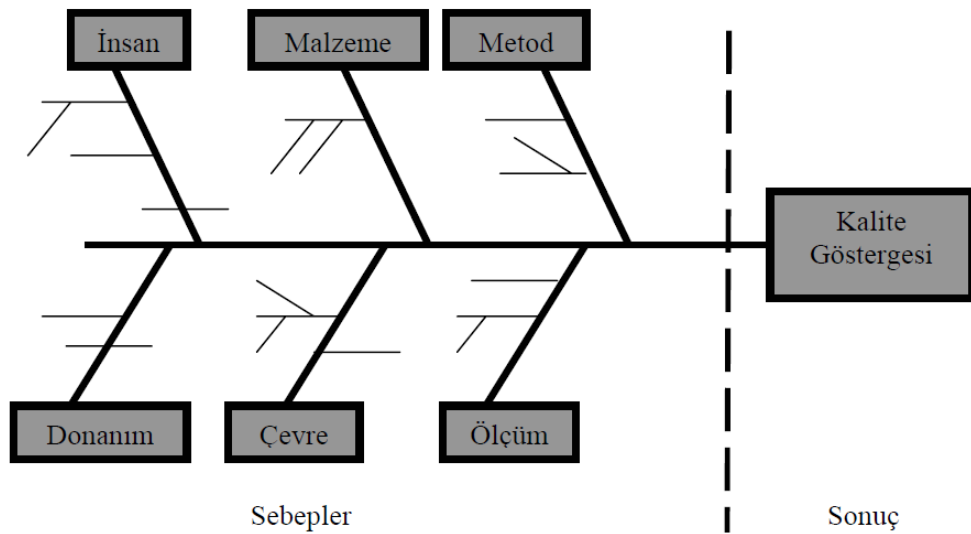
Süreçte yapılan iyileştirme çalışmaları sonrası, gerekli verilerin toplanıp yeni bir pareto diyagramının çizilmesi ile yapılan çalışmaların ne kadar etkin olduğu anlaşılır. Kusurların bazılarının giderildiği durumlarla karşılaşılabılır, ayrıca önem sıralarının değiştiği vs. gibi durumlarla karşılaşılabılır.

5.2.3.6 Sebep-Sonuç Diyagramı

Sebep-sonuç diyagramı şu şekilde tanımlanır: bir olayın ortaya çıkmasına sebep olan durumlara ve bu ilgilenilen olayın şematize edilmesine denir. Görünümleri sebebiyle balık kılıcı isminde olur yada bu diyagramları geliştiren Dr. K. İshikawa'nın adıyla

anırlılar. Görevi ilgilenilen olayın sebeplerinin araştırılmasında sistematik bir yaklaşım oluşturmaktır. Elde edilen sonuçlar, ucunda ok bulunan yatay kalın bir çizgi çizilmek suretiyle bu okun ucuna yazılır ve olayı bu sonuca ulaştıran sebepler de ince oklarla bu ana oktan dallanmak suretiyle yapılır. Sebep - sonuç diyagramı bu şekilde oluşturulur [44].

Sonuçta belirlenen olay olumlu yada olumsuz sonuç içerebilir. Olumlu ise olumlu olmasına neden olan etkenler belirtilebilir, olumsuz olur ise bunu düzeltici eylemlerin başlatılması gerekecektir. Her türlü sonuca ait birçok neden bulunabilir. En bilinen çalışma metodları işgücü, malzeme, ölçüm, çevre ve donanım ana başlıklarında toplanır. Toplanan nedenlerin herbiri bir alt dizi ve bir alt nedene ayrıştırılır. Aşağıda Şekil 5.3'de gösterilen sebep sonuç diyagramında sözü edilen tüm nedenler görülmektedir.



Şekil 5.3 Sebep sonuç diyagramı

Herhangi bir sonucu belirleyen nedenlerin ortaya çıkarılmasında sadece bir kişinin düşünceleri ve deneyimleri yeterli olmamaktadır. Konunun bir grup, gerekirse disiplinler arası bir ekip tarafından ele alınarak tüm olası nedenlerin araştırılması gerekmektedir. Beyin fırtınası tekniği tam da bu kısımda sebep sonuç diyagramı oluşturulması esnasında potansiyel fikirleri ortaya çıkarmak amacıyla kullanılmaktadır. Aşağıda bahsi geçen noktalar beyin fırtınası yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır:

- Her üye sırası ile görüşünü söyleyebilmelidir,
- Görüşlerin niteliğinden görüş çeşidi sayısı önemli olmaktadır,
- Eleştirilere açık olunmalıdır,
- Çözümün temel amaç olduğu rahat hareket edilebilen bir ortam yaratılmalıdır,
- Diyagram herkes tarafından rahatça görülebilmelidir,

İlk beyin fırtınası bittikten sonra ara verilir. Bu aranın sebebi aslında belirtilen görüşlerin olgunlaştırılmasıdır. İkinci oturumda üyelere görüşlerin bulunduğu liste verilir. Yeni görüşler ortaya çıkmamaya başladığında da oturum sona erdirilir. Oluşturulan sebep sonuç diyagramı üzerinde değerlendirme çalışmaları yapılarak en olası sebepler ortaya çıkarılır.

Sebep Sonuç Diyagramı Nasıl Kullanılır?

1. Nedenleri araştırılacak problemleri belirlenir.
2. Kağıdın sol tarafına bir kutu içinde problemin ne olduğu yazılır, bu kutuya yönlenen bir ok çizilir.
3. Temel nedenler beyin fırtınasıyla belirlenir, bunlar kutular içinde ana okla birleştirilir. Dallar ana nedenleri gösterir. Dal sayısının ideali iki ile altı arasında olmalıdır.
4. Herhangi bir nedenin tespiti için sorgulama yapılır. Verilen cevaplar yanlara çizilen dallara eklenir. Bu işlemin temel nedeni bulunana kadar yinelenir.

Burada ise dikkat edilmesi gereken yerler aşağıda madde madde verilmiştir:

- Problemin tanımı konusunda herkesin aynı fikirde olmalıdır.
- Grubun kontrolü ve deneyimi dışında kalan problemler konusunda uğraşılmamalıdır, bunlar için çözüm üretilmeye çalışılmamalıdır.
- Farklı nedenlerin sıklığını belirlemek için gerekli veriler toplanmalıdır.

Bunların dışında serpm diyagramı, histogram, kontrol grafikleri, ağaç diyagramı, ilişkilendirme diyagramı, süreç yeterlilik ölçümleri, ok diyagramı, istatistiksel anlam testleri, deney tasarımı, hata modları ve etkileri analizi, korelasyon ve regresyon analizi, koşu diyagramı, kuvvet alan analizi, müşterinin sesi ve beyin fırtınası araçları kullanılmaktadır.

ENERJİ KULLANIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Günümüzde gelişen teknoloji ve dünya nüfusunun artması sonucu enerji gereksinimi gittikçe büyümektedir. Buna karşılık dünyada kullanılan klasik enerji rezervleri gelecek bir zamanda gereksinimi karşılayamaz ve oldukça pahalı hale gelecektir. Bu nedenle, mevcut enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak ve alternatif enerji türlerini geliştirmek mecburiyeti ortaya çıkmaktadır.

Üretim tesislerinde harcanan en büyük enerji kaynaklarından biri elektrik enerjisidir. Bu enerjinin kullanımı ve verimliliği önemli çalışma konusudur.

6.1 Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kullanımı

Türkiye’de elektrik enerjisi talebi hızla artmaktadır. 1990 yılında 56,8 TWh (terawattsaat), 1998 yılında 114 TWh, 2005 yılında 161 TWh, 2010 yılında 210 TWh, 2015 yılında ise 264 TWh olan tüketimin 2020 yılında 555,7 TWh'e ulaşması beklenmektedir. 1990 yılında 16,3 GW, 1998 yılında 23,4 GW, 2005 yılında 37,5 GW, 2010 yılında 50 GW, 2015 yılında 73,1 GW olan kurulu güç kapasitesinin, 2020 yılında 104,9 GW'a ulaşması beklenmektedir. Kişi başına brüt elektrik enerjisi tüketimi ise 1990 yılında 1013 KWh iken, 1998 yılında 1797 KWh, 2005 yılında 2310 KWh, 2010 yılında 2877 KWh, 2015 yılında 3373 KWh olarak gerçekleşmiş, 2020 yılında ise 6794 KWh'e ulaşması beklenmektedir.

1997 yılında 1653 kWh olan Türkiye kişi başına elektrik enerjisi tüketimi, Dünya ortalamasının dörtte üçü, AB ortalamasının yaklaşık dörtte biri, OECD ortalamasının ise yaklaşık beşte biri seviyesindedir.

Çizelge 6. 1 Elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere dağılımı (GWh)

	1990	1995	1996	1997	1998
SANAYİ	29212	38007	40638	43491	46139
KONUT VE HİZM.	16688	27384	31155	35778	38567
TARIM	575	1513	1825	2012	2348
ULAŞTIRMA	345	490	539	604	651
TOPLAM	46820	67394	74157	81885	87705
KİŞİ BAŞ.TÜK. kWh (Net)	835	1112	1205	1310	1382

Çizelge 6. 2 Uzun dönemli elektrik enerjisi talebi ve projeksiyonu (GWh)

	2000	2005	2010	2015	2020
SANAYİ	52728	86891	143925	206355	295161
KONUT VE HİZMETLER	42518	69616	99326	132138	175790
TARIM	2670	3318	4428	5595	7069
ULAŞTIRMA	989	1779	2663	3807	5442
NET TALEP	98905	161604	250342	347895	483462
BRÜT TALEP	126800	196610	294530	404560	555690
KİŞİ BAŞ.TÜK. kWh (Brüt)	1941	2816	3974	5196	6794

6.2 Sanayide Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği, endüstri işletmelerinde üretim miktarı ve kalitesinin düşüşüne sebebiyet vermeden, üretilecek olan her bir ürün başına enerji sarfiyatının azaltılmasıdır.

Endüstride enerji verimliliği daha geniş bir biçimde şu şekilde tanımlanır; gaz, buhar, ısı, hava, elektrik vb. enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri kazanımını ve değerlendirilmesini sağlamak veya ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebini azaltmak, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemler almaktır.

Enerji tasarrufu kavramı, günlük hayatımızda olduğu kadar bu enerjinin çok büyük bir bölümünü kullanan endüstriyel tesislerde de hayati önem taşımaktadır. Tasarruf aynı işi daha az enerji kullanarak yapmaktır. Enerji tasarrufu enerjiyi kullanmamak anlamına gelmemektedir.. Enerji tasarrufu, bilinen genel yöntemleri, geliştirme prosedürlerini ve yeni teknolojileri kullanarak ve sosyal hayatın standartlarını dikkate alarak enerjiyi daha etkin bir şekilde kullanmaktır. En ucuz enerji tasarruf edilen enerjidir. Türkiye’de enerji tüketiminin % 41’i endüstriyel tesislerde, % 31’i binalarda ve % 20’si taşımacılıkta yapılmaktadır. Türkiye’de endüstriyel tesislerde yıllık 42920 TWh’ a denk düşen bir enerji tüketimi vardır. Yapılan bazı çalışmalar, Türk sanayisinde kullanılan enerjinin % 30’unun tasarruf edilebileceğini göstermiştir.

Bir fabrikada üretim maliyetleri işletme, hammadde, işçilik ve enerji maliyetlerinin toplamını içerir. Genellikle enerji, açık bir şekilde toplam üretim maliyetlerine dahil edilir ve ayrı bir kalem olarak dikkate alınmaz. Enerji maliyetleri fabrikanın özelliğine bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin bir kısmını ve bazen de önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Fabrikalarda tüketilen elektrik enerjisi miktarı düşürülmelidir. Böylece tüm sistemin verimleri artacaktır.

Türkiye’de beyaz eşya sektöründeki ilk üretim 1955 yılında İstanbul’da gerçekleşmiştir. Bu sözedilen montaj sanayisine dayalı bir üretimdir. Türkiye’de sırasıyla İlk yerli çamaşır makinesi üretimi 1959 yılında, ilk buzdolabı üretimi 1960 yılında, otomatik çalışan ilk çamaşır makinesi üretimi ise 1974 yılında gerçekleşmiştir. Günümüzde Türkiye’de beyaz eşya sektörünün hala gelişmekte olan teknolojisi vardır. Tesislerde üretim hacmi ve buna bağlı olarak ihracat kapasitesi artmaktadır. Ayrıca genişleyen yan sanayi kolları Türkiye’nin ekonomisinin gelişmesinde önemli katkılar vermektedir. Türkiye’de beyaz eşya üretim sektörü 1996 yılında Avrupa Birliği ve Türkiye arasında imzalanan Gümrük Birliği anlaşmasının ardından dış pazara açılması ile birlikte rekabet gücü kazanmıştır.

2012 yılı beyaz eşya üretim sektöründe yerli ve yabancı sermayeli firmaların yerleşik tesisleriyle beaber üretim yapmaları açısından bir dönüm olmuştur. Bu firmalar beyaz eşya için en çok satılan ürünlerde iç piyasa talebinin yaklaşık olarak %90’ını karşılamaktadır. Aşağıdaki çizelgede Türkiye’de beyaz eşya satışlarında 2003-2008

yılları arasında görülen gelişim gösterilmiştir. Çizelgeye göre 5 yıl içerisinde tüm ürünlerde artış görülmektedir.

Çizelge 6. 3 Türkiye’de Beyaz Eşya Satışları

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Buzdolabı	1361	2015	2094	2066	1933	1822
Çamaşır Mak.	1075	1961	1890	1854	1552	1526
Bulaşık Mak.	262	528	632	832	980	974
Fırın	362	574	672	710	668	675
Klima	-	753	1118	1269	1211	1106

Türkiye’de enerjinin daha verimli kullanılması için 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu çıkarılmıştır. Ayrıca buna paralel şekilde 2008 yılında da Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik yürürlüğe girmiştir. 5627 sayılı Enerji Verimliliği kanunundaki hedeflenen de bu doğrultuda, enerji verimliliğinin arttırılması, desteklenmesidir. Halk arasında enerji tasarrufunun önemi ve bilincinin yerleştirilmesidir.

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından enerji verimliliği ve tasarrufu amacına uygun olarak kamu kurum ve kuruluşlarının hizmet içi eğitimlerinde konunun etraflıca ele alınması ve üzerinde çalışılması kararı alınmıştır. Buna ilave olarak kamuoyunu bu konuda bilinçlendirebilmek için bölgesel ve ulusal yayın yapmakta olan televizyon ve radyo kanallarında enerji verimliliğinin önemi ile ilgili yayınların yapılması amaçlanmıştır.

Son yıllarda üretim yapan endüstriyel tesislerin üretim birimlerindeki enerji kayıplarının tespit çalışmaları yapılmış, bu tesislerin daha az kayıp yaşaması ve daha fazla verim elde edilebilmesi üzerine çalışmalar hayata geçirilmiştir.

BUZDOLABI ÜRETEBİR ÜRETİM HATTINDA ÜRETİM TEMPOSUNUN ARTIRILMASI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN SAĞLANMASI

Bu bölümde buzdolabı üreten bir fabrikanın üretim hattında üretim temposunun yükseltilmesi ve enerji verimliliği sağlanması amacıyla yapılmış olan projenin aşamaları mevcuttur. Proje boyunca özet kısımlarında bahsedildiği gibi gerekli olan, montaj hatlarının dengelenmesinden, iş etüdü kavramından, yalın üretim ve 6 sigma konularından ve metodlarından faydalanılmıştır.

7.1 Projede Araştırılacak Problemin Tespiti ve Projenin Amacı

Projede üzerinde çözüm üretilecek olan problemler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Buzdolaplarının omurgası olarak nitelenen ve rijitliği sağlayan “kabindibi” adı verilen plastikten veya kağıt malzemeden oluşan ekipman bulunmaktadır. Mevcut buzdolaplarında kağıt kabindibi kullanılmaktadır ve kağıt kabindibi ekipmanı ile üretim yapılmasının, üretim hattı üzerinde bulunan poliüretan öncesi ve orta montaj kısmı operasyonlarının yoğunluğu sebebiyle “tempo düşüklüğü” problemini oluşturmaktadır.
- Belirlenen model buzdolaplarında üretim hattında kağıt kabindibi ile üretim yapılan tek modelin olması sebebiyle üretim hattında işçiler tarafından adaptasyon sorunu yaşanmaktadır. (Diğer tüm modellerde kabindibi ekipmanında plastik malzemesi kullanılmaktadır.)



Şekil 7. 1 Buzdolabında kabindibi bölgesi

Projenin amacı ekipman değişikliği yaparak bahsedilen problemlerin ortadan kaldırılması ile vardiyalık üretim temposunun yükseltilmesi ve üretim hattında enerji verimliliği eldesidir.

- Kağıt kabindibinden plastik kabindibine tasarımsal olarak geçiş yapılarak poliüretan öncesi ve montaj hattı operasyonlarının azaltılması sağlanacaktır.
- Kritik operasyonlardaki işçilikler azaltılarak bu ürünlerde üretim temposu yükseltilecektir.

7.2 Projenin 6 Sigma Metodolojisiyle Gerçekleştirilmesi

Daha önceki kısımlarda bahsedildiği gibi müşteri memnuniyeti düşünülerek yapılan Altı Sigma projeleri arasında en çok kullanılan metod TÖAİK metodolojisidir. Bu metod, tanımlama, ölçme, analiz, iyileştirme ve kontrol fazlarından oluşmaktadır. Proje boyunca bu kısımlar ele alınmıştır.

7.2.1 Tanımlama

7.2.1.1 Proje Sözleşmesi

Proje sözleşmesi tanımlama aşamasında bulunur ve 2 sayfadan oluşmaktadır. Aşağıda gösterilen matbu formundadır ve proje öncesi bu sözleşmeler doldurulur.

Çizelge 7. 1 Proje sözleşmesi

Proje No:			
TOAIK Projesinin Adı:			
İlgili Direktörlük:		Süreç Sahibi:	
Proje Lideri:		Tarih & İmza:	
Altı Sigma Lideri:		Tarih & İmza:	
Proje Sponsoru:		Tarih & İmza:	
Ekip Üyeleri:			
Revizyon:			
PROJE TANIMI			
Problem Tanımı:	Projenin Kapsamı:		
	Proje Kapsamındaki Sürecin Başlangıcı:		
	Proje Kapsamındaki Sürecin Bitişi:		
Projenin Hedefi:	Kapsam:		
	Kapsam Dışı:		
	Müşteri Kapsamı:		
PROJE GÖSTERGELERİ			
Göstergeler	Mevcut Durum	Hedef	Gerçekleşen
KİLOMETRETAŞLARI			
	Hedeflenen Bitiş Tarihi	Gerçekleşen Bitiş Tarihi	Notlar
Tanımlama			
Ölçme			
Analiz			
İyileştirme			
Kontrol			
FINANSAL GETİRİ			
	Hedeflenen	Gerçekleşen	Notlar
Toplam Nakit Getiri			
Toplam Potansiyel Getiri			
Toplam Proje Maliyeti			
Toplam Net Getiri			
DESTEK İHTİYACI*			
Gerekli Destek	Desteği Sağlayacak Kişi	Açıklamalar	Onaylayan / Tarih / İmza
UMY			
TEKRARLAMA / BAŞKA ALANLARA UYGULAMA FIRSATLARI			
Bu iyileştirmelerin uygulanabileceği diğer işletmeler, ürünler, bölgeler, vs.			
Bu proje başka alanlarda uygulanılmak istense göz önünde bulundurulması gereken özel durumlar var mı?			

7.2.1.2 Üst Düzey Süreç Haritası

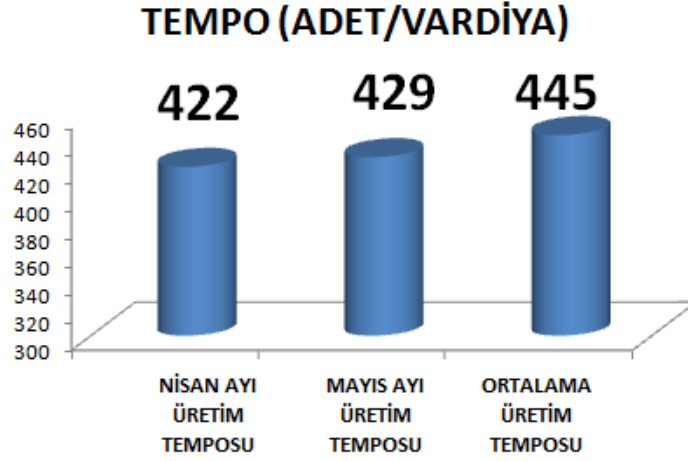
Üst düzey süreç haritası da tanımlama kısmında yer alır ve projeden etkilenen tedarikçiler, girdiler, süreç, çıktı ve müşteri kısımlarından oluşur.



Şekil 7. 2 Üst düzey süreç haritası

7.2.1.3 Problem Tanımı - KİK Ağacı & Gösterge & Hedef

Projede belirlenen problem tanımı şu şekildedir: Üretim hattında tüm ürünler bazında ortalama vardiyalık üretim temposu 445 adettir. Belirlenen modelde kağıt malzemeden olan kabindibi ile üretim yapıldığında Nisan ayı üretim temposu 422 adet/vardiya, Mayıs ayı üretim temposu ise 429 adet/vardiya olmuştur. Bu adetler üretim hattının ortalama temposundan daha düşüktür, üretim hızını düşürücü etkiye sahiptir. Dolayısıyla bu ürünlerin üretim temposunu artırmak gerekir.



Şekil 7. 3 Tempo (Adet/Vardiya)

Tanımlama kısmında yer alan bir başka tablo ise KİK ağacıdır. KİK kalite için kritik anlamına gelir ve problemi çözmek için odaklanılması gereken yeri ifade eder. Projede bu iç tasarımda yapacağımız değişiklik anlamına gelir. (Kabindibi ekipmanında kağıttan plastik malzemeye geçiş)

Gösterge & hedef değeri belirlenen model için üretimi 525 adet/vardiya olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7. 2 KİK ağacı & gösterge & hedef

KİK AĞACI (Kalite için kritikler)			
Proje Adı: Belirlenen Model Ürünün Üretim Temposunun Artırılması			
Proje Lideri: Hakan ÖZYURT			
Müşterinin Sesi	Beklentiler	KİK	Gösterge
Ürünlerin vardiya başına üretim hızının yüksek olması.	Kağıt kabindibi ile üretimin getirdiği fazla operasyonların kaldırılması	İç Tasarım	Tempo (525 adet/vardiya)
Üretim hattında modeller arasında tasarım farklılığı sebebiyle adaptasyon sorunu olmamalı.	Üretilen tüm modellerin plastik kabindibi ile üretilmesi	İç Tasarım	Tempo (525 adet/vardiya)

7.2.2 Ölçme

6 Sigma TÖAİK metodunda 2. aşama ölçme kısmıdır. Bu kısımda Gage R&R çalışması yapılmıştır. Gage R&R bir ölçüm sistemi analizidir ve ölçüm sistemimizin yeterli olup olmadığını tespit etmeye yarar.

Çevrim süresi 51,2 saniye olan panel kenet istasyonu örnek alınarak 2 MTM operatörü (Measuring Timing Methoding – Ölçme Zamanlama ve Metodolojiden Sorumlu

Operatör) ile birlikte her bir operatör için 5 farklı numunede (buzdolabı) 4'er adet ölçüm alınmıştır. Kronometre ile yapılan ölçümler aşağıdaki tabloya aktarılmıştır.

Çizelge 7. 3 Ölçüm sonuçları

NUMUNE	MTM OPERATÖRÜ	ÖLÇÜM	NUMUNE	MTM OPERATÖRÜ	ÖLÇÜM	NUMUNE	MTM OPERATÖRÜ	ÖLÇÜM
1	Ekrem	51,1	3	Ekrem	51,3	5	Ekrem	51,25
1	Ekrem	51,1	3	Ekrem	51,3	5	Ekrem	51,25
1	Ekrem	51,1	3	Ekrem	51,3	5	Ekrem	51,2
1	Ekrem	51,1	3	Ekrem	51,3	5	Ekrem	51,25
2	Ekrem	51,2	4	Ekrem	51,2			
2	Ekrem	51,15	4	Ekrem	51,2			
2	Ekrem	51,2	4	Ekrem	51,2			
2	Ekrem	51,2	4	Ekrem	51,15			

NUMUNE	MTM OPERATÖRÜ	ÖLÇÜM	NUMUNE	MTM OPERATÖRÜ	ÖLÇÜM	NUMUNE	MTM OPERATÖRÜ	ÖLÇÜM
1	Niyazi	51,1	3	Niyazi	51,3	5	Niyazi	51,25
1	Niyazi	51,15	3	Niyazi	51,3	5	Niyazi	51,25
1	Niyazi	51,1	3	Niyazi	51,25	5	Niyazi	51,25
1	Niyazi	51,1	3	Niyazi	51,3	5	Niyazi	51,25
2	Niyazi	51,2	4	Niyazi	51,16			
2	Niyazi	51,2	4	Niyazi	51,2			
2	Niyazi	51,2	4	Niyazi	51,2			
2	Niyazi	51,2	4	Niyazi	51,2			

Daha sonra tablodaki değerler Minitab' e girilmiş ve programda ilgili sonuçlara ulaşılmıştır.

Gage R&R

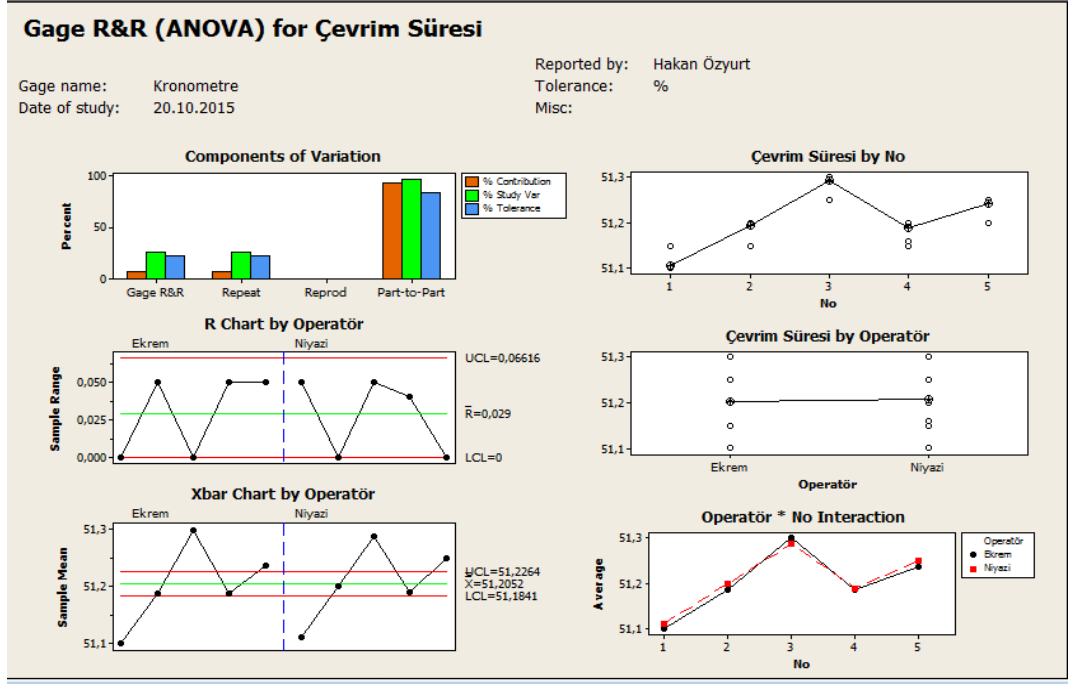
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0003393	6,55
Repeatability	0,0003393	6,55
Reproducibility	0,0000000	0,00
Operatör	0,0000000	0,00
Part-To-Part	0,0048376	93,45
Total Variation	0,0051769	100,00

Process tolerance = 0,5

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0184191	0,110515	25,60	22,10
Repeatability	0,0184191	0,110515	25,60	22,10
Reproducibility	0,0000000	0,000000	0,00	0,00
Operatör	0,0000000	0,000000	0,00	0,00
Part-To-Part	0,0695528	0,417317	96,67	83,46
Total Variation	0,0719504	0,431702	100,00	86,34

Number of Distinct Categories = 5

Şekil 7. 4 Minitab'de gage R&R modülü sonuçları



Şekil 7. 5 Minitab'de gage R&R modülü sonuçları

Minitab'de yapılan çalışmada çıkan tabloya göre;

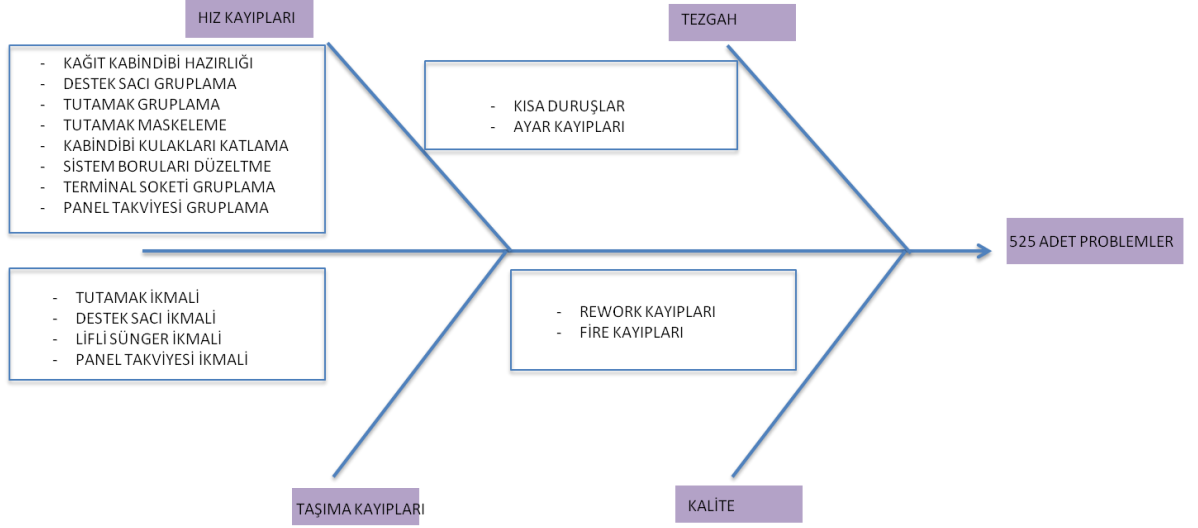
- Part to part değeri 90' dan büyük,
- Study variation ve tolerance değerleri 30' dan küçük,
- Number of distinct categories değeri ise 4'den büyük olduğundan

MTM operatörlerinin aldığı ölçülere güvenilir ve ölçüm sistemi yeterlidir sonucuna ulaşılmıştır.

7.2.3 Analiz

7.2.3.1 Balık Kılıçığı

Balık Kılıçığı çalışması ile çıktıyı etkileyen tüm girdiler belirlenmeye çalışılmıştır. Girdiler hız kayıpları, taşıma kayıpları, tezgah, kalite problemleri olarak belirlenmiş, çıktı ise hedef üretim tempo değeri olan 525 adet/vardiya olarak belirtilmiştir.



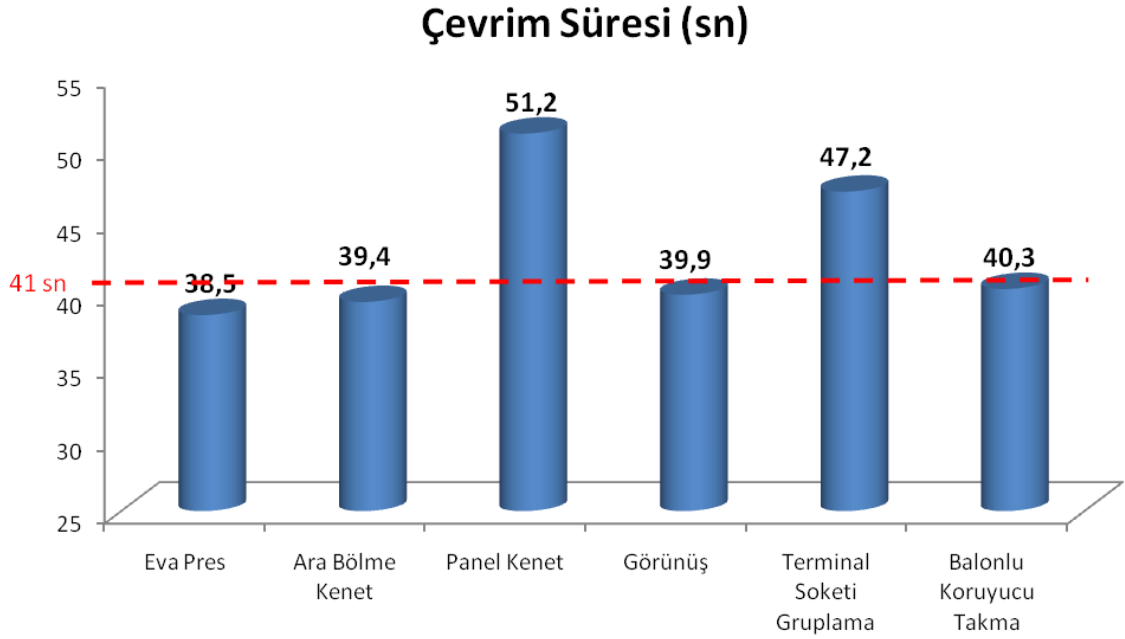
Şekil 7. 6 Balık kılıçığı

7.2.3.2 Hedef Çevrim Süresini Aşan Kritik Operasyonlar

Analiz kısmının bu bölümünde tempo düşüklüğü yaratan yani vardiyalık 425 adet ürün üretme kapasitesine sebep olan operasyonlar ortaya çıkarılmıştır. Hedef değer olan 525 adet/vardiya temposunu yakalayabilmek için gerekli maksimum çevrim süresine sahip operasyon 41 saniyelik bir istasyonda bulunmalıdır. 41 saniye kritik çevrim süresidir ve bu değerden daha yüksek operasyon süresine sahip olanlar 41 saniyenin altına düşürülmediği müddetçe hedef değere ulaşamayacaktır.

41 saniyelik kritik çevrim süresi denklem (3.2)' den hat verimliliği %85 değeriyle çarpılarak bulunmuştur. Yani;

$$C = \frac{T (\text{Kullanılabilir Üretim Süresi})}{\text{ÜS} (\text{Üretilmek İstlenen Ürün Sayısı})} = C = \frac{T (425 \text{ Dakika} \times 60 \text{ Saniye})}{\text{ÜS} (525 \text{ Adet})} \times 0,85 = 41,28 \text{ saniye} \approx 41 \text{ saniye}$$



Şekil 7. 7 Ele alınan istasyonlardaki çevrim süreleri

Grafiğe göre model için hedef çevrim süresi olan 41 saniyeyi aşan kritik istasyonlar belirlenmiştir. Bu istasyonlardaki operasyonlar panel kenet ve terminal soketi gruplama operasyonlarıdır.

Bu istasyonlarda iyileştirmeler yapıp çevrim süreleri 41 saniyenin altına düşürülmelidir.

7.2.4 İyileştirme

2 adet tespiti yapılan kritik operasyonlarda tasarım değişiklikleri yani iyileştirmeler yapılmıştır. Bunların kapsamı aşağıdaki gibidir.

7.2.4.1 Panel Kent İstasyonundaki Kaldırılan Operasyonlar

- Kağıt kabindibinde bulunan gövdenin arka duvar plastiği kulaklarını düzeltme, katlama işlemleri ortadan kaldırılmıştır.
- Kağıt kabindibinde bulunan ısıtıcı boruya form verme operasyonu ortadan kaldırılmıştır.

- Kağıt kabindibinde bulunan kabindibi destek sacı ile panel takviyesini birleştirme, kabindibi arkaduvar plastiğini paneldeki takviyeye gruplama işlemleri ortadan kaldırılmıştır.
- Kağıt kabindibinde bulunan panel ile sac takviye birleşimini yapıştırma, eşanjör borularını yapıştırma işlemleri ortadan kaldırılmıştır.

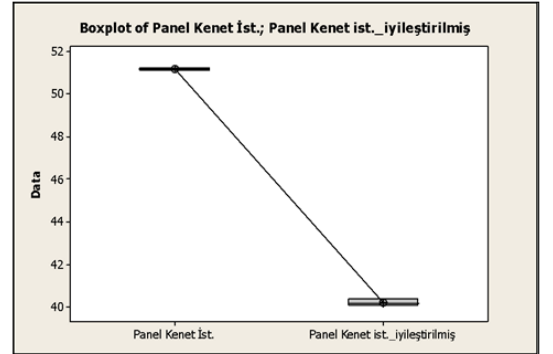
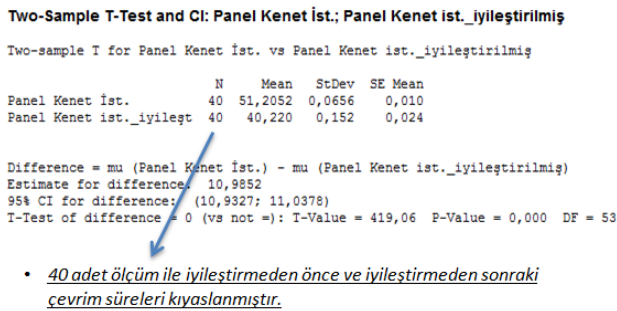
7.2.4.2 Terminal Soketi Gruplama Operasyonunda Yapılan Değişiklikler

- Kağıt kabindibinde filtreyi arka ayağa sıkma, braketin kompresöre oturulması, gövdeden gelen soketlerin bantlarını çıkarma, 3 ayrı soketin gruplamasını yapma, kablo tutucuyla birlikte gövdeden gelen kablo grubunu sabitleme işçilikleri mevcuttur. Plastik kabindibine geçilerek terminal grubunun soketinin gövdeden çıkan soket yuvasına takılması yeterli olmuştur.

7.2.5 Kontrol

6 Sigma TÖAİK metodolojisinde kontrol kısmında yapılan iyileştirmelerin Minitab programında sonuçları tartışılmıştır.

Panel Kenet İstasyonu



Şekil 7. 8 Panel kenet istasyonu için Two Sample Ti testi

Two sample t testi ile yapılan iyileştirmelerin doğruluğu analiz edilmiştir:

- %95 güven aralığında P değeri 0,05 ten küçüktür, fark vardır.

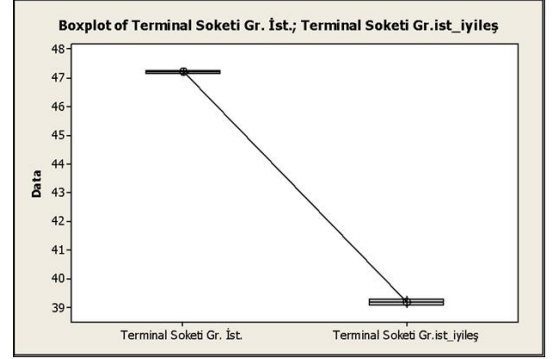
Terminal Soketi Graplama İstasyonu

Two-Sample T-Test and CI: Terminal Soketi Gr. İst.; Terminal Soketi Gr.ist_i

Two-sample T for Terminal Soketi Gr. İst. vs Terminal Soketi Gr.ist_iyileş

	N	Mean	StDev	SE Mean
Terminal Soketi Gr. İst.	40	47,2052	0,0656	0,010
Terminal Soketi Gr.ist_i	40	39,203	0,131	0,021

Difference = μ (Terminal Soketi Gr. İst.) - μ (Terminal Soketi Gr.ist_iyileş)
 Estimate for difference: 8,0027
 95% CI for difference: (7,9563; 8,0492)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 345,34 P-Value = 0,000 DF = 57



Şekil 7. 9 Terminal soketi gruplama istasyonu için Two Sample Ti testi

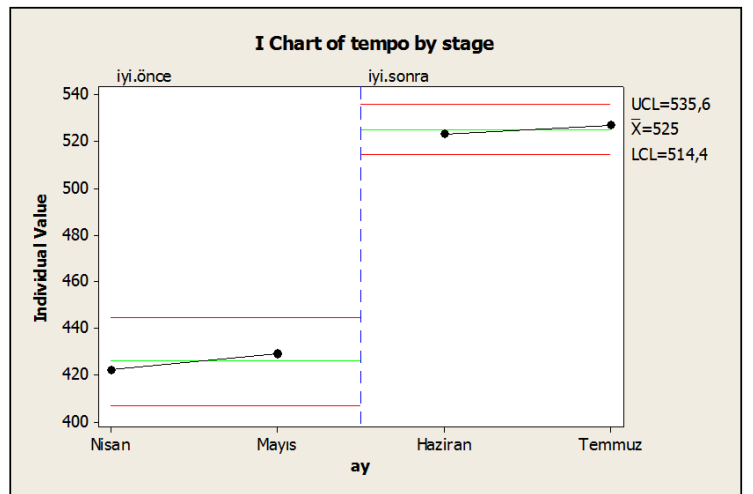
Two sample t testi ile yapılan iyileştirmelerin doğruluğu analiz edilmiştir:

- %95 güven aralığında P değeri 0,05 ten küçüktür, fark vardır.

Minitab'de yapılan Two Sample Ti testi sonuçlarına göre 40 adet ölçüm ile iyileştirmeden öncesi ve sonrasındaki çevrim süreleri kıyaslanmıştır. Panel kenet istasyondaki operasyon süresi 40 saniyeye, terminal soketi gruplama istasyonundaki operasyon süresi ise 39 saniyeye düşmüştür, bu değerler 41 saniyenin altında olduğu için hedef değerleri desteklemektedir.

Belirlenen model ürünlerdeki analizi yapılan istasyonlardaki çevrim süresini azaltmak için yapılan iyileştirmeler sonucunda; Minitab'de Control Chart tablosunda 2015 yılının Nisan-Mayıs aylarında iyileştirmelerden önce ve Haziran - Temmuz aylarında iyileştirmelerden sonraki tempolar gösterilmiştir.

↓	C1-T	C2	C3-T
	ay	tempo	stage
1	Nisan	422	iyi.önce
2	Mayıs	429	iyi.önce
3	Haziran	523	iyi.sonra
4	Temmuz	527	iyi.sonra



Şekil 7. 10 İyileştirmeden öncesi-sonrası için I Chart testi

Kontrol aşamasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Üretim Hattında denenen 10 adet plastik kabindibi ile üretilen ürünlerde problem olmadığı gözlenmiştir.
- Plastik kabindibindeki köşelerden eksik dolgu/poliüretan taşığının olup olmadığı gözlenmiştir.
- Deneme üretiminin ardından 100 adetlik imalat içerisinde problem olup olmadığı gözlenmiştir.
- Haziran ayında 2000 adetlik seri üretim gerçekleştirilmiştir.

Kontrol aşamasının sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

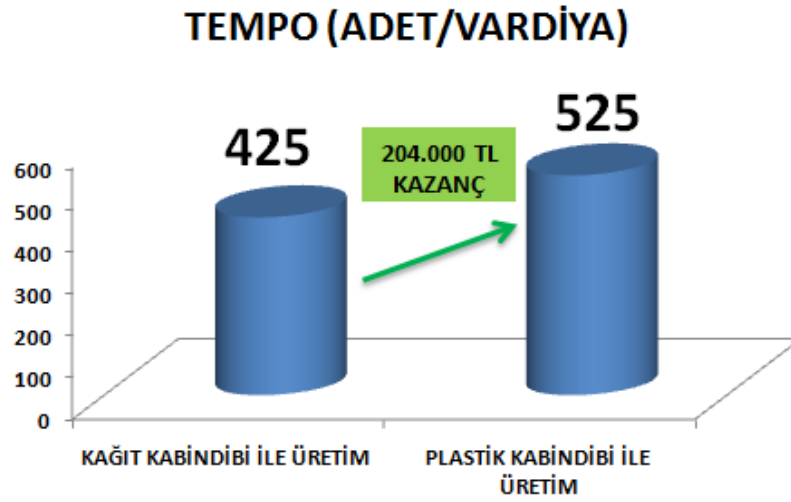
- Üretimi etkileyecek eksik dolgu/poliüretan taşığının olmadığı gözlenmiştir.
- Plastik kabindibi ile üretimde kağıt kabindibine göre panel takviyesi hazırlık, panel kenet operasyonları ve terminal soketi gruplama operasyonlarına bağlı olarak 4 adam/vardiya kazanç sağlanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

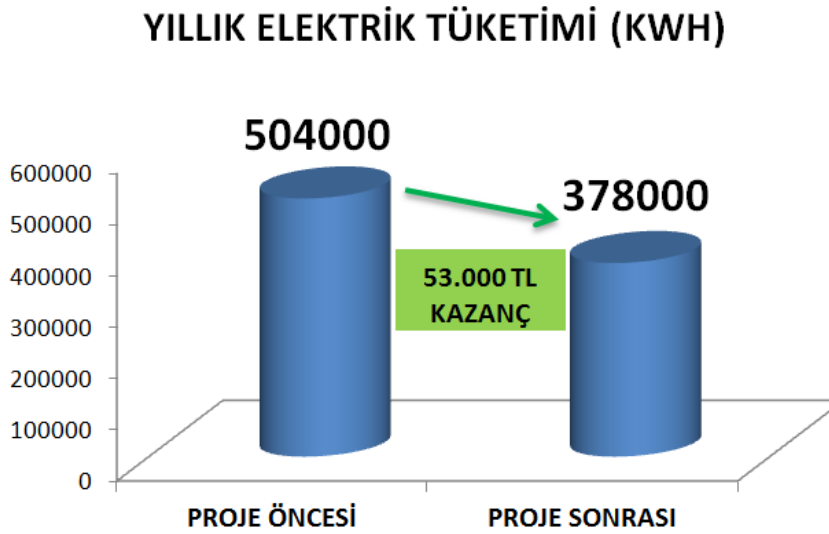
- 6 Sigma araçları kullanılarak yapılan analiz çalışmaları sonucunda yol haritası belirlenmiştir.
- Mayıs ayındaki deneme üretimlerinin ardından Haziran ayında yapılan seri üretim olumlu sonuçlanmıştır.
- Belirlenen ürünün üretim hattındaki vardiyalık temposu %23,5 artmıştır.
- Bu tempo artışıyla birlikte 1 vardiyada (425 dakika – 7,08 saat) üretilen 425 adet ürün, 343 dakikada (5,73 saat) üretilebilir hale gelmiş, 425 adet ürün için sağlanan 1,35 saatlik kazanç yıllık 12600 üretim adedi için 40 saat olmuş, üretim hattında çalışan ve saatlik ücreti 10 TL olan 150 personel için 40 saatlik kazanç $150 \times 10 \times 40 = 60000$ TL işçilikten azalma ile sağlanan net kazanç olarak hesaplanmıştır.
- Belirlenen ürünlerin plastik kabindibi ile üretiminde kağıt kabindibine göre 4 adam/vardiya kazanç sağlanmıştır.
- Üretim hattında aylık brüt ücreti 3000 TL olan 4 personelin tasarrufu ile yıllık $3000 \times 4 \times 12 = 144000$ TL net kazanç olarak hesaplanmıştır.
- İşçilikten azalma ile sağlanan ve personel kazancından sağlanan net kazanç toplamı yıllık $60000 + 144000 = 204000$ TL olmuştur.
- Üretim hattında elektrik tüketimi 1 yılda 40 kwh/eşdeğer ürün'dür. Üretim hattının yıllık üretim adedi $445 (1 \text{ vardiyada}) \times 3 \text{ vardiya} \times 26 \text{ iş günü} \times 12 \text{ ay} = 416520$ adettir. Yıllık elektrik tüketimi $416520 \times 40 = 16660800$ kwh'dir. Bu miktar 12600

adet ürün için $(16660800 \times 12600) / 416520 = 504000$ kwh olmaktadır. Temponun %23,5 artırılmasıyla şunda 12600 adet ürün için harcanılan elektrik enerjisi $504000 \times 0,75 = 378000$ kwh olmuştur.

- Sonuç olarak üretim hattında çalışan makinelerden, elektrik tüketen cihazlardan elde edilen tasarruf 126000 kwh'dir.
- Üretim hattında sağlanan 126000 kwh elektrik enerjisi tasarrufundan yıllık 53000 TL kazanç sağlanmıştır. (1 kwh elektrik enerjisinin tüm bedeller, fonlar ve vergiler dahil fiyatı 42 kuruştur olarak alınmıştır.)
- Proje, verilere göre amacına ulaşmıştır.



Şekil 7. 11 Sonuçlar - Tempo artışı



Şekil 7. 12 Sonuçlar – Elektrik tasarrufu

KAYNAKLAR

- [1] Elwoods, B., (1965). Modern Production Management, John Willey and Sons, Inc.
- [2] Özkan, R., (2003). Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Genetik Algoritma İle Çözüm Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Acar, N., Eştaş, S., (1986). Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Plânlama ve Kontrol Çalışmaları, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, No:309, Ankara, 2. Basım.
- [4] Ağpak K., Gökçen H., Saray N. ve Özel S., (2002). " Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel" Gazi Üni. Müh. Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(4), 115-124
- [5] Uzmen, M., (1990). Montaj Hattı Dengeleme, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Maynard, H.B., (1969). Industrial Engineering Handbook, Mc GrawHill Company, Newyork.
- [7] Torkul, O., Mühendislik Ekonomisi, Montaj Hattı Dengeleme, <http://www.erhanpolat.net/resimler/files/montjornek.pdf>
- [8] Acar N. ve Eştaş S., (1991). Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama Ve Kontrol Çalışmaları, Milli Prodüktivite Yayınları: 309, Üçüncü Baskı, Mpm Endüstri Şubesi, Ankara
- [9] Carlson, J.G., (1962). Production Standarts for Small Lot Manufacturing, Journal of Industrial Engineering, 13 (3), 496-502
- [10] Wee, T.S., Magazine, M.J., (1982). Assembly Line Balancing as Generalised Bin Packing, Operations Research Letters, 1 (2), 56-58.
- [11] Ignall, E.J., (1965). Parelel Sequencing and Assembly Line Problems, Operations Research, 9 (6), 841-848.
- [12] Lehman, M., (1969). On Criteria for Assigning Models to Assembly Lines, International Journal of Production Research, 7 (4), 269-285.

- [13] Sniedovich, M., (1981). Analysis of Preference Order Assembly Line Problem, Management Science, 27 (9), 1067-1104.
- [14] Dar-El, E.M. ve Rubinovitch, M., (1979). MUST-A Multiple Solutions Technique for Balancing Single Model Assembly Lines, Management Science, 25 (11), 1105-1114.
- [15] Brosch, A, ve Wiendahl, H.P., (1990). Simultaneous Assembly: Shortening Production Time, Industrial Management and Data Systems, 90 (4), 6-12.
- [16] Kao, E.P.C., (1979). Computational Experince with a Stochastic Assembly Line Balancing Algorithm, Computers&Operations Research, 6 (2), 79-86.
- [17] Shin, D. ve Min, H., (1991). Uniform Assembly Line Balancing with Stochastic Task Times, Management, 11 (8), 23-24.
- [18] Tanyaş, M., (1995) Endüstri Mühendisliğine Giriş, Cilt 1, Bölüm 3: İş Etüdü ve Ergonomi, 47-98, İrfan Yayınları.
- [19] Kobu, B., (1979). Üretim Yönetimi, İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme İktisadi Enstitüsü Yayınları.
- [20] Koç, B., (1999). Örme Konfeksiyonda Üretim Yönetimi ve Optimizasyon Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Hatiboğlu, Z., (1996). Üretim Yönetimi ve Yöneylem Araştırmasına Giriş, Sedok Yayınları.
- [22] Kavrakoglu, I., (1996). Toplam Kalite Yönetimi, Kal-Der Yayınları, İstanbul.
- [23] Flehman D.G., Auld D.D., (1993). Customer Retention Throught Quality Leadership, The boxter approach.
- [24] Kovancı A., (2001). Toplam Kalite Yönetimi, Sistem Yayıncılık, İstanbul.
- [25] Argun T., (2004). Toplam Kalite Yönetimi, www.Bilgiyonetimi.org., Erisim.
- [26] Bozkurt R., (1997). Toplam Kalite Uygulamasının Sağladığı Performans Artışları, Üçüncü Verimlilik Kongresi, Ankara.
- [27] Kavrakoglu İ., (1994). Toplam Kalite Yönetimi, Kal-Der Yayınları, İstanbul.
- [28] Ohno T., (1983). Toyota Production System, Çeviri, Toyota-sa Yayını, İstanbul.
- [29] Quinn B., (1985). Managing Innovation Controlled Chaos, Harward Business Review.
- [30] Womack J., James D. ve Reos D., (1990). Dünyayı Degistiren Makine, Çeviren: Osman Kabak, Panel Matbaacılık, İstanbul.
- [31] Yalın Düşünceye Giris, www.Bilgiyonetimi.org, 25 Nisan 2016.
- [32] Bruun P. ve Meffor R., (2003). Lean Production and Internet, Internal Journal of Production, Economics.
- [33] Daniel J. ve Daniel R., (1990). Dünyayı Değiştiren Makine, Çeviren: Osman Kabak, Panel Matbaacılık, İstanbul
- [34] Bochum W., (1993). Lean Poduction, Brauwelt, Cilt:133.

- [35] Wildeman H., (1995). Lean Management Stragien Zur Realisierung Schlanker Strukturen Under Prodktion, Erzmetall, Cilt:46, Sayı: 9.
- [36] Larson, A., (2003). Demystifying Six Sigma, A Company Wide Approach to Continuous Improvement.
- [37] Stamatis D.H., (2000). Who Needs Six Sigma Anyway, Quality Digest.
- [38] Harry M.J., (1998). Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations
- [39] Pande, Neumann ve Cavanaugh, (2000). The Six Sigma Way, How GE, Motorola and Other Top Companies Are Honing Their Performance
- [40] Kasa H., (2003). Altı Sigma Gerçeği, Kalder Altı Sigma Deneyim Paylaşım Sempozyumu.
- [41] Ünlüsoy S., (2001). Strategic Assessment of Six Sigma Implementations in Turkey. Master Of Science Thesis, Boğaziçi Üniversitesi.
- [42] Çelebi S., (2006). Müşteri Odaklı Altı Sigma Ve İmalat Sektöründe Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [43] Kamoy S., (2002). Altı Sigma ve İstatistiksel Teknikler, Bilim Uzmanlığı Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- [44] Altı Sigma, www.isixsigma.com, 25 Nisan 2016.
- [45] Eryürük, S., (2005). Bir Konfeksiyon İşletmesinde Montaj Hattı Dengeleme, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [46] Acar, N., (2000). Üretim Plânlama Yöntem ve Uygulamaları, MPM Yayınları, No: 280, Ankara.
- [47] Wild, R., (1979). Production and Operations Management, Holt, Rinehart Winston, Great Britain.
- [48] Aksoy, E., (1997). Montaj Hattı Dengelemede Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. İşletme Fakültesi, İstanbul.
- [49] Tikici M, Derin N. ve Aksoy A., (2006). Toplam Kalite Yönetiminin Radikal Unsurlarından Birisi Olarak Yalın Yönetim, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi www.e-sosder.com ISSN:1304-0278 C.5 S.15 20-33.
- [50] Braiden B. ve Morrisson K., (1996). Lean Manufacturing Optimization of Automative Motor Compartment System Industrial Engineering Vol:31, Iss:12.
- [51] Koh H.C., Sim K. L. ve Killough N. L., (2004). The Interaction Effects of Lean Production Manufacturing Practices, Compensation and Information Systems on Production Costs: A Recursive Partitioning Model, Advances in Management Accounting, Volume: 12.
- [52] Şahin M., Acır A., Baysal E. ve Koçyiğit E. (2007). Enerji ve Ekserji Analiz Metoduyla Kayseri Şeker Fabrikasında Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 1, 111-119.

- [53] Kurtođlu A. ve Tanrıtanır E. (1991). Mobilya Fabrikasında Fiziksel Planlama, İstanbul Üniversitesi Orman Fakóltesi Dergisi Seri: B, Cilt: 41, Sayı: 3-4.
- [54] Söğüt Z. ve Oktay Z, (2006). Sanayi Sektöründe Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı:10
- [55] Türk Milli Komitesi, (1998). 1998 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi, TR0000068 31/50
- [56] Kama Ö. ve Kaplan Z, (2012). Türkiye’de Enerji Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Bir Öneri: Beyaz Eşya Teşvik Uygulamaları, Hukuk ve İktisat Araştırmaları Dergisi, Cilt: 4, No:1, 2146-0817 (Online)
- [57] Karyeyen S., Aksoy M., Özgören M. ve Koçak S., (2012). Konya Sanayisinde Enerji Verimliliği, Bölgesel Araştırma Raporları Serisi, Yayın No:5
- [58] Kanoğlu M., (2010). Enerji Verimliliği Örnek Projeleri
- [59] Türkyılmaz O, Türkiye’nin Enerji Görünümü
- [60] Cumhur E., Pirinçiler Y. ve Şen A., (2012). Süreç İyileştirme Çalışmalarında Veri Madenciliği Yaklaşımının Kullanılması Üzerine Bir Çalışma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı: 29

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hakan ÖZYURT
Doğum Tarihi ve Yeri : 11.08.1991 Bursa
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : hakanzyrt@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Eskişehir Anadolu Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014-2016	Arçelik	Makine Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

- 1.** Oral Presenter - International Conference on Advances in Mechanical Engineering İstanbul ICAME 2016