



**SOĞUTUCU VE DONDURUCU DOLAP  
ÜRETİMİNDE ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN  
ARTIRILMASINA YÖNELİK BİR ÇALIŞMA**

**Rüstem ÇİFTÇİ**

**2020  
YÜKSEK LİSANS  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**SOĞUTUCU VE DONDURUCU DOLAP ÜRETİMİNDE ÜRETİM  
VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASINA YÖNELİK BİR ÇALIŞMA**

**Rüstem ÇİFTÇİ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**KARABÜK  
Haziran 2020**

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Rüstem ÇİFTÇİ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **SOĞUTUCU VE DONDURUCU DOLAP ÜRETİMİNDE ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASINA YÖNELİK BİR ÇALIŞMA**

**Rüstem ÇİFTÇİ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**Haziran 2020, 103 sayfa**

Günümüz dünya pazarında, teknolojinin gelişmesiyle birlikte rekabet giderek artmaktadır. İşletmelerin rekabet baskısı altında varlıklarını sürdürebilmeleri ve avantajlı duruma geçebilmeleri için, düşük maliyetle yüksek kalitede ürünler üretmesi ve ürünleri müşterilerine en hızlı şekilde ulaştırması gerekmektedir.

Birim üretim maliyetini oluşturan temel unsurlar işgücü, hammadde ve yönetim maliyetidir. İşgücü maliyeti, birçok iş kolu için en yüksek paya sahip olan maliyettir. Ayrıca esnek yapısı nedeni ile değişkenliği fazladır. İşgücü maliyetinin düşürülmesi için üretim hattının sürekli gözlemlenmesi ve çeşitli metotlar ile iyileştirilmesi gerekmektedir. Kullanılabilecek metotlardan biri de aksiyomatik tasarım ile iyileştirme parametrelerinin belirlenmesi ve yalın üretim teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmesidir. Yalın üretim teknikleri israfı düşürerek; ürünün pazar değerini arttırma, pazarı büyütme, satışları yükseltme, maliyetleri düşürme, üretkenlik, kalite

ve güvenlik gibi konularda iyileştirme yapılması esasına dayanmaktadır. Yalın üretim tekniklerinin uygulanabilmesi için, en üst kademededen en alt kademeye kadar, tüm işletme çalışanlarının ve tedarikçilerin birlikte hareket etmesi gerekmektedir. Uygulamalar sonucunda temel amaç, israfın en aza indirilmesi veya sıfırlanması ile işletme hedeflerinin yakalanmasıdır.

Bu çalışma, ticari soğutucu üretimi yapan bir işletmedeki dört üretim hattından birinde yapılmıştır. Aksiyomatik tasarım ve yalın üretim teknikleri, seçilen hat üzerinde bulunan 13 istasyondan %80 verimlilik hedefinin altında kalan 6'sında uygulanmıştır. Yapılan iyileştirmeler ve hat dengeleme sonrası, hat verimliliği (%74) %7 artırılarak %81'e yükseltilmiş ve operatör sayısı 108'den 99'a düşürülmüştür. İstasyonlar bazında ise; bir istasyonda %80 hedefi yakalanmış ve üç istasyonda %80 hedefinin üzerine çıkmıştır. İki istasyonda ise verimlilik %78'e yükseltilmiş fakat hedefin üzerine çıkılamamıştır. İşçi sayısının düşmesi ve verimliliğin artması ile; temel işletme hedeflerinden olan birim ürün maliyetinin azalması sağlanmış ve operatörlerin iş yükü daha adil şekilde dağıtılmıştır. Tüm çalışanların iş sürelerini eşitlemek mümkün olmasa da aralarındaki fark mümkün olduğunca kapatılmış ve eşit işe eşit ücret politikası ile çalışan memnuniyetinin artması sağlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Yalın Üretim, Aksiyomatik Tasarım, Montaj Hattı Dengeleme, Geleneksel Montaj Hattı.

**Bilim Kodu** : 91438

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **A STUDY ON INCREASING PRODUCTION EFFICIENCY IN REFRIGERATOR AND FREEZER CABINET PRODUCTION**

**Rüstem ÇİFTÇİ**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**June 2020, 103 pages**

In today's world market, with the development of technology, competition is gradually increasing. For businesses, in order to survive under competitive pressure and become advantageous, they must produce high quality products at low cost and deliver the products to their customers by the fastest possible way.

The main elements that constitute the unit production cost are labor, raw material and management costs. Labor cost is the highest share cost for many businesses. In addition, due to its flexible structure, its variability is high. In order to reduce the labor cost, the production line must be monitored constantly and improved by various methods. One of the methods that can be used is; to determine the improvement parameters with axiomatic design and to realize it by using lean manufacturing techniques. Lean manufacturing techniques are based on reducing waste in order to provide; improving the market value of the product, increasing the market, increasing sales, reducing costs, productivity, quality and safety. In order to

apply lean manufacturing techniques, all business employees and suppliers must act together from the top to the bottom. As a result of the applications, the main purpose is to get the business targets by minimizing or resetting the waste.

This study was done on one of four production lines in a business that produces commercial refrigerators. Axiomatic design and lean manufacturing techniques were applied in 6 of the 13 stations on the selected line, which remained below the %80 efficiency target. After improvements and line balancing, line efficiency (74%) was increased by 7% to 81% and the number of operators was reduced from 108 to 99. On the basis of stations; %80 target was achieved in one station and exceeded in three stations. In two stations, efficiency was increased to %78 but target could not be exceeded. With the decrease in the number of workers and increased productivity; the unit product cost, which is one of the main operating objectives, has been reduced and the workload of the operators has been distributed more fairly. Although it is not possible to equalize the working time of all employees, the difference between them has been closed as much as possible and employee satisfaction has been increased with the equal pay policy for equal work.

**Key Words:** Leanmanufacturing, Axiomatic Design, Linebalancing, Traditional Assembly Line.

**Science Code :** 91438

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, çalıőmalarım sırasında beni motive eden danıőmanım, sayın hocam Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA'ya ve yüksek lisans tez eğitimim süresince manevi desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ömer DULKADİR hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez alıőması süresince benden manevi desteğini esirgemeyen, aile yaőantımla ilgili bir takım sorumluluklarımı üstlenerek yükümü hafifleten sevgili eőim Zeynep ÇİFTÇİ'ye ve hayatımın her aşamasında beni destekleyen değerli aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ TEMEL KAVRAMLAR.....	4
2.1. YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ .....	4
2.1.1. Yalın Üretim Tarihçesi ve Tanımı.....	4
2.1.2. Yalın Üretim Sisteminin Prensipleri .....	5
2.1.3. Yalın Üretim Sistemleri.....	7
2.1.3.1. 5S .....	7
2.1.3.2. Kaizen .....	10
2.1.3.3. Kanban .....	12
2.1.3.4. Tam Zamanında Üretim (JIT).....	13
2.1.3.5. Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi (SMED) .....	14
2.1.3.6. Poka Yoke .....	15
2.1.3.7. Jidoka .....	16
2.1.3.8. Toplam Verimli Bakım (TPM) .....	17
2.1.3.9. Değer Akış Haritalama (VSM) .....	18

2.1.3.10. Tek Parça Akışı.....	18
2.1.3.11. U-Tipi Yerleştirme.....	19
2.1.3.12. Heijunka (Üretim Dengeleme).....	20
2.1.3.13. Shojinka (İş Gücü Dengeleme).....	20
2.1.3.14. Hoshin Kanri (Stratejik Planlama).....	21
2.1.3.15. Andon.....	21
2.1.3.16. Kalite Çemberi.....	22
2.1.3.17. Hücresel Üretim.....	22
2.1.3.18. Problem Çözme Teknikleri.....	23
2.2. AKSİYOMATİK TASARIM.....	24
2.2.1. Aksiyomatik Tasarımın Gelişimi.....	24
2.2.2. Aksiyomatik Tasarımın Amacı.....	25
2.2.3. Aksiyomatik Tasarım Metodolojisi.....	26
2.2.4. Tasarım Hiyerarşisi Modeli ve Haritalandırmada Zikzaklama Süreci.....	28
2.2.5. Tasarım Aksiyomlarının Prensipleri.....	29
2.2.5.1. Aksiyomatik Tasarımın Yol Haritası.....	29
2.2.5.2. Bağımsızlık Aksiyomu.....	31
2.2.5.3. Bilgi Aksiyomu.....	32
2.3. MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ.....	33
2.3.1. Üretim Sistemleri ve Üretim Hatları.....	33
2.3.2. Montaj Hattı ve Hat Dengeleme Kavramı.....	34
2.3.3. Montaj Hattı Dengelemede Genel Tanımlar ve Kavramlar.....	35
2.3.4. Montaj Hatlarının Dengelenmesindeki Amaç ve Kısıtlar.....	38
2.3.4.1. Amaç.....	38
2.3.4.2. Kısıtlar.....	39
2.3.5. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması.....	40
2.3.5.1 Model Sayısına Göre Montaj Hatları.....	41
2.3.5.2. Hattın Yerleşim Tipine Göre Montaj Hatları.....	41
2.3.5.3. Otomasyon Düzeyine Göre Montaj Hatları.....	42
2.3.5.4. Kurulum Sıklığına Göre Montaj Hatları.....	43
2.3.6. Montaj Hattı Dengelemenin Sınıflandırılması.....	44
2.3.6.1. Basit Montaj Hattı Dengeleme.....	44
2.3.6.2. Genel Montaj Hattı Dengeleme.....	45

2.3.7. Hat Dengeleme ile Yalın Üretim Arasındaki İlişki .....	45
BÖLÜM 3 .....	47
LİTERATÜR .....	47
3.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	47
3.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ .....	56
BÖLÜM 4 .....	57
MATERYAL ve METOT .....	57
4.1. İŞLETME TANITIMI.....	57
4.2. ÇALIŞMANIN YAPILDIĞI ÜRETİM HATTININ TANITIMI .....	59
4.3. ÇALIŞMA ÖNCESİ ÜRETİM SÜRELERİ ve VERİMLİLİK.....	62
4.4. ÇALIŞMANIN UYGULANDIĞI İSTASYONLAR.....	69
4.5. AKSİYOMATİK TASARIM ve YALIN ÜRETİM UYGULAMASI .....	70
BÖLÜM 5 .....	75
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	75
5.1. İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	75
5.1.1. İç Gövde Çatım Montaj İstasyonu.....	75
5.1.2. İç-Dış Birleştirme Montaj İstasyonu .....	80
5.1.3. Poliüretan Basım İstasyonu .....	83
5.1.4. Şase Bağlantı Montaj İstasyonu.....	84
5.1.5. Vakum & Performans İstasyonu.....	86
5.1.6. Ambalaj İstasyonu .....	88
BÖLÜM 6 .....	93
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR .....	96
ÖZGEÇMİŞ .....	103

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Yalın üretim prensipleri .....	5
Şekil 2.2. Kaizen tekniği döngüsü .....	11
Şekil 2.3. Poka yoke akış diyagramı .....	16
Şekil 2.4. Değer akışı uygulama döngüsü .....	18
Şekil 2.5. U tipi yerleşim hattı örneği.....	19
Şekil 2.6. PUKÖ döngüsü .....	23
Şekil 2.7. Alan, haritalama ve tasarım boşlukları arasındaki ilişki .....	27
Şekil 2.8. Tasarım hiyerarşisi modeli .....	29
Şekil 2.9. Aksiyomatik tasarım akış diyagramı.....	30
Şekil 2.10. Öncelik diyagramı .....	37
Şekil 4.1. Üretimi yapılan bazı ürünlerin fotoğraf görüntüleri.....	58
Şekil 4.2. İşletmenin üretim bölümlerinin genel akışı ve departmanlar arası bağlantılar şeması.....	59
Şekil 4.3. Ana istasyonların fabrika içerisindeki yerleşim planı görüntüsü .....	61
Şekil 4.4. Süre belirlemede kullanılan Casio marka kronometrenin fotoğraf görüntüsü.....	68
Şekil 5.1. Pre-painted sac üzerindeki streç filmin soyulma esnasında ölçülen kuvvet değerlerini gösteren fotoğraf görüntüsü .....	78
Şekil 5.2. Inox taban sac üzerindeki streç filmi soyma işlemi fotoğraf görüntüleri .....	79
Şekil 5.3. Çalışma öncesi maskeleme yoğunluğu ve saca eklenen kıvrım fotoğrafları.....	82
Şekil 5.4. İyileştirme öncesi ve sonrası fotoğraflar .....	82
Şekil 5.5. Bakır boru kaynak noktalarının boyalı ve boyasız fotoğrafları.....	88
Şekil 5.6. Temel beceri geliştirme eğitim paketi (DOJO) görüntüsü .....	90

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Farklı tasarımlar için alan karakteristikleri .....	28
Çizelge 2.2. Öncelik matrisi.....	37
Çizelge 4.1. Çalışma öncesi doluluk ve verimlilik verileri tablosu .....	62
Çizelge 4.2. İstasyon verimlilikleri ve iyileştirme çalışmasının yapıldığı istasyonlar .....	69
Çizelge 4.3. İstasyonlarda uygulanan fonksiyonel gereksinimler ve tasarım parametreleri .....	71
Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan aksiyomatik tasarım tablosu.....	72
Çizelge 5.1. İç gövde çatım montaj istasyonu operasyon-operatör tanımlamaları ve işgücü kullanım ölçüm değerleri.....	76
Çizelge 5.2. İç-dış birleştirme montaj istasyonu operatör-operasyon tanımlamaları ve işgücü kullanım ölçüm değerleri.....	81
Çizelge 5.3. Poliüretan basım istasyonu operatör-operasyon tanımlamaları ve işgücü kullanım ölçüm değerleri.....	84
Çizelge 5.4. Şase bağlantı montaj istasyonu operatör-operasyon tanımlamaları ve işgücü kullanım ölçüm değerleri.....	85
Çizelge 5.5. Vakum & performans istasyonu operatör-operasyon tanımlamaları ve işgücü kullanım ölçüm değerleri.....	87
Çizelge 5.6. Ambalaj istasyonu operatör-operasyon tanımlamaları ve işgücü kullanım ölçüm değerleri .....	89

## SİMGELER DİZİNİ

$A_{mn}$	: Tasarım matrisi
$C$	: Çevrim süresi
$T$	: Kullanılabilir üretim alanı
$\ddot{U}S$	: Üretilmek istenen ürün sayısı
$m_{min}$	: Gerekli olan en az iş istasyonu sayısı
$n$	: Toplam iş ögesi sayısı
$t_i$	: i. iş ögesinin işlem süresi
$HE$	: Hat etkinliği
$OP$	: Operasyon
$O$	: Operatör
$sn$	: Saniye
$dk$	: Dakika
$\%$	: Yüzde
$\mu m$	: mikron
$gf$	: gram force

## KISALTMALAR DİZİNİ

MHD	: Montaj Hattı Dengeleme
AD	: Aksiyomatik Tasarım
JIT	: Tam Zamanında Üretim
SMED	: Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi
TPM	: Toplam Verimli Bakım
VSM	: Değer Akış Haritalama
PUKÖ	: Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
CA	: Müşteri İhtiyaçları
FR	: Fonksiyonel Gereksinimler
DP	: Tasarım Parametreleri
PV	: Süreç Değişkenleri
BMHD	: Basit Montaj Hattı Dengeleme
GMHD	: Genel Montaj Hattı Dengeleme
KOBİ	: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
İSO	: İstanbul Sanayi Odası
WIP	: Proses İçi Stok
PU	: Poliüretan
EST	: Elektronik System Test
WOC	: Without of Canopy (Kanopisi Olmayan)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüz rekabet şartları içerisinde yaşamını sürdürmeyi hedefleyen işletmelerin hizmet ve ürün üretimi için değer kavramını göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Bununla birlikte kalite, zaman ve maliyet gibi üretimi doğrudan etkileyen parametrelere de gerekli özeni göstermek zorundadırlar. İşletmeler imalat veya hizmet süreçlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen parametreleri iyileştirmek için çözüm arayışları içerisinde bulunmaktadır [1].

İşletmelerin ekonomik olarak durumlarını devam ettirebilmek için, üretmiş oldukları hizmet ya da ürünlerin katma değere sahip olmayan kısımlarını ortadan kaldırması kaçınılmazdır. Rekabet üstünlüğünü ele geçirme hedefinde olan işletmeler, hizmet ya da üretim yapılarını bu doğrultuda tesis etmek amacıyla, iş proseslerini her çeşit israftan elimine ederek en sade biçimde ortaya çıkaran ve bunun aracılığı ile işletme kârını artırma amacını taşıyan teknik, sistem ve kavramları içeren yalın dönüşüm projelerini hayata geçirmektedirler [1].

Yalın düşünceye göre israf kavramı, tüketici için bir değer ortaya koymayan ve tüketicinin karşılığında bir bedel ödemeyi arzu etmediği her şeyi ifade etmektedir. Hizmet ya da ürünün tasarımından nakledilmesine kadar yer alan üretim etkinliklerinin tamamında her çeşit israfın (meydana gelen hatalar, gerektiğinden çok üretim, stok fazlalığı, gereksiz bekleme, transfer, hareket ve çalışma süreleri) yok edilmesi amaçlanır. İşletmelerde yalın üretim uygulamaları sonucunda üretim maliyetlerinde azalma, tüketici memnuniyetinde artış, piyasa şartlarına ayak uydurmada daha esnek bir yapı ve daha çabuk nakit akışı sağlanması hedeflenir. Yalın düşünce, soyut ve felsefi boyutuna ek olarak somut olarak da belirli metotlardan yararlanarak hedeflerin hayata geçirilmesini mümkün hale getirir [2].

İşletmelerin günümüz rekabet şartlarında varlıklarını sürdürmesinin öncelikli şartlarından biri de kaynakların akılcı bir şekilde değerlendirilmesidir. Bu amaca



ulaşabilmek için işletmelerin mevcut kapasitelerini optimum şekilde kullanmaları zorunludur. Montaj hatlarına ilişkin dengelemenin önemi de bu noktada ortaya çıkmaktadır. Montaj hatlarındaki istasyonlarda boşa bekleme sürelerinin minimuma indirilmesi, dolayısı ile montaj hattının mümkün olan en fazla kapasite ile kullanımı montaj hattı dengelemenin temel unsurudur. Bu amaçlara ulaşabilmek için montaj hattı dengelemede ana unsur koordinasyondur. Koordinasyonun sağlanamaması durumunda, montaj hatlarında var olan israfın görülememesi ve devamlı akışın temin edilememesi büyük sıkıntılar doğurabilmektedir. Prosesler arası biriken stoklar ve birbirini bekleyen istasyonlardan teşkil montaj hatları, üretkenliğe dair önemli sorunlar meydana getirmektedir. Yalın üretim prensiplerinden sürekli akışın önemli şartlarından biri, mükemmel süreçlerden teşkil edilmiş montaj hatları oluşturmaktır. Bu kapsamda iş unsurlarının, bir takım kısıtlar çerçevesinde istasyonlara atanmasına “Montaj Hattı Dengeleme (MHD)” adı verilmektedir [3].

Montaj hattı dengeleme süreci üretilen model sayısı ve iş ögesi sürelerinin özelliğine göre kategorize edilebilir. Sürecin temel amacı ürünlerin her birimde hızlı biçimde üretilerek en kısa sürede kendinden sonra yer alan diğer birimlere ulaştırılmasıdır [4, 5].

Bu çalışmada kullanılan ve hat dengelemede sürecinde yararlanılan “Aksiyomatik Tasarım (AD)”;

ürün-süreç gelişimi, tedarik zinciri, ürün-sistem dizaynı ve çevre problemlerinin çözümü gibi alanlarda kullanılmaktadır. Aksiyomatik tasarım tekniğinin temel hedefleri; tasarımcıların daha yaratıcı hale getirilmesi, rasgele tarama süreçlerinin azaltılması, deneme yanılma süreçlerinin en aza indirilmesi ve en iyi tasarımın seçilmesidir [6, 7].

Bu çalışmada, soğutucu ve dondurucu dolap üreten bir fabrikada aksiyomatik tasarım ve yalın üretim metotları kullanım süreci anlatılmış, çalışma sonucunda ortaya çıkan verimlilik değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Beş bölümden oluşan çalışmanın ikinci bölümünde; çalışma kapsamındaki temel kavramlar olan yalın üretim, aksiyomatik tasarım ve montaj hattı dengeleme hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde literatürdeki aksiyomatik tasarım, yalın üretim, hat dengeleme, verimlilik ve bu unsurların aralarındaki ilişki

konularında yapılan çeşitli çalışmalardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ise materyal ve metot kapsamında; araştırmanın yapıldığı işletme, üretim hattı, hattaki üretim istasyonları, aksiyomatik tasarım uygulaması ve yalın üretim teknikleri uygulamaları hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde; yalın üretim tekniklerinin uygulanması ile süreç iyileştirme, hattın yeniden dengelenmesi, verimliliğin artırılması ve işçi sayılarının azaltılması çalışmaları çizelgeler ve görsellerle desteklenerek açıklanmıştır. Altıncı bölümde çalışma sonunda ortaya çıkan sonuçlar ve öneriler hakkında bilgi verilmiştir.

## BÖLÜM 2

### ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ TEMEL KAVRAMLAR

Bu bölümde, çalışmanın temelini oluşturan yalın üretim, aksiyometrik tasarım ve montaj hattı dengeleme kavramları ile ilgili kapsamlı bilgiler verilmiştir.

#### 2.1. YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ

Yalın üretim; fire, hata, stok, maliyet ve iş süresini en aza indiren ve devamlı iyileştirme prosesleriyle tüm gereksiz öğelerden elimine edilmiş bir üretim sistemidir [8]. Bu bölümde yalın üretim kavramının tarihçesi, tanımı, prensipleri ve uygulama alanı bulan yalın üretim sistemleri detaylı olarak açıklanmıştır.

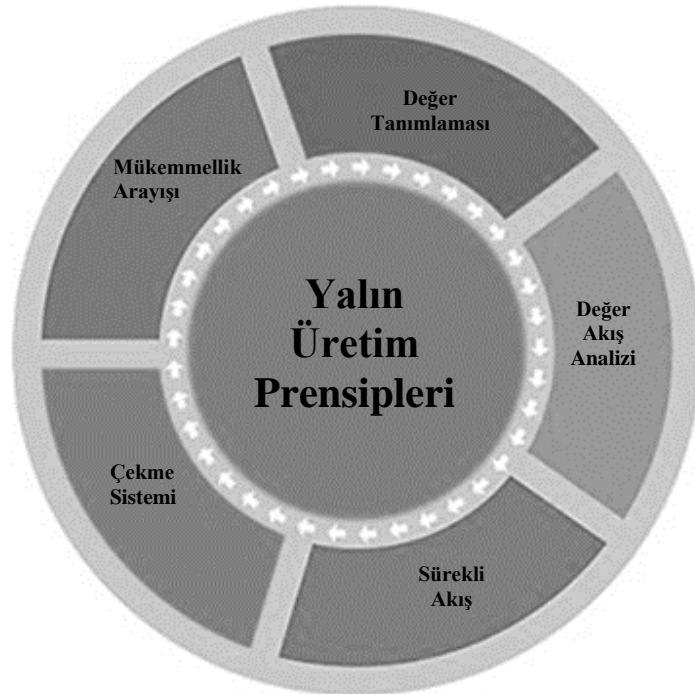
##### 2.1.1. Yalın Üretimin Tarihçesi ve Tanımı

Yalın üretim ilk olarak 1950'li yılların ortalarında Japonya merkezli Toyota şirketinde uygulanmaya başlamıştır. Toyota iş hayatına 1918'de Sakichi Toyoda'nın öncülüğünde Toyoda İplik ve Dokuma isimli şirkette dokuma tezgâhları üreterek başlamıştır. 1929'da Sakachi Toyoda, firmasına ait patenti yüz bin sterlin karşılığında Platts kardeşlere satmıştır. Oğlu Kiichiro ile, patent satışından gelen parayı sermaye olarak kullanıp otomobil üretme kararı almışlardır. Fakat o dönemde otomobil sektörü General Motor ve Ford firmalarının hegemonyası altında olduğundan, yeni bir otomobil markasının kendini göstermesinin hiç de kolay olmayacağını anlamışlardır. Bu nedenle, otomobil üretimi fikrini bir süre ertelemiş, onun yerine General Motor ve Ford'un yan parçalarını üretmeye başlamışlardır. 1937 yılında ise erteledikleri fikirlerini hayata geçirip, "Toyota Motor Fabrikası" ismi ile faaliyetlerine devam etmişlerdir. Toyoda yerine Toyota ismini kullanmalarının nedeni Japonya'da sekiz sayısının şanslı rakam olarak kabul edilmesidir. Japon hece dizisi katakana'da, Toyoda 10 darbe ile yazılırken Toyota 8 darbe ile yazılabilmektedir. 8 darbe ile yazılmasının kendilerine şans getireceğine inandıklarından Toyota ismini kullanmışlardır. II. Dünya Savaşı sırasında

karşılaşılan ciddi sorunlar nedeniyle geçici bir süre araba imalatına ara vermek zorunda kalan Toyota, 1945'te yeniden üretime geçerek 3000 adet otomobil üretmeyi başarmıştır. Toyoda ailesi 1950'li dönemde şirket kurucusu olan Kiichiro Toyoda'nın kuzeni Eiji Toyoda'yı, üretim direktörü olarak yetişmesi için Amerika'ya göndermiştir. Eiji, Ford firmasında yaptığı incelemelerde "kitle üretim" modelinin elemanlarından yararlanmış ve kitle üretim yöntemi hakkında detaylı bilgi kazanmıştır. Ülkesine döndüğünde kitle üretim yöntemine Japon çalışma kültürünün prensiplerini de ekleyerek fire, hata, stok, maliyet ve iş süresini en aza indiren, devamlı iyileştirme ile gereksiz öğeleri elimine eden ve Japonya için uygun bir yönetim ve üretim sistemi olan yalın üretim sisteminin temellerini atmıştır [1].

### 2.1.2. Yalın Üretim Sisteminin Prensipleri

Yalın üretim sistemi, üretime yük getiren tüm israflardan kurtulmayı hedef alan bir yaklaşım olup temel prensibi hızı arttırıp akış süresini azaltarak kalite, maliyet ve teslimat performansını aynı anda iyileştirmektir [9]. Bu amacın gerçekleşmesi için uygulanması gereken yalın üretim prensipleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Yalın üretim prensipleri [10].

Yalın üretimin Şekil 2.1.'de yer alan 5 temel prensibi şu şekilde açıklanabilir:

- a) **Değerin Tanımlaması:** Üretici tarafından oluşturulan değer en son müşteri tarafından tanımlanmaktadır. Değer tanımının anlamlı olabilmesi için, ürünün veya hizmetin müşteri taleplerini belli zamanda ve belli fiyattan karşılması gerekmektedir.
- b) **Değer Akış Analizi:** Ham maddeden son ürüne kadar olan dönüşme sürecinde bir üreticiden diğer üreticiye ve nihayetinde son kullanıcıya kadar olan tüm aşamalar analiz edilir. Değer tanımlanarak akıştaki israflar ayıklanır ve geriye kalan aşamaların art arda sürekli akış halinde gerçekleştirilmesi amaçlanır.
- c) **Sürekli Akış:** Ürünlerin müşteri talebi olmadan iletilmesi pek çok israfa yol açmaktadır. Talep olmadan iletmek yerine müşterinin talebi sonrası ürün çekmek israf kaynaklarını ortadan kaldırmaktadır. Sürekli akış olarak ifade edilen bu sistem uygulandığında ürün geliştirme, sipariş alma ve fiziksel üretim işlemleri daha kısa sürede tamamlanabilir hale gelecektir. Bu durum, müşterinin gerçekten istediği ürünleri tam istediği zamanda tasarlayabilme, planlayabilme, üretebilme ve nakletme imkânı sağlamaktadır.
- d) **Çekme Sistemi:** Değerin müşteri tarafından kaynağından çekilmesini öngörür. Çekme, önceki aşamalarda müşteri istemeden hiçbir şekilde ürün ya da hizmet üretilmemesi anlamına gelir. Çekme ilkesi, son müşterinin belli bir ürün için yaptığı taleple başlar. Ürün müşteriye ulaşana kadar geçen tüm aşamaların geriye doğru izlenmesi ve her aşamanın bir öncekinden talep etmesiyle üretimin başlatılması şeklinde uygulanır. Çekme uygulandığında stoklara gerek kalmaz, istenmeyen üretimin yol açtığı hurda ve fireler engellenir.
- e) **Mükemmellik Arayışı:** Yalın üretim, etkin ve etkili üretimin birleştiği mükemmeliyetçi bir sistemdir. Mükemmelliğe ulaşmak için; sıfır hatalı üretim, sıfır stok ve hataların oluşmadan engellendiği sürekli bir akış sistemini oluşturmak hedeflenir [11].

Yalın üretimi prensiplerini benimseyen işletmelerde prosesler devamlı bir şekilde israfa yol açan işlemlerden elimine edilerek kolaylaştırılır. Bundan dolayı her işletmeye uygulanabilirliği olan basit araçlardan yararlanır. Yalın üretim ilkelerini göz önünde bulunduran işletmeler verimliliği arttırırlar ve işlerini planladıkları

zamanda bitirirler. Daha az fire ve daha düşük stokla çalışarak israfı önler ve rekabette avantaj kazanırlar [12].

### **2.1.3. Yalın Üretim Sistemleri**

Yalın üretim; pazar değerini arttırma, pazarı büyütme, satışları yükseltme, maliyetleri düşürme, üretkenlik, kalite ve güvenlik gibi noktalarda diğer üretim sistemlerini daima geride bırakmıştır. Yalın üretimde, müşteri beklentilerini ve pazarın hedeflerini en kısa sürede karşılamak amacıyla, en üst kademedен en alt kademeye kadar işletmenin tüm çalışanlarının ve tedarikçilerinin birlikte hareket etmesi, yoğun iş birliği içinde olması, eğitilmiş olmaları ve ekip ruhunu benimsemeleri gerekmektedir. Yalın üretim ile bütün gereksiz unsurlar elimine edilerek işçi sayısı, iş süresi, maliyet, üretim alanları, geliştirme süreleri, stoklar, müşteri şikâyetleri, hatalar ve fireler minimize edilir. İstisna olarak işletmenin verimliliğinin ve kârlılığın artırılması hedeflenir [13].

İstisna olarak önlenmesi sonucunda verimlilik ve kârlılığın artırılmasını amaçlayan yalın üretim sistemlerinde yaygın uygulama alanı bulan metotlar; 5S, Kaizen, Kanban, Tam Zamanında Üretim (JIT), Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi (SMED), Poka Yoke, Jidoka, Toplam Verimli Bakım (TPM), Değer Akış Haritalama (VSM), Tek Parça Akışı, U-Tipi Yerleştirme, Heijunka, Shojinka, Hoshin Kanri, Andon, Kalite Çemberi, Hücresel Üretim, Problem Çözme Teknikleridir. [14].

#### **2.1.3.1. 5S**

5S; işletmelerin çalışma alanlarını düzenli tutabilmek için temizlik ve düzenin öne çıkarıldığı bir yalın üretim tekniğidir. Bu teknikle malzeme ve zaman israfının azalacağını varsayan Japonların, çalışma ortamını düzenli tutabilmek için önerdiği bir yöntemdir. 5S'in işletmelere sağladığı yararlar şunlardır:

- a) Çalışma ortamının düzenli ve temiz olması, yapılacak işin daha kolay ve daha az hata ile yapılmasını sağlar. Böylece daha güvenli bir çalışma ortamı sağlanmış olur.
- b) Ortamın temiz ve düzenli olması çalışanların motivasyonunu artırır.
- c) İşletme içerisindeki insanları takım çalışmasına teşvik eder.
- d) Bir işten diğer işe geçiş süreleri kısalmış, zamandan kazanç sağlanır.

- e) Malzeme arama ve bulma işlemleri kolaylaşır, zaman kayıpları azalır.
- f) Birim zamana düşen üretim ve katma değer artar.
- g) İş süreçleri basitleştirilir ve daha az kaynak kullanarak daha verimli çalışılır.
- h) Makine arızaları azalır.
- i) İsraf görünür hale gelir ve israfla ilgili çözümler bulmak kolaylaşır [15].

5S tekniği Japonca "S" harfi ile başlayan 5 kelimeyi içermektedir. Bunlar; Sınıflandırma-Ayıklama (Seiri), Sıralama-Düzenleme (Seiton), Silme-Temizleme (Seiso), Standartlaştırma-Süreklilik sağlama (Seiketsu), Disiplin Etme-Sahiplenme (Shitsuke)'dir [15]:

**a) Sınıflandırma-Ayıklama (Seiri):** Çalışma alanındaki araç gereçlerin, gerekli olanlar ve gereksiz olanlar şeklinde sınıflandırılarak gereksiz olanlar ortadan kaldırılması adımıdır. İşlem sırasında gereksiz malzemeler tanımlanır, malzemenin neden gereksiz olduğu tarif edilir ve problemi kimin tanımladığı belirtilir. Gereksiz malzemelere kırmızı etiket tekniği kullanılarak etiketleme işlemi yapılır. Gereksiz malzemelerle ilgili ne yapılacağına karar verme aşamasında, etiket anımsatıcı rol oynar ve malzeme hakkındaki bilgileri belgelemeye olanak sağlar [16]. Sınıflandırma-ayıklama işlemi;

- Çalışma ortamlarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar.
- Çalışma ortamlarında gereksiz stok ve ekipman birikimi nedeni ile oluşabilecek hareketi ve ekstra maliyetleri engeller.
- Gerekli olan malzemenin aranma süresini düşürür.
- Raf ömürlü malzemelerin bozulması engellenir [17].

**b) Sıralama-Düzenleme (Seiton):** Sıralama-düzenleme adımı, gereksiz malzemelerin ortadan kaldırılmasından sonra gerekli olan malzemelere en kısa sürede ulaşmayı amaçlar. Bu amaçla malzemelerin kolayca ulaşılabilir şekilde tanımlanmasını, konumlandırılmasını ve etiketlenmesini gerektiren adımdır. Böylece ihtiyaç duyulan ekipmanı arayıp bulmak için zaman kaybının önüne geçilmektedir [18]. Sıralama-düzenlemenin temel prensibi "her şeye bir yer, her şey yerli yerinde" ilkesidir. Bu prensip aşağıda belirtilen adımlar ile gerçekleştirilir:

- İş için gerekli olan aletleri ve kullanma kılavuzlarını kullanım noktasının yakınına yerleştir.

- Depolama sahasının girişini geniş tut.
- Benzer malzemeleri çabuk belirleyebilmek için renk kullan.
- Her bir malzemeyi ve depolandığı sahayı belirgin biçimde etiketle ve bunun görünebilirliğini sağla.
- Her özel makine için, gereksinim duyulabilecek aletlerin ve ölçme araçlarının olduğu, özel tasarlanmış pano kullan [16].

**c) Silme-Temizleme (Seiso):** Silme-Temizleme adımı çalışma ortamının düzenli ve temiz olmasını sağlayarak gerekli bir malzemenin görünebilirliğini arttıran ve arama zamanını kısaltan işlemdir. Çalışma ortamında yerleri temizleme, pencereleri silme, duvarları boyama ve benzeri temizlik işlerinin düzenli olarak yapılması ortamdaki kirliliği yok eder. Çalışma ortamının temiz olması sayesinde;

- Makinelerin sağlıklı çalışması sağlanır,
- Toz ya da pislikten kaynaklanan arızalar önlenir,
- Temiz yüzeylerde hataların görülmesi kolaylaşır,
- İş kazalarına sebebiyet veren tehlikelerin daha az olduğu güvenli çalışma alanı sağlanır [19].

**d) Standartlaşma-Süreklilik Sağlama (Seiketsu):** Standartlaşma-süreklilik sağlama adımının ilk 3 adımdan farkı, yeni bir faaliyet yapmaktan ziyade iş yerlerinde olması istenen koşulların sürekliliğinin sağlanmasıdır. Sınıflama, düzenleme ve temizlik aşamalarının devamlı yapılması durumu standartlaşma olarak ifade edilebilir. Çalışma alanının kabul edilebilir şartları taşıyor hale getirilmesi için üretimin periyodik aralıklarla durdurulması yerine, temizlik ve düzen koşullarının devamlı uygulanmasını sağlamak daha kolay ve verimlidir [16]. Bu prensibe göre;

- 5S standart geliştirme formu kullanılarak standartlar, ana hatlar ve prosedürler oluşturulur.
- Olumsuzlukları ortaya çıkaracak görsel materyaller hazırlanır.
- Alanların sınırlandırılmasında renkle kodlama işlemi yapılır.
- Herkesin görebileceği ve kolaylıkla anlayabileceği uyarı ve kontrol tabloları kullanılarak; oluşabilecek hataların ilk bakışta görünmesi sağlayacak hata önleyici bir sistem oluşturulur [20].



Standartlaşma-süreklilik sağlama adımında önceki üç adımda yapılanlar belli standartlara oturtulur. Yol ve yöntemler belli bir çerçeve içinde kayıt altına alınarak bu işlerin sürdürülebilirliği amaçlanır [16].

e) **Disiplin Etme-Sahiplenme (Shitsuke):** 5S'in son adımı olan disiplin etme-sahiplenme, belirlenen çalışma kurallarının herkes için bir alışkanlık haline gelmesini sağlamaktır. Ortamın daima temiz ve düzenli tutulması, tüm çalışanların bu faaliyetleri sahiplenmesine ve aksatmadan yerine getirmesine bağlıdır [18]. Disiplin etme-sahiplenme uygulanmasında; eğitim, disiplin için plan oluşturulması, yapılacak olan plan için yönetimin desteğinin sağlanması, gerekli düzeltmelerin yapılması, alandaki tüm çalışanların 5S standartları ve amaçları hakkında eğitilmesi, 5S iletişim tahtasının oluşturulması-sürdürülmesi, tüm standartları uygulayabilmek için standartların ve görsel metotların sürekli geliştirilmesi, tüm çalışanların katılımının arttırılması ve bu çalışmaların sürekliliği amaçlanır [16].

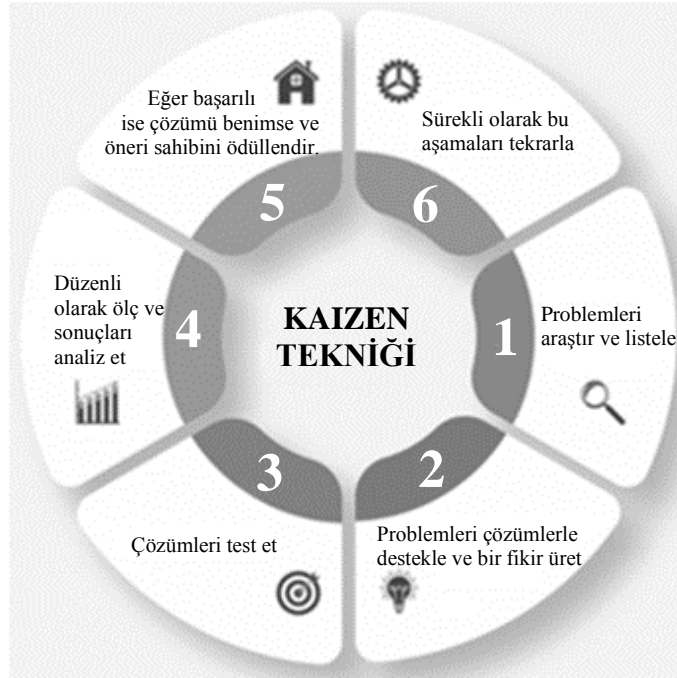
### 2.1.3.2. Kaizen

Japonca'da "Kai" ve "Zen" kelimelerinin birleşimden oluşan kaizen, sürekli iyileştirme anlayışı için kullanılır. Bu anlayışa göre iş hayatında ve özel hayatta yapılan her iş sürekli iyileştirmeye tabi tutulmalıdır. Fakat iyileştirme kavramı ile yenilik kavramı ile karıştırılmamalıdır. İyileştirme süreklilik arz edecek şekilde küçük adımlarla mevcudu iyileştirmektir. Yenilik ise yeni makine, teçhizat ve teknolojiler için yatırım yapılarak ortaya çıkan köklü değişimdir [21].

Kaizene göre süreçleri iyileştirme standartlaşma ile sağlanır. Belli bir düzen tutturamamış halde sürekli değişim gösteren prosesleri iyileştirmek kalıcı sonuçlar vermeyecektir. Belli bir standart oluştuktan sonra yapılacak iyileştirmeler sağlıklı ve kalıcı olurlar [22].

Kaizen uygulamalarında diğer önemli bir unsur da öneri sistemidir. Öneri sistemi işi en iyi bilen kişilerin öneri sunması, sunulan önerilerin zaman kaybetmeden değerlendirilerek öneriyi sunan kişiye geri bildirimde bulunulması ve fayda sağlayacağına kanaat getirilen önerilerin hayata geçirilmesidir [23].

Öneri sistemi, işletmede sürekli iyileştirmeyi sağlamak için çalışanların fikirlerini almak şeklinde görülse de asıl amaç kurumsal aidiyeti arttırmaktır [19]. Şekil 2.2’de gösterilen kaizen tekniği döngüsünde de tanımlandığı üzere, kaizen tekniğinin ilk aşamasında öneri sunacak olan çalışan mevcut durumu analiz ederek problemleri araştırır, tespit eder, listeler ve bunları açıkça ortaya koyacağı bir öneri formu doldurur. Problemin nedenlerine inerek ortaya çıkma nedenini bulur, bunu ortadan kaldıracak çözümleri içeren fikirler oluşturur. Bu öneriyi takım liderine götürür. Takım lideri; çözüm fikrinin test edilmesini, pilot olarak uygulanmasını veya stratejik olarak denenmesini sağlar. Düzenli ölçümlerle sonuçlar analiz edilir. Eğer çözüm fikri başarılı ise çözüm benimsenir ve uygulamaya konulur [24, 25]. Öneri sisteminde çalışanlar, önerinin fayda derecesine göre işletmenin belirleyeceği bir para ödülü ile ödüllendirilebilir. Bu sürecin işletmede sürekli olarak tekrarlanması sağlanır [26].



Şekil 2.2. Kaizen tekniği döngüsü [25].

İşletmeye katkı sağlayan iyileştirmelerin öneri sistemiyle ortaya çıkmış olması ve çalışanların fikirlerine önem verildiğinin gösterilmesi, yalın üretimin gözle görülür bir artıdır. Bu anlayışın öncülerinden Toyota Motor Şirketi’nin yönetim kurulu başkanı Eiji Toyoda’ya göre Japon işçilerinin önemli özelliklerinden biri de elleri

kadar zekâlarını da kullanmalarındır. Toyoda işçilerin yılda 1,5 milyon öneri getirdiğini, bunların %95'inin uygulamaya konulduğunu ve bunun çalışanların motivasyonunu artırdığını da belirtmiştir. 1985 yılında Matsushita şirketinde sunulan öneri sayısı 6 milyon, Hitachi şirketinde sunulan öneri sayısı ise 4,6 milyon olarak kayıtlara geçmiştir [21].

Ürün ve hizmet üretimini daha kaliteli, daha üretken ve daha düşük maliyetli olarak sürdürmek için sürekli geliştirmek gerekir. Sürekli iyileştirme kültürü kazanma ve devam ettirme, işletme üst yönetimlerinin çalışana yatırım yapmasına bağlıdır [22].

### **2.1.3.3. Kanban**

Japonca'da işaret, kart veya ilan tahtası anlamına gelen kanban, tanıtıcı kart kullanımının esas olduğu yalın üretim sistemine de ismini vermiştir [27]. Kanban, üretim akışı içinde kendinden önceki bölümlere üretim ve teslimat yapılması için bildirim veren kartlardan oluşur [28]. Parça kutularının içerisine yerleştirilmiş kartlar sayesinde bölümler arasında doğrudan iletişim en kısa yoldan sağlanır [29].

Kanban kullanılarak gerçekleştirilen üretim iki farklı gruba ayrılır. Bunlar; çeken-iten sistemler ve kontrol sistemleridir. İten sistemler olarak adlandırılan yapı klasik üretim sistemlerini içerir. Klasik üretim sisteminde tahmini müşteri taleplerine göre üretim planlaması yapılır. Üretim ve stok kontrolleri de bu planlama esas alınarak yapılmaktadır. Ancak, proseslerde bir problem oluşması veya müşteri talebinde bir dalgalanma olması halinde üretim sürecinde sorunlar yaşanmaktadır. Üretim sistemindeki değişikliğe göre üretim planlarının da revize edilmesi gerekmektedir. Revizyon işlemleriyle zaman kaybetme söz konusu olduğundan, iten sistemlerin değişime ayak uydurmak için stoklu çalışması gerekmektedir. Bu nedenle, ara stok seviyesini fazla tutma zorunluluğu bulunmaktadır. İten sistemleri ayrıntılı olarak inceleyen Taiichi Ohno her bölümün, kendinden önceki birimlerde üretilecek parçalara ve miktarlara karar vermesi gerektiğini belirtmiş ve uygulamıştır. Böylece bölümlerin ihtiyaç duyulandan fazla üretim yapması engellenmiştir [30].

Ohno'nun hayata geçirdiği sistemin prensibi, bir bölüm çalışanın bir önceki bölüme giderek kendi bölümü için o sırada gereken miktarda ve çeşitte parçayı çekmesi şeklindedir. Çekme işlemi, genelde son montaj hattının ardındaki bölümlere

veya ana işletmeden tedarikçilere doğru ilerler. Tam zamanında üretim odaklı hareket edebilmek için, çekilecek parçaları doğru zaman ve miktarla önceki bölümlere bildirecek bir bilgi sistemi tesis edilmelidir. Kanban ile bu işlem tam zamanında üretim ve grup teknolojisi için uygulanabilmektedir. Kanban, manuel uygulamalar içeren basit bir çalışma mantığına sahiptir. Bu yönüyle yatırım maliyeti son derece düşüktür [30].

Kanban, üretim hattının tasarlanması ve dengelenmesi sonrasında uygulanır. Kanban sisteminin kullanımı ile işletmelerin kazanımları şöyle sıralanabilir:

- a) Hatalı ürün ve arızalar elimine edilir.
- b) Hazırlık süreleri minimize edilir.
- c) Iskartaya sebep olan sorunları ortadan kaldırılarak stokların minimize edilmesi sağlanır.
- d) Parçalar, kendinden sonraki bölüme karmaşa olmadan partiler halinde iletilir.
- e) Teçhizat ve prosesler arasında tek parçadan oluşan bir güvenlik stoku tutulur [31].

Kanban tekniğini uygulayarak üretim yapan işletmelerde;

- a) Envanter seviyesi %60 düşebilir.
- b) İşçilik verimliliği %30 artabilir.
- c) Hatalı ürünler %90 azalabilir.
- d) İşletme alanı kullanımında %15 tasarruf sağlanabilir [31].

#### **2.1.3.4. Tam Zamanında Üretim (JIT)**

İsrafi önleme geniş anlamda üretime değer katmayan her şeyi ortadan kaldırma olarak tanımlanırken, dar anlamda tam zamanında üretim yaklaşımı ile gerek iç gerekse dış müşterinin istediği parçaların gereken miktarlarda, doğru yerde ve doğru zamanda üretilmesini içermektedir [32]. Sıfır stok hedefine ulaşmak için üretimde hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürün stokunun azaltılması gerekmektedir. Bu sonuca ulaşabilmek için üretimdeki tüm malzeme akışını tam zamanında üretim bakış açısıyla yeniden düzenlemek gerekmektedir [33]. Sistemin ilk uygulayıcısı olan Ohno, üretimdeki sorunları açıkça gözlenebilir hale getirmek için fabrikadaki malzeme akışını azaltmıştır. Bir üretim tesisinde stoksuz çalışma ya da sıfır stok

hedefinin işletmede şeffaflık sağladığını, depolama sorunlarını azalttığını, israfı ortadan kaldırdığını ve sistemi daha işlevsel bir yapıya dönüştüreceğini, böylece yalın üretimin şartlarının yerine getirilmiş olacağını ve bu tekniğin sistemi başarıya götüreceğini belirtmiştir. Tam zamanında üretim için “Just In Time”ın kısaltması olan JIT kullanılmaktadır [34].

Tam zamanında üretimin ana bileşenleri şöyle sıralanmaktadır:

- a) Tam zamanında üretim felsefesi
- b) Jidoka (Otonomasyon)
- c) Kalite
- d) Üretimi düzgünleştirme
- e) Hücreyel üretim (üst üste, art arda işlemler)
- f) Ayar zamanını azaltma
- g) Çalışanların katılımı ve çok yönlü çalışanlar
- h) Kanban (çekme sistemi)
- i) Tam zamanında satın alma
- j) Tam zamanında üretim ve stok politikası [34].

Tam zamanında üretimde ters yönde bir akış bulunmaktadır. Her bir istasyon kendinden önceki istasyona; hangi parçalara ihtiyaç duyduğunu, ihtiyaç duyduğu miktarın ne olduğunu ve ne zamana kadar teslim edilmesi gerektiğini sorar. Bu durumda yalnızca istenen parçalar, gerekli miktar ve istenilen zamanda üretilir. Örneğin 2500 adet otomobil sol ön kapısı isteniyorsa tam 2500 adet ürün üretilir. Tam zamanında üretim sistem içinde istasyonların sürekli iletişim halinde olması ve uyumlu çalışması gerekmektedir [34].

#### **2.1.3.5. Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi (SMED)**

10 dakikanın altında gerçekleştirilen model değişimi/kurulum süresine ulaşabilmek için yapılan çalışmaların tamamı tekli dakikalarda kalıp değişimi olarak isimlendirilir. Tekli dakikalarda kalıp değişimi için “Single Minute Exchange of Die”ın kısaltması olan SMED kullanılmaktadır. Kurulum süresi bir önceki partiden çıkan son parça ile yeni partiden çıkacak ilk sağlam parça arasında harcanan

zamandır. Üretime katkısı olmadığı için israf olarak görülen kurulum süresini azaltmak için SMED'in tarif ettiği bir yol haritası hazırlanır [35].

Tekli dakikalarda kalıp değişimi tekniğinde temel hedef zaman israfını ortadan kaldırmaktır. Toyota'da üretim sistemi uzmanı ve fabrika geliştirme eğitmeni olarak görev alan Japon endüstri mühendisi Shigeo Shingo bu yöntemi uygulamış ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Shingo'nun uygulama ile ilgili önerileri şu şekildedir:

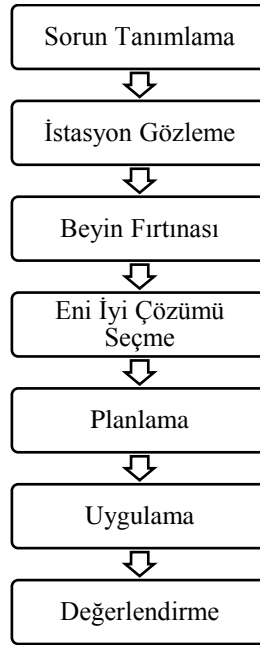
- a) Kalıp değişimi sürecinde yapılan işlemler; makine durduğunda yapılabilecek olanlar, makine çalışırken yapılabilecek olanlar ve her iki durumda yapılabilecek olanlar şeklinde 3 kategoride tespit edilmelidir.
- b) Olası kaydırmalar belirlenmelidir. Özellikle makine durdurularak yapılan işlerin, makine çalışırken yapılan işler sınıfına kaydırılmasına çabalanmalıdır.
- c) Taşıma ve yerleştirmede rulmanlı arabalar kullanılarak kolaylık ve tasarruf sağlanmalıdır.
- d) Kalıp takılırken ilk seferde tam yerine oturmasını sağlayacak tasarımlar geliştirilmelidir.
- e) Kalıp bağlama esnasında yapılan makine ayarları için standartlar oluşturulmalıdır.
- f) Vida ve civataların sıkıştırma-gevşetme işlemlerinde kolaylaştırıcı tasarımlar geliştirilmelidir.
- g) Sıklıkla kullanılan kalıplar makinelerin yakınında bulundurulmalıdır [35].

Türkiye'de 1990 yılında, otomotiv endüstrisinde kullanılmakta olan büyük pres makinelerinin hazırlık süresi yaklaşık 45 dakika sürerken, 1971 yılında aynı işlem Toyota fabrikalarında 3 dakikada yapılmaktaydı. SMED, farklı ülkelerde ve farklı sektörlerde aynı şekilde başarılı sonuçlar almıştır. Düşük miktarlardaki üretimde etkin bir metot olarak görülen SMED'in yüksek kapasiteli üretim tesisleri için uygunluğuna dünyada birçok işletme soğuk bakmış ve bu tekniği kullanmaya değer bulmamıştır [35].

#### **2.1.3.6. Poka Yoke**

Shigeo Shingo'nun 1960'lı yıllarda ortaya koyduğu bir Japon tekniği olan poka yoke 2 Japonca kelimedenden oluşan bir kalite kontrol sistemidir. "Poka" yanlışlıkla yapılan

hata, “yoke” ise önleme anlamına gelmektedir. İstatistiksel süreç kontrolü, gözlem, süre ölçümleri vb. metotlar hataların tespitinde iyi sonuçlar verseler de hataları önlemede aynı güce sahip değildirler. Poka yoke hataları önleme ve hata yapmayı bütünüyle yok etme ana fikrine dayanmaktadır. İnsanların hata yapması tamamı ile engellenebilecek bir durum değildir. Hata yapan insanların işletmelerde sürekli suçlanması motivasyonu azaltır, başarıyı engeller ve sorunları çözümsüz bırakır. Hatalar; insanlar, makine, malzeme ve ortam gibi birçok farklı etken kaynaklı ortaya çıkabilir. Bu sebeple poka yoke yöntemi; insan, ürün ve süreç göz önüne alınarak tasarlanmalıdır [36]. Poka yoke akış diyagramı Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Poka yoke akış diyagramı [37].

Poka yoke teknikleri çalışanlar tarafından geliştirildiği için düşük maliyetlidirler. Fakat etkin çözümler getirirler. Hatasız üretim amaçlı bu çalışmalar sorun çıktığında uyarı verdiğinden üretim sonrası kalite kontrolü de kısmen ortadan kaldırılırlar [38].

### 2.1.3.7. Jidoka

Jidoka da diğer yalın üretim sistemlerinde olduğu gibi israfı ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır [29]. Jidoka, makinelerde oluşabilecek arıza vb. olumsuz durumlara bağımsız şekilde müdahil olacak cihazlar yerleştirilmesi işlemidir. Cihazlar, hata tespiti yapan ve hata ortaya çıktığında üretimi durduran bir otomasyon sisteminin

parçalarıdır. Bu seviyedeki otomasyon, hataların sürece girmesini önler ve tam otomasyona göre daha düşük maliyet içerir. Uygulamalar, oluşan hataları önlemede deneyimli personel ve mühendislik seviyesindeki çapraz fonksiyon ekiplerince yapılır. Tek bir hücrenin, iş istasyonunun veya hattın bu yapıya entegre edilmesi 2 ile 6 ay arasında tamamlanır. Hata tespit edildiğinde operasyonların ilerlemesi engellenmektedir. Böylece hatalar oluştuğu anda tespit edilir ve kısa duruşlarla düzeltilebilir [27].

#### **2.1.3.8. Toplam Verimli Bakım (TPM)**

Ürün veya hizmetlerin üretimi esnasında makine ve teçhizatın daha verimli kullanılması amacıyla geliştirilen bir bakım tekniğidir. Toplam verimli bakım tekniğini geliştiren Seiichi Nakajima, bakımı “çalışanların küçük ekipler şeklinde gerçekleştirdiği ve işletmenin tamamına yayılmış bir ekipman yönetimi” şeklinde tanımlamıştır. Ekipman yönetimini; makine ve teçhizattaki arızaları belirlemek, ayarların miktar ve sürelerini azaltmak, kaliteyi bozan hataları önlemek ve operatörlerin işi daha kolay ve güvenli şekilde yapmaları için gereken faaliyetlerin bütününe yönetmek şeklinde tanımlamaktadır [39].

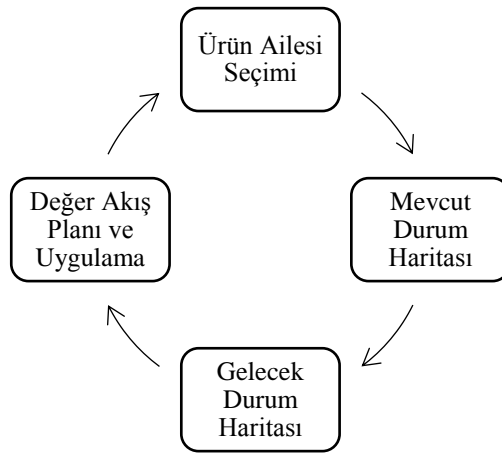
Kunio Shirose toplam üretken bakımı geliştiren önemli isimlerden bir diğeridir. Toplam üretken bakım yöntemini Japon usulü makine teçhizat yönetimi olarak tanımlamıştır. Shirose’ye göre bakım işlemleri tüm çalışanların sorumluluğundadır. Çalışanların bakım işlemleri hakkında bilgi sahibi olması ve düzenli olarak sorumlu oldukları makinelerin bakımlarını yapması gerekmektedir. Bakım işleri sadece bakım bölümünün sorumluluğuna bırakılmamalıdır. Toplam üretken bakım 4 temel esasa dayanmaktadır:

- a) Makine ve teçhizattan kullanım ömrü süresince en verimli şekilde yararlanmak,
- b) Farklı bölümlerdeki personelin bir arada çalışmasını sağlamak,
- c) Faaliyetlerin en tepe yönetimden en alttaki işçiye kadar bütün çalışanların katılımı ile yürütülmesini sağlamak,
- d) Kendi içinde bağımsız hareket eden küçük takımlar oluşturmak [40].



### 2.1.3.9. Değer Akış Haritalama (VSM)

Değer akış haritalama tekniği, yalın üretime geçiş sürecinde işletmenin mevcut sistemini inceleyerek gelişim planının oluşturulmasına katkı sağlayan yalın üretim aracıdır. Değer akış haritalamada öncelikle mevcut durumdaki israf ve israfın sebepleri ortaya konulur. Belirlenen israf kaynakları ve sebeplerinin iyileştirilmesi için değer akış haritalama kullanılarak model oluşturulur ve modelin uygulanması için gelişim planı hazırlanır. Değer akış haritalaması Şekil 2.4'te gösterildiği gibi bir döngü şeklinde devamlı tekrar ettirilmeli ve sürekli iyileştirilmesi sağlanmalıdır [41].



Şekil 2.4. Değer akışı uygulama döngüsü [41].

### 2.1.3.10. Tek Parça Akışı

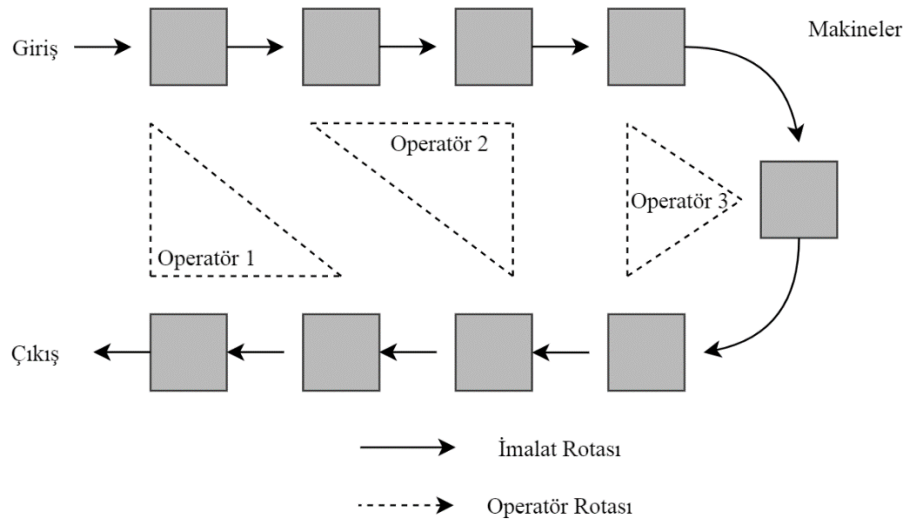
Talep üzerine hattan çıkacak ürünlere ait tüm parçaların ilke olarak o gün içinde üretilmesi ve tüm üretim birimlerinin kanban, üretimde düzenlilik vb. ilkelerle mümkün olan en az sayılarda çalışabilmesi bazı ön şartlara bağlıdır. Üretkenliğin çok yüksek ve üretim zamanlarının çok kısa olmasının, bekleme sürelerini artırma ihtimali yüksektir. Oluşan zaman kayıplarının engellenmesine yönelik çözümlerden biri de bir parçanın son halini alması için gereken tüm makinelerin ve parçaların işlem akışına göre sıralı yerleştirilmesidir. Böylece ürünün sıralı makineler arasında hiç beklemeden diğerine geçmesinin sağlanmaktadır. Makinelerin bu şekilde yerleştirilmesi "süreç bazlı yerleşim", parçaların süreçler arasında zaman kaybı yaşamadan aktarılması da "tek parça akışı" şeklinde isimlendirilir. Tek parça akışı tüm işlemler için kolay bir verimlilik modeli olarak kabul edilebilir ve işlemler

arasındaki taşıma, yürüme gibi süre kayıpları engellenerek parçaların sürekli akışı sağlanır [42, 43].

### 2.1.3.11. U Tipi Yerleştirme

Bir fabrika veya atölyenin üretim sürecindeki israflardan biri de çalışanların bir yerden bir yere yürümesi, makinedeki işlemleri kontrol etmesi veya makine başında makinenin devrinin bitmesini beklemesi gibi ürüne hiçbir değer katmayan işlemlerin getirdiği zaman kayıplarıdır. 1950'lerde Taiichi Ohno, değer katmayan faaliyetlerin önlenmesiyle çalışanlardan daha yüksek verim elde edilebileceğini fark etmiş ve bu amaca yönelik U tipi yerleşim yöntemini geliştirmiştir [44].

Şekil 2.5'te örneği verilmiş olan U tipi yerleşim modeli, ortak hedeflere ulaşmak için daha iyi bir çalışma imkânı sağlamaktadır. Grup içerisinde iletişim becerilerinin güçlenmesi ve hızlı problem çözme olanağı sağlamaktadır. Çalışma alanları arasındaki mesafelerin birbirine yaklaştırılması ve malzeme dağıtım noktalarının azaltılması ile malzeme, takım ve aparat dağıtımını kolaylaştırmaktadır. U tipi yerleşimde hattın giriş ve çıkışının aynı yönde olması daha kolay malzeme kontrolü sağlamaktadır. Operasyonların birleştirilmesi daha kolaydır. Üretim hacmini değiştirmede esneklik oluşması ve çalışanların daha az mesafe yürümesi sağlanmaktadır [44, 45].



Şekil 2.5. U tipi yerleşim hattı örneği [45].

U tipi yerleşimi uygulayan işletmelerde parçaların taşınması ve çalışanların makineler arasındaki hareketi kolaylaşmakta, ayrıca çalışanların birden fazla makinayla ilgilenmesi mümkün olmaktadır [45].

#### **2.1.3.12. Heijunka (Üretim Dengeleme)**

Heijunka, farklı türlerde siparişleri olan bir işletmede her ürünün dengeli adetlerde üretildiği ve bu adedin müşteri talebine göre planlandığı yalın üretim metodudur. Heijunka, üretim hatlarının talepteki değişimlere uyumlu olarak aynı gün içinde farklı ürün tiplerini, küçük miktarlarda üretebilecek şekilde tasarlanmasıdır [46].

Heijunka talep değişkenliğini göz önüne alarak az miktarda stok planı ile işletmenin sürekli çalışmasını sağlar. Stok sayısı çok az olduğundan işletmede alan tasarrufu sağlanır ve fazla mesai ihtiyacı ortadan kalkar. İşletme, üretimin talep değişikliklerine kolay adapte olması sayesinde esnek bir yapıya ulaşır ve değişken müşteri taleplerine daha kolay yanıt verilebilir [47].

#### **2.1.3.13. Shojinka (İş Gücü Dengeleme)**

Shojinka metodu ile U tipi veya benzeri yerleşime sahip iş birimlerinde katma değeri olmayan işgücü hareketlerinin azaltılması sağlanır. Makinelere parça yüklenmesi ve alınması mümkün olduğunca otomatikleştirilir. Böylece, bir işçinin birden fazla makineyi çalıştırabilmesine olanak sağlanır [48].

Shojinka metodunda, Heijunka'ya ek olarak çalışan sayısı da ürün türüne göre değişkenlik gösterir. Özellikle U tipi hatlarda ve yakın iş birimlerinde çok kullanılan bir metottur. Talep arttığında hat içerisinde çalışan sayısı arttırılarak daha fazla çıktı elde edildiği gibi, talep miktarı azaldığında çalışan sayısı da düşürülebilmektedir [20].

Bu metodun uygulanabilmesi için en önemli kriter, çalışanların üretim sahasındaki birçok konuda bilgi sahibi olmasının gerekliliğidir. Talebi azalan ürün hattındaki çalışan talebi artan ürün hattına çekildiğinde yeni hatta kolaylıkla uyum sağlayabilmelidir. Bu amaçla işletmeler, çalışanlarını eğitim ve rotasyona tabi tutarak

her çalışanın yeni hat içerisinde yüksek performans göstermesini sağlamaktadırlar [20].

#### **2.1.3.14. Hoshin Kanri (Stratejik Planlama)**

Hoshin Kanri, işletmelerin günlük faaliyetlerini stratejik hedefleriyle bütünleştiren sistematik bir yaklaşım tekniğidir. Türkçe karşılığı yön belirleme olan hoshin kanri diğer birçok modern yaklaşımda olduğu gibi Japonya'da doğmuştur. Diğer Japon yönetim yaklaşımlarında olduğu gibi hoshin kanri planlama sürecinde de tüm çalışanların katılımı hedeflenmektedir [49].

Hoshin kanri döngüsü, 4 aşamadan oluşmaktadır. Bu döngü üst düzey yöneticilerin işletme stratejisini gözden geçirdikleri önlem alma (odaklanma) aşamasıyla başlar. Bu aşamada işletme faaliyetlerinin odaklanacağı stratejik hedef ve öncelikler ortaya konulur. Bunu takip eden planlama (düzenleme) aşamasında stratejik öncelikler birimler bazında düzenlenir. Uygulama (bütünleştirme) aşaması önceliklerin günlük faaliyetler ve proje çalışmalarıyla bütünleştirilmesi aşamasıdır. Kontrol aşaması (gözden geçirme) ise günlük faaliyetlerin stratejik hedeflere uygun yönetimi ve denetimini içerir. Bu denetim ve gözden geçirmelerden elde edilen bilgiler odaklanma aşaması için geri bildirim sağlamaktadır [49].

#### **2.1.3.15. Andon**

Andon, üretim hattında yaşanan herhangi bir aksama ve hata durumunda bandı durdurmakta kullanılan ve üretim süreci üzerinde doğrudan denetim sağlayan görsel bir denetleme aracıdır [29].

Japonca andon kelimesi fener anlamına gelmektedir. Fenerin karanlıkta yürüyen insanın yolunu aydınlatması gibi andon ışığı da fabrikadaki olağan dışı durumları açığa çıkarmaya katkı sağlamaktadır. Makineler düzgün bir şekilde çalıştığı sürece operatörün makine başında durması istenen bir durum değildir. Ürüne katma değeri olmayan bu durum işçiden yeterince yararlanılmamasına yol açar. İsraf edilen bu çalışma zamanının daha aktif kullanılması için makinaların özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Bu iyileştirme bir aparat kullanılması, yeni yazılım yüklenmesi, ergonomik tasarım vb. yöntemlerle yapılabilir. Bu sayede işi kolaylaşan

ve iş süresi azalan operatör başka işlerde kullanılabilir veya daha fazla sayıda makineyi kontrol altında tutabilir. Hata durumunda makine üretimi durdurarak ışıklarla bilgilendirme yapar ve operatörün dikkatini çeker. Böylece operatör sadece hata durumunda makine başına gider ve işçiden daha verimli yararlanılması sağlanır [50].

#### **2.1.3.16. Kalite Çemberi**

İşletmelerde iç müşteri tanımının karşılığı olan kalite çemberleri, çalışanların belli konularda eğitimi ile oluşturulan gruplardır. Kalite çemberlerinin oluşturulmasıyla bir motivasyon ve katılım ortamı sağlanır. Bu durum çalışanlarda işe karşı sahiplenme duygusu oluşturur. Prosesler arasında iş birliği artar. Eğitimlerle çalışanların sorumluluk alması ve kendilerini geliştirmesi sağlanır. Japon kalite kontrol hareketinin öncüsü olan Dr. Kaoru Ishikawa'ya göre işletme genelinde kalite kontrol yaklaşımının üç temel özelliği vardır:

- a) Tüm bölümler kalite kontrol fonksiyonuna katılır.
- b) Tüm çalışanlar kalite kontrol fonksiyonuna katılır.
- c) Kalite kontrol diğer işletme fonksiyonlarına bütünüyle entegre olur [35].

Hatalı üretimin olduğu zamanlarda ise balık kılıcı diyagramı, pareto diyagramı ve beyin fırtınası gibi problem çözme teknikleri kullanılarak hataların ana sebepleri araştırılır ve çözüm bulunmaya çalışılır [51].

#### **2.1.3.17. Hücresel Üretim**

Hücresel üretim, işletmelerin tasarım ve üretim fonksiyonlarının entegrasyonunu sağlayarak parti üretim verimliliğinin artmasını amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu bağlamda hücresel üretim sistemi, proses tipi üretimin esnekliğini ve akış tipi üretimin yüksek performansını bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bağımsız üretim hücreleri oluşturmak için ürünlerin işlem benzerliklerinden yararlanır. Çünkü işletmelerde küçük partiler halinde üretilen çok çeşitli parçaların bir kısmı tasarım ve üretim açısından benzer özellikler taşırlar. Hücreler genellikle birbirine benzer parçalardan oluşan bir parça ailesinden ve fiziksel olarak birbirine çok yakın olarak yerleştirilmiş değişik makinalardan oluşmaktadır [34].

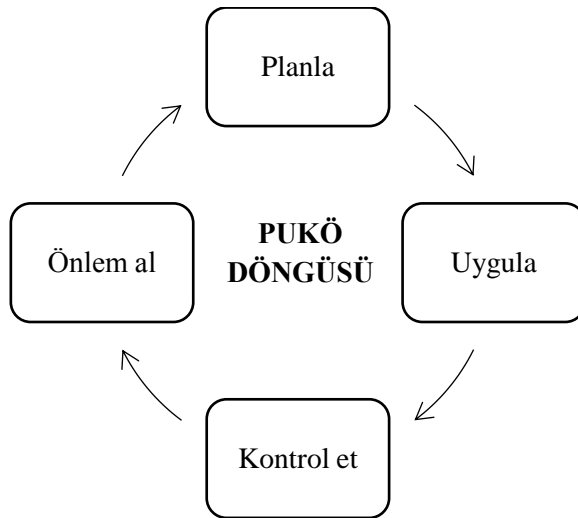
Hücresel üretim, herhangi bir ürünün tüm parçalarının üretimindeki operasyonel benzerliklerden faydalanılarak daha verimli bir üretim yapısı oluşturmak, bir bakıma bir fabrikayı daha küçük fabrikalara bölmektir. Böylece benzer makine operasyonu olan parçalar daha kısa sürede hazırlanır, malzeme taşımada tasarruf sağlanır, üretim içi stoklar azalır, uzmanlaşma artar, planlama kolaylaşır, olumsuzluklar daha kolay gözlemlenir ve israf azalır [48].

### 2.1.3.18. Problem Çözme Teknikleri

Her işletmede, hedeflere ulaşmaya engel olacak problemlerin meydana gelmesi mümkündür. Ortaya çıkan problemleri çözmek için kullanılan birçok problem çözme tekniği vardır. Sürekli iyileştirmeyi sağlamak için işletmelerde bu tekniklerin benimsenmesi ve kullanılması gerektiği önerilmektedir. Problemin çözümünde izlenmesi gereken ortak adımlar şu şekildedir:

- a) Problem tanımlanır ve analizi yapılarak sebepleri belirlenir.
- b) Çözüm bulunur ve uygulanır.
- c) Sonuçlar kontrol edilir ve değerlendirilir.
- d) Problemin bir daha ortaya çıkmaması için önlem alınır, gerekli düzeltmeler yapılır ve standartlar oluşturulur [48].

PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al) döngüsü olarak ifade edilen bu uygulama Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. PUKÖ döngüsü [48].

Kullanılan teknikler problemin niteliğine ve boyutuna göre değişmektedir. En çok kullanılan problem çözme teknikleri beyin fırtınası, balık kılçığı diyagramı ve sebep sonuç diyagramı şeklindedir. Problemler, istatistiksel analizlerle elde edilen veriler yardımı ile de çözülebilir. Problemin oluşum sebebi eldeki verilerin anlamlı bilgilere dönüşmesi ile belirlenir. Sorunlara etkin çözümler getirebilmek için, sorunlar hakkında doğru, yeterli ve anlam ifade eden verilerin toplanması gerekmektedir [48].

## **2.2. AKSİYOMATİK TASARIM**

Tasarım metodu geliştiricileri tasarımlarını oluştururken, iş hayatının önemli stratejileri doğrultusundan özgün stratejiler belirler ve kendi düşüncelerini ortaya koyarlar. Bu kapsamda tasarımcılar tarafından yenilikçi ürün tasarımına yönelik birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Ürün tasarımına farklı bir yaklaşım getiren bu yöntemlerden biri de aksiyomatik tasarım yöntemidir [52].

### **2.2.1. Aksiyomatik Tasarımın Gelişimi**

Aksiyomatik tasarım yöntemi Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT, Massachusetts Institute of Technology) Makine Mühendisliği profesörlerinden Nam P. Suh tarafından 1990 yılında geliştirilmiştir [52]. Tasarımcıların, tasarım sorunlarını anlamalarına ve yapılandırmalarına yardımcı olan bilimsel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, uygun tasarım gereksinimlerinin, çözümlerinin ve süreçlerinin analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır. Yöntemi geliştiren Suh'un amacı, mühendislik tasarımı için bir dizi temel ilkeyi belirlemek ve bunları titiz bir tasarım teorisi için temel olarak kullanmaktır. Klasik bir tasarım teorisi, aşağıdaki sorulara cevap vermeyi amaçlar:

- a) Bu iyi bir tasarım mıdır?
- b) Bu tasarım neden diğerlerinden daha iyi?
- c) Tasarımın kaç özelliği müşteriler tarafından ifade edilen ihtiyaçları karşılamalı?
- d) Bir aday tasarım ne zaman tamamlanır?
- e) Bir tasarımı geliştirmek için ne yapılabilir?
- f) Bir tasarım fikrinden vazgeçmek veya konsepti değiştirmek için zaman uygun mudur? [53].

Aksiyomatik tasarım metodunda ise tasarım, neyi gerçekleştirmek istiyoruz ve nasıl gerçekleştirebiliriz sorularının etkileşimiyle tanımlanmaktadır. Aksiyomatik tasarım yönteminin amaçları şunlardır:

- a) Tasarımlar için bilimsel bir temel oluşturulması,
- b) Tasarımcının mantıklı düşünce süreçleri ve araçlarıyla desteklenmesi,
- c) Rastgele arama süreçlerinin azaltılması,
- d) Tekrarlanan denemelerin ve süreç hatalarının minimize edilmesi,
- e) Önerilenler arasında en iyi tasarıma karar verilmesi [52].

### **2.2.2. Aksiyomatik Tasarımın Amacı**

Aksiyomatik tasarımın temel amacı, tasarımcı tarafından mantıksal ve akla dayanan düşünce süreçleri üzerinde teorik bir temel oluşturarak tasarım aktivitelerini iyileştirmektir. Diğer amaçları ise şunlardır:

- a) Tasarımcıların yaratıcılık düzeyini artırmak,
- b) Gelişigüzel araştırma süreçlerini ve hatalı deneme sayısını azaltmak,
- c) Önerilen tasarımlar içerisinde en iyi tasarımı seçmek [6].

Aksiyomatik tasarım, oluşan kısıtları fonksiyonel ihtiyaçlarla teşhis ederek, tasarım hedeflerinin kesin bir biçimde ifade edilmesini sağlar. Bu da tasarımcının hedefe odaklanmasına ve istenilmeyen özellikleri en erken sürede elemesine yardımcı olur. Böylece tasarımın iyi ya da kötü tasarım olduğu kararının verilmesini sağlayacak kriterlerin belirlenmesine katkıda bulunur [6].

Endüstriyel rekabet, şirketlerin tasarım konusunda güçlü, donanımlı ve teknik yeteneklere sahip olmalarını gerektirir. Rekabet baskısı altında olan işletmelerin; yeni ürün çıkış süresini kısaltması, imalat maliyetlerini en aza indirmesi, ürün kalitesini ve güvenilirliğini artırması ve fonksiyonel gereksinimleri etkin şekilde karşılaması gerekmektedir. Endüstriyel rekabet üzerindeki en büyük etki, tasarım çözümlerinin doğru zamanda geliştirilmesi ve kalitesine dayanmaktadır. Donanım, yazılım ve sistemlerin tasarlanması üretilebilir, kontrol edilebilir ve güvenilir olmasına bağlıdır. Aksi takdirde hedeflerine ulaşamaz. Kötü tasarlanmış donanım, yazılım ve sistem performanslarının düzeltici faaliyetlerle sonradan geliştirilmesi ihtimali düşüktür. Ayrıca her durumda zaman ve maliyet israfına neden olacaktır [6].



Endüstriyel pazar kurallarının dinamik bir şekilde değiştiği günümüzde, gelişen rekabet zemininde avantajlı duruma geçmek için müşteri isteklerini iyi analiz etmek gerekir. Analizde maliyet, kalite, zaman, performans ve esneklik gibi kısıtlar da dikkate alınarak beklentileri karşılayacak ürünleri tasarlamak, başarılı ve sürdürülebilir bir tasarımın ön ve standart koşuludur. Teorinin fikir babası olan Suh şöyle demektedir; *“Aksiyomatik tasarımın amacı tasarımcıların daha yaratıcı olmasını sağlamak, rastgele araştırma süresini azaltmak, hatalı ve tekrarlı süreçleri minimize etmek ve tüm önerilenler/alternatifler arasından en iyi tasarımı bulmaktır”* [6].

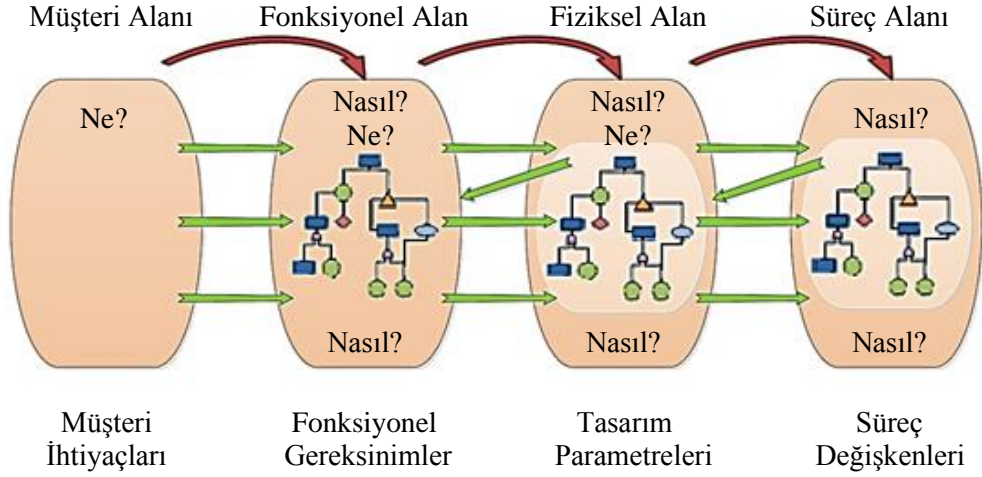
### 2.2.3. Aksiyomatik Tasarım Metodolojisi

Aksiyomatik tasarım metodolojisi, tasarımda izlenen yol süresince müşteri alanı, fonksiyonel alan, fiziksel alan ve süreç alanı olmak üzere bilgi sahalarını tanımlamak için kullanılır:

- a) **Müşteri İhtiyaçları (CA):** Müşteri isteklerini tam olarak karşılayacak olan müşteri ile ilgili değişkenleri karakterize eder.
- b) **Fonksiyonel Gereksinimler (FR):** Tasarlanacak olan sistem, alt sistem veya parçanın özelliklerini tanımlayarak fonksiyonel alandaki tasarım değişkenlerini ifade eder.
- c) **Tasarım Parametreleri (DP):** Tasarım sürecinde geliştirilen fiziksel çözüm ve karakteristikleri tanımlar.
- d) **Süreç Değişkenleri (PV):** Tasarım parametrelerinde tanımlanan fiziksel tasarım sonucu oluşan değişkenleri nitelendirir.
- e) **Kısıtlar:** Kabul edilebilir makul çözümlerin sınırlarını gösterir [6].

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi alanlar müşteri ihtiyaçları, fonksiyonel gereksinimler, tasarım parametreleri ve süreç değişkenleri olarak isimlendirilmektedir. Müşteri ihtiyaçları, müşteri alanında tanımlanır ve sonraki aşama olan fonksiyonel alanda formüle edilir. Müşteri ihtiyaçları belirlendikten sonra bu ihtiyaçlar, minimum özellikler setine dönüştürülmelidir. Fonksiyonel alanda, çözüm için geliştirilmesi gereken ve birbirlerinden bağımsız olan fonksiyonel ihtiyaçlar seti ortaya konulur. Tasarım, “ne yapmak istiyoruz?” sorusunu cevap arayan fonksiyonel alan ile “bunu nasıl başarabiliriz?” sorusunu soran ve tasarım parametrelerinden oluşan fiziksel alan

arasındaki ilişkilerin tanımlanma sürecinden oluşur. Tasarım parametreleri ise süreç alanındaki süreç değişkenleri ile ilişkilendirilmektedir. Burada "ne" sorusundan, "nasıl" sorusuna gidişler "haritalandırma" olarak tanımlanmaktadır. Bu "haritalandırma" alt düzeylerde saptanmış sorunlara ait çözümlerin geliştirildiği noktaya kadar devam eder [6].



Şekil 2.7. Alan, haritalama ve tasarım boşlukları arasındaki ilişki [6].

“Alan”, fonksiyonel ve fiziksel tasarım parçalarını birbirinden ayırmaktadır. “Hiyerarşi”, fonksiyonel ve fiziksel alandaki tasarım sürecini sistematik seviyeden detaylı seviyelere doğru kategorize etmektedir. “Alanlar arasındaki zikzaklar”, alt seviyedeki problemin durumunu etkileyen hiyerarşinin herhangi bir seviyesinde verilen kararları göstermektedir. “Tasarım aksiyomları” ise bağımsızlığın sürdürülebilmesi ve yüksek kalitede bilgi içeriğine sahip tasarımlar oluşturması için fiziksel gereksinimlerin minimize edilmesi gerektiğini belirtmektedir [6].

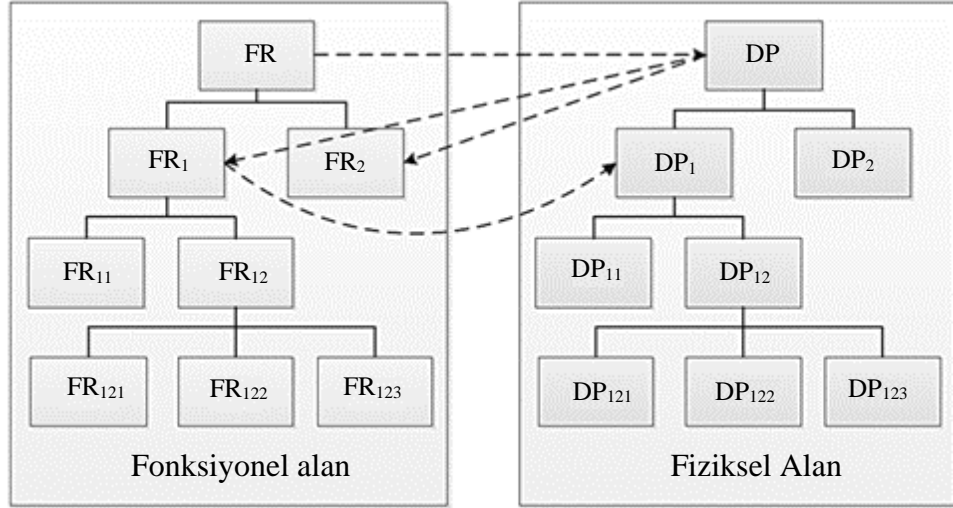
Çizelge 2.1’de farklı tasarımlar için alan karakteristikleri üretim, malzeme, yazılım, organizasyon, sistem ve işletme başlıkları altında sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Farklı tasarımlar için alan karakteristikleri [6].

<b>Tasarım Türü</b>	<b>Müşteri Alanı</b>	<b>Fonksiyonel Alan</b>	<b>Fiziksel Alan</b>	<b>Süreç Alanı</b>
<b>Üretim</b>	Tüketicinin istediği nitelikler	Ürün için belirlenen fonksiyonel ihtiyaçlar	Fonksiyonel ihtiyaçları tatmin edebilen fiziksel değişkenler	Tasarım parametrelerini kontrol edebilen süreç değişkenleri
<b>Malzeme</b>	İstenilen performans	İstenilen özellikler	Mikro yapı	Süreçler
<b>Yazılım</b>	Yazılımda istenilen nitelikler	Çıktı	Girdi değişkenleri ve algoritmalar	Alt yöntemler
<b>Organizasyon</b>	Müşteri tatmini	Organizasyon fonksiyonları	Programlar veya işyerleri	Programları destekleyebilen insanlar ve diğer kaynakları
<b>Sistem</b>	Sistemin tüm istenilen nitelikleri	Sistemin fonksiyonel ihtiyaçları	Makineler, bileşenler, alt bileşenler	Kaynaklar (insan, finans, vb.)
<b>İşletme</b>	Yatırım geri dönüşü	İşletme amaçları	İşletme yapısı ve stratejileri	İnsan ve finansal kaynaklar

#### 2.2.4. Tasarım Hiyerarşisi Modeli ve Haritalandırmada Zikzaklama Süreci

Aksiyomatik tasarım metodolojisinde, bir tasarımı tamamlamak için öncelikle en üst seviyede fonksiyonel gereksinimler ve tasarım parametreleri tanımlanmalıdır. Kaliteli ve sürdürülebilir bir tasarım elde etmek için bilgi içeriğinin minimum olmasını ve fonksiyonel ihtiyaçların bağımsız olmasını sağlamak gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak oluşturulan “zikzaklama”da, Şekil 2.8’deki gibi dikey bir hiyerarşi oluşturularak fonksiyonel gereksinimler ve tasarım parametreleri arasındaki ilişki ve etkileşim gösterilmektedir [6].



Şekil 2.8. Tasarım hiyerarşisi modeli [6].

Fonksiyonel gereksinimler, tasarım parametreleri ve sistem kısıtlarının hiyerarşik yapısını kapsayan model ve zikzaklama, sistem mimarisinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Sistem mimarisindeki zikzaklar sayesinde tasarımın fonksiyonel gereksinimleri, tasarım parametreleri ve kısıtlar arasında ilişki belirlenebilmektedir. Ayrıca bu parametrelerdeki değişikliğin tasarım üzerindeki etkisi gözlemlenebilmektedir [6].

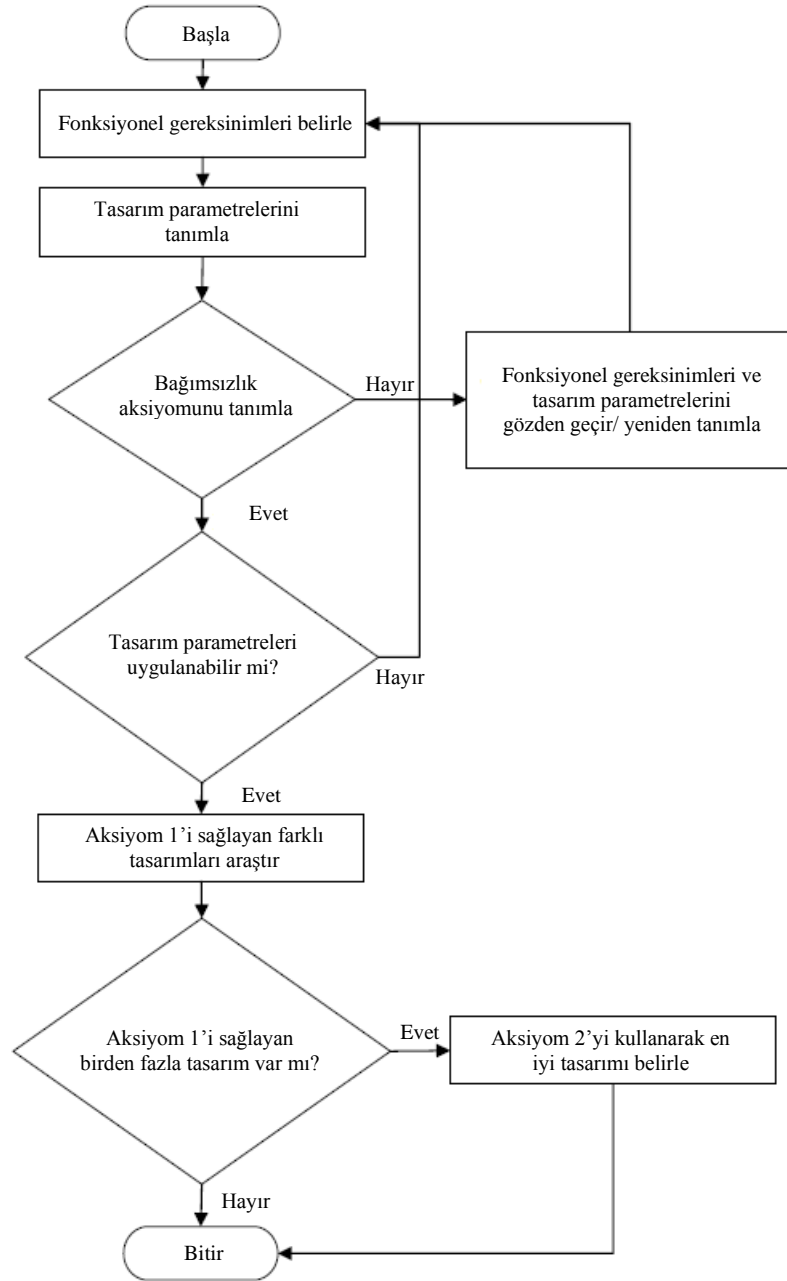
### 2.2.5. Tasarım Aksiyomlarının Prensipleri

Suh ve arkadaşları “bağımsızlık” ve “bilgi” olmak üzere iki adet tasarım aksiyomuna odaklanmış ve yeni ürün tasarımı veya olan bir ürün tasarımının geliştirilmesinde bu aksiyomların nasıl kullanılabileceğini tanımlamışlardır.

#### 2.2.5.1. Aksiyomatik Tasarımın Yol Haritası

Şekil 2.9’da yol haritası çizilen aksiyomatik tasarımda öncelikle, tasarım tüm yönleri ile analiz edilir. Bir sonraki adım olan ve aksiyom 1 olarak tanımlanan bağımsızlık aksiyomunda tasarımın gereksinimleri yerine getirip getirilmediği araştırılır. Eğer bağımsızlık aksiyomu hiçbir şekilde karşılanamıyorsa başa dönülerek yeni tasarım arayışlarına gidilir. Bir kısmı veya tamamı karşılanıyorsa bir sonraki adıma geçilir. Aksiyomatik tasarım yönteminde tasarımın başarısı aksiyom 2 olarak ifade edilen bilgi aksiyomundan bağımsız olmadığı için bu tasarım bilgi aksiyomu ile

karşılaştırılarak bilgi içeriği hesaplanır. Bağımsız ve en düşük bilgi içeriğine sahip tasarım, ideal tasarım olduğu için tüm istekleri karşılayamayan sistem bu sınırlarda optimize edilerek uygun ve kabul edilebilir bir tasarıma dönüştürülür [54].



Şekil 2.9. Aksiyomatik tasarım akış diyagramı [54].

### 2.2.5.2. Bağımsızlık Aksiyomu

Bağımsızlık aksiyomu, fonksiyonel gereksinimler ile tasarım parametreleri arasındaki bağımsızlık yapısını belirlemektedir. Bağımsızlık aksiyomuna göre her bir FR, diğer DP'leri etkilemeden yalnızca tek bir DP ile ilişkili olmalıdır [55].

Tasarım alt yapısını oluşturan fonksiyonel gereksinimler kümesi FR vektörüyle, fiziksel alandaki tasarım parametreleri kümesi de DP vektörüyle ifade edilmektedir. FR ile DP vektörleri arasındaki ilişki Denklem 2.1'de tanımlanmıştır [55].

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (2.1)$$

Tasarım matrisi olarak isimlendirilen  $[A]$  matrisi fonksiyonel gereksinimler ile tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi göstermekte olup ürün tasarımını karakterize etmektedir. Denklem 2.2'de gösterildiği gibi  $[A]$  matrisindeki her  $A_{mn}$ , FR vektörünün  $m$  elemanı ile DP vektörünün  $n$  elemanı arasındaki bağlantıyı ifade eder [55].

$$A_{mn} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{m1} & A_{m1} & A_{m1} & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

İlişki matrisi, FR ve DP arasında ilişki olup olmadığını gösterir. Matris 0 ve 1 elemanlarından oluşmakta olup ilişkinin derecesini ve ilişkinin yönü hakkında bilgi vermemektedir.  $[A]$  matrisinin yapısına göre tasarım ayrık, bağlı ve ayrılmış tasarım olarak üçe ayrılır [55].

Denklem 2.3'te verildiği gibi,  $A$  matrisinin köşegenleri boyunca FR ile DP arasında ilişki var ve diğer elemanlar arasında ilişki yoksa bu tasarım ayrık ve ideal bir tasarımdır [55].

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Diğer bir tasarım olan ve Denklem 2.4’te verilen ayrılmış tasarımda, bağlı tasarımın tersi bir durum geçerlidir. [A] matrisi ile ifade edilecek olunursa FR ile DP arasındaki ilişki bağlı matrise göre diyagonal olarak simetriktrir. Ayrık tasarım elde edilemediği durumlarda, ideal ve efektif bir tasarıma ulaşmak için bu tasarım modeli üzerinde çalışılmalıdır [55].

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Son olarak Denklem 2.5’te gösterilen bağlı tasarımda ise [A] matrisindeki gibi FR ile DP arasında ilişki ne ayrık ne de ayrıştırılmışsa bu tasarım modeli bağlı tasarımdır. Bu tasarım modeli istenmeyen ve etkin olmayan bir tasarımdır [55].

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

### 2.2.5.3. Bilgi Aksiyomu

“Basitlik” olarak da tarif edilebilecek olan bilgi aksiyomuna göre en iyi ve en başarılı tasarım modeli en az bilgi içeriğine sahip olmalıdır. Bilgi aksiyomu bağımsızlık aksiyomunun gereklerini yerine getiren tüm tasarım alternatifleri arasından en iyi olanının seçilmesini sağlar [56]. Suh’un yaklaşımına göre fonksiyonel gereksinimleri yerine getiren tüm çözümler içerisinde en az bilgi içeren en iyi çözümdür. Bu nedenle, bilgi aksiyomu eski bir yaklaşım olan “basit tut” yaklaşımının devamı niteliğindedir. Bilgi aksiyomundan faydalanılarak çok kriterli karar analizi modelleri oluşturulabilmekte, bilgi aksiyomunda içerik olasılık terimleriyle tanımlandığı için karmaşık problemler sadeleştirilerek basite indirgenmekte ve çözüme sistematik bir şekilde ulaşılabilmektedir [6].

## 2.3. MONTAJ HATLARININ DENGELENMESİ

Akış hattı boyunca parçayla ilgili işlemlerin öncelik-sonralık ilişkileri ve döngü süresi gibi limitler de göz önünde bulundurularak bir hat boyunca sıralanmasıyla oluşturulan sisteme montaj hattı denir. Montaj için giren ürün, istasyonların tümünden işlem görerek geçer ve bitmiş ürün olarak hattan ayrılır. Bu süreç boyunca hattaki iş yükünün operatörlere adil şekilde dağıtılmasını hedefleyen yöntem ise hat dengeleme olarak adlandırılır. Montaj hattı dengeleme, üretim ile ilgili kavramların kapsamlı kullanımını gerektiren çok bileşenli karmaşık yapılardır. Bu yapıların anlaşılması için üretim, montaj hattı ve dengeleme kavramlarının kapsamlı şekilde irdelenmesi gerekmektedir [57].

### 2.3.1. Üretim Sistemleri ve Üretim Hatları

Üretim, ekonomik değere sahip hizmet ya da malların gerçekleştirilmesini sağlayan etkinlikler bütünüdür. Üretim, yalnızca fiziksel bir çıktı şeklinde olmayabilir. Aynı zamanda eğitim, sağlık, ulaşım gibi hizmetin üretildiği sistemler de topluma değer kattıklarından dolayı bir üretim faaliyeti olarak adlandırılabilir. Üretim sistemleri ise belli bir hedef doğrultusunda çıktıları ve girdileri olan ve belli süreçlerden meydana gelen öğeler bütünüdür. Üretim sistemleri; ürün çeşidi ve üretim miktarı açısından 3 ana sınıfta kategorize edilebilir. Bunlar sipariş tipi üretim, parti tipi üretim ve seri (akış tipi) üretim sistemleridir:

- a) **Sipariş Tipi (Proje) Üretim:** Az miktardaki ürünün bir defada ya da belirli/belirsiz periyotlarla üretildiği üretim sistemleridir. Ürün çeşidi çoktur fakat üretilen ürün sayısı azdır. Literatürde proje tipi üretim şeklinde de yer alır. Bu üretim tipinde çok fonksiyonlu tezgâh ve donanımlardan yararlanılmaktadır. Üretim yapısının esnek olmasından dolayı kalifiyeli çalışanlara gereksinim duyulmaktadır. Tezgâh yerleşimi, aynı işlemi yapan tezgâhların gruplandırılarak tespit edilen alanlarda toplanmasıyla gerçekleştirilir. Bundan dolayı iş akışlarının yapısı karmaşıktır.
- b) **Parti Tipi Üretim:** Aynı tip ürünlerin sınırlı sayılarda belirli/belirsiz periyotlarda partiler halinde üretildiği sistemlerdir. Parti hacminin büyümesiyle parti üretimden kitle üretime geçiş olabilmektedir. Parti tipi üretimde hazırlık



ve malzeme taşıma sürelerinin fazla olması verimliliğin azalmasına yol açmaktadır.

c) **Seri (Akış Tipi) Üretim:** Ürün çeşitliliğinin düşük, talebin ise fazla olduğu yüksek miktarlarda üretimin yapıldığı sistemlerdir. Bu tip sistemler, yüksek maliyetli özelleşmiş donanımlar ve üretim hatlarına sahiptir. Böylece, hızlı ve yüksek miktarlarda üretim sağlanır. Seri üretim tipinde üretim hattı üretilecek ürün doğrultusunda tasarlanır. Bu sistemler için üretim planlaması önem arz etmektedir. Üretim hatlarının dengeli olması, verimlilik bakımından önem arz etmektedir [57].

### **2.3.2. Montaj Hattı ve Hat Dengeleme Kavramı**

Üretiminin yapılması için makinelerin hat şeklinde sıralanmasıyla teşkil edilmiş sisteme montaj hattı denir. Montaj hattında malzemeler manuel sistemlerle ve işgücü yordamıyla ürün haline getirilir. Çalışanların kesintisiz şekilde işlerine devam edecekleri şekilde istasyonlara atanmasına özen gösterilir. Her bir çalışan kendisiyle ilgili istasyonda kendi için verilmiş iş emrindeki işlemleri yerine getirir. Parçalar halindeki malzemeler iş birimleri arasında sırayla el değiştirerek bitmiş ürün haline getirilir. Bu işlemler, talep edilen sayı ve miktarda ürün ortaya çıkana kadar devam ettirilir. Montaj hatlarının tasarlanması esnasında, her istasyondaki boş sürenin minimuma düşürülmesi, bir başka deyişle hattın en yüksek verim alınması hedeflenir. İstasyonların dengeli olarak yerleşimi çalışanlardan etkin olarak faydalanılmasına da imkân vermektedir [3].

Montaj hattı dengeleme; iş unsurları ve sürelerinin belirlenmesi sonrasında operatörlerin bir öncelik sırası ve performans kıstasını göre en uygun şekilde iş istasyonlarına atanmasıdır. Üretim hızının tespit edilmesi ve kaynaklardan verimli şekilde yararlanılmasına ilişkin bir çalışma olması nedeni ile üretim sektöründe önem arz etmektedir. İstasyonların tamamında işlem süresi ile çevrim süresinin eşit olduğu montaj hattı arzu edilen en mükemmel denge şeklidir. Dengelenmemiş bir montaj hattında istasyonların boş süreleri fazla ve çalışanlardan faydalanma seviyesi düşüktür. Üretim miktarının artmasıyla kapasite kullanım oranı hızlı şekilde düşer ve bu durum işletmeler için ilave maliyetlere yol açar. Bunun yanında üretim

kapasitesinin etkili biçimde kullanılmaması nedeniyle ürün tedarik süresi uzar ve müşteri tatminsizliği oluşur [58].

Günümüzde rekabet ve üretim miktarlarının artması nedeni ile kaynakların verimli kullanılarak taleplerin zamanında karşılanma hedefi üretim hatlarının tasarlanmasını ve dengelenmesini önemli hale getirmektedir [58].

### **2.3.3. Montaj Hattı Dengelemede Genel Tanımlar ve Kavramlar**

Montaj hattı “m” adet istasyon ve “n” adet iş ögesinin olduğu üretim sistemidir. İstasyonlar arası bağlantı çoğunlukla mekanik taşıma ekipmanı ya da taşıma bandı vasıtasıyla sağlanmaktadır. Montaj hattındaki iş unsurları bir istasyondan ötekine ardışık şekilde taşınmaktadır [57].

Her bir istasyonda, monte edilecek iş unsurları belli bir çevrim süresinde tekrarlı işlemlerle ortaya çıkarılır. Bu iş unsurlarının öncelik ilişkileri dikkate alınarak, verilen çevrim süresini aşmadan ve takım performans kıstaslarının en uygun kullanımı ile hangi istasyonda hangi iş unsuru ya da iş unsurlarının işlem göreceği kararı “Montaj Hattı Dengeleme”dir [57].

Yüksek miktarlardaki standart hale gelmiş mamullerin üretiminin yapıldığı işletmelerde montaj hattının dengelenmesi önemli bir üretim planlama problemidir. Bu tip sistemlerde bir mamulün çevrim süresinde meydana gelen düşük oranda azalış dahi üretim miktarının artmasıyla sistem veriminde önemli düzeyde olumlu değişikliklere yol açmaktadır. Bundan dolayı, montaj hattının dengelenmesi üretim planlamacılar ve karar vericiler için büyük önem arz etmektedir [57].

Montaj hattı dengelemede kullanılan kavramlara ilişkin tanımlar aşağıda verilmiştir:

- a) **İş Ögesi:** Montaj periyodunda toplam iş yükünün mantıksal şekilde bölünmüş parçasıdır. İş ögesi bazı kaynaklarda bölünemeyen en küçük iş parçası şeklinde ifade edilir ancak literatürde birden çok iş parçasının birleşip bir iş ögesi olarak tanımladığı da görülmektedir. Fakat bir parçaya üç adet vida montajının gerekli olduğu bir iş grubunda, aynı işi 3 defa belirterek sınıflandırmak mantıklı bir bakış açısı değildir. Bu iş grubuna, bir iş ögesi şeklinde yaklaşım daha uygundur. Bir iş ögesinin meydana getirilebilmesi için gereken süre ise iş ögesi

işlem süresi şeklinde ifade edilir. Genellikle iş ögesi “i” sembolü ile, iş ögesine harcanan işlem süresi ise “t<sub>i</sub>” sembolü ile gösterilmektedir [57].

- b) İş İstasyonu:** Montaj hattı üzerinde bir ya da birden çok iş ögesinin ortaya çıktığı her bir bölüm “iş istasyonu” şeklinde ifade edilmektedir. İş istasyonlarında bulunan iş ögeleri çoğunlukla çalışanlarca gerçekleştirilmektedir [57].
- c) İş İstasyonu Süresi:** Bir istasyonda bulunan iş içeriği, iş yükü şeklinde adlandırılmaktadır. İş yükünün gerçekleştirilmesi için gereken süre ise iş istasyonu süresi şeklinde tanımlanmaktadır [57].
- d) Çevrim Süresi:** Çevrim süresi, ürünün istasyonda kaldığı en uzun süre ya da istasyon çalışanın işlerini bitirmesi için gereken süre şeklinde ifade edilebilir. Çevrim süresi bir ürünün montaj hattına girişi ve çıkışı arasındaki süre farkı şeklinde değerlendirilebilir. Diğer ifade şekli ise üretim hızıdır. Belirli bir sürede üretimi yapılması istenen ürün miktarı çevrim süresiyle bağlantılıdır (Denklem 2.6) [57].

$$C = \frac{T}{\text{ÜS}} \quad (2.6)$$

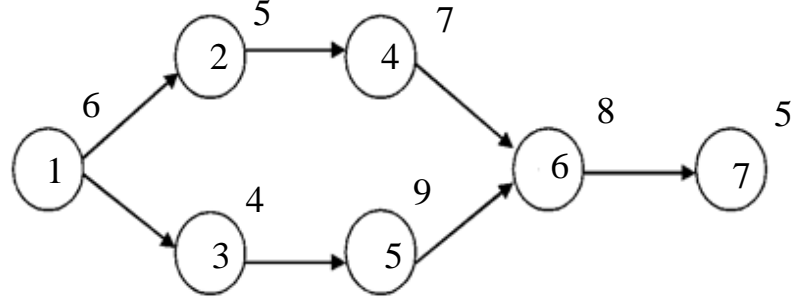
C: Çevrim Süresi

T: Kullanılabilir Üretim Alanı

ÜS: Üretilmek İstenen Ürün Sayısı

- e) İş İstasyonu Boş Süresi:** İstasyon süresi ile çevrim süresi arasındaki fark, o istasyona ait boş süreyi göstermektedir. Tespit edilen çevrim süresine göre iş ögelerinin daha düşük bir zamanda yapıldığı bir istasyonda, boş süre ölçüsünde çalışandan faydalanılamaz ve üretim kapasitesinden tam verimle yararlanılamaz [57].
- f) Öncelik Diyagramı:** İş ögeleri arasında ardıllık ve öncüllük bağlantılarının oklar ve düğümlerle gösteriminin yapıldığı ağ diyagramı öncelik diyagramı olarak tarif edilmektedir. Düğümlerin sağ üst köşesinde bulunan rakamlar ilgili iş ögesine ait süreyi belirtir. Öncelik diyagramında; düğümler iş ögesini, oklar ise iş ögeleri arasındaki ardıllık ve öncüllük ilişkisini belirtir. Diyagramda okların solundaki işler (öncüller) bitirilmeden okların sağındaki işler yapılamaz. Bu diyagramlar, montaj hattına ait iş ögelerini ve iş ögeleri

arasındaki öncelik bağlantılarını gösterdiğinden kolaylaştırıcıdır [57]. Şekil 2.10'da 7 iş ögesi bir montaj hattı için yapılan öncelik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Öncelik diyagramı [57].

**g) Öncelik Matrisi:** İş ögeleri arası ilişkiler öncelik diyagramları yoluyla gösterildiği gibi öncelik matrisi yapılarak da gösterilebilir. Öncelik matrisinde, iş ögesi numarasının bulunduğu satırla, ardılı olan iş ögesi numarasının bulunduğu sütunun kesiştiği hücreye 1, öteki hücrelere 0 rakamı konur [57]. Şekil 2.10'da verilen öncelik diyagramı için yapılan öncelik matrisi Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Öncelik matrisi [57].

		Ardıl İş Ögeleri						
		1	2	3	4	5	6	7
Öncül İş Ögeleri	1	-	1	1	1	1	1	1
	2		-	0	1	0	1	1
	3			-	0	1	1	1
	4				-	0	1	1
	5					-	1	1
	6						-	1
	7							-

**h) Gerekli Olan En Az İş İstasyonu Sayısı:** İş ögelerinin tümünün çevrim süresini geçmemek koşuluyla istasyonlara atanması halinde ihtiyaç duyulan minimum istasyon sayısıdır. Gerekli olan en az istasyon sayısının belirlenmesi için literatürde farklı teknikler bulunmaktadır. Bir U-tipi montaj hattı için gerekli olan en az istasyon sayısını gösteren  $m_{min}$  Denklem 2.7'de gösterilmiştir. Gerekli olan en az iş istasyonunun tam sayı olması gerektiğinden, bulunan değer rasyonel ise bir üst değere yuvarlanır [59].

$$m_{min} = \lceil \sum_i^n t_i / C \rceil \quad (2.7)$$

$m_{min}$  : Gerekli olan en az iş istasyonu sayısı

$n$  : Toplam İş Ögesi Sayısı

$C$  : Çevrim Süresi

$t_i$  :  $i$ . iş ögesinin işlem süresi

**i) Hat Etkinliği:** Hat etkinliği, montaj hattındaki kapasitenin ne kadarının kullanıldığını göstermektedir. İş ögelerine ait toplam sürelerin, çevrim süresi ile istasyon sayısı çarpımına oranı hat etkinliğini vermektedir. HE kısaltması ile gösterilen hat etkinliği Denklem 2.8 ile gösterilmiştir [57].

$$HE (\%) = \left[ \sum_i^N t_i / (n * C) \right] * 100 \quad (2.8)$$

HE : Hat Etkinliği

$n$  : Toplam İş Ögesi Sayısı

$C$  : Çevrim Süresi

$t_i$  :  $i$ . İş Ögesinin İşlem Süresi

### 2.3.4. Montaj Hatlarının Dengelenmesindeki Amaç ve Kısıtlar

Bu kısımda montaj hattının dengelenmesini gerektiren amaçlar ve bu amaçlara ulaşabilmek için öngörülen kısıtlar hakkında bilgi verilmiştir.

#### 2.3.4.1. Amaç

Montaj hatlarının dengelenmesi sırasında bir ya da birden çok performans kistası en uygun şekilde kullanılmaya çalışılır. Performans kistaslarının kullanılması ile ulaşılmaya çalışılan temel amaç, bir çevrim süresi için istasyon sayısının veya bir istasyon sayısı için çevrim süresinin en aza indirilmesidir. Bunların dışında istasyon sayısı ve kaynak maliyetinin en aza indirilmesi ve hat etkinliğinin en yükseğe çıkarılması gibi özel amaçlar da bulunmaktadır [57].

#### 2.3.4.2. Kısıtlar

Montaj hatlarının dengelenmesi üzerinde etkisi olan pek çok etken bulunmaktadır. Montaj hattı dengelemesi yapılırken bu kısıtların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kısıtlar birincil ve ikincil kısıtlar şeklinde 2 sınıfa ayrılmaktadır [57].

**a) Birincil kısıtlar:** Her montaj hattı dengeleme için dikkate alınması gereken kısıtlardır. Birincil kısıtlar öncelik ilişkileri ve çevrim süresi şeklinde 2 grupta incelenebilir:

- **Öncelik İlişkileri:** Bir işin ardıllarının yerine getirilebilmesi için öncelikle o işin öncüllerinin bitirilmiş olması gerekmektedir. Bir başka deyişle montaj hattındaki bir iş ögesinin gerçekleştirilebilmesi için, başka iş ögesi ya da ögeleri kesinlikle tamamlanmalıdır. İş ögelerinin istasyonlara atanması sırasında öncelik ilişkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- **Çevrim Süresi:** Bir ürünün montaj hattını terk etmesi için gerekli süredir. Bir başka söylemlerle; bir ürünün üretilmesi esnasında herhangi bir istasyonda işlem görebileceği en uzun süredir. Bu sürenin tespit edilebilmesi için, işletmenin üretmeyi hedeflediği ürün miktarını ve kullanılabilir üretim süresini tespit etmesi gerekmektedir. Montaj hattında bir istasyona atanan iş ögeleri süreleri toplamının, çevrim süresini aşmaması şarttır.

**b) İkincil Kısıtlar:** Montaj hattının durumu doğrultusunda göz önünde bulundurulması gerekli ilave kısıtlardır. Bu kısıtlar; konum kısıdı, iş gören atama kısıdı, sabit donanım kısıdı, istasyon yükü, aynı istasyona atanması istenen iş ögeleri ve aynı istasyona atanmaması istenen iş ögeleri şeklinde 6 grupta sınıflandırılır:

- **Konum Kısıdı:** İş gören ile montajı yapılan iş ögesi arasındaki ilişkinin ifade edilmesi için kullanılan kısıttır. Konum kısıdı, çoğunlukla büyük ölçekli ürünlerin montaj aşamasında görülür. Bir ürün montajının aynı zamanda bandın önünden ve arkasından iki çalışan tarafından yapılmasını gerektiren haller konum kısıdı için örnek olarak verilebilir.

- **İş gören Atama Kısıdı:** Her işin her iş gören tarafından yapılamadığı, özel beceri isteyen işlerin bu beceriyi ellerinde bulunduran kişiler tarafından yapılmasının gerekli olduğu durumla ilgili kısıttır.
- **Sabit Donanım Kısıdı:** Bir takım tezgâhın ya da donanımların belli bir yere sabitlendiği hallerde görülen kısıtlardır. Bu kısıt, istasyonlara iş öğelerinin atanmasında esnekliğin azalmasına yol açmaktadır.
- **İstasyon Yüğü:** Bazı istasyonların işlem sürelerinin, çevrim sürelerinden daha az bir süreyi içermesi arzu edilebilir. Bu kısıt çoğunlukla, istasyondaki muhtemel bir aksamının hattın tümü üzerinde etkili olmasını engellemek amacıyla kullanılmaktadır.
- **Aynı İstasyona Atanması İstenen İş Öğeleri:** Montaj hattında bir takım işlerin aynı istasyonda yapılması gerekebilir. Bu durum, özel ekipman ya da aynı donanımdan yararlanılarak yapılması gerekli işlerde ortaya çıkar. Örneğin özel ekipmandan yararlanmanın gerekli olduğu iki iş öğesi aynı iş gören tarafından yerine getirilince ikinci bir ekipman ihtiyacı ortadan kalkacaktır. Bu işletmelerin arzu ettiği bir durumdur. Bunun yanında özel becerinin gerekli olduğu bazı işlerin aynı işçiye atanması gerektiğinde de bu kısıt kullanılmaktadır.
- **Aynı İstasyona Atanmaması İstenen İş Öğeleri:** Büyük oranda enerji ya da fiziksel gücün gerekli olduğu işlerin aynı istasyona verilmesi arzu edilmeyen bir durumdur. Çünkü bu durum o istasyona verilen çalışanlarda gelecek zamanlarda ergonomik yönden problemlere ve dolayısı ile hat dengesinin bozulmasına yol açmaktadır. Titreşimli bir iş ile hassas ölçümün gerekli olduğu bir işin ayrılması bu duruma bir örnek olarak gösterilebilir [57].

### 2.3.5. Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

Montaj hatlarından maksimum kapasitede yararlanmak için montaj hatları çeşitli yöntemlerle düzenlenirler. Bu yöntemler temel olarak model sayısına, hattın yerleşim tipine, otomasyon düzeyine ve kurulum sıklığına göre 4 ana kısımda tanımlanırlar [57].

### 2.3.5.1 Model Sayısına Göre Montaj Hatları

Model sayısını esas alındığında montaj hatları; tek modelli, karışık modelli ve çok modelli montaj hattı olarak 3 alt grupta sınıflandırılabilir.

- a) **Tek Modelli:** Tek tip üretiminin yapıldığı montaj hatlarıdır. Çoğunlukla bir ürünün yüksek miktar ve sayılarda, devamlı olarak üretiminin yapıldığı durumlarda montaj hattı bu ürün doğrultusunda dizayn edilir. Kurulum sürelerinin oldukça az olduğu birden çok benzer ürünün üretildiği hatlar da tek modelli hat olarak değerlendirilebilir.
- b) **Karışık Modelli:** Birden çok ürünün ya da bir ürünün benzer modellerinin, aynı zamanda ve karışık şekilde üretildiği montaj hatlarıdır. Modellerin üretim periyotları esas olarak aynıdır. Yalnızca bir takım değişik işlemlerle birbirlerinden farklılaşırlar. Aynı olan bazı iş öğeleri değişik modeller farklı işlem süreleri gerektirebilirler. Modellerin tamamı için benzer iş öğeleri göz önüne alındığında hazırlık süreleri çok kısadır. Bu hatların yararı, çeşitli ürünlerin tüketici taleplerine uygun olarak devamlı şekilde karşılanabilmesidir. Fakat bu hatların tasarımı ve hatta üretimi yapılacak ürünlerin sırasının tespit edilmesi zordur.
- c) **Çok Modelli:** Değişik ürünlerin aynı hat üzerinde değişik süreler ve partiler halinde üretilmesidir. Bu hatlarda hazırlık maliyetleri ve hazırlık süreleri fazladır. Çok modelli montaj hattının özellikleri partiler büyükse tek modelli montaj hattı ile, küçük ise karışık modelli montaj hattı ile benzerlik göstermektedir [57].

### 2.3.5.2. Hattın Yerleşim Tipine Göre Montaj Hatları

Makine, operatör, konveyörler ve diğer üretim unsurlarının fabrika içindeki yerleşimlerine yönelik farklı uygulamalar ile üretim akışı kolaylaştırılabilir. Bu işlem, üretilecek modelin çok sayıdaki parametresine göre farklılıklar gösterir. En yaygın yerleşim tipleri düz/I tipi, U tipi, paralel ve iki yönlü yerleşimdir [57].

- a) **Düz/I Tipi Hat:** Düz montaj hattı, ardı ardına seri şekilde sıralanmış iş istasyonlardan teşkil edilen hattır. Bu tür hatlarda, montajlanacak ürün hat içerisinde işlemlere tabi tutularak son istasyondan montajı bitmiş şekilde çıkmaktadır. Düz hatlar hızlı ve kolay iş akışına sahiptirler. Ancak hat fazla



alan kaplamaktadır. Bunun yanında düz hatlarda iş görenler arasındaki iletişim oldukça azdır.

- b) U Tipi Hat:** U tipi montaj hatlarında U şeklinde bir tasarım vardır. Bilinen ilk örneği Toyota tarafından uygulanmıştır. Toyota üretim tesisi, aynı tipte olan fakat müşteri talepleri doğrultusunda değişik özelliklere sahip arabaların üretilmesi için U-tipi yerleşime göre düzenlenmiştir. Böylece müşteri istekleri ile ortaya çıkan farklılıklara uyum ve çalışan sayısında esneklik sağlanmıştır. Talep miktarı doğrultusunda, çalışan sayısında değişikliğe gidilerek üretim hızı tespit edilebilmektedir. Çalışanlar daha dar alanda bir arada olduklarından hat içi iletişim kuvvetlidir. U tipi hatta çalışanlar birbirinin işini yapabilmektedirler. Bu da çalışanların diğer makineler hakkında yetenek kazanmalarını sağlar. Çalışanların son ürünü görmesi motivasyonu artırır. Tüm bu sebeplerden dolayı tam zamanında üretim sistemleri genellikle U tipi hat yerleşimini tercih etmektedirler.
- c) Paralel Hat:** Talebin çok olması ve tek bir hat kapasitesinin yetersiz kalması durumunda benzer ikinci bir hattın paralel şekilde yerleştirilmesi ile oluşan hattır. Bu sayede özdeş ürünler üretilir. Hatlar arasında rekabet koşulları oluşur. Çeşitli tekniklerle iyi olan analiz edilerek diğerinin eksiklikleri kapatılması sağlanabilir.
- d) İki Yönlü Hat:** Hattın hem sağ hem de sol tarafının kullanıldığı montaj hatları iki yönlü hat olarak isimlendirilir. Çoğunlukla yüksek miktarda üretim yapılan, büyük boyutlu ve standart hale gelmiş ürünler için dizayn edilen hat tipidir [57].

### 2.3.5.3. Otomasyon Düzeyine Göre Montaj Hatları

Manuel ve otomatik olarak 2 otomasyon düzeyi bulunmaktadır. Manuel hatlarda iş yükü işgücüne dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Üretim sistemi içindeki çoğu montaj hattı, manuel hatlardan meydana gelmektedir. Özellikle otomatik montaj hattında hasar görebilmesi muhtemel olan kırılğan ya da hassas parçaların üretimi manuel hatlarda yapılmaktadır. Ayrıca işgücü maliyetinin, otomatik montaj hattında yararlanılan makinelerin maliyetine nazaran az olduğu koşullarda manuel hatta öncelik tanınmaktadır [57].

Manuel hat kullanımında dikkate alınması gereken en önemli etken iş gören performansıdır. İş görenler, bir işi tekrarlı yaparak uzmanlaşırlar ve buna bağlı olarak bitirme sürelerinde düşüş görülebilir. Ayrıca; zihinsel, fiziksel ya da çevresel faktörler nedeniyle iş gören performanslarında farklılıklar oluşabilmektedir. Montaj hattının dengelenmesi sırasında bu öğelerin göz önünde bulundurulması gereklidir. İş görenlerin göz önünde bulundurulmadığı montaj hatlarında zaman içerisinde denge kayıpları artarken, verimlilik azalmaktadır. Böylece gerek iş görenlerden gerekse montaj hatlarından etkili olarak faydalanılmamış olunur. İş görenler arasındaki iletişim manuel hatlarda oldukça önemlidir. Bu nedenle manuel hatlarda genellikle U tipi yerleşim kullanılır [57].

Otomatik otomasyon düzeyinde, istasyonlardaki işler ve geçişler otomatik olarak yapılmaktadır. İşgücü maliyetlerinin fazla olduğu şartlarda robotlar ya da otomatik makinalardan faydalanılarak montaj hattı tasarımı yapılır. Bunun yanında insan gücünden yararlanılamayacak özellikteki çalışmalarda ya da çalışma atmosferinin iş görenler adına ciddi sağlık sorunlarına neden olabileceği üretim sistemlerinde otomatik hatlara öncelik verilmektedir. Otomatik hatlarda istasyonların işlem sürelerindeki değişkenlik çok azdır. Manuel hatlarda karşılaşılan gecikme ve boş bekleme gibi durumlar daha az görülmektedir [57].

#### **2.3.5.4. Kurulum Sıklığına Göre Montaj Hatları**

İşletmelerde, montaj hattının ilk kez uygulanacak olması ve önceden yapılmış bir uygulamanın tekrarlanması veya iyileştirilmesi şeklinde iki farklı durum ile karşılaşılabilir. Montaj hattının ilk defa kurulacağı durumlarda yerleşim tasarımının hazırlanması temel problemdir. Üretimi yapılacak ürünün iş öğeleri ile iş akışı arasındaki öncelik ilişkileri göz önünde bulundurularak hat kurulumunun yapılması gerekmektedir. Değişik makine ve değişik iş görenler göz önünde bulundurularak maliyetleri minimuma indirecek biçimde atamaların gerçekleştirilmesi gerekir. Ayrıca, satış öngörülerini yardımı ile belli bir süredeki üretim miktarının ve üretim hızının belirlenmesi gerekmektedir [57].

Yeniden dengeleme, üretim teknikleri ya da farklılaşan tüketici istekleri doğrultusunda hattın tekrar dengelenmesi anlamına gelir. Bir montaj hattının ilk

kurulumu sonrasında, yeni bir teknikle yeni bir sistemin kurulması olasılığı oldukça düşüktür. Bu şartlarda hedef, istasyon sayısının minimuma indirilmesinden çok çevrim süresinin minimuma indirileceği bir dengenin gerçekleştirilmesidir. Literatürdeki çoğu çalışmalar yeniden dengeleme hakkındadır. Günümüz şartlarında yeni makineler, farklılaşan talepler, değişen işgücü ve yeni teknikler gibi etkenler yeniden dengelemenin önemini artırmaktadır [57].

### **2.3.6. Montaj Hattı Dengelemenin Sınıflandırılması**

Montaj hattı dengeleme “Basit Montaj Hattı Dengeleme (BMHD)” ve “Genel Montaj Hattı Dengeleme (GMHD)” şeklinde 2 sınıfta kategorize edilmektedir [60, 61].

#### **2.3.6.1. Basit Montaj Hattı Dengeleme**

Basit montaj hattı dengeleme pek çok basitleştirici varsayımın bulunduğu ve iş ögesi süresinin hesaplanabilir olduğu tek modellenmiş dengeleme şeklinde tanımlanmaktadır. Basit montaj hattı dengelemede yer alan kısıtlar aşağıda ifade edilmiştir:

- a) Girdi parametrelerinin tümü belirlenmiştir.
- b) Bir iş ögesinin iki veya ikiden fazla istasyon arasında bölünmesi imkansızdır.
- c) Teknolojik öncelik ilişkileri nedeniyle, iş ögelerinin gelişmiş sıralarda işlem görmesi mümkün değildir.
- d) İş ögelerinin tümü yerine getirilmelidir.
- e) İstasyonlar, iş ögelerinin tümünün yapılması için gereken işgücü ve donanımı elinde bulundurmaktadır.
- f) İş ögesine ait süreler; öncelik, ardıllık ve yapıldıkları istasyonlardan bağımsızdır.
- g) Her istasyonda her işlem yerine getirilebilir.
- h) Paralel ya da besleyici alt montaj hattı olmayacak biçimde hattın tümü seri şekilde organize edilmelidir.
- i) Montaj sistemi, yalnızca bir ürüne ait tek bir model için dizayn edilmiştir.
- j) Çevrim süresi tespit edilmiş olup sabittir.
- k) İstasyon sayısı sabittir [57, 60].

İlk 9 kısıt basit montaj hattı dengeleme çalışmalarının tamamı için geçerli olup son 2 kısıt amaç fonksiyonu paralelinde değişkenlik göstermektedir. Basit montaj hattı dengeleme, istasyon sayısının en aza indirilmesinin hedeflendiği ve çevrim süresinin verildiği dengeleme şeklinde tanımlanmaktadır. Bir diğer tanım ise çevrim süresinin en aza indirilmesinin hedeflendiği ve istasyon sayısının verildiği dengeleme şeklindedir [57, 60].

### **2.3.6.2. Genel Montaj Hattı Dengeleme**

Basit montaj hattı dengelemeye ilişkin varsayımlardan bir veya birden çoğu gevşetilecek olursa, dengeleme sürecinin ismi “Genel Montaj Hattı Dengeleme”ye dönmektedir. Literatürde yer alan araştırmaların çoğunluğu basit montaj hattı dengelemelere yöneliktir. Bunun sebebi, montaj hattı dengelemedeki varsayımların gevşetilmesi ile dengelemeye ait zorluk seviyesinin artmasıdır. Ancak basit montaj hattı dengeleme hakkında yürütülen araştırmalar günümüz üretim şartlarında gereksinimleri karşılayamadığından, son yıllardaki çalışmalarda genel montaj hattı dengelemeye odaklanılmıştır [61].

Aşağıdaki genel montaj hattı dengelemenin gerekli olduğu durumlar belirtilmiştir:

- a) Bir iş gören tarafından yapılan benzer işlerin gerçekleştirilme sürelerinin değişkenlik göstermesi (İş gören performansı),
- b) Aynı iş için farklı iş görenlerin gerçekleştirme sürelerinin birbirine göre değişkenlik göstermesi (İş görenler arasındaki performans farkı),
- c) Her makinede her işin yapılamadığı koşullar,
- d) İş görenlere ait yürüme mesafelerinin göz önünde bulundurulması gereken durumlar,
- e) Özel ekipman ya da donanımın gerekli olduğu işlerin mevcudiyeti,
- f) İş öğelerine ilişkin işlem sürelerinin değişkenlik göstermesi [61].

### **2.3.7. Hat Dengeleme ile Yalın Üretim Arasındaki İlişki**

Yalın üretimin başarısındaki en önemli faktörlerden biri hat dengelemedir. Üretim süreçleri, farklı işlem süreleri gerektirse de yalın üretim uygulanarak dengelenebilirler. Yalın üretim, tüm çalışma zamanlarını eşit iş miktarlarına böler. Üretim kaynaklarının sayısının sürece eklenmesiyle farklı çalışma sürelerine sahip

çeşitli işlemler arasında hat dengeleme elde edilir. Her yalın üretim hattının merkezinde denge olmalıdır [62].

Yalın üretime göre dengeleme, belirli bir işlem için gereken talebin üretim hacmine dayanarak gerçekleştirilmesidir. Öncelikle, üretim miktarı tanımlanır. Daha sonra üretim süreçleri eşit sayıda operasyona bölünür. Her ürün için her üretim süreci, farklı işlem süresine sahip olsa da yalın üretim yöntemlerinin tümü zaman/hacim ilişkisini kullanarak hattı dengelemektedir [62].

Yalın üretim yöntemleri, değer katmayan bekleme sürelerini veya diğer gecikmeleri elimine ederken ürünün formüle edilmiş bir hızda üretilmesine olanak sağlar. Yalın bir hat dengesizlik problemini engeller. Yalın hatlar, standart iş görevlerinin düzenli bir şekilde yapılmasını sağlayan ve bir tesis yerleşimi ile oluşturulan gelişmiş montaj hatlarıdır. Kaynakların fiziksel olarak düzenlenmesi, iş operasyonlarının tüm üretim döngüsü boyunca eşit şekilde dağıtılmasını ve dengelenmesini sağlar [62].

Yalın üretimin amacı, belirlenen çevrim süresinde birden fazla ürün üretebilecek bir üretim hattı oluşturmak ve tasarlamaktır. Yalın üretim yöntemleri, hat dengeleme için katma değeri olmayan bekleme sürelerini sıfıra indirmeye çalışır. Yalın üretim hat boyunca bir akış oranının gerçekleştirilmesini gerektirir [62].

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR

Günümüz rekabet şartları içerisinde yaşamını sürdürmeyi hedefleyen işletmelerin hizmet ve ürün üretimi için değer kavramını göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Bununla birlikte kalite, zaman ve maliyet gibi üretimi doğrudan etkileyen parametrelere de gerekli özeni göstermek zorundadırlar. Bu amaçla, işletmeler imalat veya hizmet süreçlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen parametreleri iyileştirmek için çözüm arayışları içerisindeyler.

İşçilik sürelerinin azaltılmasının temeli, montaj hattındaki durumun gözlemlenmesi ve iyileştirmelerle iş süresinin azaltılmasıdır. İyileştirmenin daha sistematik olması için kullanılacak yöntemlerden biri aksiyomatik tasarımıdır. Aksiyomatik tasarım, fonksiyonel gereksinimlerin tespiti ve bu gereksinimler için tasarım parametreleri belirlenerek iyileştirme yapılması esasına dayanır. Bu çalışmada, çeşitli metotlarla yapılabilecek iyileştirme çalışmaları için yalın üretim teknikleri kullanılmıştır. Böylece ticari soğutma dolapları üreten bir işletmenin montaj hattı, aksiyomatik tasarım ve yalın üretim teknikleri kullanılarak yeniden düzenlenmiştir. Literatürde de montaj hattı dengeleme, aksiyomatik tasarım ve yalın üretim tekniklerinin kullanımı ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

#### 3.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

*Dar-El ve Rabinovitch*; tekli model montaj hatlarının tasarımında çevrim süresi ve istasyon sayısı kombinasyonunu optimize etmek için bir model geliştirmişlerdir. Basit montaj hattı dengeleme için alışlagelmiş metot olan sürekli üretim yerine parti üretimini kullanarak finansal şartları araştırmışlardır. Araştırmacıların parti üretim yöntemini seçme sebebi, çevrim süresinin ve istasyon sayısının eş zamanlı şekilde optimizasyonunun sağlanabileceği olmasıdır. Parti üretim yönteminde 5 faktör kullanılmıştır. Bu faktörler; öğrenme, envanter, dengeleme, kurulum maliyeti ve tesis maliyetidir. Her faktör, diğer dördünün birleşik etkilerine göre değerlendirilmiştir.

Dar-El ve Rabinovitch, 20 ila 4000 montajlı ürün üretimi yapılan işletmelerde yapmış oldukları araştırmalar sonucunda, kullanmış oldukları parti üretim yöntemi ile mali yönden azami tasarrufun 1000 montajlı ürün üretiminde sağlandığını tespit etmişlerdir [63].

**Shtub ve Dar-El;** montaj hattı dengeleme için montaj çizelgelemeye yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Geliştirmiş oldukları yaklaşımın amacı, hem istasyonlardaki boş süreyi hem de her istasyonda yapılması gereken alt montaj sayısını minimize etmektir. Montaj hattı dengelemede hat dengeleme için gerekli olan bilgiler öncelik diyagramı ve iş öğelerinin süreleridir. Shtub ve Dar-El'in geliştirmiş oldukları yaklaşım sonucunda ise öncelik diyagramı ve iş öğelerinin yanında iş yöntemini iyileştirme ve iş zenginleştirme gibi amaçlar da montaj hattı dengelemeye dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda, her iş istasyonunda asgari sayıda alt montaj yapılması ve kullanılması ile boşta kalma süresinin en aza indirilebildiğini ortaya koyan çok amaçlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir [64].

**Nourie ve Venta;** montaj hattı dengeleme için en uygun çözümün bulunması amacıyla "OptPack" isminde yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri algoritmayı literatürdeki problemler vasıtasıyla test etmişlerdir. Etkili dengeleme için, hızlı algoritma FABLE'nin sunduğu çözümler yerine OptPack algoritmasını kullanarak yeni bir ağaç yapısı elde etmişlerdir. Norie ve Venta'nın geliştirmiş oldukları algoritma sayesinde, en uygun çözümün en hızlı şekilde elde edilmesi sağlanmıştır [65].

**Klein ve Scholl;** bir montaj hattı dengeleme çalışmasında en uygun çözümün bulunması amacıyla yeni bir dal/sınır algoritması geliştirmişlerdir. Üretim oranının maksimize edilmesi amacıyla geliştirilen bu algoritma için "Yerel Alt Sınır Yöntemi" tekniğiyle bir dizi baskınlık kuralları ve sınırlamalardan yararlanmışlardır. Yapılan çalışma, basit montaj hattı dengeleme için geliştirilmiş kapsamlı ve kayda değer araştırmalardan biri durumundadır. Tavsiye edilen yöntemin test edilmesi amacıyla, 302 örneğin olduğu bir veri kümesinden yararlanılmıştır. Klein ve Scholl, kümenin analizi için yapmış oldukları sayısal testler sonucunda geliştirdikleri algoritmanın önceki algoritmalarından daha yüksek performansa sahip olduğunu belirtmişlerdir [66].

**Fleszar ve Hindi;** Hoffmann'a ait "Öncelik Matrisi ile Çözüm" yöntemini geliştirerek yeni bir dengeleme yöntemi önermişlerdir. Hoffmann tarafından geliştirilen "Öncelik Matrisi ile Çözüm" yöntemini bir ya da birden fazla istasyonda boş sürenin yükselmesine neden olduğu için eleştirmişlerdir. Bu dezavantajın ortadan kaldırılması amacıyla çift yönlü yaklaşım yöntemini tavsiye etmişlerdir. Bunun yanında daha etkili bir çözümün elde edilebilmesi için çeşitli indirgeme tekniklerinden yararlanmışlardır. Literatürde bulunan test problemlerinden de faydalanarak buldukları yöntemin karşılaştırmasını yapmışlardır. Fleszar ve Hindi; geliştirdikleri dengeleme yönteminin FABLE, OptPact, Eureka ve Sal-All yöntemlerine kıyasla optimuma yakın çözümler verdiğini belirtmişlerdir [67].

**Amen;** montaj hatlarına yönelik maliyet odaklı yeni bir matematiksel model geliştirmiştir. Geliştirilen matematiksel modelde, en uygun sonucun hızlıca elde edilebilmesi için yeni sınırlamalar yapmıştır. Modelin amacı klasik montaj hattı dengelemedeki gibi istasyon sayısının en aza indirilmesi değil, birim ürün başına düşen maliyetin en aza indirilmesidir. Araştırma sonucunda, kazanç elde etmek için istasyon sayısı ve ürün birimi başına düşen maliyette yeni sınırlamalar oluşturulması ve maksimum yüklü istasyon kuralı yerine iki istasyon kuralının kullanılması önerilmiştir [68].

**Nearchou;** basit montaj hattı dengeleme için en uygun çözümün bulunması amacıyla "Diferansiyel Evrim Algoritması" tabanlı yeni bir sezgisel yöntem ortaya koymuştur. Bu algoritma, sürekli değişken verilerin bulunduğu optimizasyon problemleri için etkin sonuçlar sunabilen bir yöntemdir. Diferansiyel evrim algoritması, istasyon sayısının sabit, çevrim süresinin değişken olduğu çevrim süresi minimizasyon problemlerinde uygulanabilir bir sezgisel yöntemdir. Nearchou, bu yöntemi literatürdeki 297 iş ögeli problem örneklerini kullanarak test etmiş ve yöntemin üstün performans ortaya koyduğunu belirtmiştir. Ayrıca bulduğu yöntemin literatürdeki diğer sezgisel yöntemlere kıyasla daha etkin olduğunu ifade etmiştir [69].

**Scholl, Flidner ve Boysen;** basit montaj hattı dengeleme için bazı atama kısıtlarının olduğu yeni bir yöntem önerisinde bulunmuşlardır. Önerilen yöntem, Scholl ve Klein'a ait "SALOME" isimli dal/sınır algoritmasının genişletilmiş hali olup "ABSALOM" şeklinde ifade edilmiştir. Yeni yönteme ait ilave kısıtlar, birbiriyle



uyum göstermeyen fakat birbiriyle ilişkili iş öğeleridir. Scholl ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışma sonucunda yöntemin ek atama limitlerine rağmen daha etkili bir çözüm yaklaşımı olduğunu belirtmişlerdir [70].

**Riezebos, Klingenberg ve Hicks;** yalın üretim ile bilgi teknolojisinin birbiriyle ilişkisini ve yalın üretim ilkelerine ulaşmada bilgi teknolojilerinin rolünü araştırmışlardır. Araştırmacılar, bilgi teknolojilerinin yalın üretime uygulamasını üretim, lojistik ve bilgisayar destekli üretim yönetim sistemleri bileşenleri ile inceleyerek işleyişini açıklamaya çalışmışlardır. Çalışmalarında bilgi teknolojilerinin; üretim yönetimi sistemleri, kurumsal kaynak planlama ve gelişmiş toplam üretim bakım konularında etkin olarak kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır. Fakat işletmelerde bilgi teknolojilerinin yazılım sistemleri ile kullanımının ülkeler arası farklılık gösterebileceği, üretim sistemine göre yapının şekillenebileceği, işletmelerin üretim kontrol ve üretim planlama faaliyetlerine katkısının farklı olabileceğini ifade etmişlerdir. Riezebos ve arkadaşları yapmış oldukları çalışma sonucunda, farklı üretim alanlarında yapılan uygulama ve yöntem değişiklikleri sonrasında bileşenlerin bilgi teknolojileri sistemlerine entegre edilmiş boyutunun da değiştiğini belirtmişlerdir [71].

**Nordin, Deros, Wahab ve Rahman;** Malezya’da bulunan üç otomotiv işletmesinin yalın üretime geçiş aşamasında organizasyonda yaptıkları değişimler ve bu değişimlere etki eden faktörleri araştırmışlardır. Nordin ve arkadaşlarının yapmış oldukları araştırmanın sonucunda, her üç otomotiv işletmesinde yalın üretime geçiş ile işletmenin üretime bakış açısının değiştiğini ve işletmelerde köklü değişiklikler yapıldığını belirtilmiştir. Katılımcı üç işletmede yalın üretim için takım oluşturulmuş, takım aracılığı ile değişimin nedenleri anlatılarak tüm çalışanlara benimsetilmesi amaçlanmıştır. Sistemin kalıcılığının işletmelerin yalın üretime geçiş süresiyle ve kuruluş yıllarıyla doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir. İşletmelerden biri yerel, biri yabancı, diğeri ise ortak girişim özelliğindedir. Yerel olanın yalın üretimden kazancının ve uygulanabilirliğinin diğerlerine göre az olduğunu belirlemişlerdir. En çok kazanım ve sürdürülebilirlik ise yabancı işletmede görülmüştür. Bu durumun şirketin iş yaptığı konuma, ekonomik elverişliliğine ve tedarikçi potansiyeline göre şekillendiğini ifade etmişlerdir [72].

**Wong, Wong ve Ali;** yalın üretim yöntemlerinin Malezya elektrik ve elektronik sektörüne kattığı anlamı ve sağladığı faydaları, kullanılan yalın üretim metotları özelinde tespit etmeye çalışmışlardır. Wong ve arkadaşları, üretim araçlarının kullanımını üzerine bir anket çalışması hazırlamışlardır. Hazırladıkları anket çalışmasını küçük ve orta büyüklükteki (KOBİ) 350 işletmeye uygulamışlardır. Uygulanan anket çalışmaları analiz edildiğinde 44 anket geçerli sayılmıştır. Ankette yalın üretim kavramının işletmelere kattığı anlam sorgulandığında, en çok cevap sırası ile israfın azalması, sürekli iyileştirme ve yalın üretim araçları ile operasyonların iyileştiği olmuştur. Bu cevapları maliyet düşmesi, tedarikçi ve müşterilerle iyi ilişki, yönetim anlayışında bütünlük sağlanarak yalın üretimin işletmenin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş olması izlemiştir. Yalın üretim araçlarının faydaları sorgulandığında ise sırasıyla; maliyet düşüşü, üretimde iyileştirme, israfın azalması, stoklarda azalma cevapları elde edilmiştir. Yalın üretim araçlarının kullanımına dair elde edilen sonuçlarda ilk üç sırada; 5S, kaizen ve poka yoke yer almıştır. Bunları; kanban, tam zamanında üretim, toplam verimli bakım teknikleri çok yakın kullanım oranlarıyla izlemektedir. Heijunka, tekli dakikalarda model değişim süreci ve jidoka araçlarının daha az oranda kullanıldığı sonucu çıkmıştır. Wong ve arkadaşları çalışma sonucunda, 10 yıl üzeri yalın üretim araçları kullanan işletmelerin 10 yıldan az süredir uygulayan işletmelere kıyasla teknikleri daha yüksek oranda sahiplendiğini ve daha fazla fayda elde ettiğini belirlemişlerdir [73].

**Muslimen, Yusof ve Abidin;** Malezya'da bulunan bir otomotiv yan sanayi üretim işletmesinde yalın üretim uygulamasının faydalarını araştırmışlardır. İşletmelerde yalın üretimden ve proje bazlı uygulamalardan sorumlu kişilerle görüşmeler yapılmış, çeşitli soruları cevaplamaları istenmiştir. Muslimen ve arkadaşları çalışma sonucunda, yalın üretimin uygulanması neticesinde işletmede stok seviyesinin azaltılmasına ek olarak bekleme zamanları, ulaşım fazlalığı ve arızalı ürün elde etmede düşüş olduğunu, bu iyileşmelere bağlı olarak da üretim verimliliğinde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Üst yönetimin de desteği ile yürütülen yalın üretim çalışması sonucunda işletmeye ödül verilmiştir [74].

**Kabadurmuş ve Durmuşoğlu;** aksiyomatik tasarımla oluşturulan gereksinimleri karşılamak için oluşturulan tasarım parametrelerini yalın üretim metotları

kullanarak elde etmişlerdir. Çalışmada, yeni bir çekme sistemi tasarlayarak itmeden çekmeye geçiş sırasında yapılması gereken işlemleri bütün olarak ortaya koyan bir uygulama elde etmişlerdir. Elde edilen yeni uygulama jant kapağı üreten bir tesiste denenmiştir. İlk olarak değer akışı haritalama yöntemi ile mevcut durumun haritası çıkarılmıştır. Mevcut tedarik sürecinin azaltılması için kanban sistemi kullanılmış ve iyileştirmeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda ortalama 21 gün olan hammadde ve malzeme stok düzeyi 7 güne düşürülmüştür [75].

**Kulak ve Durmuşoğlu;** alüminyum esaslı merdivenler, rampalar ve köprü ürünleri üreten bir işletmede talebin karşılanamaması, müşteriye tepki verme süresinin uzun olması ve yapılan iyileştirmelere rağmen gelişme sağlanamaması nedenleri ile mevcut üretim sistemi tasarımında köklü değişikliklerin yapılması gerektiğini tespit etmişlerdir. Sorunların giderilmesi ve verimliliğin artırılması için fonksiyonel olarak yerleştirilmiş üretim sistemini aksiyomlarla tasarlayarak, hücrel üretim sistemine dönüştürmeyi amaçlamışlardır. İsrafi en aza indirmek için; sürecin yalınlaştırılması, kaynakların takt süresine uygun olarak düzenlenmesi, iş görenin eğitim ihtiyaçlarının tespiti ve motivasyonun sağlanması konularını incelemişlerdir. Bu amaçla 5S, kanban, tek parça akışı, kazien gibi yalın üretim tekniklerini aksiyomlarla tasarlayarak değer katmayan faaliyetleri belirlemiş ve ortadan kaldırmak için çalışmalar yapmışlardır. Kulak ve Durmuşoğlu çalışma sonucunda; hammadde stokunun 11 günden 3,5 güne, termin süresinin 18 günden 7 güne ve ıskarta oranının %3'ten %1,6'ya düştüğünü, çıktı miktarının 50 çift adetten 70 çift adete çıktığını, fazla mesai saatinin haftalık toplam 300 saatten 60 saate düştüğünü, proses adımları arasında biriken iş miktarının yeteceği gün sayısının 6 günden 2,5 güne düştüğünü ve malzeme dolaşım mesafesinin 67 m'den 31 m'ye düştüğünü tespit etmişlerdir [76].

**Aksu;** otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren bir işletmenin şaft üretim hattında yalın üretim teknikleri kullanılarak verimliliğin artırılmasını amaçlamıştır. Mevcut durumun iyileştirilmesi amacı ile tekli dakikalarda kalıp değişimi, 5S, kayıp zaman analizi, görsel yönetim ve standart iş tekniklerini uygulamıştır. Çalışma ile boşa bekleme, malzemelerin yanlış konumda bekletilmesi ve kalıpların montaj-demontaj işlemlerini iyileştirmek için operatörlerin de fikirlerini alarak çözümler geliştirmiştir. Uygulama sayesinde kalıp değiştirme süresinde %70 oranında bir

azalma görülmüştür. Benzer şekilde üretim süreci gözlemlenerek işlem ve operatör bazında tüm işlemlerin süreleri ve işlem sıraları yeniden düzenlenmiştir. Düzenleme ile çevrim süresi 81 saniyeden 32 saniyeye düşürülmüş ve vardiya başına üretim miktarında ortalama %50 artış sağlanmıştır [77].

**Arslan;** MAN Türkiye fabrikasında yaptığı çalışmada, radyatör ön montaj bölgesinde yalın üretim tekniklerinden 5S'i kullanarak çeşitli iyileştirmeler yapmıştır. İyileştirmeler kapsamında yerleşim alanı simülatörle yeniden tasarlanmıştır. Böylece kapasite kullanım oranı ve bekleme süreleri daha kolay görülebilmıştır. Yapılan yeni düzenleme ile alet ve ekipmanların kolay ulaşılabilir olması, stokların azalması ve operatör sayısının düşürülmesi sağlanmıştır. Çalışma sonucunda yürüme yolları %50 oranında azaltılmış ve operatör sayısı 3'ten 2'ye düşürülmüştür [78].

**Topbaş;** Kahramanmaraş'ta yalın üretim sistemini uygulayan bir su şişeleme fabrikasında "Yalın Kurumsal Kaynak Planlaması" yazılımı geliştirme çalışmaları yapmıştır. Topbaş çalışmasının işlem süreçlerini; yazılım ile elde ettiği operasyon emirleri sahadaki operatör panellerine iletilir; başlama, bitirme, üretim miktarı vb. bilgiler okunur; duruşlar, performans ve kalite bilgileri kaydedilir; üretim online olarak izlenir, oluşan bilgilerden analizler oluşturulur ve üretim verimliliğinin artması sağlanır şeklinde tanımlamıştır. Uygulama sonucunda işletmenin üretim süreçleri ve bilgi akış yapısı incelenerek "Yalın Kurumsal Kaynak Planlaması" için yazılım modülleri geliştirilmiştir. Bu çalışmanın ülkemizdeki diğer su şişeleme fabrikalarına örnek olarak, yapılan bilimsel araştırma ve geliştirmelere katkı sağlayacağını belirtmiştir [79].

**Örgerin;** BOSSA Dış Giyim İşletmeleri'nde fason iplik imalatı termin süresini etkileyen faktörleri iyileştirilmek için beyin fırtınası, neden-sonuç diyagramları ve pareto grafiklerini kullanmıştır. Öncelikle odaklanılacak noktaları tespit etmiş ve uygulanabilecek iyileştirmeleri belirlemiştir. İşletme içi akışların iyileştirilmesi, imalat takip sisteminin revize edilmesi, stratejik iplik renkleri saptanarak elyaf stok optimizasyonu yapılması ve doğru iplik çeşidinin doğru işletmeye imal ettirilmesi konularında yapılan uygulamalar sonucunda termin süresinde %17,3'lük iyileştirme sağlamıştır [80].

**Bilgin;** ambalaj sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin laminasyon (sıvama) bölümünde süreç iyileştirme için iş etüdü uygulaması yapmıştır. Çalışmada; öncelikle iş etüdü faaliyetleri uygulanarak mevcut durum analizi yapılmış, işletme yetkilileriyle derinlemesine mülakat yapılarak yaşadıkları sorunlar ortaya konulmuş, pareto analizi ile sorunlardan temel öneme sahip olanlar belirlenmiştir. Yapılan iyileştirmeler sonucunda, sıvama makinelerinin iş değişiminde 53 dk olan bekleme süresini 31 dakikaya düşürmüştür [81].

**Doyuran;** Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A.Ş.'ye ait vagon fabrikasında gerçekleştirdiği çalışmada mevcut sistemde çok sayıda parça olduğunu, işletme yerleşiminin stoklu çalışmaya uygun olmadığını, planlama ve kontrolün etkin olmadığını, kapasitenin eksik kullanıldığını ve malzeme bilgilerine ulaşmakta yeterli bir sistemin olmadığını tespit etmiştir. Çalışma kapsamında tespit edilen sorunların ortadan kaldırılması veya hafifletilmesi için yalın üretim tekniklerinden tam zamanında üretimi kullanmıştır. Tam zamanında üretim sisteminin uygulanması ile yıllık 300 adet civarında vagon üreten işletmenin 5 vagon maliyeti miktarında tasarruf etmesini sağlamıştır [82].

**Tekin ve arkadaşları;** 2017 yılında İSO'nun (İstanbul Sanayi Odası) ilk 500 listesinde yer alan bir un fabrikasında yaptıkları çalışmada, kaizen felsefesinin prensiplerinden biri olan bireysel öneri sistemini kullanmışlardır. Çalışmada öncelikle bireysel öneri formlarının doldurmasını sağlamışlardır. Çalışanların önerilerini yüz yüze görüşmelerle değerlendirmiş ve 3 birimde iyileştirme yapılabileceğini tespit etmişlerdir. İlk birim olan paketli un istifleme bölümünde yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda 20 olan operatör sayısı 5 azaltılarak 15'e düşürülmüştür. İkinci birim olan hammadde alım ve kalite kontrol bölümünde ise yapılan iyileştirmeler sonucunda kalite standardı oluşturulmuş ve 1 personel tasarrufu sağlanmıştır. Üçüncü birim olan paketleme bölümünde ise iyileştirmeler sonucunda 30 dk olan modeller arası geçiş bekleme süresini 5 dk'ya düşürmüşlerdir [83].

**Berber;** döküm işlemlerinin yapıldığı bir işletmede uygulanan yalın üretim tekniklerinin yapısını ele almış ve tekniklerin işletmeye katkısını incelemiştir.

Çalışmada yalın üretim tekniklerinden sadece kaizen, 5S ve tekli dakikalarda kalıp değişimini uygulanmış olmasına rağmen çeşitli iyileştirmeler elde edildiğini belirtilmiştir. Çalışma sonucunda kaizen uygulanarak yapılan talaş teknesi sayesinde işletme 5832 kg bor yağı kazanımı sağlanmış, ayrıca yağın yaratacağı çevre kirliliği önlenmiştir. İş kazası risk puanı 26 olan HT-31 tezgahının risk puanı 21'e indirilmiştir. 5S uygulamaları ile R-07 tezgahının temizliği işlevsel hale getirilerek günlük temizlik süresi 50 dk'dan 16 dk'ya düşürülmüştür. İşletme genelinde temizlik sağlanmış ve kirlilik kaynaklı hataların önüne geçilmiştir. Tekli dakikalarda kalıp değişimi uygulaması ile takımhane düzeni oluşturulmuş ve işletmede kullanılan takım ve yedek parçaların kolay ulaşılabilir olması sağlanmıştır. Başlangıçta uygulamaları gereksiz maliyet ve harcama olarak gören üst yönetimin, verimli sonuçlar karşısında yalın üretim felsefesinin gerekliliğini benimsediğini belirtmiştir. Ayrıca; sermayenin kısıtlı, işçilik ve diğer maliyetlerin yüksek olduğu Türkiye'de kamu ve özel sektörde büyümenin verimlilik artışı ile mümkün olacağına ve verimlilik artışı için yalın üretim felsefenin tüm sanayi kuruluşlarında kapsamlı şekilde başlatılmasının gerekliliğine vurgu yapmıştır [84].

**Demirkır;** lastik üretim aşamasında yer alan bir proste kullanılacak yalın üretim tekniklerini, uygulama sürecini ve uygulamanın başarılı olabilmesi için izlenmesi gereken adımları göstermeyi amaçlamıştır. Mevcut durumun iyileştirilmesi amacı ile işletmede kanban sistemini kurmuş, mevcut makinelerdeki üretim verimliliği için 5S çalışmaları yapmış ve bu çalışmalardan sonra kod dönüşüm sürelerinin azaltılabilmesi için SMED çalışması uygulamıştır. Demirkır çalışma sonucunda, herhangi bir değer katmayan ve israf sayılan faaliyetlerden bir kısmının elenmesini ve bir kısmının süresinin düşürülmesini sağlamıştır. Uygulama sayesinde proses süresi 14,27 günden 2,26 güne düşürülmüş, 12,01 günlük kazanç elde edilmiştir. Ayrıca yapılan tekli dakikalarda kalıp değişimi çalışmaları ile hazırlık zamanındaki (Set-Up) kısa dönüşüm süreleri ve kanban sistemi proses içi stok (WIP) miktarları da düşürülmüştür [85].

**Kazıcioğlu;** bir lastik fabrikasında kitle üretiminden yalın üretime geçiş sürecinde akış oluşturmak amacı ile hücre sistemini uygulamıştır. Üretim sistemini sabitleştirerek her gün eşit miktar ve karmada üretim sağlayan yenilemeli çekme

sistemini kurmuştur. Uygulanan kaizen çalışmaları ile proses kararlılığında ve çevrim süresinde iyileşme sağlamıştır. Değişen durumlara kolay adapte olabilmek için, tempo belirleyici süreçte performans kriterlerinin otomatik izlenebildiği bir çizelgeleme sistemi geliştirmiştir. Kazıcıoğlu araştırma sonucunda, müşteri ihtiyacını karşılamada darboğaz teşkil eden montaj makinelerinde taşıma, süreç içi stok, aşırı üretim, gereksiz kalite duruşları, hatalar ve beklemler gibi unsurları tespit ederek ortadan kaldırmıştır. Etkin kapasite kullanımı ve hücre sistemi ile işçi sayısı azaltılmış, işçi başına çıktıda %69 iyileştirme sağlanmıştır. Ayrıca çevrim süresi 356,48 saniyeden 252,48 saniyeye düşürülmüştür [86].

### **3.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

Montaj hatları, prosesler arası koordinasyonun optimize edilmesi gereken birimlerdir. Buna rağmen, montaj hatlarındaki israf ve sürekli akışın sağlanma mecburiyeti işletmelere büyük zorluklar yaşatmaktadır. Prosesler arasında biriken stoklar ve birbirlerini bekleyen istasyonlardan oluşan montaj hatları üretkenlik ile ilgili ciddi soru işaretleri oluşturmaktadır. Yalın üretimin beş temel ilkesinden biri olan sürekli akış oluşturmanın önemli koşullarından biri de verimli proseslerden oluşan montaj hatları kurmaktır.

Yapılan literatür araştırmaları kapsamında yalın üretim uygulamasıyla zaman kaybının önlenmesi, temiz ve organize bir ortamda çalışanların moral motivasyonlarının arttığı, düzensizlikler arasında gizlenmiş olan iş güvenliği tehlikelerinin önlenmesi, tertip ve düzen sayesinde kalitenin yükseldiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, literatürden elde edilen kazanımlar çerçevesinde, ticari soğutucu dolap üretimi yapılan bir işletmedeki dört montaj hattından birinde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. İyileştirme çalışmalarında aksiyomatik tasarım ve yalın üretim teknikleri kullanılmıştır. Uygulanan metotlar sonucunda montaj hattı yeniden dengelenerek operatör sayısının düşmesi ve hat verimliliğinin artması sağlanmıştır.

## BÖLÜM 4

### MATERYAL ve METOT

Bu bölümde çalışmanın yapıldığı işletme, kullanılan materyaller, işletmenin çalışma öncesi iş süreleri ve kullanılan materyaller ile aksiyomatik tasarımın ve yalın üretim metotlarının uygulanması süreci ile ilgili bilgi verilmiştir.

#### 4.1. İŞLETME TANITIMI

Aksiyomatik tasarım uygulamasının yapıldığı işletme, dünya ticari soğutma pazarında kapsamlı bir üretim ve çözüm yelpazesine sahiptir. Çeşitli ürünler için hizmet portföyü ve uzmanlığa sahip olan işletme, Türkiye'nin en büyük 500 ihracatçısı arasında yer almaktadır ve büyümeye devam etmektedir. Türkiye dışında Brezilya, Rusya ve Meksika'da üretim yapan işletme, ticari soğutma pazarında kapsamlı çözümler sunmaktadır. Geniş ürün/servis portföyünün yanında köklü bir geçmişe sahip olan işletme, Türkiye ticari soğutma pazarının önde gelen şirketlerinden biri konumundadır. Yıllık 450 bin adet soğutucu üretim kapasitesine sahip işletme; içecek soğutucuları, dondurma dolapları, sürgü camlı dikey ve yatay dondurucular gibi çeşitli ürünleri; Coca-Cola, Pepsi Cola, Interbrew, BrauUnion, Heineken, Nestle, Tuborg, Anadolu Efes, Carlsberg, SAB Miller ve Danone gibi sektörlerinde faaliyet gösteren öncü işletmelere satmakta ve satış sonrası hizmet sunmaktadır. İşletmede 2019 sonu itibari ile yaklaşık 1600 beyaz ve mavi yakalı personel çalışmaktadır.

Montaj-transfer hatları ve sabit çalışma istasyonları kombinasyonunun uygulandığı işletmede, aynı anda farklı modeller üretilerek esnek üretim sistemi sağlanmaya çalışılmaktadır. Ayrıca, üretimde bekleme sürelerinin en az düzeye çekilmesi ile operatörlerden maksimum oranda yararlanma ve minimum çalışan sayısını sağlama hedeflenmektedir. İşletmenin stok ve malzeme birimleri, en iyi malzeme akışını sağlamak amacı ile üretim alanlarıyla bütünleşik duruma getirilmiştir. İşletmenin üretim satışa sunduğu bazı ürünler Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

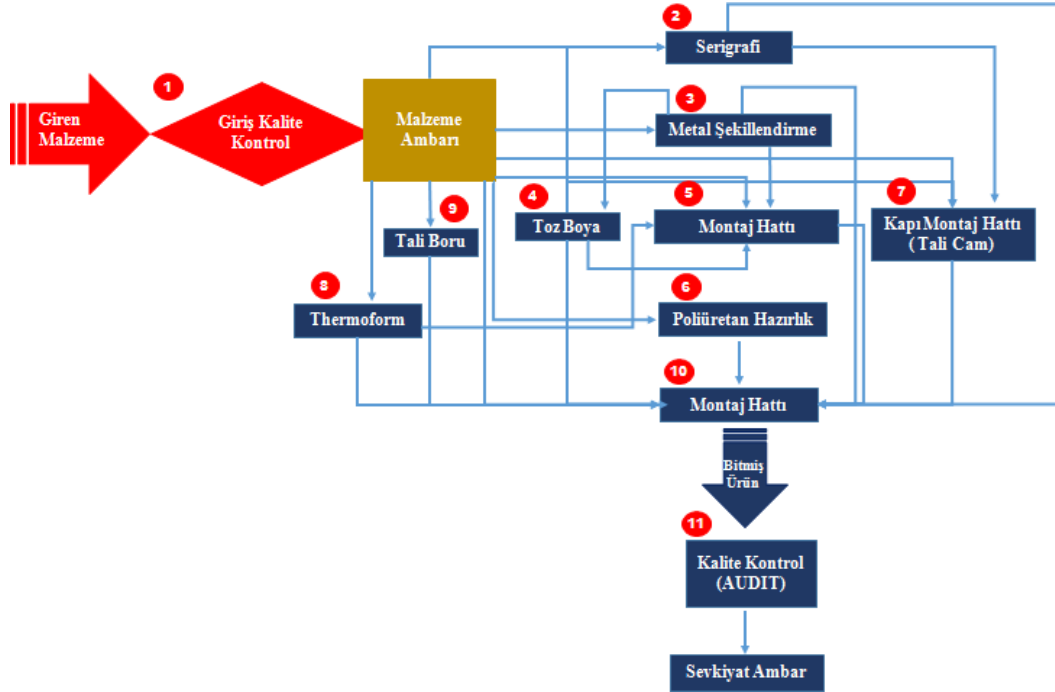




Şekil 4.1. Üretimi yapılan bazı ürünlerin fotoğraf görüntüleri.

İşletmenin üretim tesisinde 4 adet montaj hattı bulunmaktadır. Bu montaj hatları ön montaj, soğutucu gövde hazırlık, montajlama ve ambalajlama istasyonlarından oluşmaktadır. Ön montajda, soğutucuların alt parçaları birleştirilmektedir. Gövde hazırlık bölümünde soğutucuların poliüretanlı gövde parçaları birleştirilerek montajlama işlemine hazır hale getirilmektedir. Montajlama bölümünde tedarikçiden temin edilen yarı mamul malzemeler ve ön montaj malzemeleri soğutucu gövde üzerine montajlanarak ürün elde edilmektedir. Son bölüm olan ambalajlamada ise müşteri talebine göre ambalaj malzemeleri uygulanarak nihai ürün sevk edilebilecek hale getirilmektedir.

Üretim alanında termoform, serigrafi, tali cam ve kapak üretimi, tali boru, metal işleri, boyahane ve tedarik malzeme ambarı isimli yan bölümler de bulunmaktadır. Şekil 4.2’de işletmenin üretim bölümlerinde genel akışı ve departmanlar arası bağlantıları açıklayan genel iş akışı şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.2. İşletme üretim bölümlerinin genel akışı ve departmanlar arası bağlantılar şeması.

#### 4.2. ÇALIŞMANIN YAPILDIĞI ÜRETİM HATTININ TANITIMI

Teze konu olan çalışma, çift kapılı soğutucu dolap üretim hattında, operasyon süresi olarak en fazla kayıp zamanın yaşandığı "1300 WOC (Without of Canopy-Kanopisi Olmayan) Pepsi Prosalı" modeli üretim hattında yapılmıştır. 1300 WOC Pepsi Prosalı ürününü üretebilmek için 108 operatör 102 farklı operasyonla montaj işlemi yapmaktadır. 1300 WOC Pepsi Prosalı üretiminde dış gövde çatım montaj istasyonu, iç gövde çatım montaj istasyonu, iç-dış birleştirme montaj istasyonu, poliüretan basım istasyonu, şase bağlantı montaj istasyonu, birinci dikey hazırlık istasyonu, birinci dikey montaj istasyonu, yatay montaj istasyonu, grup hazırlık istasyonu, grup montaj istasyonu, ikinci dikey montaj istasyonu, vakum & performans istasyonu ve ambalaj istasyonu şeklinde toplam 13 ana istasyon bulunmaktadır.

Aşağıda 13 ana istasyonda yapılan işlemlerin, iyileştirme çalışmasından önceki durumu kısaca açıklanmıştır:

1. Dış gövde çatım montaj istasyonunda 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu operatörler dış gövde malzemelerini kenetleme (birleştirme), macunlama ve maskeleme işlemlerini yapmaktadırlar.
2. İç gövde çatım montaj istasyonunda 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 16 nolu

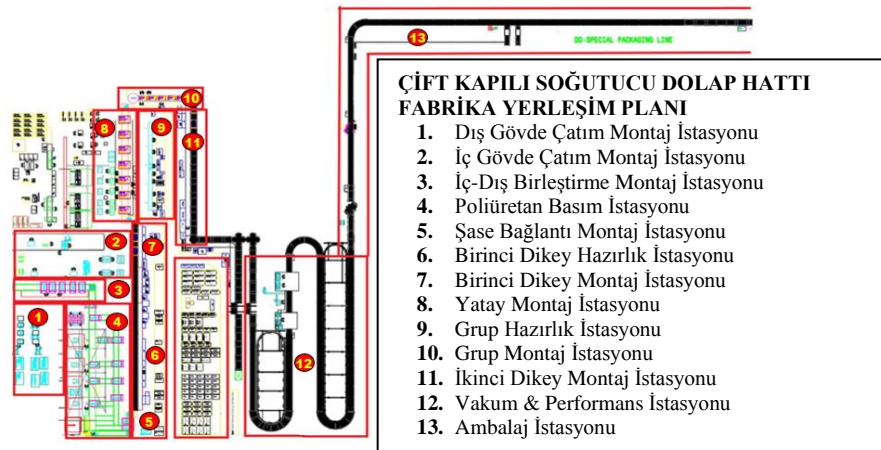
operatörler iç gövde çatım malzemelerini kenetleme, çerçeve birleşimi, inox sac streç soyma, tavan sacına klips çakma ve maskeleme işlemlerini yapmaktadırlar.

3. İç-dış birleştirme montaj istasyonunda 17, 18, 19, 20, 21, 22 ve 23 nolu operatörler hazırlanmış olan iç-dış gövdelerin birbirine montajlanma işlemini yapmaktadırlar.
4. Poliüretan (PU) üretimi istasyonunda (öncesi ve sonrası) 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 ve 32 nolu operatörler poliüretan basım öncesi işlemlerini, poliüretan basım işlemlerini ve poliüretan basım sonrası temizlik işlemlerini yapmaktadırlar.
5. Şase bağlantı montaj istasyonunda 33, 34, 35 ve 36 nolu operatörler şase parçalarının birleştirme işlemlerini, şasenin soğutucu dolaba montajlaması işlemini ve tahta paletin montajlaması işlemlerini yapmaktadırlar.
6. Birinci dikey hazırlık istasyonunda 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 ve 44 nolu operatörler dolabın iç kısımlarına montajlanacak olan mekanik parçaların (fan, led driver, orta dikme ve switch kapak) ön hazırlıklarını yapmaktadırlar.
7. Birinci dikey montaj istasyonunda 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54 ve 55 nolu operatörler evap, fan, leksan, yoğuşma tavası, fan switch, lamba switch, elektriksel kablo bağlantıları, kablo koruma sacı bağlantısı ve tahliye borusunun bağlantı işlemlerini yapmaktadırlar.
8. Yatay montaj istasyonunda 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63 ve 64 nolu operatörler soğutucu dolabın kapı malzemelerinin montaj işlemini yapmaktadırlar.
9. Grup hazırlık istasyonunda 65, 66, 67, 68, 69, 70 ve 71 nolu operatörler soğutma grubunda bulunan kondansör-kompresör elektriksel bağlantılarının şase sacına montajlama işlemini ve bu parçaların bağlantı borularının kaynakla birleşimlerini yapmaktadırlar.
10. Grup montajda istasyonunda 72, 73, 74, 75, 76 ve 77 nolu operatörler elektriksel bağlantıları tamamlanan panjuru soğutucu dolaba montajlama, masterla kontrol, mekanik-elektriksel kabloların montajlanması ve klipsleme işlemlerini yapmaktadırlar.
11. İkinci dikey montaj istasyonunda 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87 ve 88 nolu operatörler raf çıtası, kapı kolu, sticker, prosa takip cihazı ve prosa takip

cihazı kablolarının montajlama işlemlerini yaparlar. Ayrıca, son kontrol kısmındaki analizlerle hatalı ürünler tespit edilmektedir. Tespit edilen hatalı ürünler tamir için kısa tamir bandına gönderilmektedir.

12. Vakum & performans istasyonunda 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95 ve 96 nolu operatörler ürünle ilgili dosyaları (C-Pantene, ürün tanıtım etiketi, barkod etiketi, demirbaş etiketi, garanti belgesi vs.) hazırlama işlemi, vakum hortumuna kaplin bağlayarak kompresöre vakumlama işlemi, vakumlamadan sonra gaz dolun işlemi, gaz dolun sonrası soğutucu boru hattına pinchoff ve kaynak işlemi, gaz kaçağı kontrolü, EST (Elektronik System Test) cihazı ile elektriksel kaçakların kontrolü, arka panjurun montajlama işlemi ve performans testi işlemini yapmaktadırlar.
13. Ambalaj istasyonunda 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 nolu operatörler soğutucu dolapta EST yöntemiyle kısa devre kontrol işlemi, soğutucu dolabın iç gövde temizlik işlemi, soğutucu dolabın demirbaş etiketini barkod okuyucu ile eşleştirme işlemi, tel rafların dolaba bırakılması işlemi ve soğutucu dolabın paketleme işlemini yapmaktadırlar.

13 ana istasyonun fabrika içerisindeki yerleşimini gösteren resim Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ana istasyonların fabrika içerisindeki yerleşim planı görüntüsü.

### 4.3. ÇALIŞMA ÖNCESİ ÜRETİM SÜRELERİ ve VERİMLİLİK

Hat dengeleme sürecinde, ilk olarak çalışma öncesi durum ele alınmıştır. Üretim hattındaki her operasyon tanımlanmış ve kronometre ile süre alma işlemleri gerçekleştirilerek hat dengeleme tablosu hazırlanmıştır. "1300 WOC Pepsi Prosalı" modeli üretim hattındaki zaman etüdü uygulamasında operasyonlarda eğitimli operatörlerin görev almasına dikkat edinilmiştir. Operasyonlarda görev alan operatörler seçilirken; hattı, istasyonu, operasyonu, ürünü iyi analiz etmiş ve üretim konusunda gerekli eğitimleri tamamlamış olan operatörler seçilmiştir. Süre ölçümlerinde harcanan kuvvet nedeni ile personelin gün ilerledikçe yorulacakları ve yavaşlayacakları dikkate alınmıştır. Bu nedenle tüm işlere, işletme etüt politikası çerçevesinde bekleme zamanı ve dinlenme payı işin türüne göre kademeli eklenmiştir. Toplamda her operatör için 20 ölçümle gözlem yapılmıştır.

Çalışma öncesi için; operasyonlar (OP), operatörler (O), istasyonlar, süreler ve verimlilik verilerini içeren hat dengeleme tablosu Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışma öncesi doluluk ve verimlilik verileri tablosu.

ANA İSTASYONLAR	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
<b>1- DIŞ GÖVDE ÇATIM MONTAJ İSTASYONU</b>	Gövde sacı kenetleme 1	OP1	O1	124	83	745	83
	Gövde sacı kenetleme 2	OP2	O2	127	85		
	Takviye sacı monta-1	OP3	O3	128	85		
	Takviye sacı montaj-2	OP4	O4	123	82		
	Takoz maskeleme	OP5	O5	123	82		
	Menteşe takviye montaj	OP6	O6	120	80		

Çizelge 4.1. (devam ediyor).

ANA İSTASYONLAR	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
		OP	O				
<b>2- İÇ GÖVDE ÇATIM MONTAJ İSTASYONU</b>	Tavan sacı klips montaj	OP7	O7	124	83	1152	77
	Sağ sacın hazırlığı	OP8	O8	99	66		
	Sol sacın hazırlığı	OP9	O9	99	66		
	İnox taban sacı soyma	OP10	O10	125	83		
	İç kazan kenetleme 1	OP11	O11	110	73		
	İç kazan kenetleme 2	OP12	O12	123	82		
	İç kazan kenetleme 3	OP13	O13	112	75		
	Çerçeve 1 montaj	OP14	O14	117	78		
	Çerçeve 2 montaj	OP15	O15	119	79		
	Çerçeve 3 montaj	OP16	O16	124	83		
<b>3- İÇ-DIŞ BİRLEŞTİRME MONTAJ İSTASYONU</b>	İç dış gövde birleştirme (opr.1)	OP17	O17	80	53	756	72
	İç dış gövde birleştirme (opr.2)		O18	85	57		
	Alt atkı sacı montaj	OP18	O19	129	86		
	Alt destek sacları (opr. 1)	OP19	O20	115	77		
	Alt destek sacları (opr. 2)		O21	109	73		
	L ayak takviye sacı montaj	OP20	O22	117	78		
	Taban ve Destek sacı hazırlık	OP21	O23	121	81		

Çizelge 4.1. (devam ediyor).

ANA İSTASYONLAR	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
<b>4- POLİÜRETAN BASIM İSTASYONU</b>	Dolap alma (opr.1)	OP22	O24	115	77	1070	79
	Dolap alma (opr.2)		O25	111	74		
	Dolap alma (opr.3)		O26	131	87		
	Dolap çıkarma (opr.1)	OP23	O27	128	85		
	Dolap çıkarma (opr.2)		O28	122	81		
	Dolap çıkarma (opr.3)		O29	123	82		
	PU basım	OP24	O30	125	83		
	PU sonrası temizlik (Üst)	OP25	O31	110	73		
	PU sonrası temizlik (Alt)	OP26	O32	105	70		
<b>5- ŞASE BAĞLANTI MONTAJ İSTASYONU</b>	Şase montaj	OP27	O33	88	59	376	63
	Palet montaj	OP28	O34	114	76		
	Palet Şase yardım	OP29	O35	75	50		
	Şase hazırlık	OP30	O36	99	66		
<b>6- BİRİNCİ DİKEY HAZIRLIK İSTASYONU</b>	Arka temizlik (Arka)	OP31	O37	123	82	973	81
	Leddriver hazırlık	OP32	O38	122	81		
	Leddriver montaj	OP33	O39	122	81		
	Switch kapak hazırlık	OP34	O40	121	81		
	Axel fan hazırlık	OP35	O41	118	79		
	Fan hazırlık	OP36	O42	119	79		
	Fan hazırlık test	OP37	O43	122	81		
	Orta dikme hazırlık	OP38	O44	126	84		

Çizelge 4.1. (devam ediyor).

ANA İSTASYONLAR	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
<b>7- BİRİNCİ DİKEY MONTAJ İSTASYONU</b>	PU boşaltma	OP39	O45	124	83	1364	83
	Besleme kablo montaj	OP40	O46	121	81		
	Prosa kablo montaj	OP41	O47	126	84		
	Sağ evap montaj	OP42	O48	124	83		
	Sol evap montaj	OP43	O49	125	83		
	Hava yönlendirme montaj	OP44	O50	124	83		
	Kapı switch montaj	OP45	O51	127	85		
	Evap /Fan kulak sacı montaj	OP46	O52	129	86		
	Leksan /Powerled montaj	OP47	O53	124	83		
	Sol fan montaj	OP48	O54	125	83		
	Orta dikme montaj	OP49	O55	115	77		
	<b>8- YATAY MONTAJ İSTASYONU</b>	Kapı üst menteşe montaj	OP50	O56	123		
Kapı üst tutucu montaj		OP51	O57	119	79		
Kafes üst menteşe montaj		OP52	O58	117	78		
Kapı montaj		OP53	O59	121	81		
Kapı alt menteşe montaj		OP54	O60	120	80		
Kapı alt yay kilit montaj		OP55	O61	118	79		
Yatay besleme kablosu takma		OP56	O62	122	81		
Sağ kapı cam sticker yapıştır.		OP57	O63	123	82		
Sol kapı cam sticker yapıştır.		OP58	O64	120	80		



Çizelge 4.1. (devam ediyor).

ANA İSTASYONLAR	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
<b>9- GRUP HAZIRLIK İSTASYONU</b>	Kondanser montaj	OP59	O65	125	83	867	83
	Komprasör montaj	OP60	O66	125	83		
	Kablo montaj	OP61	O67	123	82		
	Kapak montaj	OP62	O68	120	80		
	Kaynak hazırlık	OP63	O69	122	81		
	Kaynak	OP64	O70	127	85		
	Grup atma	OP65	O71	125	83		
<b>10- GRUP MONTAJ İSTASYONU</b>	Panjur hazırlık	OP66	O72	125	83	741	82
	Panjur montaj (opr.1)	OP67	O73	127	85		
	Panjur montaj (opr.2)	OP68	O74	127	85		
	Panjur master kontrolü	OP69	O75	120	80		
	Perçin atma	OP70	O76	127	85		
	Kaynak işlemi	OP71	O77	115	77		
<b>11- İKİNCİ DİKEY MONTAJ İSTASYONU</b>	Raf çitası 1 montaj	OP72	O78	118	79	1331	81
	Raf çitası 2 montaj	OP73	O79	123	82		
	Uyarıcı sticker yapıştırma	OP74	O80	123	82		
	Prosa montaj	OP75	O81	119	79		
	Sticker yapıştırma 1	OP76	O82	124	83		
	Sticker yapıştırma 2	OP77	O83	124	83		
	Perçin atma (arka)	OP78	O84	115	77		
	Kapı kolu montaj	OP79	O85	129	86		
	Son kontrol	OP80	O86	120	80		
	Arka kontrol	OP81	O87	117	78		
	Dolap Ayırma	OP82	O88	119	79		

Çizelge 4.1. (devam ediyor).

ANA İSTASYONLAR	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
		OP	O				
12- VAKUM & PERFORMANS İSTASYONU	Dosya hazırlık	OP83	O89	117	78	888	74
	Kaplin takma	OP84	O90	118	79		
	Gaz dolum	OP85	O91	120	80		
	Kaynak işlemi	OP86	O92	125	83		
	Gaz testi	OP87	O93	115	77		
	EST	OP88	O94	101	67		
	Arka panjur montaj	OP89	O95	70	47		
	Performans testi	OP90	O96	122	81		
13- AMBALAJ İSTASYONU	EST (Ortak)	OP91	O97	72	48	1144	64
	Inox taban sacı strec soyma	OP92	O98	95	63		
	Eşleştirme	OP93	O99	53	35		
	İç gövde temizlik	OP94	O100	90	60		
	Cam temizlik	OP95	O101	115	77		
	Raf etiket yapıştırma	OP96	O102	105	70		
	Tel raf koyma	OP97	O103	89	59		
	Karton köşebent yapıştırma	OP98	O104	75	50		
	Karton şapka hazırlık	OP99	O105	101	67		
	Karton dikme	OP100	O106	118	79		
	Etiket yapıştırma	OP101	O107	116	77		
	Streç sarım	OP102	O108	115	77		

Tablo üzerinde yer alan veriler;

a) **Operasyon/Operatör Sayısı:** OP1 ifadesinde "OP" operasyonları, "1" rakamı ise istasyondaki operasyon birimini ifade etmektedir. O1, O2, ....., O108

ifadesinde her rakam ise bir operatörü ifade etmektedir.

- b) Süre (sn):** Operatör çevrim süresini ifade etmektedir. Bir operatörün bir iş için her şey dahil harcadığı süredir. Süreler işçilerin fark etmeyeceği şekilde 20 kez alınmış ve iş dışı bir işlem yapıldı ise o ölçüm dikkate alınmadan yerine tekrar süre alınmıştır. Elde edilen ölçümlerin ortalaması alınarak yuvarlanmış ve süre kısmında yazan değerler belirlenmiştir. Ölçümler Şekil 4.4'teki Casio marka kronometre ile yapılmıştır.



Şekil 4.4. Süre belirlemede kullanılan Casio marka kronometrenin fotoğraf görüntüsü.

- c) Operatör Doluluk Oranı (%):** Operatörün herhangi bir istasyonda yapmış olduğu toplam işlem süresinin, bir dolabın döngü süresine (150 sn) oranıdır.
- d) Toplam Hat Süresi (sn):** Bir istasyonda çalışan tüm operatörlerin yapmış oldukları işlem sürelerinin toplamını ifade etmektedir.
- e) Hat verimliliği (%):** Herhangi bir istasyonda toplam hat süresinin o istasyondaki operatör sayısı ile çevrim süresinin çarpımına yüzdesel oranını ifade etmektedir.
- f) Çevrim Süresi:** Müşteri talebini karşılamak için bir ürünün tamamlaması gereken zamanı ifade eder. Çevrim süresi, takt zamanı olarak da ifade edilebilir. Çevrim süresi, günlük kullanılabilir üretim süresinin günlük müşteri talebine oranıdır. Çalışmanın yapıldığı üretim hattında ürünün çevrim süresi 150 sn olup 1 saatte 24 adet üretim yapılmaktadır.

#### 4.4. ÇALIŞMANIN UYGULANDIĞI İSTASYONLAR

İşletme etüt politikası çerçevesinde bekleme zamanı ve dinlenme payının işin türüne göre kademeli eklenmesi ile oluşturulan çizelgenin incelenmesi ile üretimin yapıldığı 13 istasyonun 6'sında işletme hedefi olan %80 verimliliğe ulaşamadığı tespit edilmiştir. %80 verimliliğe ulaşamayan 6 istasyonda operatörlerden boşa bekleme süreleri fazla olanlar belirlenmiş ve çevrim süresinin üretim hatlarına uyumuna etki edilmeden hattın iyileştirilerek yeniden dengelenmesine karar verilmiştir.

Üretim hattındaki tüm istasyonların verimlilikleri ve iyileştirme çalışması yapılan istasyonlar Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. İstasyon verimlilikleri ve iyileştirme çalışmasının yapıldığı istasyonlar.

İstasyon No	İstasyon İsmi	İstasyon Verimliliği (%)	Çalışma Yapılan İstasyonlar
1	Dış gövde çatım montaj istasyonu	83	
2	İç gövde çatım montaj istasyonu	77	✓
3	İç-dış birleştirme montaj istasyonu	72	✓
4	Poliüretan basım istasyonu	79	✓
5	Şase bağlantı montaj istasyonu	63	✓
6	Birinci dikey hazırlık istasyonu	81	
7	Birinci dikey montaj istasyonu	83	
8	Yatay montaj istasyonu	80	
9	Grup hazırlık istasyonu	83	
10	Grup montaj istasyonu	82	
11	İkinci dikey montaj istasyonu	81	
12	Vakum & performans istasyonu	74	✓
13	Ambalaj istasyonu	64	✓

Hat dengelemede öncelikle operasyondaki değişikliklerin potansiyel faydaları değerlendirilmiştir. Operatörlere görev tanımlaması bu değişiklikler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu doğrultuda iyileştirmeler, yeniden düzenlemeler ve görev tanımlamaları yapılarak işlemler basite indirgenmiştir. Bunları gerçekleştirmek için aşağıdaki ilkeler takip edilmiştir:

- Operatörlere mevcut görevlerine ek olarak yeni görevlendirmeler yapılarak, mevcut zamanlarının tamamının kullanılmasını sağlamak,

- b) En iyi olasılık bulunana kadar operatör başına çalışma süresini dengelemeyi amaçlayan farklı görev dağılımı kombinasyonları denemek,
- c) Operatörün çalışma süresinin mevcut çevrim süresini aşmamasını sağlamak.

#### **4.5. AKSİYOMATİK TASARIM ve YALIN ÜRETİM UYGULAMASI**

Aksiyomatik tasarımın ilk adımı tasarım süreci açısından önem arz eden temel fonksiyonel gereksinimleri belirlemektir. Devamında temel FR'lerin nasıl elde edileceğini gösteren temel DP'ler tanımlanmaktadır. Temel FR ve DP tanımları tamamlandıktan sonra ikinci, üçüncü ve sonraki FR'lerin ve DP'lerin adım adım tanımlanması gerekmektedir.

Çalışma için ortaya konulan temel sorun "*talep edilen üretim hacmini istenilen süre içerisinde üretmek için çalışan personel sayısının fazla olması*"dır. Bu nedenle, ihtiyaç duyulan üretim hacmini karşılayacak personel sayısını minimize etmek amacıyla hattın dengelenmesi gerekmektedir.

Aksiyomatik tasarımın uygulanmasında, yalın üretim teknikleri kullanılarak fonksiyonel gereksinimleri sağlayacak tasarım parametreleri üretilmiştir. Tasarım parametreleri için yalın üretim metotlarının seçiminde işletmedeki beyaz yakalıların fikirleri alınmıştır. Beyin fırtınası yöntemi ile tüm yalın üretim metotları değerlendirilmiştir ve kullanılacak olan metotlar istasyon bazında belirlenmiştir. Bu kapsamda; iyileştirme yapılması hedeflenen 6 istasyonda uygulanan fonksiyonel gereksinimler, tasarım parametreleri ve kullanılan yalın üretim metotları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. İstasyonlarda uygulanan fonksiyonel gereksinimler ve tasarım parametreleri.

İyileştirme Yapılan İstasyonlar	FR'ler	DP'lerde Kullanılan Yalnız Üretim Teknikleri
İç gövde çatım montaj istasyonu	Ürün tasarımının iyileştirilmesi	Problem çözme teknikleri (Beyin fırtınası)
	İsrafın azaltılması	
İç-dış birleştirme montaj istasyonu	Ürün tasarımının iyileştirilmesi	Problem çözme tekniği (Süreç iyileştirilmesi)
Poliüretan basım istasyonu	Ürün tasarımının iyileştirilmesi	Problem çözme tekniği (Süreç iyileştirilmesi)
Şase bağlantı montaj istasyonu	Malzeme taşıma işlemi azaltılmalı	Tam zamanında üretim
Vakum & performans istasyonu	Operasyonel iş yükü azaltılmalı	Kaizen (Öneri sistemi ve Benchmark)
Ambalaj istasyonu	Operasyonel iş yükü azaltılmalı	Problem çözme tekniği (Süreç iyileştirilmesi)
	Operatörün bir işlem daha yapabilme becerisi geliştirilmeli	Kaizen (Proses geliştirme)
	İsrafın azaltılması	

Aksiyomatik tasarımın uygulanması kapsamında temel FR'ler ve DP'lerin oluşturulma süreci aşağıda belirtilmiştir:

- 1. Adım:** Fonksiyonel bilgi alanında en üst seviye fonksiyonel gereksinim tanımlanır: *“Müşteri talebine dayalı montaj hattında gerekli üretim hacmini en verimli şekilde sağla”*.
- 2. Adım:** Birinci adımda belirtilen fonksiyonel gereksinimi karşılayan tasarım parametresi tanımlanır: *“İhtiyaç duyulan üretim hacmine göre minimum operatör sayısı ile montaj hattını dengele”*.
- 3. Adım:** Birinci adımda tanımlanan FR'ler ayrıştırılır. Bunlar önceki fonksiyonel gereksinimin daha alt seviye fonksiyonel gereksinimleridir.
- 4. Adım:** Her alt seviye FR'yi karşılayan DP'ler eşleştirilir.
- 5. Adım:** Tasarım matrisi alt seviye FR'ler ve DP'ler arasında tanımlanır. FR'ler ve DP'ler arasında ilişki var ise X, yok ise 0 yazılmaktadır.
- 6. Adım:** İhtiyaca göre döngü devam ettirilir.

Çalışmanın fonksiyonel gereksinimleri ve tasarım parametreleri alt seviyeleri dahil Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan aksiyomatik tasarım tablosu.

FONKSİYONEL GEREKSİNİMLER	TASARIM PARAMETRELERİ
<p><b>FR<sub>1</sub>:</b> Operatör süreleri üretim döngüsü süresine göre daha kısa veya eşit yapılmalı.</p> <p><b>FR<sub>11</sub>:</b> Operasyon adımları tanımlanmalı.</p> <p><b>FR<sub>12</sub>:</b> Operasyon süreleri tanımlanmalı.</p> <p><b>FR<sub>13</sub>:</b> Doluluk oranı fazla olan operasyonlar belirlenmeli.</p> <p><b>FR<sub>14</sub>:</b> İşlemler operatörlere döngü süresini aşmadan dengeli olarak atanmalı.</p>	<p><b>DP<sub>1</sub>:</b> Operatör sürelerinin kontrol edin.</p> <p><b>DP<sub>11</sub>:</b> Metot etüdü oluşturun.</p> <p><b>DP<sub>12</sub>:</b> Zaman etüdü oluşturun.</p> <p><b>DP<sub>13</sub>:</b> Bir dolap için döngü süresini (takt zamanı) hesaplayın.</p> <p><b>DP<sub>14</sub>:</b> Hat dengelemeyi uygulayın.</p>
<p><b>FR<sub>2</sub>:</b> Operatörlerin hangi işlemi yaptıklarını bildiklerinden emin olunmalı.</p> <p><b>FR<sub>21</sub>:</b> İşlemler tanımlanmalı.</p> <p><b>FR<sub>22</sub>:</b> Operatörlerin mevcut bilgi seviyesi tanımlanmalı.</p> <p><b>FR<sub>23</sub>:</b> Gerekli eğitimler tanımlanmalı.</p> <p><b>FR<sub>231</sub>:</b> Operatörün bir işlem daha yapabilme becerisi geliştirilmeli.</p> <p><b>FR<sub>24</sub>:</b> Operasyonel eğitimler verilmeli.</p> <p><b>FR<sub>25</sub>:</b> Operatörlerin bilgi seviyelerinin yeterliliği analiz edilmeli.</p> <p><b>FR<sub>26</sub>:</b> Sonuçlar görselleştirilmeli.</p> <p><b>FR<sub>27</sub>:</b> Operasyon talimatları hazırlanmalı.</p>	<p><b>DP<sub>2</sub>:</b> Operatörlerin bilgi seviyelerini kontrol edin.</p> <p><b>DP<sub>21</sub>:</b> Standart çalıştırma prosedürlerini uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>22</sub>:</b> Pratik sınav uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>23</sub>:</b> Eğitim matrisini oluşturun.</p> <p><b>DP<sub>231</sub>:</b> Çok fonksiyonlu operatör eğitim programı uygulayın (Temel beceri geliştirme alanı (DOJO)).</p> <p><b>DP<sub>24</sub>:</b> Operasyonel adımlar hakkında teorik ve pratik eğitim verin (vida atma, PU basma, kaynak yapma, vb.).</p> <p><b>DP<sub>25</sub>:</b> Pratik sınav uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>26</sub>:</b> Beceri matrisini oluşturun.</p> <p><b>DP<sub>27</sub>:</b> Operatörlere operasyon talimatını uygulama eğitiminin verin.</p>
<p><b>FR<sub>3</sub>:</b> Katma değer sağlamayan işlemler optimize edilmeli.</p> <p><b>FR<sub>31</sub>:</b> İstasyonlarda iyileştirme çalışmaları yapılmalı.</p> <p><b>FR<sub>311</sub>:</b> İsrâflar azaltılmalı</p> <p><b>FR<sub>312</sub>:</b> Ürün tasarımında iyileştirmeler yapılmalı.</p> <p><b>FR<sub>3121</sub>:</b> Üretim hattında malzeme taşıma işlemi azaltılmalı.</p> <p><b>FR<sub>3122</sub>:</b> Yürüyüş süresi kısaltılmalı</p> <p><b>FR<sub>313</sub>:</b> Hedeflere ulaşılmasına engel olacak veya aksatabilecek problemler tanımlanmalı.</p> <p><b>FR<sub>3131</sub>:</b> Üretimi aksatan problemin kök sebebi araştırılmalı.</p> <p><b>FR<sub>32</sub>:</b> Operatörler yapılan değişiklikler hakkında bilgilendirilmeli.</p> <p><b>FR<sub>33</sub>:</b> Beklemeler önlenmeli.</p> <p><b>FR<sub>34</sub>:</b> İşlemlerin operatörlere dengeli bir şekilde ataması yapılmalı.</p> <p><b>FR<sub>35</sub>:</b> Elimine edilen ve birleştirilen işlemler operasyon talimatında tanımlanmalı.</p>	<p><b>DP<sub>3</sub>:</b> ECRS analiz ile iyileştirmeler uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>31</sub>:</b> Yalın üretim tekniklerini uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>311</sub>:</b> Tam zamanında üretim uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>312</sub>:</b> Kazien uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>3121</sub>:</b> Boşta bekleme süresi fazla olan ve malzemeyi belirli periyotlarda üretime transfer edebilecek sorumlu kişileri atayın.</p> <p><b>DP<sub>3122</sub>:</b> Ergonomi ve üretkenliği dikkate alarak çalışma alanını düzenleyin.</p> <p><b>DP<sub>313</sub>:</b> Problem çözme tekniği uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>3131</sub>:</b> Balık kılçığı diyagramı uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>32</sub>:</b> Görsellere dayalı tek nokta dersi uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>33</sub>:</b> Operasyonları birleştirin.</p> <p><b>DP<sub>34</sub>:</b> Hat dengelemeyi uygulayın.</p> <p><b>DP<sub>35</sub>:</b> Operasyon talimatlarını güncelleyin.</p>
<p><b>FR<sub>4</sub>:</b> Gerçek bilgi akışının devam etmesi sağlanmalı.</p> <p><b>FR<sub>41</sub>:</b> Departmanlar arasında bilgi akışının sürekliliği sağlanmalı.</p>	<p><b>DP<sub>4</sub>:</b> İletişim bilgi ağını güçlendiren bir sistem tasarlayın.</p> <p><b>DP<sub>41</sub>:</b> Rapor sistemi uygulayın.</p>

Tasarım tablosunun belirlenmesinden sonra FR<sub>1</sub> için fonksiyonel gereksinimler ve tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi belirlenmiş ve Denklem 4.1.'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \\ FR_{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \\ DP_{14} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Elde edilen tasarım matrisi ayrıştırılmış bir matristir ve “Operatör süreleri üretim döngüsü süresine göre daha kısa veya eşit yapılmalı” şeklinde belirlenen FR<sub>1</sub> için ideal yaklaşımın elde edildiğini göstermektedir. Bu kapsamda operasyon adımlarının ve sürelerinin tanımlanması, doluluk sürelerinin belirlenmesi ve işlemlerin dengeli olarak yeniden düzenlenmesi için belirlenen tasarım parametreleri uygulandığında FR<sub>1</sub> hedefine ulaşılabacaktır.

FR<sub>2</sub> için fonksiyonel gereksinimler ve tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi belirlenmiş ve Denklem 4.2.'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \\ FR_{23} \\ FR_{24} \\ FR_{25} \\ FR_{26} \\ FR_{27} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \\ DP_{23} \\ DP_{24} \\ DP_{25} \\ DP_{26} \\ DP_{27} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Elde edilen tasarım matrisi ayrıştırılmış bir matristir ve “Operatörlerin hangi işleri yaptıklarını bildiklerinden emin olunmalı” şeklinde belirlenen FR<sub>2</sub> için ideal yaklaşımın elde edildiğini göstermektedir. Bu kapsamda işlemlerin tanımlanması, operatörün bilgi seviyesinin belirlenmesi, ihtiyaç duyulması halinde eğitimlerle geliştirilmesi ve sonuçların analiz edilerek görselleştirilmesi için belirlenen tasarım parametreleri uygulandığında FR<sub>2</sub> hedefine ulaşılabacaktır.

FR<sub>3</sub> için fonksiyonel gereksinimler ve tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi belirlenmiş ve Denklem 4.3.'de gösterilmiştir.



$$\begin{bmatrix} FR_{31} \\ FR_{32} \\ FR_{33} \\ FR_{34} \\ FR_{35} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{31} \\ DP_{32} \\ DP_{33} \\ DP_{34} \\ DP_{35} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Elde edilen tasarım matrisi ayrıştırılmış bir matristir ve “Katma değer sağlamayan işlemler optimize edilmeli” şeklinde belirlenen FR<sub>3</sub> için ideal yaklaşımın elde edildiğini göstermektedir. Bu kapsamda istasyonlarda iyileştirme çalışmalarının yapılarak israfın azaltılması, ürün tasarımında iyileştirmeler yapılması, problemlerin kök sebebinin belirlenmesi, operatörlerin değişiklikler hakkında bilgilendirilmesi, beklemelerin önlenmesi, yeni işlemlerin operatörlere dengeli olarak atanması ve yeni iş tanımlarının yapılması için belirlenen tasarım parametreleri uygulandığında FR<sub>3</sub> hedefine ulaşılabacaktır.

FR<sub>4</sub> için fonksiyonel gereksinimler ve tasarım parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren tasarım matrisi birim matristir. Birim matris olması nedeni ile tasarım matrisi ayrıştırılmış bir matristir ve “Gerçek bilgi akışının devam etmesi sağlanmalı” şeklinde belirlenen FR<sub>4</sub> için ideal yaklaşımın elde edildiğini göstermektedir. Bu kapsamda departmanlar arası bilgi akışının sürekliliğinin sağlanması için belirlenen tasarım parametreleri uygulandığında FR<sub>4</sub> hedefine ulaşılabacaktır.

Aksiyomatik tasarımın geliştirilmesinden sonra montaj hattının iyileştirilmesine yönelik gözlem ve uygulama çalışmalarına geçilmiştir. Hat dengelemede, aksiyomatik tasarımla belirlenen fonksiyonel gereksinimleri karşılayan tasarım parametreleri kullanılarak, minimum operatör sayısı ile istenilen miktarda ürün üretilmesi hedeflenmiştir.

## BÖLÜM 5

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın yapıldığı işletmede, müşterilerin talep ettiği sipariş miktarını karşılayabilme ve minimum maliyet hedeflerine ulaşabilmek için montaj hatlarındaki verimliliğin %80 veya üzeri olması önem arz etmektedir. Fakat montajdaki zaman farkları operatörlerin iş sürelerinde farklılaşmaya, dolayısı ile boşta bekleme sürelerinde artışa ve operatörlerin kendinden önceki iş birimlerini beklemesine neden olmaktadır. Bekleme sürelerinin fazla olması operatörlerin doluluk oranlarında ve hattın verimlilik değerlerinde düşüşe sebep olmaktadır. Bu duruma bağlı olarak, çalışan sayısının artırılması zaruri hale gelmektedir. Bu bölümde, verimlilik değerleri işletme hedefi olan %80'in altına düşmüş olan 6 istasyonda yapılan iyileştirme çalışmaları ve bulgular hakkında bilgi verilerek önceden yapılmış olan bilimsel çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

#### 5.1. İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Aksiyomatik tasarım ile belirlenen gereksinimlerin yalın üretim uygulamaları ile gerçekleştirilmesine dayanan iyileştirme çalışmaları, işletmede %80 verimlilik hedefinin altında kalan 6 istasyonda uygulanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak yalın üretim metotları kullanılarak yapılabilecek iyileştirmeler ve kullanılacak metotlar tespit edilmiştir. Belirlenen yöntemler uygulamalı olarak bir süre denenmiş ve ürün kalitesine olumsuz etkisinin olmadığı belirlendikten sonra kullanılmaya başlanmıştır. İyileştirme çalışmaları; iç gövde çatım montaj istasyonu, iç-dış birleştirme montaj istasyonu, poliüretan basım istasyonu, şase bağlantı montaj istasyonu, vakum & performans istasyonu ve ambalaj istasyonunda yapılmıştır.

##### 5.1.1. İç Gövde Çatım Montaj İstasyonu

İç gövde çatım montaj istasyonunda; iç gövde çatım malzemelerini kenetleme, çerçeve birleşimi, inox sac streç soyma, tavan sacına klips çakma ve maskeleme

işlemleri yapılmaktadır. %77 verimlilik değerine sahip olan operasyonlar incelendiğinde operatör doluluk oranlarındaki değerlerin düşük olduğu noktalarda operatörlerin boşta bekleme sürelerinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Operatörlerin boşta bekleme sürelerinin fazla olması ve istasyonun kritik konumu nedeni ile iyileştirme yapılması zorunlu olmuştur. İyileştirme çalışmaları öncesinde, iç gövde çatım montaj istasyonunun iş süreleri ve verimlilik değerleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. İç gövde çatım montaj istasyonu operasyon-operatör tanımlamaları ve işgücü kullanımı ölçüm değerleri.

İSTASYON	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
<b>İÇ GÖVDE ÇATIM MONTAJ İSTASYONU</b>	Tavan sacı klips montaj	OP7	O7	124	83	1152	77
	Sağ sacın hazırlığı	OP8	O8	99	66		
	Sol sacın hazırlığı	OP9	O9	99	66		
	İnox taban sacı soyma	OP10	O10	125	83		
	İç kazan kenetleme 1	OP11	O11	110	73		
	İç kazan kenetleme 2	OP12	O12	123	82		
	İç kazan kenetleme 3	OP13	O13	112	75		
	Çerçeve 1 montaj	OP14	O14	117	78		
	Çerçeve 2 montaj	OP15	O15	119	79		
	Çerçeve 3 montaj	OP16	O16	124	83		

İyileştirme çalışmaları kapsamında, iç gövde çatım montaj istasyonunda OP8 ile OP9 ve OP10 ile OP11 nolu operasyonların birleştirilmesi şeklinde iki çalışma yapılmıştır. Operasyonların iyileştirilmesi sürecinde yalın üretimin problem çözme tekniği uygulanmıştır. Tasarımsal Ar-Ge departmanı ve üretim departmanı beyaz yakalıları ile beyin fırtınası yapılarak mevcut durum değerlendirilmiş ve iyileştirme yapılabilecek işler tespit edilerek çözüm önerileri oluşturulmuştur.

İlk çalışmanın yapıldığı OP8 ve OP9 nolu operasyonlarda, O8 ve O9 nolu operatörler sağ ve sol sacın hazırlık işlemlerini yapmaktadırlar. Yapılan gözlemlerde, ortak iş yapılan OP8 ve OP9 operasyonları iş yükünün bir operatöre yaptırılabilmesini sağlayacak iyileştirme çalışmaları yapılabileceği belirlenmiştir. İstasyonda, boyutları aynı olan ama müşteri talepleri ile farklılaşan 3 farklı dolap üretilmektedir. Çalışma öncesinde, farklı dolapların aynı anda üretilmesinin yol açabileceği yanlış komponent kullanımını önlemek amacı ile iç gövde sacında model bazında boşaltma (kablo, boru vb. aksamlar için delik açılması) yapmak yerine tek seferde tüm modellerin gerektirdiği boşaltmalar bir arada yapılmaktadır. Bu sebeple değişik modeller için değişik bölgelerde, çok sayıda boşaltma yapılması gerekmekte ve üretim süresince modelin gerektirdiği boşaltmalar kullanılarak diğer boşaltmalar maskeleyme yöntemi ile kapatılmaktadır. Bu işlem için ekstra işçilik yapıldığı ve israf olduğu gözlemlenmiştir. İsrafi önlemek için yapılan tasarımsal iyileştirmeler sonucunda, modeller arası üretim geçişinin çok sık olmaması nedeni ile fazladan açılan boşaltmaların iptal edilmesi ve her model için kendi ihtiyacına yönelik boşaltma yapılması sağlanmıştır. İyileştirme hakkında istasyonda çalışan tüm operatörler eğitilmiş ve denemeden sonra operatörlerin uyum sağladığı, hatta açılan boşaltmanın türüne göre modelin ne olduğunun anlaşılması nedeni ile modellerin birbirine karıştırılma ihtimalinin ortadan kalktığı görülmüştür. Böylece O8 nolu operatörün yaptığı iç gövde sağ sac üzerindeki maskeleyme işlemi ortadan kalkmıştır. Bu işlemle O8 ve O9 nolu operatörlerin iş süreleri her biri için 14 sn düşürülmüştür. Ayrıca OP8 ve OP9’da yapılan iyileştirme, OP10 ve OP11 nolu operasyonların birleştirilmesine de olanak sağlamıştır.

Aynı operasyonlarda bir diğer iyileştirmenin de operasyon iş tanımında yer alan, sağ-sol pre-painted sacların üzerindeki streç filmlerin soyulması işleminde yapılabileceği gözlemlenmiştir. Streç filmi soymanın uzun sürmesinin, operasyonun iş yükünü arttırdığı ve buna bağlı olarak operatöre ekstra güç kaybettiği tespit edilmiştir. Gün içerisinde, harcanan kuvvete bağlı olarak operatörün performansı düşmekte ve performans düşüklüğü döngü sürelerinde artışa sebep olmaktadır. İç gövde sol/sağ saclar, tedarikçi işletmeden yüzeyi boyalı (pre-painted) ve streçli olarak hazır halde gelmekte ve metal işlerinde işlendikten sonra montajlanmak üzere istasyona transfer edilmektedir. Tedarikçi işletmeden streçin mikron kalınlığı (50 µm) değiştirilmeden

soyma kuvvetinin düşürülmesi ile ilgili talepte bulunulmuştur. Bu kapsamda streçin saca tutunmasını sağlayan kimyasal madde miktarı azaltılarak streç soyma kuvveti 330,5 gf'den 110,5 gf'ye düşürülmüştür. Bu işlem sayesinde OP8 ve OP9 operasyonlarının her birinin iş yükünde 23 sn azalma sağlanmıştır. Pre-painted sac üzerindeki streç filmin soyulma esnasında ölçülen kuvvet değerleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



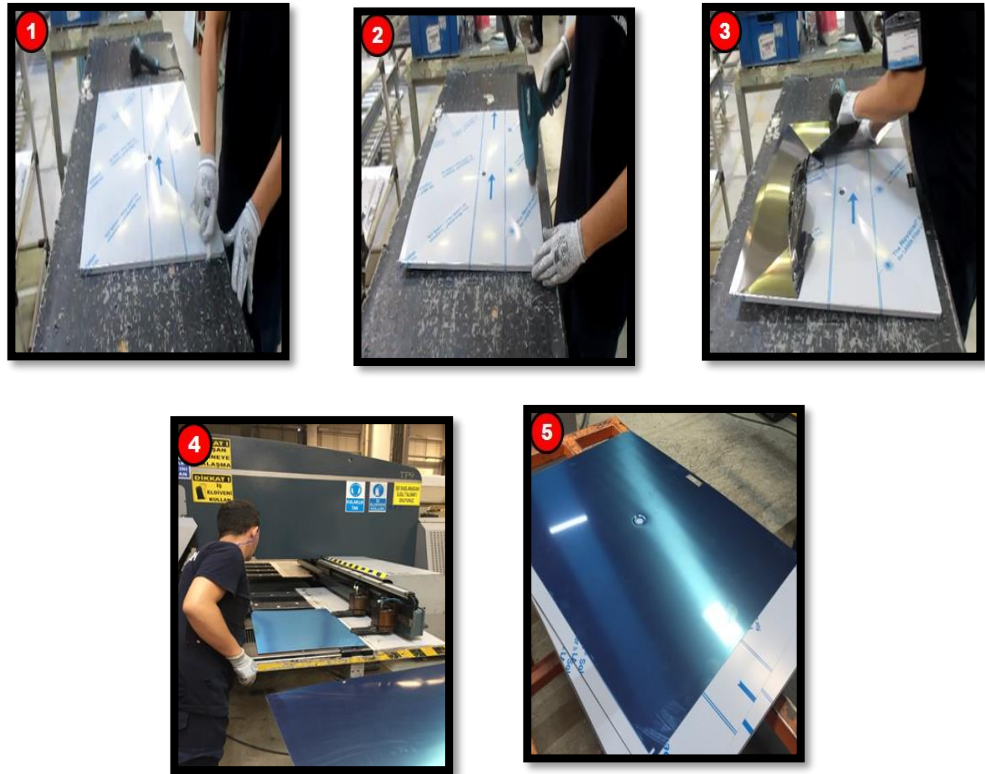
Şekil 5.1. Pre-painted sac üzerindeki streç filmin soyulma esnasında ölçülen kuvvet değerlerini gösteren fotoğraf görüntüsü.

Yapılan iyileştirmeler sayesinde O8 ve O9 nolu operatörlerin iş sürelerinde 14 sn ve 23 sn olmak üzere iki iyileştirme sağlanmış ve iş süreleri toplam 37'şer sn azaltılarak 99 sn'den 62 sn'ye düşürülmüştür. Doluluk oranı ise %66'dan %41'e düşmüştür. Bu kapsamda, OP8 ve OP9 nolu operasyonları bir operatörün %82 dolulukla yapabileceği tespit edilmiştir. Tek operatörle çalışma bir süre denenmiş, kalitede bir soruna neden olmadığı tespit edilerek operatörlerden birinin kaldırılmasına karar verilmiştir.

Aynı istasyonda iyileştirme yapılan diğer operasyonlar ise, O10 ve O11 nolu operatörlerin inox taban sacı soyma ve iç kazan kenetleme işlemlerini yaptığı, OP10 ve OP11 nolu operasyonlardır. Gözlemler sonucunda, bu operasyonlarda yapılan iyileştirmelerle bir operatörün kaldırılabilmesi belirlenmiştir.

İlk iyileştirmenin OP10 nolu operasyonda yapılabilmesi gözlemlenmiştir. OP10 nolu operasyonda, iç-dış gövde birleştirme montajında kullanılacak olan inox taban sacının üzerindeki streç filmin, kenetlenecek olan bölgeye denk gelen kenar kısımları

soyularak hazırlık işlemi yapılmaktadır. O8 ve O9 nolu operasyonlara benzer şekilde bu işlemde de streç filmin soyulmasında yaşanan zorlamanın; iş yükünü arttırdığı, operatöre ekstra güç kaybettiği, gün içerisinde güç kaybı nedeni ile operatör performansını düşürdüğü ve bunların sonucunda döngü süresinde artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir. Inox taban sacın tedarik edildiği işletme ile görüşülerek 50-100  $\mu\text{m}$  arasındaki kalınlıklarda (5'er  $\mu\text{m}$  artışla) streç filmli sac talep edilmiş ve yapılan süre ölçümlerinde en kısa sürenin 75  $\mu\text{m}$  kalınlığındaki streç filmde elde edildiği gözlemlenmiştir. 75  $\mu\text{m}$  streç film kalınlığına sahip sacın işlem gördüğü makinalarda çizilme, kalıp izi çıkması vb. hataların oluşmadığı belirlenmiş ve sacın montaj istasyonunda kullanılmasının herhangi bir olumsuzluğa neden olmadığı tespit edilmiştir. O10 nolu operatörün 125 sn olan operasyon süresi, iyileştirme sonrası 30 sn'ye düşürülmüş ve 95 sn kazanç sağlanmıştır. OP10 nolu operasyonun iş süreci Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Inox taban sac üzerindeki streç filmi soyma işlemi fotoğraf görüntüleri.

Şekil 5.2'de yer alan inox taban sacının iç gövdeye montajı görsellerinde; 1 nolu fotoğrafta kenetlenen köşe kıvrımlarındaki streç filmin rahat soyulabilmesi için maket bıçak ile ince bir çizik atılmaktadır. 2 nolu fotoğrafta streç filmin inox sacdan

rahatça ayrılması için sıcak hava tabancası ile streç film ısıtılmaktadır. 3 nolu fotoğrafta ısıtılan streç filmin soyulması işlemi yapılmaktadır. 4 ve 5 nolu fotoğraflarda ise iyileştirme sonrası punch ve abkant operasyonlarında sacın herhangi bir deformasyona uğramadığı ve kalitesinde bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

İkinci iyileştirme ise O11 nolu operatörün gerçekleştirdiği OP11 nolu operasyonda gerçekleşmiştir. İyileşme; OP8 ve OP9 nolu operasyonların birleştirilmesinde kullanılan saclarda model bazında boşaltma yapılması çalışmasının etkisi ile kendiliğinden meydana gelmiştir. İyileştirme sayesinde O11 nolu operatörün iş süresinde 16 sn azalma sağlanmış ve doluluk oranı %73'ten %63'e düşürülmüştür.

Yapılan iyileştirmeler sayesinde O10 nolu operatörün iş süresinde 95 sn, O11 nolu operatörün iş süresinde 16 sn azalma sağlanmıştır. O10 nolu operatörün doluluk oranı %83'ten %20'ye, O11 nolu operatörün doluluk oranı %73'ten %63'e düşürülmüştür. O10 ve O11 numaralı operatörlerin boşta bekleme sürelerindeki artış sebebi ile operasyonlar birleştirilerek iki operatörün yaptığı iş yükünü bir operatörün %83 doluluk oranı ile yapabileceği tespit edilmiştir. Tek operatörle çalışma bir süre denenmiş, kalitede bir soruna neden olmadığı tespit edilerek operatörlerden birinin kaldırılmasına karar verilmiştir. Yapılan iyileştirmeler sonucunda iç gövde çatım montaj istasyonunun verimliliği %77'den %81'e çıkarılmış ve operatör sayısı 10'dan 8'e düşürülmüştür.

Literatür çalışmaları incelendiğinde; işletmelerin beyin fırtınası metodunu kullanarak iyileştirme çalışmaları yaptıkları görülmektedir. Bir konfeksiyon fabrikasında beyin fırtınası metodu uygulanarak fason iplik imalatı terminlerini geciktiren nedenleri ortaya konulmuş ve iyileştirme önerilerini uygulayarak termin süresinde %17,3'lük iyileştirme sağlanmıştır [80]. Elde edilen bulgular, beyin fırtınasının uygulanması ile gerçekleştirilen iyileştirmelerin iş sürelerini düşürdüğünü gösterdiğinden literatürle örtüşmektedir.

### **5.1.2. İç-Dış Birleştirme Montaj İstasyonu**

İç-dış birleştirme montaj istasyonunda, çift kapılı soğutucu dolap komponentlerinin birleştirilmesi yapılmaktadır. İstasyon verimliliği çalışma öncesi %72'dir. %80 olan

işletme verimlilik hedefine ulaşabilmek için problem çözme tekniği ile kompleks ve süreklilik gösteren problemler detaylı bir şekilde incelenmiştir. İyileştirme çalışmaları öncesinde, iç-dış birleştirme montaj istasyonunun iş süreleri ve verimlilik değerleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

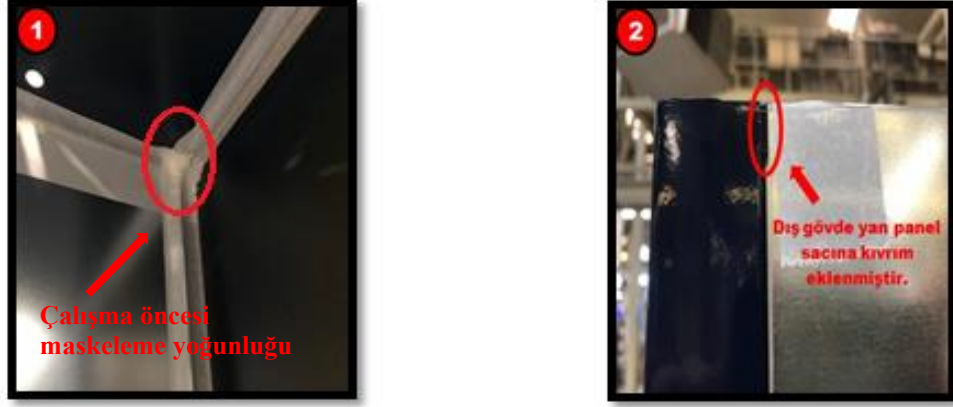
Çizelge 5.2. İç-dış birleştirme montaj istasyonu operasyon-operatör tanımlamaları ve işgücü kullanımı ölçüm değerleri.

İSTASYON	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
<b>İÇ-DIŞ BİRLEŞTİRME MONTAJ İSTASYONU</b>	İç dış gövde birleştirme (opr.1)	OP17	O17	80	53	756	72
	İç dış gövde birleştirme (opr.2)		O18	85	57		
	Alt atkı sacı montaj	OP18	O19	129	86		
	Alt destek sacları (opr. 1)	OP19	O20	115	77		
	Alt destek sacları (opr. 2)		O21	109	73		
	L ayak takviye sacı montaj	OP20	O22	117	78		
	Taban ve Destek sacı hazırlık	OP21	O23	121	81		

İncelemeler sonucunda OP17 nolu operasyonda iyileştirme yapılabileceği tespit edilmiştir. OP17 nolu operasyonda iki operatör (O17 ve O18) çalışmaktadır. Çalışmalar, O17 nolu operatörün görev tanımında bulunan köşelerin macunlanması işleminde yaşanan süre kayıplarını minimize etmek doğrultusunda yapılmıştır. Maskeleme ve macunlama işlemleri, zaman kayıplarının fazla olduğu ve verimliliği negatif etkileyen işlemlerdir. Maskeleme işleminin en fazla yapıldığı istasyonlar poliüretan basılmadan önceki montaj istasyonları olduğundan, iç-dış birleştirme montaj istasyonunda zaman kayıplarını önlemek için dış gövde sacı üretim işleminin analizleri yapılmıştır. Teknik resim spektlerinin analizinde, sacın birleşim noktalarında istenilmeyen kriterlerde boşluklar olduğu ve bu boşlukların poliüretan kaçaklarını artırdığı gözlemlenmiştir. Boşlukların minimize edilmesi için problem çözme teknikleri kullanılmış ve süreç iyileştirilmesi ile yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Yeni tasarımda, boşlukların minimize edilmesi ile maskeleme işlem sürelerinde iyileştirme sağlanmıştır. Yapılan tasarımsal değişiklikle ilgili görseller

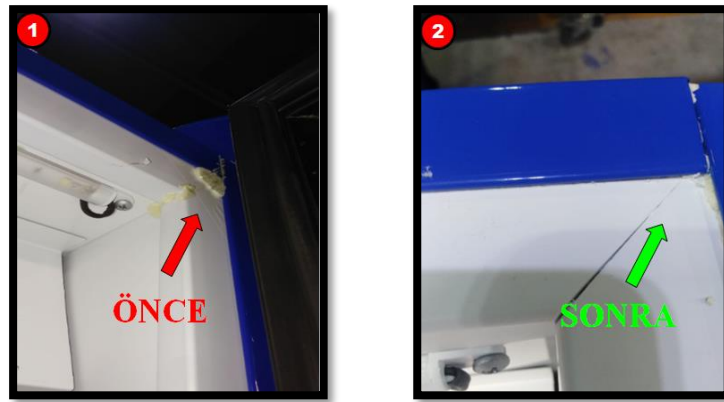


Şekil 5.3'te verilmiştir. Şekil 5.3'teki 1 nolu fotoğrafta iyileştirme çalışması öncesi köşe noktalarının çalışma öncesinde maskelenme yoğunluğu görülmektedir. 2 nolu fotoğrafta ise ürünün son hali verilmiş olup, kenara verilen kıvrım sayesinde kaçaklar engellendiği için maskeleme yoğunluğu azaltılmış ve işlemin daha kısa sürede yapılması sağlanmıştır.



Şekil 5.3. Çalışma öncesi maskeleme yoğunluğu ve saca eklenen kıvrım fotoğrafları.

OP17'de yapılan iyileştirme sonrasında poliüretan kaçağının azalması ile ilgili görseller Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.4'teki 1 nolu fotoğrafta iyileştirme çalışması öncesi maskeleme yapılmış olmasına rağmen oluşan poliüretan kaçağı görülmektedir. 2 nolu fotoğrafta ise iyileştirme sonrasında poliüretan kaçağı tamamen ortadan kaldırılamamış olsa da miktarın çok fazla düşürüldüğü görülmektedir.



Şekil 5.4. İyileştirme öncesi ve sonrası fotoğrafları.

Yapılan iyileştirme sayesinde O17 nolu operatörün iş süresinde 40 sn azalma sağlanmış ve iş yükü 80 sn'den 40 sn'ye, doluluk oranı %53'ten %27'ye düşürülmüştür. Bu kapsamda, %57 doluluğa sahip O18 nolu operatörün, %27'lik ek iş yükünü karşılayabileceği ve %84 iş yükü ile çalışabileceği tespit edilmiştir. Tek operatörle çalışma bir süre denenmiş, kalitede bir soruna neden olmadığı belirlenerek operatörlerden birinin kaldırılmasına karar verilmiştir. Ayrıca OP17'de yapılan iyileştirme bir sonraki istasyon olan poliüretan basım istasyonunda da iyileştirme oluşmasını sağlamıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda iç-dış birleştirme montaj istasyonunun verimliliği %72'den %80'e çıkarılmış ve operatör sayısı 7'den 6'ya düşürülmüştür.

Literatür çalışmaları incelendiğinde; problem çözme metotları kullanılarak süreç iyileştirme çalışmaları yapıldığı görülmüştür. Bilgin, ambalaj sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede problem çözme metodunu uygulamış ve sıvama makinelerinin iş değişiminde 53 dk olan bekleme süresini iyileştirmeler ile 31 dakikaya düşürmüştür [81]. Elde edilen veriler ile literatür benzerlik göstermektedir.

### **5.1.3. Poliüretan Basım İstasyonu**

Poliüretan basım istasyonunda, dolabın iç gövde ve dış gövde komponentlerinin birleştirilme işlemi sonrasında poliüretan basım öncesi işlemleri, poliüretan basımı ve poliüretan basım sonrası temizlik işlemleri yapılmaktadır. İstasyon verimliliği çalışma öncesinde %79'dur. İşletme hedefi olan %80'e yakın olsa da iç-dış birleştirme montaj istasyonundaki OP17 nolu operasyona uygulanan iyileştirme, poliüretan basım istasyonunun süresine de doğrudan etki etmiştir. Dolap köşelerinin kapatılarak kaçakların önlenmesi sonucu, OP25 ve OP26 nolu operasyonlarda poliüretan sonrası alt-üst temizlik işlemlerini yapan O31 ve O32 nolu operatörlerin süresinde de düşüş sağlanmıştır. İyileştirme çalışmaları öncesinde, poliüretan basım istasyonunun iş süreleri ve verimlilik değerleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Poliüretan basım istasyonu operasyon-operatör tanımlamaları ve işgücü kullanımını ölçüm değerleri.

İSTASYON	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI	SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)	
POLİÜRETAN BASIM İSTASYONU	Dolap alma (opr.1)	OP22	O24	115	77	1070	79
	Dolap alma (opr.2)		O25	111	74		
	Dolap alma (opr.3)		O26	131	87		
	Dolap çıkarma (opr.1)	OP23	O27	128	85		
	Dolap çıkarma (opr.2)		O28	122	81		
	Dolap çıkarma (opr.3)		O29	123	82		
	PU basım	OP24	O30	125	83		
	PU sonrası temizlik (Üst)	OP25	O31	110	73		
	PU sonrası temizlik (Alt)	OP26	O32	105	70		

İyileştirme sonrası O31 ve O32 nolu operatörlerin her birinin iş sürelerinde 45 sn azalma sağlanmıştır. O31 nolu operatörün doluluk oranı %73'ten %43'e, O32 nolu operatörün doluluk oranı %70'ten %40'a düşmüştür. Bu kapsamda, iki operatörün iş yükünün birleştirilebileceği ve %83 olan iş yükünü tek bir operatörün karşılayabileceği tespit edilmiştir. Tek operatörle çalışma bir süre denenmiş, kalitede bir soruna neden olmadığı tespit edilerek operatörlerden birinin kaldırılmasına karar verilmiştir. Yapılan iyileştirme sonucunda poliüretan basım istasyonunun verimliliği %79'dan %82'ye çıkarılmış ve operatör sayısı 9'dan 8'e düşürülmüştür.

#### 5.1.4. Şase Bağlantı Montaj İstasyonu

Çalışma öncesinde %63 verimlilik değerine sahip olan şase bağlantı montaj istasyonunda; dolaplara şase parçalarının birleşimi, şasenin soğutucu dolaba montajı ve tahta paletin montajı işlemleri yapılmaktadır. İstasyon verimlilik değeri diğer istasyonlara kıyasla %80'nin çok altında olduğundan operasyonlar daha detaylı incelenerek, OP28 ve OP29 nolu operasyonlarda iyileştirme yapılabileceği tespit

edilmiştir. İyileştirme çalışmaları öncesinde, şase bağlantı montaj istasyonunun iş süreleri ve verimlilik değerleri Çizelge 5.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Şase bağlantı montaj istasyonu operasyon-operatör tanımlamaları ve işgücü kullanımı ölçüm değerleri.

İSTASYON	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
<b>ŞASE BAĞLANTI MONTAJ İSTASYONU</b>	Şase montaj	OP27	O33	88	59	376	63
	Palet montaj	OP28	O34	114	76		
	Palet Şase yardım	OP29	O35	75	50		
	Şase hazırlık	OP30	O36	99	66		

O35 nolu operatörün yaptığı OP29 nolu operasyonun görev tanımlarından biri de tahta paletleri tanımlanan bölgeden almaktır. Yapılan gözlemlerde taşıma işleminin uzak bir noktadan ve yürünerek yapıldığı, yürüme için harcanan ve üretime katkısı olmayan işlemin süre kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. İyileştirme çalışması, bu görev tanımının gerektirdiği fakat ürüne katma değeri olmayan yürüme işleminin ortadan kaldırılması amacı ile yapılmıştır. İsrafa neden olan bu işlem için tam zamanında üretim tekniği kapsamında çalışma yapılmıştır. Bu amaçla; malzemeyi belirli periyotlarda üretime transfer etme işinin, uygunluğu olan bir başka çalışana tanımlanması planlanmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda endirekt çalışan olan ve istasyon süresine etkisi olmayan malzeme takip elemanın mevcut durumda paletlerin olduğu bölge ile istasyon arasında gidip geldiği, bu esnada paletleri de getirmesinin iş performansını çok etkilemediği görülmüştür. Yapılan denemeler sonucunda uygulanabildiği tespit edilmiş ve malzeme takip elemanının saatlik dolap adedine göre düzenli palet stoku transferini yapması sağlanmıştır.

İyileştirme sonrası O35 nolu operatörün palet alanına yürüme işlemi iptal edilmiş ve iş süresinin 26 sn azalarak 75 sn’den 49 sn’ye düşmesi sağlanmıştır. İstasyonun az operasyondan oluşması ve başka bir istasyondaki operasyonla iş birleştirmesi yapılmasının yönetim zafiyetine yol açacağı ihtimalinden dolayı son iş yükü %33 olan O35 numaralı operatörün başka bir operasyonla birleştirilemeyeceği

görülmüştür. İş birleştirme yapılamaması nedeni ile iş bölüştürme seçeneği kullanılmıştır. Bu kapsamda O33 ve O36 nolu operatörlerin yeterli boş süresinin olduğu ve O35 nolu operatörün %33'lük iş yükünün iki operatöre dağıtılabileceği değerlendirilmiştir. Verilen eğitim ve gözlemlerden sonra O35 nolu operatörün iş yükünün 24 sn'lik kısmı O33 nolu operatöre, 25 sn'lik kısmı da O36 nolu operatöre verilmiştir. Yeni iş tanımları ile çalışılması bir süre denenmiş, kalitede bir soruna neden olmadığı tespit edilerek OP29 nolu operasyon ve bu işi yapan O35 nolu operatör istasyondan kaldırılmıştır. Son durumda O33 nolu operatörün iş süresi 88 sn'den 112 sn'ye, O36 nolu operatörün iş yükü de 99 sn'den 124 sn'ye yükseltilmiştir. İyileştirme sonrasında, bir operatör ve bir operasyon istasyondan kaldırılmış olsa da verimlilik %78'e çıkmış, işletme hedefi olan %80'e ulaşamamıştır. Yeni gözlemler yapılmasına rağmen verimlilik daha fazla artırılmamıştır. Diğer istasyonlardaki iyileştirmelerin hat verimliliğine yüksek oranda katkı sağladığı göz önüne alınarak, istasyon verimliliği %78 olarak bırakılmıştır.

İşletmelerde tam zamanında üretim metodu kullanılarak iyileştirme çalışmaları yapıldığı bilinmektedir. Doyuran, Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A.Ş.'ye ait vagon fabrikasında tam zamanında üretim metodu kullanarak iyileştirme çalışmaları yapmış ve işletmenin çeşitli birimlerindeki maliyetleri düşürerek yıllık 5 vagon maliyeti miktarında tasarruf edilmesini sağlamıştır [82]. Elde edilen bulgular, tam zamanında üretim uygulamalarının işletmedeki işgücü kullanım oranını artırdığını ve maliyeti düşürdüğünü göstermektedir.

#### **5.1.5. Vakum & Performans İstasyonu**

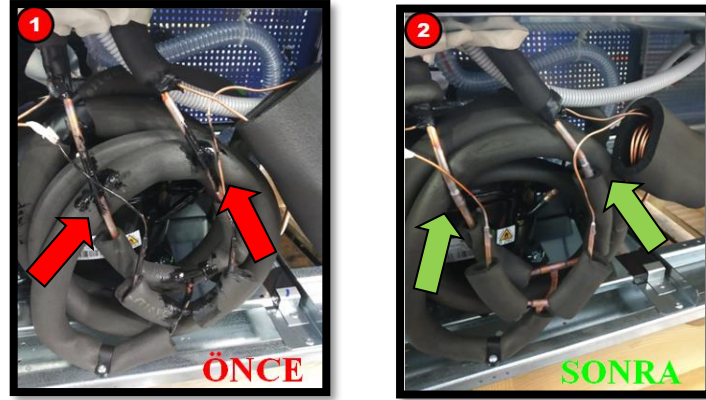
%74 verimliliğe sahip vakum & performans istasyonunda; ürünle ilgili dosyaları (C-Pantene, ürün tanıtım etiketi, barkod etiketi, demirbaş etiketi, garanti belgesi vb.) hazırlama işlemi, vakum hortumuna kaplin bağlanarak kompresöre vakumlama işlemi, vakumlamadan sonra gaz dolum işlemi, soğutucu boru hattına pinchoff ve kaynak işlemi, gaz kaçağı kontrolü, EST (Elektronik System Test) cihazı ile elektrik kaçağı kontrolü, arka panjurun montajlama işlemi ve performans testi işlemleri yapılmaktadır. Vakum ve performans istasyonunun verimliliğini, işletme hedefi olan %80 verimliliğe ulaştırmak için israflar, düzensizlikler ve ergonomik hatalar

incelenmiştir. İncelemeler sonucunda OP88 nolu operasyonda iyileştirme yapılabileceği tespit edilmiştir. İyileştirme çalışmaları öncesinde, vakum & performans istasyonun iş süreleri ve verimlilik değerleri Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Vakum & performans istasyonu operasyon-operatör tanımlamaları ve işgücü kullanımı ölçüm değerleri.

İSTASYON	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
<b>VAKUM &amp; PERFORMANS İSTASYONU</b>	Dosya hazırlık	OP83	O89	117	78	888	74
	Kaplin takma	OP84	O90	118	79		
	Gaz dolum	OP85	O91	120	80		
	Kaynak işlemi	OP86	O92	125	83		
	Gaz testi	OP87	O93	115	77		
	EST	OP88	O94	101	67		
	Arka panjur montaj	OP89	O95	70	47		
	Performans testi	OP90	O96	122	81		

İyileştirmenin yapıldığı OP88 nolu operasyonda O94 nolu operatör çalışmaktadır. İyileştirme çalışmaları, soğutucu bakır boruların kaynak işlemi sonrasında yapılan kaynak noktalarının boyanması işleminde yapılmıştır. Boyama işleminin ortadan kaldırılmasına yönelik iyileştirme çalışmasında kaizen metodu uygulanmıştır. Öneri sistemi sayesinde, bir çalışan önceden çalıştığı işletmede boyama işleminin yapılmadığını bildirerek, iş süresi ve maliyet tasarrufu yapılabileceğini önermiştir. Öneri üzerine kıyaslama (benchmark) yapılmış ve kıyaslamalar neticesinde diğer işletmelerde boyama yapılmadığı bilgisi netlik kazanmıştır. Bu kapsamda boyama yapılmamasının ürüne bir zarar vermediği gözlemlenmiş ve boyama işlemi iptal edilmiştir. Şekil 5.5'te iyileştirme çalışması öncesi ve sonrası ile ilgili görseller verilmiştir. 1 nolu fotoğrafta kaynak kısımlarının boyalı hali, 2 nolu fotoğrafta ise iyileştirme sonrası durumu gösteren boyasız hali verilmiştir.



Şekil 5.5. Bakır boru kaynak noktalarının boyalı ve boyasız fotoğrafları.

Kaizen kullanılarak yapılan iyileştirme sayesinde O94 nolu operatörün iş süresinde 42 sn azalma sağlanarak iş yükü 101 sn'den 59 sn'ye, doluluk oranı ise %67'den %39'a düşürülmüştür. Bu kapsamda, %47 doluluğa sahip O95 nolu operatörün, %39'luk ek iş yükünü karşılayabileceği ve %86 iş yükü ile çalışabileceği tespit edilmiştir. Tek operatörle çalışma bir süre denenmiş, kalitede bir soruna neden olmadığı tespit edilerek operatörlerden birinin kaldırılmasına karar verilmiştir. Yapılan iyileştirme sonucunda vakum & performans istasyonunun verimliliği %74'ten %81'e çıkarılmış ve operatör sayısı 8'den 7'ye düşürülmüştür. Tekin ve arkadaşları, bir un fabrikasında yaptıkları çalışmada, benzer şekilde çalışanlardan öneriler almışlar ve önerileri uygulayarak paketleme makinesinde iyileştirmeler yapmışlardır. Çalışma sonucunda 30 dk olan modeller arası geçiş bekleme süresi 5 dk'ya düşürülmüştür [83]. Elde edilen bulgular, kaizen unsurlarından öneri sisteminin işletmedeki işgücü kullanım oranını artırdığını ve maliyeti düşürdüğünü göstermektedir.

### 5.1.6. Ambalaj İstasyonu

Ambalaj istasyonunda; EST yöntemiyle kısa devre kontrol işlemi, soğutucu dolabın iç gövde temizlik işlemi, soğutucu dolabın demirbaş etiketini barkod okuyucu ile eşleştirme işlemi, tel rafların dolaba bırakılması işlemi ve soğutucu dolabın paketleme işlemi yapılmaktadır. İstasyonun verimlilik değeri çalışma öncesinde %64'tür. Diğer istasyonlarla kıyaslandığında daha düşük verimlilik değerine sahip olduğundan daha kapsamlı bir inceleme ile işletme hedefi olan %80'e ulaşmaya

çalışılmıştır. İyileştirme çalışmaları öncesinde, ambalaj istasyonunun iş süreleri ve verimlilik değerleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Ambalaj istasyonu operasyon-operatör tanımlamaları ve işgücü kullanımını ölçüm değerleri.

İSTASYON	OPERASYON ADI	OPERASYON / OPERATÖR SAYISI		SÜRE (sn)	OPERATÖR DOLULUK ORANI (%)	TOPLAM İSTASYON SÜRESİ (sn)	İSTASYON VERİMLİLİĞİ (%)
AMBALAJ İSTASYONU	EST (Ortak)	OP91	O97	72	48	1144	64
	Inox taban sacı streç soyma	OP92	O98	95	63		
	Eşleştirme	OP93	O99	53	35		
	İç gövde temizlik	OP94	O100	90	60		
	Cam temizlik	OP95	O101	115	77		
	Raf etiket yapıştırma	OP96	O102	105	70		
	Tel raf koyma	OP97	O103	89	59		
	Karton köşebent yapıştırma	OP98	O104	75	50		
	Karton şapka hazırlık	OP99	O105	101	67		
	Karton dikme	OP100	O106	118	79		
	Etiket yapıştırma	OP101	O107	116	77		
	Streç sarım	OP102	O108	115	77		

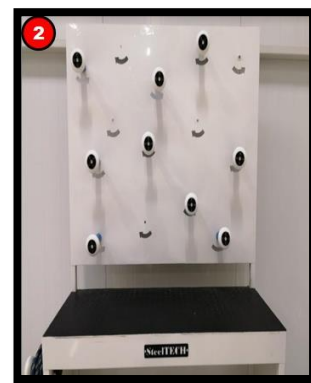
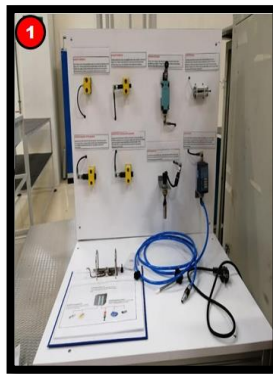
İyileştirme çalışmaları kapsamında OP91 ile OP92 nolu operasyonların birleştirilmesi, OP93 ile OP94 nolu operasyonların birleştirilmesi ve OP97 ile OP98 nolu operasyonların birleştirilmesi yönünde üç çalışma yapılmıştır.

İlk çalışma OP91 ve OP92 nolu operasyonların birleştirilmesi amacı ile yapılmıştır. O98 nolu operatör, OP92 nolu operasyonda inox taban sacının streçini soyma işlemini yapmaktadır. Streçleme işleminin amacı sacın operasyonlar süresince çizik, temas, darbe vb. sebeplerle deforme olmasını engellemektir. OP92 nolu operasyonda, iç gövde çatım montaj istasyonundaki OP8 ve OP9 nolu operasyonlarda yapıldığı gibi streç filmin tutunma kuvvetinin azaltılması sayesinde soyulma için harcanan



süre iyileştirilmiştir. Yapılan iyileştirme sayesinde O98 nolu operatörün iş süresinde 40 sn azalma sağlanmış ve iş yükü 95 sn'den 55 sn'ye düşürülmüştür. Doluluk oranı ise %63'ten %37'ye düşmüştür. Bu kapsamda, aynı operatörün %48 doluluğa sahip OP91 nolu operasyonun gerektirdiği ek iş yükünü karşılayabileceği ve %85 iş yükü ile çalışabileceği tespit edilmiş, bir süre denendikten sonra operatörlerden birinin kaldırılmasına karar verilmiştir.

İkinci çalışma OP93 ve OP94 nolu operasyonların birleştirilmesi amacı ile yapılmıştır. O100 nolu operatör, OP94 nolu operasyonda iç gövde sacının kuru bezle temizlenmesi işlemini yapmaktadır. Çalışma öncesinde bu operasyon erkek operatör tarafından yapılmaktadır. Kaizen yardımı ile proses geliştirme yapılarak, çok fazla eğitim gerektirmeyen operasyon, işletmedeki kadın temizlik personeline yaptırılmış ve detaylı analiz sonucunda kadın personellerin 90 sn süren işlemi 15 sn daha hızlı yaparak 75 sn'de tamamladıkları tespit edilmiştir. Bu kapsamda operasyonun kadın personel tarafından yapılması kararlaştırılmıştır. Fakat %60 olan doluluk oranının %50'ye düşmesi ile boş süre arttığından, eksik kapasitenin başka bir işle tamamlanması gerekliliği oluşmuştur. Eksik sürenin ek operasyonla tamamlanması için, kadın personele çok fonksiyonlu operatör eğitim programı uygulanmıştır. Eğitim programı süresince, en yakın ve uygun operasyon olan OP93 nolu operasyonu yapabilmeleri için Şekil 5.6'da verilen ve DOJO olarak isimlendirilen temel beceri geliştirme eğitim alanında iş eğitimleri verilmiştir. Demirbaş etiketi okutma ve barkot okutma gibi eşleştirmelerin yapıldığı iş eğitimi, yoğun kişisel beceri gerektirmediğinden kolaylıkla uygulanabilmiş ve kısa sürede çalışma ortamına adaptasyon sağlanmıştır.



Şekil 5.6. Temel beceri geliştirme eğitim paketi (DOJO) görüntüsü.

Yapılan iyileştirme sayesinde O100 nolu operatörün iş süresinde 15 sn azalma sağlanmış ve iş yükü 90 sn'den 75 sn'ye düşürülmüştür. Doluluk oranı ise %60'tan %50'ye düşmüştür. Bu kapsamda, %50 doluluğa sahip O100 nolu operatörün, verilen eğitimler sonucunda %35 doluluk oranı olan OP93 nolu operasyonun gerektirdiği ek iş yükünü karşılayabileceği ve %85 iş yükü ile çalışabileceği tespit edilmiştir. Tek operatörle çalışma bir süre denenmiş ve herhangi bir aksaklıkla karşılaşılmadığından operatörlerden birinin kaldırılmasına karar verilmiştir.

Üçüncü iyileştirme ise OP97 ve OP98 nolu operasyonların birleştirilmesi amacı ile yapılmıştır. O103 nolu operatör OP97 nolu operasyonda ambalajlama öncesi dolaba komponentlerin bırakılması işlemini yapmaktadır. Bir dolapta 6 raf bulunmaktadır ve çalışma öncesinde raflar üçlü paket halinde gelmektedir. Raf paketleri üçlü olduğundan, operatör raf alma ve raf taşıma işlemini bir dolap için iki defa yapmak zorundadır. Kaizen yardımı ile proses geliştirme uygulanarak, rafların ağırlığı ve taşıma ergonomisi analiz edilmiş, işlemin tek seferde yapılmasına engel bir durumun olmadığı tespit edilmiştir. İyileştirme kapsamında, tedarikçi işletmenin rafları 6'lı olarak paketlemesi sağlanmış ve değer katmayan ikinci kez raf alma işlemi iptal edilmiştir. Ayrıca iki paketin yerine tek paket streç film soyulduğundan soyma süresinin de azalması sağlanmıştır.

Yapılan iyileştirme sayesinde O103 nolu operatörün iş süresinde 37 sn azalma sağlanmış ve iş yükü 89 sn'den 52 sn'ye düşürülmüştür. Doluluk oranı ise %59'dan %35'e düşmüştür. Bu kapsamda, %35 doluluğa sahip O103 nolu operatörün, verilen eğitimler sonucunda %50 doluluk oranı olan OP98 nolu operasyonun gerektirdiği ek iş yükünü karşılayabileceği ve %85 iş yükü ile çalışabileceği tespit edilmiştir. Tek operatörle çalışma bir süre denenmiş, kalitede bir soruna neden olmadığı tespit edilerek operatörlerden birinin kaldırılmasına karar verilmiştir. İyileştirme sonrasında, istasyondaki operatör sayısı üç azaltılsa da verimlilik %78'e çıkmış ve işletme hedefi olan %80'e ulaşamamıştır. Yeni gözlemler yapılmasına rağmen verimlilik daha fazla artırılmamıştır. Diğer istasyonlardaki iyileştirmelerin hat verimliliğine yüksek oranda katkı sağladığı göz önüne alınarak, istasyon verimliliği %78 olarak bırakılmıştır. Berber, savurma döküm ve talaşlı imalat ile silindir gömleği üreten bir fabrikada kaizen uygulayarak; iş güvenliği, malzeme, çevre ve proses iyileştirme gibi çeşitli konularda iyileştirme sağlamıştır. Çalışma

sonucunda yapılan talaş teknesi sayesinde işletme 5832 kg bor yağı kazanımı sağlanmış, ayrıca yağın yaratacağı çevre kirliliği önlenmiştir. Ayrıca tezgâh temizliği işlevsel hale getirilerek günlük temizlik süresi 50 dk'dan 16 dk'ya düşürülmüştür [84]. Elde edilen bulgular, işgücü ve malzeme tasarrufu ile işletme verimliliğini artırması nedeni ile örtüşmektedir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Montaj hattı dengeleme, işgücünden optimum düzeyde yararlanmak ve adil iş yükü dağıtımı için uygulanan temel verimlilik yönetim unsurlarından biridir. Hat dengeleme ve verimliliği artırmak için kullanılan metotlardan biri de aksiyomatik tasarımıdır. Aksiyomatik tasarım, fonksiyonel gereksinimlerin tespiti ve bu gereksinimler için tasarım parametreleri belirlenerek iyileştirme yapılması esasına dayanır. Bu çalışmada iyileştirme çalışmaları için yalın üretim tekniklerinden; kaizen, tam zamanında üretim ve problem çözme teknikleri kullanılmıştır. Böylece ticari soğutma dolapları üreten bir işletmenin montaj hattı, aksiyomatik tasarım ve yalın üretim teknikleri kullanılarak yeniden düzenlenmiştir.

Çalışma, operasyonel işlemlerin zor olması ve hat verimliliğinin düşük olması nedeni ile 13 istasyondan oluşan 1300 WOC Pepsi Prosalı üretim hattında yapılmıştır. Bu ürüne özel olarak montaj hattını dengelemek için önce mevcut durumdaki israfları görme adına tüm işlemler tanımlanarak incelenmiştir. Belirlenen israflar mevcut durum ve gelecek duruma göre değerlendirilerek tahmini sayısal verilere ulaşılmıştır. Olumlu sonuçlar vereceği görülenler uygulamaya konulmuştur. İsr afları ortadan kaldırarak montaj hattını dengelemek için uygulanan aksiyomatik tasarım ile bazı iş operasyonları birleştirilmiş, basitleştirilmiş veya görev dağıtımı yapılarak ortadan kaldırılmıştır.

İşletme hedef verimliliğinin %80 olduğu 13 istasyonlu 1300 WOC Pepsi Prosalı üretim hattında, çalışma öncesinde operatör sayısı 108 ve hat verimliliği %74'tür. İyileştirme çalışmaları hatta bulunan 13 istasyondan %80 verimlilik hedefinin altında kalan 6 istasyonda yapılmıştır. Çeşitli iyileştirmeler sonucunda;

- a) İç gövde çatım montaj istasyonunda verimlilik %77'den %81'e çıkarılmış ve operatör sayısı 10'dan 8'e düşürülmüştür.

- b) İç-dış birleştirme montaj istasyonunda verimlilik %72'den %80'e çıkarılmış ve operatör sayısı 7'den 6'ya düşürülmüştür.
- c) Poliüretan basım istasyonunda verimlilik %79'den %82'ye çıkarılmış ve operatör sayısı 9'dan 8'e düşürülmüştür.
- d) Şase bağlantı montaj istasyonunda verimlilik %63'ten %78'e çıkarılmış ve operatör sayısı 4'ten 3'e düşürülmüştür.
- e) Vakum & performans istasyonunda verimlilik %74'ten %81'e çıkarılmış ve operatör sayısı 8'den 7'ye düşürülmüştür.
- f) Ambalaj istasyonunda verimlilik %64'ten %78'e çıkarılmış ve operatör sayısı 12'den 9'a düşürülmüştür.

Çalışma sonrasında 1300 WOC Pepsi Prosalı üretim hattından 9 operatör hat dışına çıkarılmış ve operatör sayısı 99'a düşürülmüştür. 6 istasyonda verimliliğin yükseltilmesi ile %74 olan hat verimliliği %7 artırılmış ve %81 olmuştur. Böylece hat verimliliği, %80 olan işletme verimlilik hedefinin üzerine çıkarılmıştır. İstasyon bazında ise iyileştirme yapılan 6 istasyonun 4'ünde %80 hedefi yakalanmış veya üzerine çıkmıştır. Şase bağlantı montaj istasyonu ve ambalaj istasyonunda verimlilik tüm çabalara rağmen %78'de kalmıştır. Yapılabilecek başka bir iyileştirme bulunamaması ve hat verimliliğinin %80'nin üzerine çıkarılması nedeni ile başka bir çalışma yapılmamasına karar verilmiştir. İşçi sayısının düşmesi ve verimliliğin artması ile temel işletme hedeflerinden olan ürün maliyetinin azalması sağlanmıştır.

Çalışma ile operatörlerin iş yükü oranı daha adaletli bir şekilde dağıtılmıştır. Tüm çalışanları eşitlemek mümkün olmasa da aralarındaki fark mümkün olduğunca kapatılmış ve eşit işe eşit ücret politikası ile çalışan memnuniyeti artırılmıştır. Süre dağılımında, kuvvet gerektiren ve özellikle gün ortasından sonra performansın düşmesine neden olan operasyonların sürelerinde bekleme süresi de işletme politikaları çerçevesinde daha fazla kullanılmıştır.

Başlangıçta uygulamaların tamamını yeni maliyet, gereksiz harcama olarak nitelendirerek uygulamalara şüpheli yaklaşan üst yönetim, verimli sonuçlar karşısında aksiyomatik tasarım ve yalın üretim felsefesinin gerekliliğini kabullenmişlerdir. Uygulamalardan elde edilen sonuçlar verimliliğe dönüşmüştür. Bu da benzer tekniklerin diğer hatlarda da uygulanması için kararlı bir altyapının

oluşmasını sağlamıştır. Çalışmanın gelecekteki hedefi, benzer iyileştirmelerin diğer üretim hatlarında da uygulanması ile işletmenin tamamında %80 verimlilik hedefinin yakalanması veya üzerine çıkılmasıdır.

Sermayenin kısıtlı, işçilik ve diğer maliyetlerin yüksek olduğu ülkemizde, özel sektör veya kamu ayrımı olmadan büyümenin yolu verimli üretmekten geçmektedir. Verimli üretimi sağlayacak en kapsamlı uygulama yalın üretimdir. Yalın üretim sistemlerinin uygulanması için en üst kademeden en alt kademeye kadar işletmenin tüm çalışanlarının ve tedarikçilerinin birlikte hareket etmesi gerekmektedir. Uygulamalar sonucunda temel amaç israfın en aza indirilmesi veya sıfırlanması ile işletme hedeflerinin yakalanmasıdır. Verimli üretim ve dolayısı ile büyümenin sağlanması için, ülke genelinde çok az işletme tarafından kısmen uygulanan yalın üretim felsefesinin tüm işletmeler tarafından incelemesi ve uygun metotların seçilerek kapsamlı şekilde uygulanması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Duman, B., “Asansör Montajında Yalın Üretim Uygulaması ve Değer Akış Haritalaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-2 (2019).
2. Dolgun, M., “Yalın Üretim Tekniği Kapsamında Değer Akışı Haritalama ve Bir Uygulama Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Manisa, 1-3 (2019).
3. Altunay, H., Özmutlu, H. C. ve Özmutlu S., “Paralel Görev Atamalı Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Bir Matematiksel Model Önerisi”, *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Sivas 18 (1): 15-33 (2017).
4. Özkan, R., “Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Genetik Algoritma ile Çözüm Yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 13-26 (2003).
5. Ağpak, K., Gökçen, H., Saray N. N. ve Özel, S., “Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (4): 115-124 (2002).
6. Gönen, C., “Otomotiv Sektöründe Aksiyomatik Tasarım Yaklaşımı ile Transmisyon Seçimine Yönelik Karar Destek Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 53-67 (2014).
7. Suh, N.P., “Axiomatic Design: Advances and Applications”, *Oxford University Press*, New York, 1-59 (2001).
8. Thomas, A. K., “After Lean Production”, *Prentice Hall*, New Jersey, 36 (1997).
9. Jackson, T. L., and Jones, K. R., “Implementing A Lean Management System”, *Or. Productivity Pres*, Portland, 4 (1996).
10. Kubanlı, S., “Yalın Dönüşümde Değer Akış Haritalandırma ve İşgücü Verimlilik Modeliyle İşletme Üretim Yapısının Analizi: İmalat Sektöründe Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8 (2018).

11. Womack J. P., and Jones, D. T., “Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation”, *Simon & Schuster*, New York, 15-16 (1996).
12. Tatikonda, L., “Applying Lean Principles to Design, Teach and Assess Courses”, *Management Accounting Quarterly*, USA, 8 (3): 27-38 (2007).
13. Spear, J. S., “Learning to Lead at Toyota. HBR Business Review On Supply Chain Management”, *Harvard Business School Press*, Boston 125 (2006).
14. Feld, W. M., “Lean Manufacturing Tools, Techniques and How To Use Them”, *CRC Press*, Florida, 12-16 (2001).
15. Harry, M. J., Mann, P. S., De Hodgins, O. C., Hulbert, R. L., and Lacke, C. J., “Practitioner's Guide For Statistics and Lean Six Sigma for Process Improvement”, *John Wiley & Sons, INC., Publication*, New Jersey, 73-74 (2010).
16. Plenert G. J., “Lean Management Principles for Information Technology”, Boca Raton: *CRC Press*, 203-212 (2011).
17. Çetin, İ., “Kardemir A.Ş. Nakliyat Bakım Onarım Atölyeleri Ortamında 5S Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 5-10, (2017).
18. Hirano, H., “5 Pillars of the Visual Workplace”, *Productivity Press*, Portland-Oregon 34-37 (1990).
19. Monden, Y., “Toyota Production System. An Integrated Approach To Just-In-Time”, *Georgia USA, Engineering Management Press*, USA, 197-217 (1993).
20. Kılıç, A., “Otomotiv Yan Sanayinde Yalın Üretim Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 25-50 İstanbul (2016).
21. Özçelik, H., “İşletmelerde Toplam Kalite Yönetimi Uygulaması ve İç Denetim İlişkisi”, Yüksek lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 36-37 (2018).
22. Liker, J. K., “Toyota Tarzı 14 Yönetim İlkesi”, Çev. Ümit Şensoy, *Orhan Holding Yayınları*, İstanbul, 184 (2005).
23. Yazgan, H., Sarı, Ö., ve Seri, V., “Toyota Üretim Sisteminin Özellikleri”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sakarya, 2 (2): 129-134 (1998).
24. Hoseus, M. and Liker, J.K., “Toyota Kültürü”, Çev. Kıvanç Tanrıyar, *Optimist Yayın Dağıtım*, İstanbul 218 (2008).



25. Eskin M., Tiryakioğlu U., ve Yüceil, H.D., “Sanayide Sürekli Gelişme İçin: KAİZEN”, *İstanbul Sanayi Odası*, İstanbul, 42 (2011)
26. Meier, P. D. and Jeffrey K.L., “Toyota Way Fieldbook A Practical Guide For Implementing Toyota’s 4Ps”, *Bok-McGraw-Hill Companies*, New York, 262 (2006).
27. Tapping, D., “The Lean Pocket Guide Tools For The Elimination of Waste”, *Running Lean*, USA, s26,40 (2003).
28. Womack, J. P., and Jones, D. T. “Yalın Düşünce”, *Sistem Yayıncılık*, İstanbul, 464 (2003)
29. Ohno, T., “Toyota Ruhu – Toyota Üretim Sisteminin Doğuşu ve Evrimi”, Çev: Canan Feyyat, *Scala Yayıncılık*, İstanbul, s43,191-194 (1998).
30. Akçagün, E., “Hazır Giyim İşletmelerinde Yalın Üretim Tekniklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 26 (2006).
31. Cesur, N., “Yalın Üretim Arkasındaki Nedenler”, *Verimlilik Dergisi*, 20 (4): 113-144 (1997).
32. Chan, F. T. S., “Effect of Kanban Size On Just-In-Time Manufacturing Systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, 116 (2): 146-160 (2001).
33. Gottesman, K., “JIT Manufacturing is More Than Inventory Programs and Delivery Schedules”, *Industrial Engineering*, 23 (5): 19-20 (1991).
34. Sevindirici, İ., “Üretim Sistemleri”, *Kum Saati Yayınları*, s77-81,131 İstanbul (2009).
35. Acar, N., “Tam Zamanında Üretim”, *Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları Mert Matbaacılık*, Ankara, s15,65-68, 123 (2003).
36. Yılmaz, E., “Siparişe Göre Üretim Yapan Sistemlerde Yalın Üretim Uygulamaları”, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 37-40 (2012).
37. Patil, P. S., Parit, S. P. ve Burali, Y. N., “Review Paper On Poka Yoke: The Revolutionary Idea In Total Productive Management Research Inventory”, *International Journal Of Engineering And Science*, ISSN. 2278-4721, 2 (4): 19- 24 (2013).
38. Bırakmaz, Ö., “Yalın Üretim Uygulanmasında Karşılaşılan Problemler”, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 15-17 (2013).

39. Shirose, K., “TPM for Workshop Leaders”, *Productivity Press*, USA, 13 (1992).
40. Nakajima, S., “Introduction to TPM”, *Productivity Press*, Portland, 1-11 (1988).
41. Jones, D. and Womack, J., “Bütünü Görmek Genişletilmiş Değer Akışı Haritalama”, Çev. Ayperi okur, Ülkü Kulaç ve Bülent Kılıç, *Yalın Enstitü Yayınları*, İstanbul, 1-9 (2002).
42. Shingo, S., “A Study of the Toyota Production System”, *Productivity Press*, New York, 304 (1989).
43. Gornicki, B., “A Better Way of Production: Small-Batch and One-Piece-Flow”, *Industrial Heating*, 82 (6): 35 (2014).
44. Firuzan, E., “Tam Zamanında Üretim Sisteminin Bir İşletmede Uygulaması, Yönetim ve Ekonomi: *Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*”, Manisa, 11 (2): 41-52 (2004)
45. Şeker, Ö. G. A., “Yalın Üretim Sisteminde Kanban, Tek Parça Akışı ve U Tipi Yerleştirme Sistemleri”, *International Journal of Social Science*, 449-470 (2016).
46. Hüttmeir A., Treville S., Ackere A., Monnier L., Prenninger J., “Trading Off Between Heijunka and Just-In-Sequence”, *Int. J. Production Economics*, 118 (2): 501–507 (2009).
47. Liker, J. K., “The Toyota Way”, Çev. Şensoy, Ü., *Mc Graw Hill*, New York, 37-324 (2004).
48. Bulut, S., “Beyaz Eşya Yan Sanayi Sektöründe ERP ve Yalın Üretim Olgunluğu Analizi ve Otomotiv Yan Sanayi ile Kıyaslama” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 33-48 (2012).
49. Asan, Ş. S., and Tanyaş, M., “Integrating Hoshin Kanri and The Balanced Scorecard for Strategic Management: The Case of Higher Education”, *Total Quality Management & Business Excellence*, 18 (9): 999-1014 (2007).
50. Suzaki, K., “İmalatta Mükemmellik Yolu Sürekli İyileştirme Teknikleri”, Çev. Saadet Özkal, *Otoyol Sanayi Yayınları*, İstanbul 109-113 (2005).
51. Liker, K. J., “Toyota Tarzı”, Çev. Şensoy, Ü., *Optimist Yayınları*, İstanbul, 381 (2015).
52. Suh, N. P., *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York, 1-50 (1990).

53. Suh, N.P., “Design of Thinking Design Machine”, *Annals of the CIRP*, 39 (1): 145-148 (1990).
54. Çebi, S., “Aksiyomlarla Tasarım Esaslı Bulanık Karar Destek Sistemi Geliştirme ve Bir Uygulama”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 47 (2010).
55. Liang, S.F.M., “Applying Axiomatic Method Icon Design For Process Control Display”, *Meeting Diversity in Ergonomics*, 155-172, (2007).
56. Babic, B., “Axiomatic Design Of Flexible Manufacturing System”, *International Journal of Production Research*, 37 (5), 1159-1173, (1999).
57. Öksüz, M. K., “İş Gören Performansı Dikkate Alınarak U-Tipi Montaj Hatlarının Dengelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-20 (2015).
58. Scholl, A. ve Klein, R., “ULINO: Optimally Balancing U-Shaped JIT Assembly Lines”, *International Journal of Production Research*, 37 (4): 721-736 (1999).
59. Urban, T., “Note: Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines”, *Management Science*, 44(5): 738-741, (1998).
60. Baybars, I., “A Survey of Exact Algorithms For The Simple Assembly Line Balancing Problem”, *Management Science*, 32 (8): 909-932 (1986).
61. Becker, C. ve Scholl, A., “A Survey On Problems and Methods In Generalized Assembly Line Balancing”, *European Journal of Operational Research*, 168 (3): 694-715 (2006).
62. Hobbs, D. P., “Lean Manufacturing Implementation: A Complete Execution Manual For Any Size Manufacturer”, *J. Ross Publishing Incorporated*, USA, 109-111 (2003).
63. Dar-El, E. M., ve Rabinovitch, M., “Optimal Planning and Scheduling of Assembly Lines”, *International Journal of Production Research*, 26 (9): 1433– 1450, (1988).
64. Shtub, A., ve Dar-El, E.M., “An Assembly Chart Oriented Assembly Line Balancing Approach”, *International Journal of Production Research*, 28 (6): 1137–1151 (1990).
65. Nourie, F. J., and Venta, E.R., “Finding Optimal Line Balances With Optpack”, *Operations Research Letters*, 10 (3): 165–171 (1991).
66. Klein, R., and Scholl, A., “Maximizing the Production Rate In Simple Assembly Line Balancing-A Branch And Bound Procedure”, *European Journal of Operational Research*, 91 (2): 367-385 (1996).

67. Fleszar, K., and Hindi, K., “An Enumerative Heuristic and Reduction Methods For the Assembly Line Balancing Problem”, *European Journal of Operational Research*, 145 (3): 606–620 (2003).
68. Amen, M., “Cost-Oriented Assembly Line Balancing: Model Formulations, Solution Difficulty, Upper and Lower Bounds”, *European Journal of Operational Research*, 168 (3): 747–770 (2006).
69. Nearchou, A., “Balancing Large Assembly Lines By A New Heuristic Based On Differential Evolution Method”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34 (9): 1016–1029 (2007).
70. Scholl, A., Flidner, M., and Boysen, N., “ABSALOM: Balancing Assembly Lines With Assignment Restrictions”, *European Journal of Operational Research*, 200 (3): 688-701 (2010).
71. Riezebos, J., Klingenberg W., and Hicks, C., “Lean Production and Information Technology: Connection or Contradiction?”, *Computers in Industry*, 60 (4): 237– 247 (2009).
72. Norani, N., M. Deros, B., Abd Wahab, D., and Ab Rahman, M. N., “A Framework For Managing Change in Lean Manufacturing Implementation”, *Department of Technology Management*, 314-316, 2105-2111 (2011).
73. Wong, Y., Wong, K. Y., and Ali, A., “A Study On Lean Manufacturing Implementation In The Malaysian Electrical And Electronics Industry”, *European Journal of Scientific Research*, 38 (4): 521–535, (2009).
74. Muslimen, R., Yusof, S. M., and Abidin, A. S. Z., “Lean Manufacturing Implementation in Malaysian Automotive Components Manufacturer: A Case Study”, *Proceedings of the World Congress on Engineering WCE*, 1 (1): 6-8 (2011).
75. Kabadurmuş, Ö., ve Durmuşoğlu, M. B., “Aksiyomlarla Tasarım İlkelerini Kullanarak Çekme/Kanban Üretim Sistemlerinin Tasarımı”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18 (2): 2-28 (2007).
76. Kulak, O., ve Durmuşoğlu, M. B., “Hücreli Üretim Sistemleri Tasarımı İçin Aksiyomlarla Tasarım Prensiplerine Dayalı Bütünsel Bir Yöntem”, *İTÜ Dergisi*, 3 (6): 33-46 (2004).
77. Aksu, Ö., “Bir Üretim Hattındaki Performansın Yalın Üretim Teknikleri ile İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, 79-80 (2013).
78. Arslan, S., “Yalın Üretim ve MAN Türkiye A.Ş. 'de Örnek Bir Yalın Üretim Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, 91-93 (2008).

79. Topbaş, E., “Yalın Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılımının Geliştirilmesi ve Kahramanmaraş'ta Yalın Üretim Yapan İşletmelerde Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı**, Kahramanmaraş, 85-86 (2019).
80. Örgerin İ., “Bossa Dış Giyim İşletmesinde Fason İplik İmalatı Termin Sürelerine Altı Sigma Araçları ile İstatiksel Yaklaşım”, **Altı Sigma Yalın Konferansları**, İzmir, 1-8 (2008)
81. Bilgin E., “Süreç İyileştirme İçin İş Etüdü ve Ambalaj Sektöründe Bir Uygulaması”, **13. Ulusal İşletmecilik Kongresi**, Antalya, 333-339 (2014)
82. Doyuran, A., “JIT (Tam Zamanında) Üretim Sistemi Yaklaşımı ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 118-127 (1990)
83. Tekin, M., Arslandere, M., Etlioğlu, M., Koyuncuoğlu, Ö., ve Tekin, E. “Kaizen ve Bireysel Öneri Sistemi”, **Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Zirvesi 2018**, İstanbul, 312-321 (2018)
84. Berber, İ., “Yalın Üretim Teknikleri, Kaizen ve Sektörel Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**, Hatay, 91-93 (2013).
85. Demirkır, M. S., “Yalın Üretim ve Lastik Sektöründe Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 81-84 (2008).
86. Kazıcıoğlu, B., “Kitle Üretiminden Yalın Üretime Geçiş Süreci: Bir Lastik Fabrikasında Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 90-92 (2009).

## ÖZGEÇMİŞ

1987 Sivas/Merkez doğumlu olan Rüstem ÇİFTÇİ, ilk ve orta öğrenimini İzmir'de tamamlamıştır. İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun olmuştur. 2014 yılında askerlik görevini asteğmen olarak yerine getirmiştir. 2014 yılından itibaren 3 yıl 6 ay Tolkar Makine'de Üretim Mühendisliği, 2018 yılından itibaren 9 ay Temel Conta'da Ürün Geliştirme Mühendisliği yaptıktan sonra 2018 yılından itibaren ticari soğutucu üretimi yapan bir fabrikada Üretim Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Fevzi Çakmak Mahallesi

Ceviz Sokak Bergama Apt. No: 5/5

Balçova/İZMİR

Tel: 0 505 880 97 98

E-posta: rstmcftc87@gmail.com