T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ VE İMALAT SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMASI

Nermin KESİT

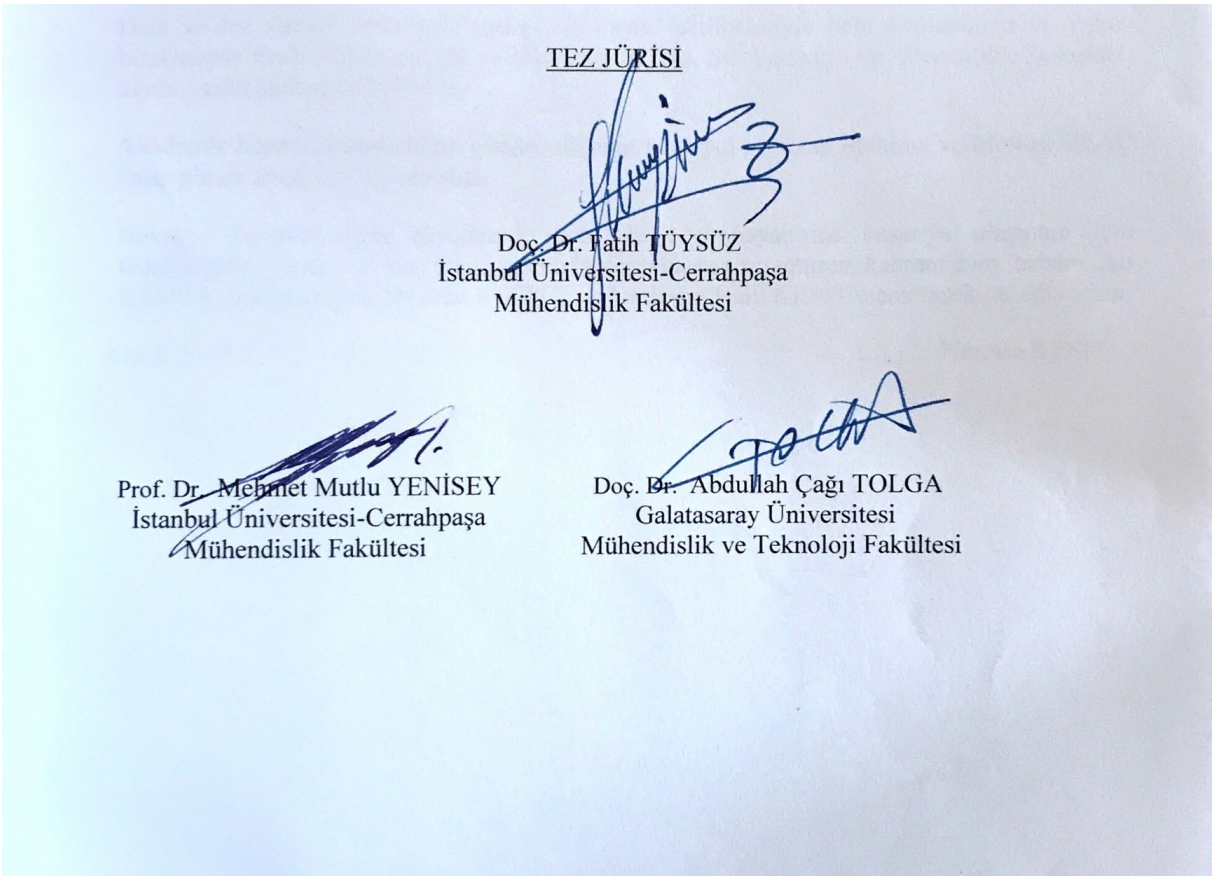
DANIŞMAN
Doç. Dr. Fatih TÜYSÜZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın başından itibaren gerek tez konumun detaylarını belirlememde gerekse bu detayları hangi yöntemlerle çalışmam gerektiği konusunda beni yönlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, yol gösteren danışmanım Doç. Dr. Fatih TÜYSÜZ'e,

Ders ve tez yazma sürecimde sanayi ve hayat tecrübeleriyle beni yönlendiren ve yalnız bırakmayan Erasys Mühendislik ve Danışmanlık Ltd. Şti. kurucusu ve "Verimlilik Savaşları" kitabı yazarı Hakan CENGİZ'e,

Akademik hayatıma başladığım günden itibaren bana yol gösteren Mahmut ve Monise ULAÇ başta olmak üzere ULAÇ ailesine,

Hayatım boyunca hem eğitimimde hem de özel hayatımda başarıya ulaşmam için fedakarlıklar yapan ve her daim yanımda olacaklarını hissettiren kahramanım babam Ali KESİT'e, canım annem Melahat KESİT'e ve kardeşim Halil KESİT'e çok teşekkür ediyorum.

Aralık 2019 Nermin KESİT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xii**
SUMMARY ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. ÜRETİM VE ÜRETİM SİSTEMLERİ 3
2.1.1. Üretim Zinciri Yapısına Göre Sınıflandırma 6
2.1.2. Üretim Mantığına Göre Sınıflandırma 8
2.1.3. Üretim Yöntemine Göre Sınıflandırma 9
2.1.4. Üretim Akışına Göre Sınıflandırma 9
2.1.5. Ürün Türüne Göre Sınıflandırma 10
2.1.6. Özel Ürüne Göre Sınıflandırma 12
2.2. YALIN ÜRETİM SİSTEMİ 14
2.2.1. Yalın Üretimde İsraf 21
2.2.2. Yalın Üretim Prensipleri 26
2.2.3. Yalın Üretim Araçları 29
2.2.3.1. Kaizen *30*
2.2.3.2. Kanban *30*
2.2.3.3. Tam Zamanında Üretim *30*
2.2.3.4. Değer Akış Haritalama *31*
2.2.3.5. Jidoka *32*
2.2.3.6. Toplam Verimli Bakım *33*
2.2.3.7. 5S *34*
2.2.3.8. Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme *35*
2.2.3.9. Poka-Yoke *36*
2.2.3.10. Hücresel İmalat Uygulaması *36*

2.2.3.11. Hoshin Kanri *37*
2.2.3.12. Heijunka-Shojinka *38*
2.2.3.13. Problem Çözme Teknikleri *38*
3. MALZEME VE YÖNTEM **40**
3.1. KAIZEN 40
3.2. KANBAN 49
3.2.1. Transport Kanbanı 54
3.2.2. Üretim Kanbanı 58
3.2.3. Diğer Kanban Kartı Çeşitleri 60
3.3. MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ 61
3.3.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması 63
3.3.1.1. Helgeson-Birnie Yöntemi *67*
3.3.1.2. En Fazla İzleyen Görev Yöntemi *67*
3.3.1.3. Rassal Aramaya Dayalı Bilgisayar Tabanlı Yöntem (COMSOAL) *68*
3.4. YALIN ÜRETİMİ DESTEKLEYİCİ SİSTEMLER 68
3.5. GERÇEK HAYAT UYGULAMASI 71
4. BULGULAR **75**
4.1. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ 75
4.2. MONTAJ HATTI DENGELEME SONUÇLARI 88
4.2.1. Helgeson-Bernie Yöntemi ile MHDP Çözülmesi 90
4.2.2. En Fazla İzleyen Görev Yöntemi ile MHDP Çözülmesi 94
4.2.3. COMSOAL ile MHDP Çözülmesi 98
4.3. MHDP SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI 103
4.4. MONTAJ HATTINA FABRİKA İÇİ KANBAN ENTEGRASYONU 105
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **110**
KAYNAKLAR **113**
ÖZGEÇMİŞ **119**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Üretim Sistemi (Evans, 1871). 4
Şekil 2.2: Üretim Sistemlerinin Birleştirilmiş Sınıflandırılması. 5
Şekil 2.3: Atölye Tipi Üretim Sistemi. 6
Şekil 2.4: Akış Tipi Üretim Sistemi. 7
Şekil 2.5: Tek İstasyon Üretimi Sistemi. 7
Şekil 2.6: Toyota Üretim Sistemi Evi (Liker, 2004). 17
Şekil 2.7: Yalın Üretimde Yedi İsraf. 21
Şekil 2.8: Tam Zamanında Düşüncesinin Prensipler (Santos ve diğ., 2006). 31
Şekil 2.9: Stratejik Planlama: Hoshin Kanri (Chiarini, 2013). 38
Şekil 3.1: Gemba Evi (Imai, 1997). 44
Şekil 3.2: Kobetsu Kaizenin 10 Adımı. 48
Şekil 3.3: İtme Sistemi (AIDT, 2006). 50
Şekil 3.4: Kanban Çekme Sistemi (Chiarini, 2013). 51
Şekil 3.5: Chiarini Kanban Sınıflandırması (Chiarini, 2013). 53
Şekil 3.6: Nicholas Kanban Sınıflandırması (Nicholas, 2018). 54
Şekil 3.7: Birleştirilmiş Kanban Sınıflandırması. 54
Şekil 3.8: Çift Kutu Kanban Kart Örneği. 55
Şekil 3.9: Tedarikçi Kanbanı Kart Örneği. 57
Şekil 3.10: Set Üretim Kanbanı Kart Örnekleri. 59
Şekil 3.11: Sinyal Kanban Kart Örneği. 60
Şekil 3.12: Montaj Hattı Dengeleme Problemleri Kapsamlı Sınıflandırılması. 64
Şekil 3.13: Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Çözüm Yöntemleri (Grzechca, 2011). 66

Şekil 4.1: Makine Tip 53 Öncelik İlişkileri Diyagramı.....87
Şekil 4.2: Makine Tip 54 Öncelik İlişkileri Diyagramı.....87
Şekil 4.3: Makine Tip 34 Öncelik İlişkileri Diyagramı.....88
Şekil 4.4: Makine Tip 28 Öncelik İlişkileri Diyagramı.....88

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Yalın Üretimin Kökleri (Nicholas, 2018). 15

Tablo 2.2: General Motors Framingham ve Toyota Takaoka Montaj Fabrikası Karşılaştırması (Womack ve diğ., 1990). 18

Tablo 2.3: General Motors Framingham ve Toyota Takaoka ve NUMMI Fremont Montaj Fabrikası Karşılaştırması (Womack ve diğ., 1990). 19

Tablo 2.4: Farklı Üreticilerin Amerika'daki Bayi Araba Satışları (Womack ve diğ., 1990). 20

Tablo 2.5: Lavabo İzni Sırası (Cengiz, 2018). 25

Tablo 2.6: TPM Bakım Prosedürü Örneği (Nicholas ve Soni, 2005) 34

Tablo 3.1: Kanban Kuralları ve İşlevleri (Nicholas, 2018). 52

Tablo 3.2: Set Sevkiyat Liste Örneği. 56

Tablo 3.3: Uygulama Fabrikasında Segment Düzenlemesi 72

Tablo 3.4: Zaman Etüdü Yapılacak Orta Segment Makineler. 73

Tablo 4.1: Makine Tip 53 Zaman Etüdü Analizi 76

Tablo 4.2: Makine Tip 54 Zaman Etüdü Analizi 77

Tablo 4.3: Makine Tip 34 Zaman Etüdü Analizi 78

Tablo 4.4: Makine Tip 28 Zaman Etüdü Analizi 79

Tablo 4.5: Makine Tip 53 için Hazırlıkların Akışa Dahil Edilmesi. 80

Tablo 4.6: Makine Tip 54 için Hazırlıkların Akışa Dahil Edilmesi. 81

Tablo 4.7: Makine Tip 34 için Hazırlıkların Akışa Dahil Edilmesi. 82

Tablo 4.8: Makine Tip 28 için Hazırlıkların Akışa Dahil Edilmesi. 83

Tablo 4.9: Makine Tip 53 için Birleştirilmiş Görev Zamanları. 84

Tablo 4.10: Makine Tip 54 için Birleştirilmiş Görev Zamanları. 84

Tablo 4.11: Makine Tip 34 için Birleştirilmiş Görev Zamanları. 85

Tablo 4.12: Makine Tip 28 için Birleştirilmiş Görev Zamanları. 85
Tablo 4.13: Ortak Görevlerin Analizi ve Numaralandırmanın Birleştirilmesi.....86
Tablo 4.14: Günlük Net Çalışma Zamanı.....89
Tablo 4.15: Makine Tip 53 Helgeson-Bernie Yöntemi Sonuçları.....91
Tablo 4.16: Makine Tip 54 Helgeson-Bernie Yöntemi Sonuçları.....92
Tablo 4.17: Makine Tip 34 Helgeson-Bernie Yöntemi Sonuçları.....93
Tablo 4.18: Makine Tip 28 Helgeson-Bernie Yöntemi Sonuçları.....94
Tablo 4.19: Makine Tip 53 En Fazla İzleyen Görev Yöntemi Sonuçları.....95
Tablo 4.20: Makine Tip 54 En Fazla İzleyen Görev Yöntemi Sonuçları.....96
Tablo 4.21: Makine Tip 34 En Fazla İzleyen Görev Yöntemi Sonuçları.....97
Tablo 4.22: Makine Tip 28 En Fazla İzleyen Görev Yöntemi Sonuçları.....98
Tablo 4.23: Makine Tip 53 COMSOAL ile Çözümü.....99
Tablo 4.24: Makine Tip 54 COMSOAL ile Çözümü.....101
Tablo 4.25: Makine Tip 34 COMSOAL ile Çözümü.....102
Tablo 4.26: Makine Tip 28 COMSOAL ile Çözümü.....103
Tablo 4.27: MHDP Sonuçlarının Karşılaştırılması. 104
Tablo 4.28: Ürün Ağaçlarında Kanban Tayini. 105
Tablo 4.29: Mevcut ve Öngörülen Besleme Biçimlerinin Analizi.....106
Tablo 4.30: Set Sevkiyat Listesi Örneği.....108
Tablo 5.1: MHDP için En İyi Çözümler.....111
Tablo 5.2: Uygulama Sonrası Verimlilik Hesaplamaları. 111

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
t_i	: i görevine ait işlem zamanı
N	: Problemdeki toplam görev sayısı
k	: İstasyon sayısı
K	: Toplam istasyon sayısı
C	: Çevrim zamanı
S_k	: k istasyonuna ait zaman
d	: Denge gecikmesi
e	: Hattın etkinliği
SI	: Düzgünlük indeksi (Smoothnes index)

Kısaltmalar	Açıklama
ÜPK	: Üretim Planlama ve Kontrol
TÜS	: Toyota Üretim Sistemi
JIT	: Tam Zamanında Üretim (Just in Time)
TQM	: Toplam Kalite Yönetimi (Total Quality Management)
VSM	: Değer Akış Haritalama (Value Stream Mapping)
TPM	: Toplam Verimli Bakım (Total Productive Maintenance)
OEE	: Genel Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness)
KPI	: Temel Performans Göstergesi (Key Performance Indicator)
DMAIC	: Tanımla - Ölç - Analiz Et - Geliştir - Kontrol Et (Define-Measure-Analyze-Improvement-Control)
MHD	: Montaj Hattı Dengeleme
MHDP	: Montaj Hattı Dengeleme Problemi
ÖİD	: Öncelik İlişkileri Diyagramı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ VE İMALAT SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMASI

Nermin KESİT

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Fatih TÜYSÜZ

Günümüzde artık herkes her şeyi üretebilme yeteneğine sahiptir. Ancak küresel rekabetin giderek arttığını düşündüğümüzde tek başına üretme yeteneğinin bir anlamının olmadığı açıkça görülmektedir. Dünya pazarındaki firmaların hammadde ve sabit gider maliyetleri giderek arttığı için firmalar yalnız üretmek dışında bazı şeyleri farklı yapmak zorundadırlar. Bu şey; firmaların müşterilerin istediği ürünü, istediği zamanda, istediği miktarda, istediği kalite ve en düşük maliyette üretmesidir. Bu da ancak verimli ve sistemli bir üretim mantığı ile mümkündür. Eğer bir firma küresel rekabette ayakta kalmak istiyorsa verimlilik esaslı bir üretim felsefesi edinmek zorundadır. Bu felsefenin günümüzdeki karşılığı yalın üretim sistemidir. Genellikle yalın üretim çalışmalarında, mevcut durumda tesis belli bir olgunlukta olduğu için, yalın üretim tekniklerinin bir veya birkaç tanesi uygulanır. Bu tez çalışmasında; mevcut durumda atölye tipi kitle üretimi yapan bir fabrikaya komple yalın dönüşüm önerilmiştir. Komple yalın dönüşüm, bir tesisin doğru sırayla doğru değişimleri başlatarak topyekûn bir dönüşüme gitmesi anlamına gelir. Uygulama yapılan fabrikada, hat mantığı olmadığı için, bir montaj hattı tasarımı ve kurulumu, kurulan montaj hattının dengelenmesi ve dengelenen montaj hattının ise fabrika içi lojistik sisteminin kurulması hedeflenmiştir. Bu tez çalışması ile birlikte hem sezgisel algoritmalar ile bir montaj hattı dengeleme problemi çözülmüştür hem de kurulan ve dengelenen montaj hattı transport kanban ile birbirine bağlanmıştır. Ayrıca tasarlanan montaj hattı yalın üretimi destekleyici, karakuri, andon, manipülatör vb., sistemler ile desteklenmiştir. Gerçekleştirilen bu uygulama ile günde kaç makine üretileceği, hangi makinenin ne zaman

hattan girip çıkacağı bilgileri net bir şekilde elde edilmiş olup müşteri talepleri planlanabilir hale gelmiştir.

Aralık 2019, 134 sayfa.

Anahtar kelimeler: Yalın Üretim, Montaj Hattı Dengeleme Problemi, Yalın Hat Tasarımı, Kanban, Kaizen, Verimlilik

SUMMARY

M.Sc. THESIS

ANALYZING OF LEAN MANUFACTURING TECHNIQUES AND AN APPLICATION IN MANUFACTURING SECTOR

Nermin KESIT

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Industrial Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Fatih TÜYSÜZ

Nowadays, everyone has the abilty to produce everything. However, when we thought that global competition is increasing, it is clear that the ability to produce alone does not make sense. Since raw material and fixed costs of firms in the world market are increasing, firms have to do some things differently then produce them alone. That thing is production of product what customers want, when they want, amount they want, quality they want and the lowest cost to produce. This is only possible with an efficient and systematic production logic. If a company wants to survive in global competition, it has to adopt a productivity-based production philosophy. The current equivalent of this philosophy is lean production system. Generally, in lean production studies, since plant has a certain maturity at present, one or more lean manufacturing techniques are applied. In this thesis study, a complete lean transformation is proposed to the factory that is manufacturing with job shop type mass production at the present. Complete lean transformation means that a plant goes into an overall transformation by initiating the right changes in the right order. Since there is no line logic in the applied plant, it is aimed to design and set up an assembly line, balance the set up assembly line and build in-plant logistics system to the balanced assembly line. With this thesis study, an assemly line balancing problem has been solved by heuristic algorithms and set up and balanced assembly line has been connected to each other by transport kanban system. Furthermore, the assembly line designed has been supported with lean production supporting system, karakuri, andon, manipulator and so on. With this real application, information about how many machines will

be produced per day, which machine will enter and leave the line, has been obtained clearly and customers' demands have become programmable.

December 2019, 134 pages.

Keywords: Lean Production, Assembly Line Balancing Problem, Kanban, Kaizen, Productivity

1. GİRİŞ

Dünyada 1973-1974 yıllarında yaşanan petrol krizinden en az etkilenerek çıkan Japonlar, üretim mantıklarının herkesten farklı olduğu konusunda dünyayı merakta bırakmışlardır. Japonların işçilik, stok gibi maliyetleri toplamda daha aza mal ederek daha fazla üretim yapabilmesi pek çok işletmeyi tüm süreçlerinin verimli ve sistemli olması gerektiği konusunda tetiklemiştir. Japonya'daki veya diğer ülkelerdeki Japon firmaları, başarılarını sürdürülebilir hale getirip rakipleriyle arasını açtıktan sonra Toyota üretim felsefeleri ve metotlarını tüm dünyanın hizmetine sunmuşlardır.

Türkiye'deki ana sanayi ve yan sanayi firmaları incelendiğinde, ne yazık ki, yabancı işletmelerin birçoğunun haricinde, yerli firmaların çok büyük bir kısmı endüstri 2.0'dan daha ileriye gidememişlerdir. Çağı geç de olsa yakalamaya çalışan yerli firmalar bile endüstri 2.0 ile 3.0 arasında konumlarını belirginleştirmeye çalışmaktadırlar. Yerli firmalar henüz kar ettikleri veya kardan küçük küçük zarar ettikleri için başta bu gibi global gelişmeleri kendilerine gerekli görmemişlerdir. Rekabetin artmasıyla, birim maliyetlerinin arttığını fark eden firmalar dünyanın neyi farklı yaptığını araştırmaya başlamışlardır. Fakat yıllar içerisinde deneme-yanılmalarla gelişen ve değişen bu gibi sistemleri olduğu gibi almaya çalıştıkları için birçok yerli veya yabancı firma başarısız olmuştur ve olmaktadır. Ayrıca henüz endüstri 2.0'dayken global anlamda satış-pazarlaması yapılan endüstri 4.0'ın yanlış algılanıp ve uygulanması da başarısızlığı desteklemiştir.

Günümüzde, ülkelerin ekonomileri sahip oldukları katma değerli ürünlerle/hizmetlerle ölçüldüğü için katma değerli ürünler üretilmeli ya da mevcutta üretilen ürünlerin/hizmetlerin en verimli/karlı şekilde üretilmelidir. Bu durumu Türkiye'ye uyarladığımızda yerli firmalar hayatta kalabilmek için ürettikleri hizmetleri/ürünleri en verimli şekilde üretmek zorundadırlar. Bu da günümüzde yalın üretim sistemi ile mümkündür. Artık yalın üretim sisteminin ya da öncesindeki Fordist üretim sistemlerinin deneme-yanılma yoluyla uygulanması/öğrenilmesi için vakit olmadığından firmalar topyekûn bir dönüşüme gitmelidir. Tez çalışmasının çıkış noktası olan komple yalın dönüşüm tam olarak bunu desteklemektedir.

Tezin genel kısımlar başlığı adı altında çalışmada bahsi geçen uygulama, üretim yapan bir fabrikada geçtiği için, üretim kavramı ve kendi içerisindeki farklarını daha iyi anlayabilmek

adına üretim sistemleri açıklanmıştır. Üretim sistemlerinden yalın üretim sistemi özelinde çalışma yapıldığı için yalın üretim sistemi ve araçları da genel kısımlarda anlatılmıştır. Malzeme ve yöntem başlığında, bahsi geçen uygulamada kullanılan kaizen ve kanban yalın üretim sistemi araçlarının detayı aktarılmıştır. İlaveten uygulamada yalın bir hat kurmak amaç olduğu için montaj hattı dengeleme problemleri alt başlık olarak bahsedilmiştir. Dengelenen montaj hattının yalın araçlarla da desteklenmesi gerektiğinden yalın üretimi destekleyici sistemler de anlatılmıştır. Akabinde ise bahsi geçen sanayi uygulamasının detayları verilmiştir. Bulgular kısmında, uygulanan vakanın sonuçları ve önceki-sonraki durum karşılaştırmaları açıklanmıştır. Son bölüm tartışma ve sonuç kısmında ise savunulan tezin sonuçları genel çerçevede değerlendirilmiştir ve akabinde yapılabilecek çalışmalar tartışılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ÜRETİM VE ÜRETİM SİSTEMLERİ

Üretim, ekonomistler açısından "fayda yaratmak", mühendisler açısından ise "fiziksel bir varlık üzerinde onun değerini artıracak bir değişiklik yapmak, hammadde veya yarı mamulleri kullanılabilir bir ürüne dönüştürmek" şeklinde tanımlanır. Üretimin asıl amacı, içeriği son derece geniş olmasına rağmen, ürün veya hizmetler ortaya çıkararak ihtiyaçların karşılanmasıdır.

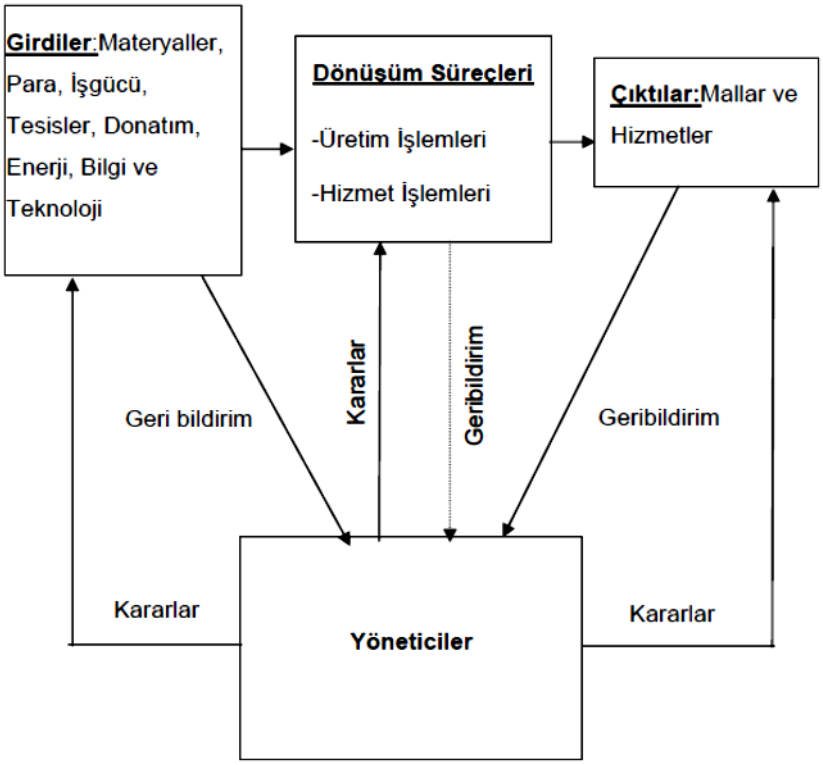
Üretim birçok faktörün bir araya gelmesiyle oluşur. İktisatçılar bu faktörleri emek, sermaye, doğal kaynak, girişimci olarak sınıflandırır. Endüstriyel üretimi düşündüğümüzde, üretim faaliyetlerinde ihtiyaçların karşılanması için şu faktörler bir araya gelmelidir:

1. Malzeme (Material)
2. Makine (Machine)
3. İşgücü (Labor)
4. Yöntem (Method)

Sistem, Petit Larausse'da "yönetme, hükümet etme biçimi, usuller, kurallar, bir doktrin oluşturmaya yarayacak ilkeler bütünü" şeklinde tanımlanmıştır (Tortop , 1983). Sistemler, çevreleriyle iletişim halinde olan "açık sistemler" ve çevreleriyle iletişim halinde olmayan kapalı sistemler olarak başlıca iki sınıfa ayrılırlar (Owens, 1981). Kapalı sistemler kendi kendine beslenip, yetinebilen, çevresiyle iletişim kurmayan, durağan, sıkı bir manastır toplumu gibi sistemlerdir (Cole, 1993). Bundan dolayı, kapalı sistemler çevresel iletişim ve değişime daha az duyarlıdır (Owens, 1981). Diğer taraftan, açık sistemler çevreleriyle sürekli iletişim halindedirler. Şekil 2.1.1'de de görüldüğü gibi sisteme giren girdi süreçte işlenerek çıktı elde edilir. Açık sistemler bu çıktılarını çevrelerine ihraç ederler. Açık sistemler durgun veya kapalı değil, değişime, iletişime, gelişmeye ve büyümeye açık oldukları için sürekli olarak hayatta kalmak üzere düzenlenmişlerdir. Kapalı sistemler kendi içinde bir uyuma sahip olmasına rağmen, açık sistemler çevreyle uyumu seçerler (Cole, 1993).

Sistemleri açık ve kapalı sistemler olarak ayırdıktan sonra, canlı ve cansız sistemler, doğal ve yapay sistemler, statik ve dinamik sistemler, soyut ve somut sistemler, basit ve karmaşık sistemler şeklinde altı faklı gruba da ayrılabilir.

Üretim sistemi ise farklı yazarlar tarafından farklı tanımlamıştır. Buffa, girdilerin işlem göreceğin işletmenin faaliyet alanından bağımsız olarak bazı işlemlerle niteliği tümüyle değişmiş çıktılara dönüşmesine üretim sistemi derken, Black, girdiler üzerinde işlemler uygulayarak çıktılar üretmesini girdi-çıktı sistemleri olarak ele almıştır. Bu tanımlar değerlendirildiğinde de görülmektedir ki bir üretim sisteminde girdi (input), çıktı (output) ve süreç/dönüşüm süreci (proses) olmak üzere üç temel öğe bulunmaktadır. Öğelerin de birbirleriyle etkileşmesi sonucu geri bildirim (feedback) öğesi de ortaya çıkar.



Şekil 2.1: Üretim Sistemi **(Evans, 1871)**.

Üretim sistemlerini karşılaştırmak, değerlendirmek veya herhangi birine atfetmek istediğimizde belirli ortak özelliklerini bir arada görmek isteriz. Bu ortak özellikleri değerlendirirken üretim sistemlerini üretim tekniği, üretim zinciri yapısı, üretim yöntemleri, ürün cinsi, üretim miktarı/akışı veya özel üretim tiplerine göre sınıflandırılır (Şekil 2.1). Yapılan bu sınıflandırmada sistem her sınıfta bir veya birkaç özelliği kapsayabilir.



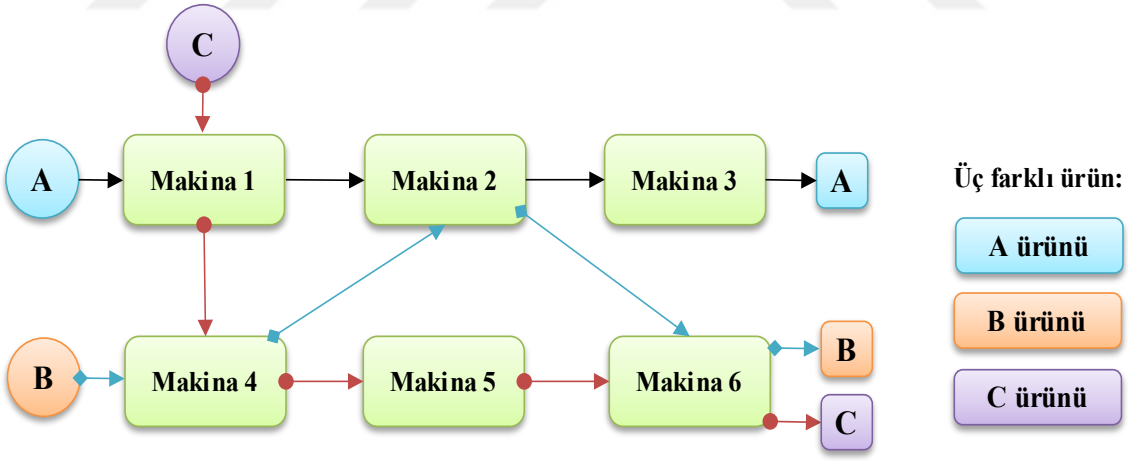
Şekil 2.2: Üretim Sistemlerinin Birleştirilmiş Sınıflandırılması.

2.1.1. Üretim Zinciri Yapısına Göre Sınıflandırma

- **Atölye Tipi Üretim**

Atölye küçük parti büyüklüklerindeki farklı ürün tiplerinin çok amaçlı (üniversal) makinalarla işlendiği üretim alanıdır. Atölye tipi üretim sistemindeki üniversal makinalar makine özelliğine veya üretilecek ürüne göre gruplanırlar. Bu A tipi tezgâh için ayrı, B tipi tezgâh ve C tipi tezgâh için de ayrı bir kısmın olacağı anlamına gelir (Şekil 2.3).

Atölye tipi üretim sisteminde, istenen farklı siparişler, atölyede hangi makine boşsa veya işlem göreceği alternatif makinalardan birinde kuyruğa alınarak üretime girerler. Yani mevcut makinalar kuyrukta bekleyen işlerle yüklenmiştir. Örneğin; üretimde aynı anda çok çeşitli parçalar üretileceğinden, A tezgahındaki işlemi bitmiş bir parça sıradaki işlem için B tezgahından işlem gören parçayı beklemek zorundadır. Bekleme zamanlarının artmasıyla birlikte üretim içi stoklar da artacaktır. Bu da iş hazırlama, malzeme planlaması, iş takibi-kontrolü vb. eylemlerin planlanmasını karmaşıklaştırmaktadır ve pratikte Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK) sisteminin kurulmasını engellemektedir.

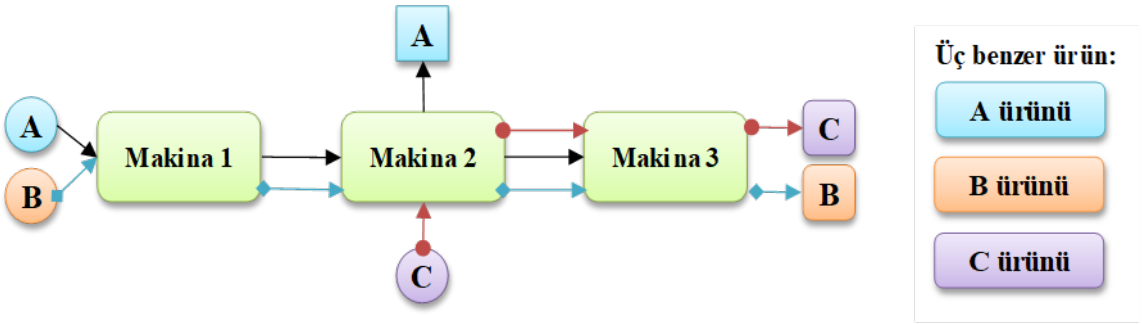


Şekil 2.3: Atölye Tipi Üretim Sistemi.

- **Atölye Tipi Üretim**

Sıralanmış makinalarda aynı tipteki ürünlerin veya yarı mamullerin işlendiği üretim sistemidir. Atölye tipi üretimden farklı olarak, ürün varyasyonu daha sınırlıdır, makinalar belli bir amaç için sıraya dizilmiştir, amaca özel makinalar kullanılır ve ürün akışı daha hızlı sağlanır. Bu iş

akışıyla birlikte ara stoklara olan ihtiyaç azalır. Üretilen ürün tipi az ve standart olduğu için ÜPK nispeten kolaylaşacaktır.



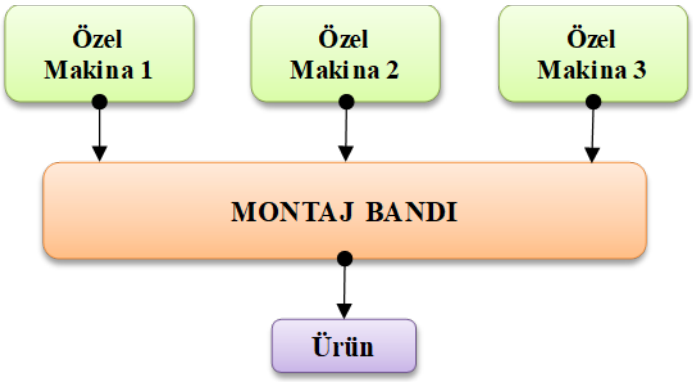
Şekil 2.4: Akış Tipi Üretim Sistemi.

Çalışanlar bir hat üzerinde çalışacağı için iş kontrolü ve çalışan verimi daha yüksektir. Ürün çeşidi az olduğu için çalışan kalitesine olan ihtiyaç azalır. Ancak her tip için farklı bir hat gerektiğinden başlangıç yatırım maliyeti daha yüksektir.

Mobilya, tarım makinaları vb. birçok üretim sisteminde atölye ve akış tipi üretimin karışımı kullanılır.

- **Tek İstasyon Üretimi**

Özel makinaların kullanıldığı, tek bir makine veya makina sistemlerinin üretildiği üretim sistemlerine tek istasyon üretimi denir. Otomobil endüstrisi buna örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 2.5: Tek İstasyon Üretimi Sistemi.

2.1.2. Üretim Mantığına Göre Sınıflandırma

Üretim mantığına göre sınıflandırılan üretim tipleri bir tesiste tek başına uygulanamaz. Örneğin bir beyaz eşya fabrikası hem fabrikasyon üretim hem de montaj üretimini aynı anda uygular.

- **Primer Üretim**

Ürünün aslını oluşturan temel hammaddelere uygulanan, çiftlik hayvanlarının üretilmesi, sağımı, orman işletmeciliği, metal, kömür veya petrol üretimi de dâhil olmak üzere birincil ürünlerin üretildiği, yetiştirildiği, avlanma, balıkçılık ve yabanî ürünlerin de toplanmasını içeren üretime primer (birincil) üretim denir (Veteriner Hizmetleri, 2010).

Topraktan ve hayvan yetiştiriciliğinden, avlanma ve balıkçılık yoluyla elde edilen ürünler ise birincil üretim ürünleri anlamına gelir (Veteriner Hizmetleri, 2010).

- **Analitik Üretim**

Isıl işlem, damıtma, elektro kimyasal reaksiyon gibi ayırıcı işlemlerle hammaddelerin parçalanıp işlenerek farklı mamullere dönüştürülmesine analitik üretim denir. Sütten yağ üretimi, fueloil boksitten alüminyum üretimi, ham petrolden katran üretimi analitik üretime örnek olarak verilebilir.

- **Sentetik Üretim**

Doğadaki hammaddelerin bazı birleştirici işlemlerle yeni mamullere dönüştürülmesi sentetik üretimdir. Plastik, cam, sentetik kauçuk, alaşımlı çelik örnek olarak verilebilir.

- **Fabrikasyon Üretim**

Hammaddelere şekil verilerek yeni bir mamul elde edilmesine fabrikasyon üretim denir. Endüstride imalat da denilmektedir. Sac levhaya veya profile uygulanan pres, kesme, torna işlemleri, bıçak yapımı vb. örnek olarak verilebilir.

- **Montaj Üretimi**

Sistemli bir şekilde hammadde, yarı mamul veya ürünleri bir araya getirerek (montajlayarak) kompleks bir ürün meydana getirilmesine montaj üretimi denir. Örneğin; otomobil, beyaz eşya.

2.1.3. Üretim Yöntemine Göre Sınıflandırma

- **Süreç Yöntemi**

İlaç, cam, boya, asit üretimi gibi kimyasal üretim çatısı altına girebilecek üretim tekniklerini kapsar.

- **Enerji Yöntemi**

Rüzgâr, güneş, dalga gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretme, biyokütle veya hidrojen enerjisinin kullanılması enerji yöntemiyle üretim sistemlerine örnek olarak verilebilir.

- **Yapım Yöntemi**

Yapım yöntemi malzemeyi kimyasal bir değişikliğe uğratmadan yalnızca fiziksel olarak değiştiren üretim yöntemidir. Bir saca uygulanan lazer kesim, pres, talaşlı imalat veya ergitilmiş sıvı metalin istenen boşluğa dökülerek şekillendirilmesi buna örnek olarak verilebilir.

2.1.4. Üretim Akışına Göre Sınıflandırma

Bir üretim tesisinde, üretilmek istenen ürün adeti ile üretim süreçlerinin kendi içerisindeki akışı arasında sıkı bir ilişki vardır. Bir veya birkaç tip ürünün, az veya çok üretilmesi için kullanılacak yerleşim düzeni makine yerleşimini, malzeme-üretim planlamasını ve kontrolünü etkiler (Anon., 2014). Otomotiv ana sanayisini ele aldığımızda, bir otomobil firmasında yeni çıkarılacak bir ürünün deneme üretimi veya müşteri isteğine bağlı olarak özel üretilen araçlar varken; satışı gerçekleştirilmiş olan çeşitli tiplerdeki araçların seri üretimi de aynı anda yapılmaktadır. Bu sebeple tesiste üretilen ürünün günde kaç adet üretileceği, hangi üretim ve lojistik mantığıyla üretileceği çok önemlidir. Otomobil üreten bir tesisin günlük üretim adedi 800-1000 arası değişirken; otobüs üreten bir tesis günlük, vardiyaya bağlı olarak, 12-16 arası araç üretir. Eğer tesis makine yoğun bir tesis ise de makinaların kullanım oranı, verimlilik oranları önemli hale gelir.

- **Seri Üretim**

Seri üretim; ürün talebinin sürekli ve standart olmasıyla ortaya çıkan üretim tipidir ve akış tipi üretim (Flow-Shop) olarak da isimlendirilir. Seri üretimde, sistem tek veya az çeşitteki üründen

yüksek adette üretmek için tasarlanmıştır. Bu sebeple makina ve teçhizatlar üretilecek ürüne özeldirler.

Seri üretimdeki en önemli koşul talebin standart olması ve sürekliliğidir. Piyasa ve firma koşullarına göre tahmin edilen üretim miktarlarında dalgalanma olup olmadığı sorgulanır ve ürün kaybetmeden bu değişiklik yönetilmeye çalışılır.

Seri üretimde makine ve teçhizatlar ürüne özel olduğu için ve bir hat mantığı olduğundan yeni bir ürün veya mevcut üründeki tasarım değişikliği hattın yeniden düzenlenmesini gerektirir. Üretim akışında, makine yoğun bir hat ise, darboğazı en yavaş çalışan makine belirler ve bu durum hattın dengelenmesini gerektirir. Arıza veya makine bakımı durumlarında tüm hattın durma ihtimali vardır. Yedek bir hat veya her tip ürün için ayrı bir hat mantığı makine-teçhizat yatırımının yüksek maliyetli olmasına sebep olacaktır (Çınar, 2010).

- **Kesikli Üretim**

Kesikli üretim; müşterinin az sayıda istediği, özel kalite standartlarının olduğu farklı ürünlerin üretilmesidir. Sürece özel makineler, büyük takım tezgâhları, gemi, prototip makineler, büyük buhar kazanları üretimi kesikli üretime örnek olarak verilebilir.

Ürünler az sayıda ve farklı kalite standartlarında üretileceğinden üretim süreleri ve planlanması da değişkenlik göstermektedir. Talep edilen ürünler bir defada üretilebilirken, talep geldiğinde de üretilebilir veya periyodik olarak üretilmesi planlanır.

Ürün talebi ve çeşidi belirsiz olduğundan kullanılacak üretim tekniği, makine-teçhizat, planlama ve kontrol faaliyetleri de belirsizdir. Bu durum genel amaçlı makinelerin kullanımını ve kalifiye işgücünü gerektirirken yoğun bir iş takibini de gerekli kılar. Ayrıca siparişler düzensiz olduğundan kapasitede boşluk oluşmasına ve sipariş teslimlerinin belirsizliğine yol açar. Bu sebeple teslim tarihi yerine teslim tarihi aralıkları vardır.

2.1.5. Ürün Türüne Göre Sınıflandırma

- **Demir-Çelik Üretimi**

Doğal olarak yer altından çıkarılan demir filizleri yüksek ısılı fırınlarda yoğunlaştırıldıktan sonra dökme, dövme, haddeleme, çekme gibi yöntemlerle üretimi gerçekleştirilir. Bazı katkı

maddeleri ilave edilerek ve ısıl işlem uygulanarak alaşımlı çelikler elde edilir. (Ersöz ve diğ., 2015)

- **Kömür Üretimi**

Doğal olarak elde edilen kömür ve linyitin üretimidir. Maden kömürü temizlenip yıkandıktan sonra kırılır ve gaz alma işlemi uygulanarak kullanılabilir hale getirilir (Anon., 2014).

- **Takım Tezgahları Üretimi**

Bütün diğer makinelerin üretimini sağlayan bir ana makine ve yatırım malı olan takım tezgâhları otomotiv sektörü, savunma sanayi ve genel makine imalatı ile direk ilişkilidir. Bütün endüstrilere ana malzeme sağlayan takım tezgâhları endüstrisi diğer yandan destekleyici endüstri rolünü de üstlenebilir. Bu sebeple ülke endüstrisindeki takım tezgahlarını miktarı ve özellikleri ülkenin mevcut teknolojisine kanıt olarak gösterilebilir. (İhracat Genel Müdürlüğü, Otomotiv, Makina, Elektrik ve Elektronik Ürünler Daire Başkanlığı, 2016)

Üniversal/dik frezeler, üniversal/revolver tornalar, silindirik/satıh taşlama tezgâhları, takım bileme tezgâhları, radyal matkaplar, CNC (bilgisayarlı sayısal kontrol) takım tezgâhları, hidrolik/abkant pres, testere, ağaç işleme makineleri takım tezgahlarına örnek olarak verilebilir. (İhracat Genel Müdürlüğü, Otomotiv, Makina, Elektrik ve Elektronik Ürünler Daire Başkanlığı, 2016)

- **Kimyasal Üretimi**

Hammaddelere çeşitli işlemler uygulanarak kimyasal yapılarının değiştirilip yeni ürünler üretilmesidir. Kimyasal madde ve ürünlerin üretimi başta boya, vernik üretimi olmakla birlikte, matbaa mürekkebi, macun, ana kimyasal maddeler, sabun ve deterjan, temizlik ve cilalama maddeleri, parfüm, kozmetik ürünleri, temizlik malzemelerini de kapsar. (Sekmen, 2012)

- **Elektrikli Araç-Gereç Üretimi**

Elektrikli araç-gereç üretimi; elektrik enerjini üreten, dağıtan ve kullanan ürünlerin üretimi kapsar. Bununla birlikte elektrikli aydınlatma ve sinyalizasyon sistemleri, elektrikli ev aletleri de bu gruba dahildir. Elektrik motoru, jeneratör, transformatör ve elektrik dağıtım ve kontrol

cihazları da bu üretimin alt grubu olarak değerlendirilebilir. (İstanbul Sanayi Odası, 32, 33 ve 34. Grup Meslek Komitesi, 2014)

- **Elektronik Ürün Üretimi**

Başta bilgisayarlar ve telefonlar olmak üzere, haberleşme cihazları, hesap makinaları gibi birçok teknolojik ürünün üretimi bu sınıfa girmektedir. Teknolojinin gelişmesi ve diğer bilimlerle iç içe geçmesiyle birlikte ürün çeşitliliği her geçen gün artmaktadır.

- **Tekstil Ürünleri Üretimi**

Doğal veya yapay tekstil hammaddelerinin iplik bükme, dokuma, örme, boyama gibi işlemlerden geçirilerek yeni ürünlerin üretilmesine tekstil ürünleri üretimi denir. Tekstil elyafının hazırlanması ve eğrilmesi başta olmak üzere yün iplik, naylon, orlon, giyim eşyası dokuma ve giyim eşyası haricindeki hazır tekstil ürünlerinin üretimi örnek olarak verilebilir (Keskin, 2012).

2.1.6. Özel Ürüne Göre Sınıflandırma

Özel ürün üretimi direkt olarak müşterinin ihtiyacını karşılamaya yöneliktir. Maliyet açısından karlı bir üretim tipi değildir.

- **Geçici Üretim**

Normalde seri üretim yapan bir fabrikada bazı ürünlerin geçici, ihtiyaca yönelik üretilmesine geçici üretim denir. Üretim esnasında fazla fire verilen parçanın üretimi aksatmasını önlemek, tüketiciye yedek parça sağlamak, mevcut üretimde standart dışı ihtiyacı karşılamak veya firma için önemli olan bir müşterinin acil ihtiyacını karşılamak amacıyla geçici üretim yapılır.

- **Araştırma Üretimi**

Laboratuvar çalışmaları kapsamında ileriye dönük yapılan deneylere özel üretilen ürünlerdir. Yalnızca araştırma faaliyetlerinin bir parçasıdır.

- **Model ve Prototip Üretimi**

Üretilecek olan ürünün firma içindeki üretilebilirliğini ve performansını test etmek amacıyla deneme amacıyla yapılan üretim tipidir. Otomotiv ve beyaz eşya sektörü başta olmak üzere dental, medikal, kalıp, plastik parça, ambalaj, elektrik ve elektronik sektörlerinde bu üretim çeşidi uygulanır.

- **Test Amaçlı Üretim**

Ürünü test etmek amacıyla en alt ve en üst toleranslarda ürün dayanıklılığını ölçmek amacıyla yapılan üretimdir.

- **Pilot Üretim**

Piyasaya sürülecek bir üründe kalite, performans gibi standartlarındaki aksaklıkları önceden görebilmek için yapılan deneme amaçlı üretimdir. Firmanın mali kuvvetine göre kurulan deneme hattında veya mevcut hatta üretim yapılarak aksaklıklar giderilmeye çalışılır.

- **Tasarım Aşamasındaki Üretim**

Piyasa koşullarının gerektirdiği bazı sebeplerden dolayı üreticinin ürününü tasarımı henüz bitmeden piyasa sürmesi gerekebilir. Ürün satışa sunulduktan sonra tasarım eksiklikleri zamanla giderilir.

- **Model Değişikliği Üretimi**

Hat mantığıyla üretim yapılan bir tesiste modeldeki değişiklikler üretimi yavaşlatabilir hatta durdurabilir. Bu sebeple yeni model üretime gireceği zaman öncelikle mevcut üretimi etkilemeyecek değişiklikler yapılır. Sonra üretim durdurularak yeni modelin üretimine geçilir.

- **Devreye Alma Üretimi**

Tasarımı bitmiş bir ürün ilk kez üretileceği zaman mutlaka tasarımda görünmeyen fakat ancak üretimi esnasında fark edilecek problemler ortaya çıkacaktır. Bu sebeple, özellikle seri üretimde, aksaklık yaşanmaması için devreye alma üretimi yapılır.

- **Gösteri Ürünleri Üretimi**

Sergi, fuar ve satış acentelerinde sergilenmek üzere üretimi yapılan ürünlerdir. Ürünler sergi amacıyla üretileceği için önemli olan işlevi değil dış görünüşüdür. Bu sebeple dışı plastik kaplama olan bulaşık makinesi veya yalnızca ara kesiti alınmış makine örnek olarak gösterilebilir.

- **İhraç Ürünleri Üretimi**

Mevcutta üretimi olan bir ürün her ülkede aynı performans standartlarını gerçekleştirmiyor olabilir. Bu sebeple ihracatı gerçekleştirilecek olan ülkenin iklim, ölçü, beğeni, kullanma amacı ve standartları göz önünde bulundurularak yapılan üretim tipidir.

- **Modernizasyon Üretimi**

Günümüzde hızla gelişen ve değişen teknolojiye bazı mevcut ürünler ayak uydurmak zorunda kalmaktadır. Bu sebeple ürün üzerinde yapılan değişikliklere modernizasyon denir. Özellikle savunma sanayiinde önemli bir yer tutar. Tamirden farklı olarak müşterinin özel istekleri doğrultusunda ürün üzerinde değişiklikler yapılır. Sipariş üretimi gibi düşünülebilir.

2.2. YALIN ÜRETİM SİSTEMİ

Yalın kelimesi, süreçler arasındaki zaman gecikmelerini azalttığı için bir kalite geliştirme aracıdır. Yalın üretim ise süreçlerin devamlı olarak gelişmesi için kayıpları sürekli bir şekilde tespit edip, kaynağını yok eden organizasyona odaklanan yönetim biçimidir. Tam zamanında üretim (Just in Time) olarak da isimlendirilir. (Nicholas, 2018) Bir başka kaynakta, Toyota üretim sistemi (TÜS) olarak da bilinen yalın üretim sistemi; müşteriye istediği ürünü istediği şekilde verirken, daha az zamanla, alanla, işçilikle, makineyle ve malzemeyle daha fazlasını yapmak şeklinde tanımlanmıştır. Yalın tekniklerin çıkış noktası üretim olmasına rağmen tüm sektörlere uygulanabilir. Asıl zorluk bu teknikleri ve sistemi nasıl dönüştüreceğimiz, amaca uygun şekilde nasıl değiştireceğimiz ve uygulayacağımızdır. (Dennis, 2007) Bir diğer kaynakta da yalın üretim; son kullanıcı olan müşterinin açısından baktığımızda, üretim ve iş süreçlerindeki değer katmayan maliyetleri azaltan veya yok eden bir metodoloji olarak tanımlanmıştır. Makro sistem ya da büyük resim denilen bu metodoloji sırasıyla sistem kurma,

kaliteyi geliştirme, verimliliği artırma ve maliyeti azaltma olarak da tanımlanmıştır. (Elbert, 2013)

Yalın üretim felsefesi; firmanın müşterilerine sağladığı ürünü üretirken kullandığı tüm süreçlerdeki kayıpları yok etmek üzerine kurulmuştur. Bu kayıplara odaklanırken müşterinin yapılan işe para verip vermediğine bakılır. Müşterinin para verdiği işler değer katan işler olarak değerlendirilirken, müşterinin para vermediği işler değer katmayan işler olarak değerlendirilir. Müşteriye doğru zamanda ve kalitede ürün üretilmesini sağlayan ürün geliştirme, satış ve pazarlama, üretim, lojistik ve yönetim departmanlarında yapılan bütün işlerin değer katıp katmamasına bakılır. (Elbert, 2013)

Özetleyecek olursak; yalın üretimin ana stratejisi hızı arttırmak ve aynı anda geçiş süresini azaltarak kalite, maliyet, teslimat standartlarını da geliştirmektir. Bunları üretime yük getiren tüm israflardan arınmayı hedefleyerek gerçekleştiren bir yaklaşımdır. (Jackson ve Jones, 1996)

Tablo 2.1: Yalın Üretimin Kökleri **(Nicholas, 2018)**.

Gelişim Aşamaları	*Kişi/ler*	*Zaman*
Değiştirilebilir parçalar	Eli Whitney	1850'ler
Modern makine araçlarının ortaya çıkması		1860-1875
Çizim ve teknik resim standartlarının oluşturulması Standart tolerans sistemi geliştirilmesi	Henry Ford	1860-1875
Zaman etüdünün geliştirilmesi ve tanıtılması İş standart metodolojisinin oluşturulması Standart işleri oluşturulması	Fredrick Taylor	1890-1910
Zaman ve hareket etütleri Süreç şemaları	Frank ve Lillian Gilbreth	1890-1910
Montaj hattı Ford'un kendi yönetim felsefesini geliştirmesi Dikey entegrasyon Akış yönetimi	Henry Ford	1912-1926
İstatistiksel süreç kontrolü Toplam kalite yönetimi	Joseph Jura Edward Demming	1942-1948
Tam zamanında üretim Toyota üretim sistemi Stoksuz üretim İş ekipleri 5S Kalite çemberleri Yetkilendirilmiş işçiler Değer akış yönetimi (fabrikalara odaklanan)	Eiji Toyoda Taiichi Ohno	1950-1985

Dünyanın kendine yalın üretim sistemi olarak mal ettiği Toyota üretim sistemini, 1973 petrol krizi ile birlikte tüm insanlar merak etmeye başlamışlardır. Dünyadaki tüm ekonomiler petrol krizinden negatif olarak etkilenip, ekonomik gerileme yaşarken, 1974'e kadar Japonya'nın sıfır büyüme ile kendini koruduğunu, 1975, 1976 ve 1977 yıllarında Toyota Motor Şirketi'nin kardan zarar ederken gelirini arttırdığını fark etmişlerdir. (Ohno, 1988) Başta Amerika olmak üzere global ekonomiye yön veren ülkeler gözlerini Toyota'ya çevirmişlerdir ve neyi farklı yaptıklarını araştırmaya başlamışlardır.

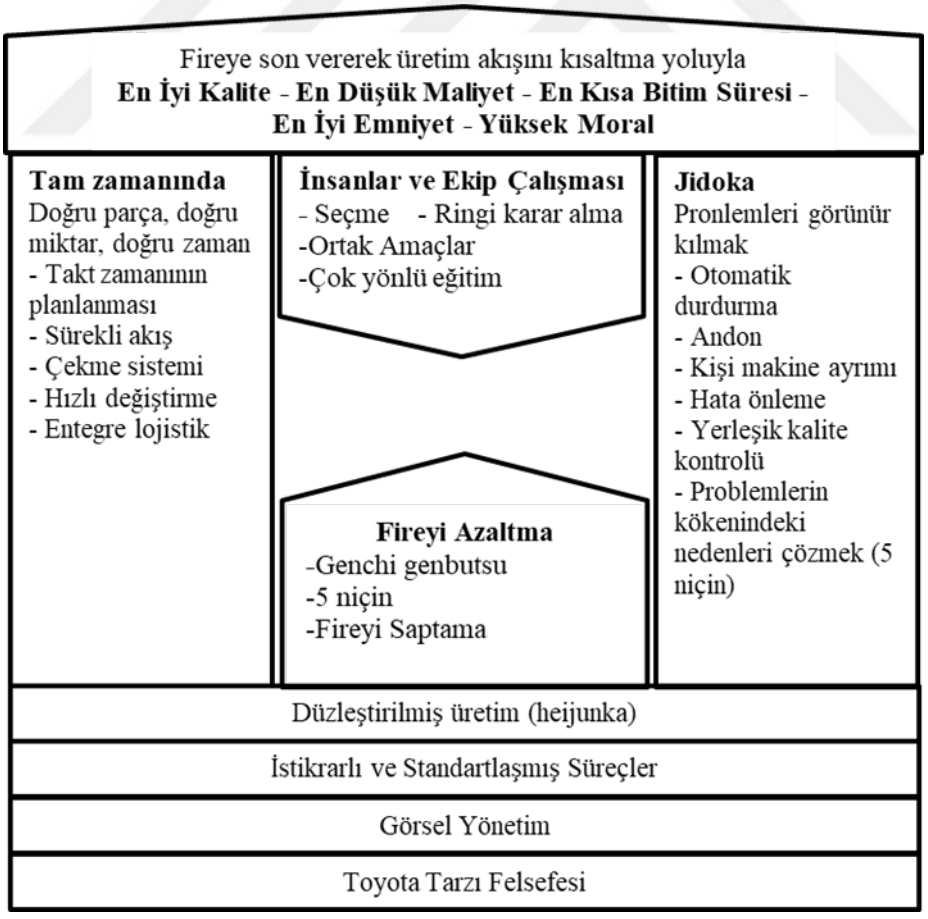
1910 yılında Toyoda ailesinin büyüklerinden Sakichi Toyoda Amerika seyahatine çıkmıştır ve bu gezi esnasında Amerika'yı ve ekonomisini gözlemledikten sonra çağın otomobil çağı olduğuna karar vermiştir. Japonya'ya döndükten hemen sonra aile otomobil şirketine yatırım yapmaya karar vermiştir ve böylece Toyota Üretim Sistemi'nin temelleri atılmıştır.

1950 yılında,45 yıllık iş hayatını Toyota ailesine hizmet ederek geçiren mühendis Taiichi Ohno, Eiji Toyoda ve yöneticileri ile birlikte çıktığı, aslında ikincisi diyebileceğimiz, Detroit'teki Ford Rouge fabrika gezisinde aslında Amerikalıların üretim sisteminin Henry Ford'un geliştirdiği, 1880-1940 yıllarında altın çağını yaşayan kitle üretimi olduğunu görmüştür. Bu üretim sisteminin ancak arzın ve talebin düzenli olduğu zamanlarda uygulanabileceğini düşünen Taiichi Ohno, talebin sürekli değişeceği bir ortamda bu üretim sisteminin uygulanamayacağı kanısına varmıştır. Ayrıca Ohno bu üretim sisteminin bir Amerikan çalışma tarzı olup, Japonlara uygun olmadığını ve Japonlara özgü maliyet azaltmaya dayalı bir üretim sisteminin gerekliliğine karar vermiştir. Yaklaşık üç aylık Amerika gezisinden sonra Taiichi Ohno, Toyoda ailesinden mühendis Eiji Toyoda da başta olmak üzere takım arkadaşlarıyla birlikte daha sonra Toyota Üretim Sistemi olarak adlandırılacak olan maliyet azaltma tabanlı, az miktarda çok çeşitten üretebilme yeteneğine sahip olan üretim sisteminin çalışmalarına başlamışlardır.

Taiichi Ohno, içinde bulunduğu zaman ve olanaksızlıklardan dolayı herhangi danışmanlık şirketi veya teknolojik araçlara sahip değildi. Fakat Amerika seyahatinden sonra atölyeye inip hedeflediği amaç doğrultusunda, yeni bir gözle, tekrar süreçleri incelemeye başladı. Yalnızca sahip olduğu mühendisleri, müdürleri ve işçileri ile birlikte "iş üzerinde öğrenme" turlarına başlayarak jidoka ve tek parçalı akış ilkelerini hayata geçirmeye başladılar. (Liker, 2004)

Toyota, Henry Ford'un üretim sisteminden öğrendiklerinin yanında, Amerika günlük hayatını da incelemiştir. Amerika'daki süpermarket mantığını gözlemleyen Japonlar, raftaki bir ürün azaldığında, yani müşteri tükettikçe, yerine hemen yenisinin konduğunu görmüşlerdir. Toyota ise bunu "çekme sistemi" kavramıyla, matematiksel temellere oturtarak kendi lojistik sistemini kurmaya başlamıştır. Aslında Toyota'nın "kanban" adını vereceği çekme sistemine dayalı lojistik sistemi Toyota Üretim Sisteminin iki temel direğinden biri olan "Tam Zamanında Üretim" in ön şartıdır. (Liker, 2004)

JIT yani tam zamanında üretim Japonların tam olarak Fordist üretim sistemde eksik olan şey üzerine kurduğu bir sistemdir. Çok çeşitten az miktarlarda üretimi desteklemeyen kitle üretimine karşın eğer doğru ürünü, doğru zamanda, doğru miktarda üretip doğru yere transferi sağlanabilirse istenilen miktarda istenilen çeşitten ürün üretilebilir. Daha önce de bahsedildiği üzere bu nokta TÜS'nin çıkış noktalarından biridir ve ana amaç somut müşteri ihtiyacını karşılamaktır.



Şekil 2.6: Toyota Üretim Sistemi Evi **(Liker, 2004)**.

Amerikan kalite öncüsü olan Edwards Deming, Japonya'da kalite ve üretim seminerleri düzenleyerek bir firmadaki herkesin ortak görevinin müşteri ihtiyacı karşılamak olduğunu anlattı. Müşteri kavramını ise yalnızca ürünü sattığımız kişi veya kişiler olmaktan kurtarıp iç ve dış müşteriler olarak anlamını genişletmiştir. Eğer bir üretim sürecini ele alırsak; bir sonraki sürece müşterimiz gibi davranıp sürecin neye ihtiyacı varsa tam zamanında temin edilmesi gerekmektedir. Bu da "sonraki süreç müşteridir" ilkesini oluşturmaktadır. Ayrıca Deming Japonları, PUKÖ döngüsü olarak tanıttığı Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al sistemini de benimsetmiştir. Kaizen karar verme ve öneri getirme inisiyatifini işçilere kadar indiren ve bir karar alınmadan önce açıkça tartışmayı destekleyen ve konunun karara varılmasını mutabık kılan bir Japon bakış açısıdır. Deming'in benimsettiği sistemli problem çözme anlayışıyla birlikte PUKÖ Japonların Kaizen dediği sürekli iyileştirmenin temel taşlarından biri olmuştur. (Liker, 2004)

1960'larda teoride TÜS her türlü iş sürecine ve işletmeye uyarlanabilir bir felsefeydi. Buna rağmen istenilen şekilde uygulanamamasının sebebi kültürün buna hazır olmamasıydı. Toyota bu sebeple ilk olarak kendi tedarikçilerine, yan sanayilerine giderek bu ilkeleri yayma, öğretme yolunda ilk adımları atmış oldu. (Liker, 2004) Elbette Toyota bunları yaparken 1973 petrol krizine kadar kimsenin haberi olmadı.

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra tüm dünyanın kilitlendiği maliyet problemi, insanları "maliyeti düşüreceğini gördüğünüz yerlerde otomasyonu getirin" mantığına itti. 1980'lere kadar bu mantıkla hayatına devam eden iş dünyası, sonrasında Deming, J. Jouran, Ishikawa gibi kalite duayenleriyle tanıştı ve kaliteye odaklanarak maliyet düşürmenin daha karlı olduğunu anladılar. Nihayet 1990'larda *Dünyayı Değiştiren Makine* adlı kitap sayesinde dünya imalat sektörü Japonların onlarca yıl öncesinde kurduğu ve geliştirdiği üretim sistemini keşfetti. (Liker, 2004)

Tablo 2.2: General Motors Framingham ve Toyota Takaoka Montaj Fabrikası Karşılaştırması **(Womack ve diğ., 1990)**.

GENERAL MOTORS FRAMINGHAM / TOYOTA (1986)		
Karşılaştırma Parametresi	**GM**	**TOYOTA**
Araç başına brüt montaj süresi (saat)	40,7	18
Araç başına ayarlanmış montaj süresi (saat)	31	16
Her 100 otomobildeki montaj hataları	130	45
Araç başına montaj alanı (feet^2 / yıllık üretim)	8,1	4,8
Ortalama parça stokları	2 hafta	2 saat

Tablo 2.3: General Motors Framingham ve Toyota Takaoka ve NUMMI Fremont Montaj Fabrikası Karşılaştırması **(Womack ve diğ., 1990)**.

GENERAL MOTORS FRAMINGHAM / TOYOTA Takaoka / NUMMI Fremont (1987)			
Karşılaştıma Parametresi	**GM**	**TOYOTA**	**NUMMI**
Araç başına ayarlanmış montaj süresi (saat)	31	16	19
Her 100 otomobildeki montaj hataları	135	45	45
Araç başına montaj alanı (feet^2 / yıllık üretim)	8,1	4,8	7.0
Ortalama parça stokları	2 hafta	2 saat	2 gün

Toyota Motor Company 1940'ların sonlarında toplamda 2685 otomobil üretmişken bu rakam Ford'un günlük üretiminin yarısı bile değildi. Aradaki uçurum çok fazla olmasına rağmen, Toyota 1950 yılında ürettiği toplam aracı 11.706' ya çıkardı. Fakat bu esnada General Motors 4 milyon, Ford 2 milyonluk araç üretimine ulaşmıştı. Toyota 1980'li yılların başında piyasaya 3,5 milyon araç sürerek piyasada ikinci sıraya oturdu. Bunu yaparken de yaklaşık 10 kat daha az işçi ile üretimini yapıyordu.

1986 yılında araç başına brüt montaj süresi, yani çalışılan toplam zamanın oranı üretilen toplam araba sayısına oranı, General Motors'da 40,7 saat iken Toyota Takaoka'da 18 saatti. Toyota GM'un yarısında daha az zamanda montajını tamamlıyordu. Standart sürelere göre hesaplanmış araç başına montaj süresine baktığımızda GM 31 saatte arabanın montajını bitirirken, Toyota 16 saatte tamamlıyordu. Her 100 otomobildeki montaj hatalarına baktığımızda GM'da 130 iken Toyota'da neredeyse üçte birine denk gelen 45 hataya rastlanıyordu. Yıllık toplam üretimleri göz önüne alındığında GM'da araç başına 8,1 ft^2 (0,75 m^2) montaj alanı kullanırken, Toyota araç başına 4,8 ft^2 (0,45 m^2) montaj alanı kullanıyordu. Hedefledikleri üretim için GM 2 haftalık parça stoğu tutmak zorundayken, Toyota'ya 2 saatlik parça stoğu yeterli geliyordu.

1987 yılında, Amerika'daki GM ve Japonya'daki Toyota karşılaştırmasından hemen sonra Toyota ve GM'un ortaklaşa sahip oldukları Amerika'daki NUMMI'ı da dahil ederek yeniden bir karşılaştırılma yapılmıştır. Asıl amaç Amerika'daki bir Amerikan şirket, Japonya'daki bir Japon şirket ve Amerika'daki Japonların da ortak olduğu bir fabrika karşılaştırmasıydı. Rakamlar incelendiğinde, NUMMI GM fabrikası olmasına rağmen, GM 31 saate araç montajını tamamlarken NUMMI 19 saatte tamamlamaktadır. Ayrıca her 100 otomobildeki montaj hatalarına bakıldığında GM bir önceki yıla göre 130'dan 135'e montaj hatasını arttırırken, NUMMI Toyota ile aynı 45 montaj hatasına sahiptir. Fabrikanın Amerika'da olmasının da

etkisiyle Toyota'da 2 saatlik ortalama parça stoğu NUMMI'da 2 gündür ve yine GM'dan oldukça azdır.

Tablo 2.4: Farklı Üreticilerin Amerika'daki Bayi Araba Satışları **(Womack ve diğ., 1990)**.

Amerika'daki Araba Satışları				
Üretici	*1956*	*1965*	*1978*	*1987*
General Motors	183	351	464	249
Ford	189	318	389	259
Chrysler	104	213	239	114
Honda	-	-	396	693
Toyota	-	-	423	578
Nissan	-	-	323	477
Hyundai	-	-	-	1369
Volkswagen	-	-	253	219
Volvo	-	-	120	257

Toyota 1937 yılında kurulmasından bu yana 1973 petrol krizine kadar kimsenin pazarda dikkate almadığı bir fabrikaydı. 1950'li yıllardan 1970'lerin ortalarına kadar Amerika otomobil pazarına General Motors, Ford, Chrysler hâkim olurken, petrol krizinden sonra Toyota başta olmak üzere Honda, Nissan gibi Japon otomobil üreticileri Amerikan pazarına girmişlerdir. 1978'de Toyota Amerika'da Ford'un sattığı otomobilden daha fazla otomobil satarken 1987'de, oransal olarak, Amerika'daki satışını Ford'un satışlarının iki katından fazlasına artırmıştır.

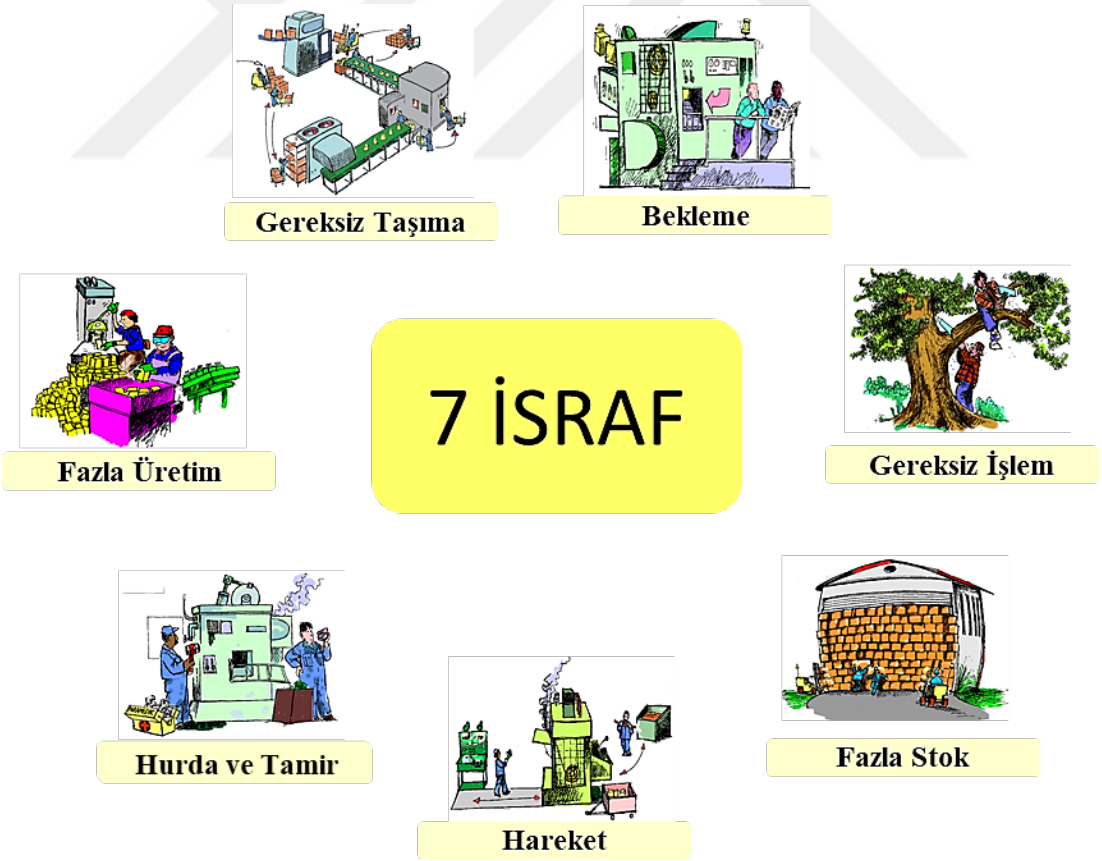
1986 yılında Amerika pazarına giren Güney Koreli firma Hyundai piyasalarda kimsenin ummadığı bir ilgiyle karşılaşmıştır. 1986 yılı sonunda Hyundai'nin sattığı araç sayısı o zamana kadar bir bayinin elde ettiği en yüksek kazancı gösteriyordu. 1987 yılında ise Hyundai bayi başına düşen otomobil satışında liderliği 1.369 otomobille korurken, Toyota, Honda, Nissan gibi Japon firmalarının toplamdaki pazara etkisi daha büyüktü.

Özetle; Amerikan üretim sisteminden farklı olarak kendilerine has bir üretim sistemi geliştiren Japonlar, Ford henüz pazarlarının lideri iken Toyota otomobil üretimine başladığında aralarında büyük bir uçurum vardı. Fordist üretim sisteminden farklı olarak sürekli kendini geliştiren, yalnızca kendini rakip alan Toyota, Toyota üretim sistemini kurarak dünya imalat sektörüne yepyeni bir bakış açısı getirmiştir.

2.2.1. Yalın Üretimde İsraf

Toyota Motor Corporation'ın onursal başkanı Fujio Cho israfı şöyle tanımlamaktadır: "Ürüne değer katmak için mutlaka gerekli olan asgari miktardaki ekipman, malzeme, yer ve işçilik zamanı dışındaki her şey." Henry Ford Toyota'nın kurulmasının çok öncesinden bu yana israf problemiyle uğraşmaktadır. İnsan, makine ve malzemenin fabrika içinde harcadığı zamana bakıldığında, zamanın içindeki değer katan kısım çoğu zaman %25'ten daha azdır. (Suzaki, 1987)

Müşteri için değer yaratmayan herhangi bir hareket aynı zamanda kaynakları tüketiyorsa bu israftır. Temelde iki tip israf vardır: Birincisi değer yaratmayan fakat aynı zamanda mevcut ortam, teknoloji ve imkanlar çerçevesinde vazgeçemeyeceğimiz israf türüdür. İkincisi yine değer yaratmayan ve mevcut durumda maddi bir yatırım gerektirmeden yapılan değişikliklerle ortadan kaldırılabilecek israf türüdür. (Lean Enterprise Corporation, 2008)



Şekil 2.7: Yalın Üretimde Yedi İsraf.

Taiichi Ohno Toyota Üretim Sistemini kurarken iş veya üretim sürecine değer katmayan 7 israf belirlemiştir. Daha sonra bu 7 israfa ek olarak Jeffrey Liker *The Toyota Way*'de sekizinci israftan, Hakan Cengiz ise *Verimlilik Savaşları* kitabında dokuzuncu israftan bahsetmiştir.

- **Fazla Üretimden Kaynaklanan İsraf**

Toyota'nın fabrikalarda gördüğü en sakıncalı israflardan biri fazla üretimdir. Bu pazarın talep ettiğinden daha fazla üretim yapılması anlamına gelir. Pazar talebinin yüksek olduğu zamanlarda bu israf göze çarpmamasına rağmen talep azaldığında fazla üretimin etkileri katlanarak artar ve çoğu zaman firmalar satılamayan ürünleri stok olarak elinde tutmaya başlar.

İnsanlar eğer iş hızlı bir şekilde veya tek seferde çok fazla üretilebiliyorsa daha fazla üretmeye yönlenirler. Bu da daha fazla hammadde tüketmek, ihtiyaç olmayan işgücü ve oluşacak stok için alan, fazladan makine, genel gider, faiz yükü, evrak işi vb. kullanmak anlamına gelir. Fazla stok öncelik sakladığından kafa karıştıracağı için de iş ve malzeme planlaması giderek zorlaşır. (Suzaki, 1987)

- **Beklemeden Kaynaklanan İsraf**

Bekleme fiziksel olarak kolayca fark edilen bir israftır. Normalde beklemeden kaynaklı bir israf önlem alınabilir olmalıdır. Fakat özellikle işi yapan işçi veya yönetici açısından zaten olması gerek bir hareket olarak değerlendirilebilir. (Suzaki, 1987) Özellikle Türkiye'de veya çalışma kültürü problemi olan ülkelerde kişi yaptığının fazlaca yeterli olduğunu düşündüğünden neden beklediğinin kök nedenine inmez veya beklerken ilaveten neler yapabileceği konusunda kafa yormaz.

- **Taşımadan Kaynaklanan İsraf**

Üretimde malzemeyi gereksiz yere bir yerden bir yere taşımak veya iki-üç kere elden geçirmek sık rastlanan israflardandır. Bu israfın genelde ana sebebi kötü planlanmış, yapılanmış yerleşimlerdir. Kötü planlanmış bir yerleşim de uzun mesafede taşımayı zorunlu kılar. Uzun mesafede taşımalar arttıkça fabrikalarda sağda solda atılmış, istiflenmiş parçalar görülmeye başlanır ve fark edildiğinde geçici olarak ambara kaldırılarak stok olarak tutulmaya başlanır. Bu yüzden müşteri talebini karşılamak için ne kadar zamana ihtiyaç olduğunu hesaplamak oldukça zorlaşır. (Suzaki, 1987)

- **Gereksiz İşlemden Kaynaklanan İsraf**

Ürünü süreçlerden geçirirken yapılan gereksiz işlerdir. Süreçin kendisi de gereksiz bir iş olabilir. Gereksiz işlemenin yanı sıra alet yetersizliği ve ürün tasarım problemleri sebebiyle hatalı ürün üretmek ve istenenden yüksek kalitede ürün üretmek de israf olarak değerlendirilebilir. (Liker, 2004)

- **Fazla Stoktan Kaynaklanan İsraf**

Fazla stok üreticinin gözüne çoğu zaman garanti gibi görünse de birçok problemi gizler ve daha sonra büyüterek karşımıza getirir. Fazla stoklama başta depolama maliyetlerinin artmasına sebep olur ve fazladan taşıma, alan, faiz yükü, insan, evrak işleri gibi kayıpları da beraberinde getirir. Ayrıca üretim hattında dengesizliği, uzun hazırlık zamanlarını, satıcı tesliminde gecikmeyi, kalite problemlerini de gizler. (Liker, 2004)

- **Gereksiz Hareketten Kaynaklanan İsraf**

İşin yapılması için harcanan harekete müşteri hiçbir zaman para ödemez ve bu hareketler ürünün maliyetini arttırır. Bu sebeple hareket olabildiğince ortadan kaldırılmalıdır. (Suzaki, 1987)

Üretim yapılan bir fabrikayı göz önüne aldığımızda kolayca göze çarpan hareket israflarından biri seçme ve yerleştirmedir. Operatörler sürekli parça ve alet edevatlarıyla temas halindedir. Bu ilk bakışta gereksiz iş gibi görünmez çünkü operatör beklemiyordur. (Suzaki, 1987)

İsrafa neden olan bir başka hareket de yürümedir. Makine bazlı bir iş söz konusu ise ve bir operatör birden fazla makine ile ilgileniyorsa yürüme kaçınılmazdır. Bu sebeple yerleşim düzeni ve iş paylaşımları yapılırken yürümeler göz önünde bulundurularak da yapılmalıdır.

- **Hurda ve Tamirden Kaynaklanan İsraf**

Bir süreçte kusurlu ürün çıkıyorsa ve bu ürünün tamiri için bir sonraki süreç bekliyorsa ürüne ilave maliyetler farkında olmadan eklenir ve üretim zamanı uzar. Kusurlu çıkan bir ürünü istenen şekle getirmek ilaveten işgücü, montaj, demontaj, kalıp değişimi, ayıklama işlemi gerektirebilir. Bu israfın en tehlikeli hali ise kusurlu ürünün müşteri elinde ortaya çıkmasıdır.

O zaman bir de ürün maliyetine ek tazmin maliyetleri ve lojistik maliyetleri de eklenir. İlaveten şirketin marka değeri, Pazar payı ve gelecekteki işleri de tehlikeye girer.

- **Çalışanların Tecrübelerinin Kullanılmamasından Kaynaklanan İsraf**

Jeffrey Liker daha önceki kaynakların aksine sekizinci israf dediği çalışanların yaratıcılığını, bilgi ve tecrübelerini kullanmamayı literatüre eklemiştir. Daha sonra bu israfı Hakan Cengiz *Verimlilik Savaşları* kitabında yönetici kompleksi, mavi yaka-mühendis çekişmesi alt başlıklarıyla detaylandırmıştır.

Fabrikalarda genellikle iki farklı insan ilişkisi kompleksiyle karşılaşırız. Birincisi yönetici kompleksidir. Üniversiteden mezun olduktan sonra bazı insanlar hazırda tecrübesi yokken bilgi yetersizliklerini de iş hayatına girince fark ederler. Bilgi yetersizliklerini göstermek istemeyip, bunu zayıflık olarak algılayanlar ise her şeyi biliyorlarmış gibi davranmaya başlarlar ve tek hedefleri kariyer yapmak haline gelir. Bu tip insanların firmalara verecekleri gizli zararlar vardır. Her şeyi bildiğini düşünen yönetici bilmediği bir konu olsa bile bunu ne mühendisine ne de mavi yakaya danışır. Mavi yaka ise haklı bir fikri varsa bile keskin hiyerarşiden çekinir ve işinden olma korkusuyla sessizleşmeye başlar. Bu sebeple yıllarca işini yapmış olan mavi yakaların tecrübeleri ve önerileri de asla öğrenilemez. (Cengiz, 2018)

İkinci ilişki kompleksi ise mavi yaka-mühendis çekişmesidir. Mavi yakalar kendilerine bir mühendis soru sorduğunda onu yetersiz görürler ve öğrettiklerini her yerde konuşmaya başlarlar. Hatta özellikle yeni başlayan mühendisleri denerler ve üzerinden şaka yaparlar. Bu sebeple mühendisler aynı mavi yakanın fikir belirtmemeye başlaması gibi bir şey sormamaya başlar ve statüsünü kullanmaya çalışır, bir kısır döngü başlar. (Cengiz, 2018)

- **Gizli Lavabo İhtiyacından Kaynaklanan İsraf**

Türkiye'de öncesinde anlatılan sekiz israfa bir israf türü daha eklenmelidir: Lavabo. Farklı bölgelerde ve sektörlerdeki firmalarda saha gezisinde çıkıldığında olması gereken personelin hepsi her zaman sahada olmaz. Sebebi sorulduğunda genelde lavabo cevabı alınır. Bu israf diğer 7 israftan farklı olarak teknik çözümleri yoktur çünkü bu kültürel ve sosyolojik bir problemdir. Aslında firmalarda kültürel dönüşümün neden şart olduğunu bize gayet iyi anlatır. (Cengiz, 2018)

Bir fabrikadaki saha ziyareti esnasında yedi kişilik masada altı kişi olduğu gözlemlenir. Ara ara tekrar ziyaret edildiğinde sürekli olarak, beş kişi veya yedi kişi değil, altı kişi gözlemlenir. Bunun sebebi çalışanlara sorulduğunda lavabo cevabı alınır. Fakat daha sonra bunun altında son derece sistematik bir hareket olduğu anlaşılır. İşe başlama-bitiş saatinin 07.00-15.00 ve net çalışmanın 440 dk. olduğu bu iş yerinde konveyördeki yedi çalışan aşağıdaki tabloya göre lavaboya gidip gelmektedir. İşe başlama saatinde herkes çalışma alanındayken, 10 dk. sonra 1. operatör lavaboya gitmeye başlar. 20 dakikalık lavabo molasından sonra 7 operatör sırayla ilk dinlenme molalarına kadar lavaboya gidip gelmeye devam ederler. Bu sistem dinlenme molalarından sonra da devam eder ve gün sonunda her operatör dinlenme ve yemek molalarının haricinde 60 dk. daha lavabo izni yapmış olur. (Cengiz, 2018)

Lavabo ihtiyacı adı altında yapılan bu molaların kök nedenine bakıldığında sigara yanıtı ortaya çıkmaktadır. Aslında operatörlerin lavabo diye geliştirdikleri bu sistem sigara içindir. Sigara içmeyenler ise durumu kendi aralarında eşitlemek için gitmektedir. Bu durumun ana sebeplerinden biri daha önce bahsettiğimiz sosyolojik ve kültürel problemdir. Diğer sebeplerden biri ise sistemsizlikten kaynaklanan boşluğu kişilerin suiistimal etmesidir. Bunun çözümü için öncelikle TÜS'nin de temel şartı olan sürekli bir akışın yakalanması gerekir. Sürekli bir akış olduğunda ve bu akış diğer sistemler tarafından da beslenildiği takdirde çalışanlar yerinden ayrılamayacaktır. Gerçekten bir ihtiyaç olması durumunda ise hattın amiri bu boşluğu zaten dolduracaktır. (Cengiz, 2018)

Tablo 2.5: Lavabo İzni Sırası **(Cengiz, 2018)**.

Zaman aralığı	Durum	Zaman aralığı	Durum
07.00-07.10	*herkes çalışma alanında*	12.00-12.30	*herkes yemekte*
07.10-07.30	1. operatör lavaboda	12.30-12.40	*herkes çalışma alanında*
07.30-07.50	2. operatör lavaboda	12.40-13.00	1. operatör lavaboda
07.50-08.10	3. operatör lavaboda	13.00-13.20	2. operatör lavaboda
08.10-08.30	4. operatör lavaboda	13.20-13.40	3. operatör lavaboda
08.30-08.50	5. operatör lavaboda	13.40-14.00	4. operatör lavaboda
08.50-09.10	6. operatör lavaboda	14.00-14.20	5. operatör lavaboda
09.10-09.30	7. operatör lavaboda	14.20-14.40	6. operatör lavaboda
09.30-09.40	*herkes molada*	14.40-15.00	7. operatör lavaboda
09.40-10.00	1. operatör lavaboda		
10.00-10.20	2. operatör lavaboda		
10.20-10.40	3. operatör lavaboda		
10.40-11.00	4. operatör lavaboda		
11.00-11.20	5. operatör lavaboda		
11.20-11.40	6. operatör lavaboda		
11.40-12.00	7. operatör lavaboda		

2.2.2. Yalın Üretim Prensipleri

Yalın kelimesinin ne yazık ki artık altı boşaltıldı. Yalın üretimin genel düşüncesine bağlı olmamız gerekirken anlamlarına takılı kaldık. İnsanlar yalın üretimin teknikleri, prensipleri araçları üzerine kitap yazdıkça yöneticiler de yalın sistemin bütünde ne anlama geldiğini unutarak bu teknik anlamlarda boğuldular.

Temelde tüm teknikleri kenara bırakarak, Japonca bir kelime olan *muda* (israf) kelimesine odaklanılabilir. Daha önce Taiichi Ohno'nun da temelde 7'ye ayırdığı israf türlerine ek olarak Liker sekizincisinden, Cengiz ise dokuzuncu kayıptan bahsetmiştir. Elbette bu israf sınıflandırması teknolojinin gelişmesiyle, kültür ve etik yapıyla, ikamet edilen bölgeyle değişeceğinden genişletilebilir. Aslında çevremizde düşündüğümüzden çok daha fazla israf vardır. Önemli olan israfı görmeyi öğrenmek ve önlem geliştirmektir.

Yalın düşünce yalnızca mudayı yok etmeyi hedef göstermez. Aynı zamanda mevcut mudanın nasıl değere dönüştürüleceği hakkında da geri bildirimler verir. Böylece verimlilik adı altında mevcuttaki işi yok etmek yerine yeni bir iş geliştirmeyi sağlar. (Womack ve Jones, 2003)

Farklı kitlelerle etkileşimler sonucunda yalın üretimin beş temel prensiple özetlenebileceği konusunda karar kılınmıştır: Belirli bir ürün için değeri belirlemek, her ürün için değer akışı tanımlamak, kesintiler olmaksızın akış oluşturmak, müşterinin üreticiden istediği zaman ürünü çekmesine izin vermek ve mükemmelliği hedeflemek. (Womack ve Jones, 2003)

- **Değer**

Bir ürün veya hizmet için müşterinin verdiği kıymete değer denir. Bir ürünün veya hizmetin değerini son müşteri belirler fakat üretici tarafından üretilir. (Womack ve Jones, 2003) Nihai müşteri ürünü sattığımız kişi veya kurumların dışında bir montaj hattında ürünün çıktığı süreç veya montaj hattına hizmet eden işleme merkezleri de olabilir.

Kendimizi henüz başlangıç aşamasındaki bir tasarım, ilk talep bilgisinden teslim edilmeye kadarki süreçte bir sipariş veya hammaddeden müşteriye ulaşıncaya kadarki yolda fiziksel bir ürün olarak düşünelim. Bu yolların her birinde farklı aşamalardan geçeriz ve fiziksel veya finansal değişimler yaşarız. Bu sebeple hissedarların, yönetici/yardımcılarının finansal

ihtiyaçları gün geçtikçe o günün gerçekleri ve müşterinin belirlediği değer üzerinden öncelik haline gelebilir. (Womack ve Jones, 2003)

Almanya için değer birçok uzmanın, mühendisin kompleks tasarımlarında, detaylı yeni süreç metotlarında veya kapsamlı makinelerindedir. Alman firmalarını yöneten güçlü tekniğe ve yüksek eğitime sahip yöneticiler tasarladıkları kompleks ürünleri ürettikten sonra müşterinin ihtiyacına sunarlar. Ürünü açıkladıklarında müşterinin isteyeceğini veya istemezse müşterinin bunu anlayacak seviyede olmadığı şeklinde açıklıyorlardı. Japonya'da ise değerin nerede oluşturulduğu önem kazanıyordu. Para birimleri yenin değer kazandığı zamanlarda bile mali olarak kendilerine zarar vermesine rağmen ülkelerinde değer üretmeye odaklanmışlardır. (Womack ve Jones, 2003)

Değer farklı ülkeler için ülkenin sosyolojik ve etik yapısına göre anlam değiştirse de temelde müşterinin istediği kadar, istediği biçimde ihtiyacı karşılamaktır. Müşterinin istediğinde çok daha fazlasını vermek müşteriye bir anlam ifade etmeyeceği için üretim israf olabilir.

- **Değer Akışı**

Bir ürünün geliştirilmesi, sipariş edilmesi ve teslimatına kadar olan süreçteki değer katan veya katmayan adımların tümüne değer akışı denir. Bu akışa ürünün teslimatına kadar geçen süre esnasında müşterinin istekleri ve bu doğrultuda ürün üzerinde yapılacak değişiklikler de dahildir. (Lean Enterprise Corporation, 2008)

Üretim sürecinin tamamına bakıldığında sorun çözme, bilgi yönetimi, fiziksel dönüşüm süreçlerinin bir ürün için analizi değer akış analizi veya değer akış haritalamadır. Değer akışı haritalanırken tartışmasız sürece değer katan adımlar varken değer katmadığı halde mevcut teknoloji ve sistemlerden dolayı ortadan kaldıramayacağımız adımlar da vardır. Ayrıca yok edilmesi gereken değer katmayan ve hemen giderilebilecek adımlar vardır. Zaten yalın düşüncedeki temel amaç mudaları sıfırlanıncaya kadar yok etmektir. (Womack ve Jones, 2003)

- **Akış**

Değerler belirlenip, değer akışı çizildikten sonra sıra ürüne akış vermeye gelir. Bir dizi süreç boyunca önceki süreçten bir sonraki sürece istenildiği şekilde hizmetin veya ürünün geçmesine akış denir. (Lean Enterprise Corporation, 2008)

1913 Highland Michigan'da, Ford son montaj hattına ilk kez akış verdi. Üretimini yaptıkları Model T için harcanan emeğin %90 azaldığını gören Ford bunu tüm parçaların üretildiği makinaların dizilmesinden, hammaddeden otomobil olarak satışına kadar her sürece akış vermeye çalışmıştır. Fakat yalnızca bir tip otomobil üretildiğinden her ürün aynı parçalardan üretildiğinde ve yüksek hızdaki bir montaj hattında bu sistem haklı çıkıyordu. (Womack ve Jones, 2003)

II. Dünya Savaşı sonrasında, piyasada milyonlarca aynı tipten otomobil varken, Taiichi Ohno ve teknik ekibi aslında asıl odaklanılması gereken noktanın; bir üründen milyonlarca değil onlarca, yüzlerce adet üretilmek istendiğinde akışın nasıl verileceğinin ihtiyaç olduğuna karar verdiler. Buna karşın, en temel problem insanlar böyle bir üretime alışık olmadıkları için hala biriktir-beklet kitle üretimini destekleyecek olmalarıydı. (Womack ve Jones, 2003)

Türkiye'de ise hala birçok firma fiziksel bir akış sistemi olmadan kitle üretimiyle üretim yapmaya çalışmaktadır. Maliyetlerin arttığı, küresel rekabetin giderek zorlu hale geldiğini düşünürsek, Ford'un 100 yıl bulduğu ve Japonların onlarca yıl önce geliştirdiği sistemi uygulamaktan başka çare yoktur. Fakat Ohno'nun da fark ettiği üzere bir sistemi bir yerden alırken onu kendi kültürüne uygun ve has bir şekilde alıp uygulamak gerekir.

- **Çekme**

Çekme sistemi: Fazla üretimi ortadan kaldırmayı amaçlayan, müşteri süreçin, yani bir sonraki süreçin, ihtiyaçlarının bir önceki yani tedarikçi süreçten istenildiği şekilde gelmesini sağlayan üretim kontrol aracıdır. (Lean Enterprise Corporation, 2008)

Çekme ilkesi, üretilen ürünü müşteriye itmeye çalışmak yerine müşterinin istediği zamanda çekmesini temel alır. Böylece müşteri istediğini istediği zaman alacağını bildiği ve üretici de elinde kalan ürünleri kampanyalı veya zararına satmak zorunda kalmayacağı için daha dengeli bir müşteri talebi ortaya çıkar. (Womack ve Jones, 2003) Müşteri talebi dengeli olduğunda üretim planları daha öngörülebilir hale gelir. Aslında bu kendi içinde dengeli olan ve birbirini destekleyen kısır bir döngüdür.

- **Mükemmelleştirme**

Mükemmellik sistemde hiçbir israfın kalmadığı, sırf değer katan işlerden ve süreçlerden oluştuğu saf değer yaratmasıdır. (Lean Enterprise Corporation, 2008) Sistemin değeri doğru şekilde tanımlanıp, değer akışı çizildikten sonra sisteme verilen akış çekme ilkesiyle de desteklendiyse sıra mükemmellik ilkesindedir. (Womack ve Jones, 2003)

Mükemmelleştirme anlaşılacağı üzere bitmeyen ve değişim içinde olan bir süreçtir. Yeni bir ürün adapte edilirken, müşterinin yeni isteği anlık ürüne entegre edilirken gizli olan mudalar ortaya çıkmaya başlar. Mevcut akışta ise bu mudaların etkisi daha büyük olacağından akışı ve çekmeyi geliştiren yollar aranması gerekebilir.

Şeffaflık eğer mükemmelliğe ulaşmak istiyorsak bir ihtiyaçtır. Bahsedilen şeffaflık; taşeronların, birinci basamaktaki tedarikçilerin, montaj operatörlerinin, lojistik ağındaki herkesin, müşterilerin ve sistemde çalışan herkesin her şeyi görebileceği gerçeğidir. Sisteme herkesin hâkim olduğu için çözümler bulmak veya pozitif geri beslemeler yapmak daha kolaydır. (Womack ve Jones, 2003)

2.2.3. Yalın Üretim Araçları

Dünyadaki tüm ülkeler, global yarışta yerlerini korumak için üretim metotları, araçları, teknikleri üzerine kafa yoruyorlar ve geliştirmeye devam ediyorlar. Japonya, Amerikan yaşam tarzından ve üretim sisteminden de etkilenerek kendilerine ait bir üretim sistemi oluşturmuştur.

Taiichi Ohno'nun önderliğinde kurulan Toyota üretim sisteminin kendine has teknikleri, ilkeleri, vizyonu ve misyonu vardır. Petrol krizinden sonra global olarak dikkat çekmeye başlayan Toyota akademisyenler, yazarlar tarafından da mercek altına alınmaya başlanmıştır. İş insanlarına ek olarak akademisyenler, yazarlar, danışmanlar Toyota'nın üretim sistemini inceleyerek anladıkları şekliyle tekniklerini, kullandığı araçları, temel ilkelerini sınıflandırmaya çalışmışlardır.

Her yazar anladığı biçimle farklı sınıflandırmalar yapmıştır. Başta Ohno olmak üzere diğer yazarların da bahsettikleri yalın üretim teknikleri: Kazien, kanban, tam zamanında üretim, değer akış haritalama, jidoka, TPM, 5S, SMED, Poka-Yoke, hücresel imalat uygulamaları, hoshin kanri, heijunka-shojinka ve diğer problem çözme teknikleridir.

2.2.3.1.Kaizen

Japonca bir kavram olan *kaizen*in sözlük karşılığı sürekli iyileştirmedir. Kaizen; hem yöneticilerin hem de işçilerin içinde bulunduğu, küçük harcamalarla içinde bulunulan sürecin geliştirilmesidir. İçinde bulunulan süreç denilmesinin sebebi sürekli geliştirme çabamızı iş hayatımız dışında sosyal hayatımızı ya da ev yaşantımızı da kapsamasıdır. Aslında Japonların gerçek başarısı kaizeni tüm hayatlarına entegre etmeleridir. (Imai, 1997)

Konuyla alakalı detaylı anlatım malzeme ve yöntem kısmında yapılacaktır.

2.2.3.2.Kanban

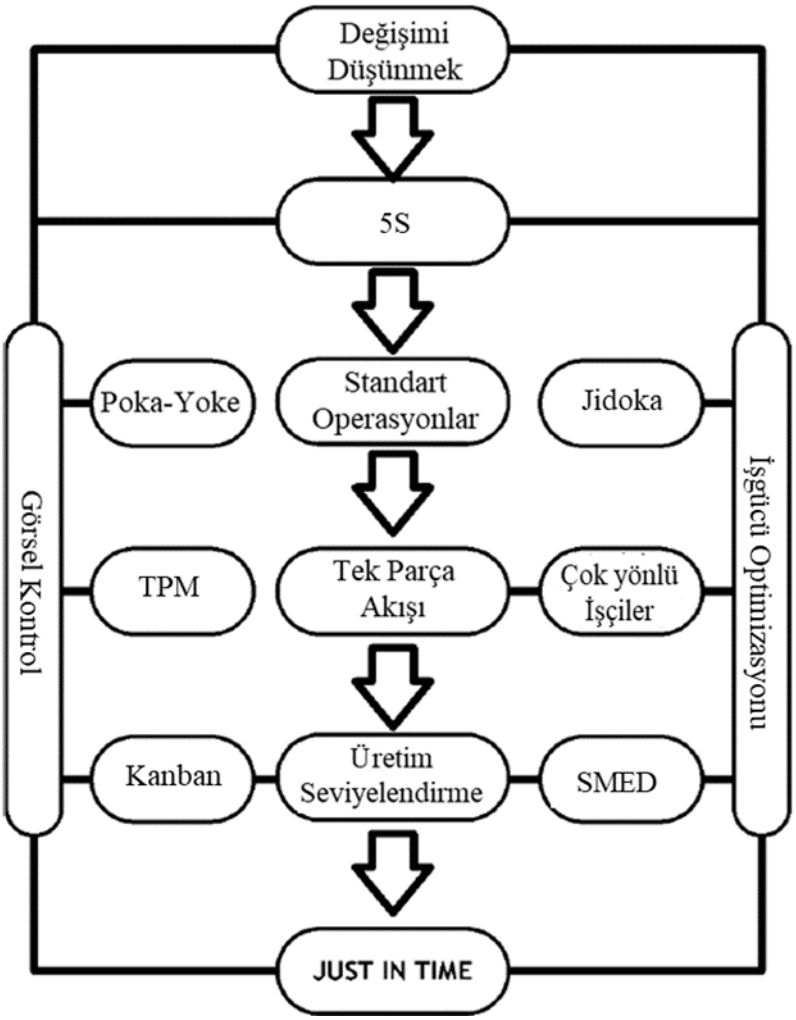
Kanban; çok çeşitli süreçler için çok çeşitli ürünlerin belirlenen miktarlarda, belirlenen taşıma araçları ve yöntemleriyle, belirlenen yere, belirlenen periyotlarda sevk edilmesidir. Üretimde başarı için ana metotlardan birisidir. (Chiarini, 2013)

Konuyla alakalı detaylı anlatım malzeme ve yöntem kısmında yapılacaktır.

2.2.3.3.Tam Zamanında Üretim

Türkçeye tam zamanında üretim olarak çevrilen just in time, temelde ideal üretim anlayışını temsil eder. Ürünün zamanında değil tam zamanında üretilmesini ifade eder. Hammaddeden ürünün teslimatına kadar bütün üretim çevresinin merkezinde bulunur. Tam zamanında; farklı parçaların/ürünlerin mümkün olan minimum miktarlarda üretilmesiyle stok ihtiyacının ortadan kaldırılması olarak tanımlanabilir. (AIDT, 2006)

(Shingo, 1989) ve (Ohno, 1988) Toyota üretim sistemindeki amaçlarını şöyle ifade ederler: Doğru parçayı, belirlenen miktarda, en üst kaliteyle, ihtiyaç duyulan zamanda doğru yere götürmek. Bu amaç aslında tam zamanında üretimi göstermektedir ve bunun için birçok metodoloji geliştirilmiştir. Aşağıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere amaç tam zamanında üretime ulaşmaktır ve diğer metotlar amaç değil araçtır.



Şekil 2.8: Tam Zamanında Düşüncesinin Prensipler **(Santos ve diğ., 2006)**.

2.2.3.4.Değer Akış Haritalama

Değer akış haritalama (VSM); bir ürün ortaya çıkarken meydana gelen malzeme ve bilgi akışını anlamamıza yardımcı olan kağıt-kalem yöntemidir. Müşteriden tedarikçiye ürünün üretim aşamalarını takip ederek, malzeme ve bilgi akışının bulunduğu her sürecin görsel olarak aktarılması olarak da tanımlayabiliriz. (Rother ve Shook, 1999) Özetle; bir ürünün bitmiş ürüne dönüştürülmesi için ihtiyaç duyulan her türlü eylemi kapsar. Genel anlamda operasyonların organizasyonuna ve satın almadan bitmiş ürün depolamaya kadar tüm ürün hattının yönetilmesi için bir değer akış yöneticisinin varlığına işaret eder.

Hareket eden her bilgi ve malzemeyi gösteren değer akış haritalama aslında basit bir diyagramdır. Bu diyagram sistemde tutulan israfı gösteren kapalı bir çember diyagramıdır. Yani seçilen ürün ailesinin mevcut durumu haritalandıktan sonra gelecek durumu haritalanır.

Hedeflenen durum gerçekleştiğinde veya işler planlanıp uygulandığında, hedef durum artık mevcut durum olacağından sonsuz bir döngü daha ortaya çıkar. Bu da sürekli iyileştirmeyi desteklemektedir. (Elbert, 2013)

VSM'in yalın üretimin ana araçlarından bir tanesi olmasının sebepleri (Rother ve Shook, 1999):

- Üretimdeki montaj, kaynak gibi tek bir süreçten daha fazlasını görselleştirir ve haritaya bakıldığında akış anlaşılabilir.
- Değer akışında yalnızca israf değil israfın kaynağı da görülebilir.
- İmalat süreçleriyle ilgili konuşurken ortak bir dil oluşmasına yardımcı olur.
- Mevcut akış için bazı kararlar vermeyi gerektirir. Aksi taktirde hattaki birçok detay ve karar hata ile sonuçlanır.
- Yalın konseptleri ve teknikleri bir arada tutar.
- Temel bir uygulama planı oluşturur. Bütün akıştaki genelde gözden kaçırılan birçok noktanın tasarlanmasına yardım ederek yalın uygulama için detay bir plan haline gelir.
- Başka hiçbir aracın yapamadığı malzeme ve bilgi akışı arasındaki bağ görülebilir.
- Değer katmayan, gecikmeler, stoklar, yürümeler ve daha birçoğunu içinde barındıran nicel araçlardan ve yerleşim planlarından çok daha yararlıdır.
- Değer akış haritalama akış oluşturmak için tesisin nasıl yönetileceğini detaylıca anlatan nitel bir araçtır.
- Veriler önlem öncesi/sonrasında aciliyet hissi oluşturabilir. Değer akış haritalama bu verileri değiştirmek/kullanmak için tam olarak ne yapılması gerektiğini tanımlayan iyi bir araçtır.

2.2.3.5.Jidoka

Japonca bir kelime olan jidoka otonomasyon, insan zekasına sahip, olarak Türkçeye çevrilmektedir. Bir tarafta ekipmanların kendi kendileri yönetmesi, diğer tarafta basitçe süreçlerin otomasyonu olarak da tanımlanabilir. (Santos ve diğ., 2006)

Sistemin teker teker insanları kontrol etmesi yerine insanların sistemi kontrol etmesi daha önemlidir. Bu sebeple insansız üretim sistemleri ortaya çıktıktan sonra jidoka insanları otomasyonlu sistemlere entegre etmek için rol oynamaya başlamıştır. 20 yalın araçtan bir tanesi olan jidokaya göre makinelerin düşünmesi önemlidir. Makinelerin kendi kendini yönetmesinin başlıca amacı israfsız üretimdir. (Santos ve diğ., 2006)

Jidoka bir ütopya gibi görünmesine rağmen üretimde ve yerel çevrelerin birçoğunda sayısız örneği vardır. Örneğin: yıkama makinasının çamaşırların yıkarken dönmesi, tavuğun kızartılırken döndürülmesi. (Santos ve diğ., 2006)

2.2.3.6.Toplam Verimli Bakım

Toplam verimli bakım anlamına gelen TPM; bakımın organize edilmesi, makine arızalarının azaltılması ve süreç verimliliğini azaltan benzer problemlerin ortadan kaldırılmasıdır. İşçilerden yöneticilere, bakım personeline kadar fabrikadaki herkesi kapsayan bir anlayıştır. Toplam verimli bakımın amaçları şu şekilde toparlanabilir (Chiarini, 2013):

- Makine/tesis/süreç arıza sürelerinin azaltılması,
- İşçilerin farkındalığının arttırılması ve makinedeki muhtemel problemlere karşı sorumluluk verilmesi,
- Sürekli temizliğin garanti altına alınması,
- Makine yönetim maliyetlerinin azaltılması,
- Genel tesis verimliliği ve etkinliğinin geliştirilmesi,
- Ürün/servis kalitesinin geliştirilmesi.

Bu hedeflerin sonuçlarını ölçmek için Genel Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness) araç olarak kullanılabilir. OEE kullanılabilirliği, verimliliği ve kaliteyi ölçer. Donatım, kurulum, ayar için duruşlar ve ani duruşlar kullanılabilirliği azaltırken; hızın azaltılması, ufak kesintiler verimlilik kaybına; süreç içindeki hatalar, başlatma esnasındaki alan kaybı ve israflar kalite kaybına sebep olur. (Chiarini, 2013)

Tablo 2.6: TPM Bakım Prosedürü Örneği **(Nicholas ve Soni, 2005)**.

Operatörler için Günlük Bakım Prosedürü	
Sıklık	***Talimatlar***
Makine Çalıştırma Kontrol Listesi	
Günlük/Bütün Vardiyalar	Yağı ve soğutma suyu seviyesini kontrol et. Eğer ihtiyaç varsa doldur.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Ana güç şalterini kaldır.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Güç ayarı şalterini kaldır.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Arıza önleyiciyi başlat.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Ana konum prosedürünü uygula.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Z ve X eksenlerine getir.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Bilgisayarda doğru işletme programı olduğundan emin ol.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Araç-gereç uzantılarından emin ol.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Araç-gereçler sıkıca sabitlendiyse anlamak için kontrol et.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Tüm araç-gereçleri kontrol et.
Makine Kapatma Prosedürleri	
Günlük/Bütün Vardiyalar	Düğmeleri Z ve X eksenlerinde hareket ettir.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Ani duruş düğmesine bas.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Güç ayarı şalterini kapat.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Ana güç şalterini kapat.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Çöpleri kaldır ve makine ve mevcut alanı temizle.
Günlük/Bütün Vardiyalar	yağı ve soğutma suyunu yerine koy.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Makinayla ilgili bilgi bıra ve gelecek operatör için çalışma konumuna getir.
Güvenlik	
Günlük/Bütün Vardiyalar	Makine işlem yaparken kapısı kapalı olmalıdır.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Tüm çöplerin eksen alanından kaldırıldığından emin ol.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Mengenelerin sıkıca kapatıldığından emin ol.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Takım ve takım tutucularını sıkıca kapat.
Günlük/Bütün Vardiyalar	İlk parça işlendiğinde ilave önlem al ve yavaşça çalış.
Önleyici Bakım	
Günlük/Bütün Vardiyalar	Sorunsuz işlem için BÜTÜN havalandırma fanlarını kontrol et.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Haftalık BÜTÜN hava filtrelerini kontrol et.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Yağ ihtiyacını kontrol et. Eğer ihtiyaç varsa doldur.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Hareketli kapaktan tüm çöpleri kaldır.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Makinede HİÇ anormal ses, titreşim ya da koku olmamalıdır. Eğer bunlardan biri ortaya çıkarsa makineyi durdur ve ilgili yöneticiye acilen rapor et.
Günlük/Bütün Vardiyalar	Rulman ya da yatak ısısını kontrol altında tut. Eğer aşırı ısınma olursa, makineyi durdur ve ilgili yöneticiye acilen rapor et.

2.2.3.7.5S

5S; çalışma çevresinin temiz, düzenli ve amaca uygun biçimde olması için işçileri eğiten ve onları buna yönelik davranışlar göstermeye cesaretlendiren, Japonların ortalığı düzenli tutabilmek için önerdiği bir metodolojidir. 5S'in temel felsefesi, düzensiz ve pis bir ortamda birçok israfın kaynağı olduğu ve böyle bir ortamda israfların gizlendiği, yapılabilecek iyileştirmelerin yok edildiğidir. (Harry ve diğ., 2010) S ile başlayan 5 Japonca kelimenin baş harflerinin bir arada ifade edilmesi nedeniyle 5S, bunlara karşılık gelen 5 Türkçe kelime de

oldukça uyumludur. Bunlar; Sınıflandır (Seiri), Sırala-Düzenle (Seiton), Sil-Temizle (Seiso), Standartlaştır (Seiketsu) ve Sahiplen-Sistemi Koru- Disiplin (Shitsuke) (Elbert, 2013).

1. Seiri (Sınıflandır): Parçaları/ekipmanları sınıflandırmak ve yalnızca o süreçte ihtiyaç duyulanları tutmaktır. Fazla araçlardan ve malzemelerden kurtulmak anlamına gelir.
2. Seiton (Sırala-Düzenle): Gerekli malzemeleri/araçları ihitiyaç duyan herkesin bulabilmesi ve kullanabilmesi için düzenlemektir.
3. Seiso (Sil-Temizle): Kullanılan araçların/makinaların ve çalışma alanının temizlenmesidir.
4. Seiketsu (Standartlaştır): Öncesindeki 3S'in başarısının gösterilmesi ve sürdürülebilir olması için prosedürlerin/standartların oluşturulmasıdır.
5. Shitsuke (Sahiplen-Sistemi Koru): Oluşturulan standartlar/prosedürler alışkanlık haline gelene kadar zorlanmalıdır.

2.2.3.8.Tekli Dakikalarda Kalıp Değiştirme

SMED (Single-Minute Exchange of Dies) tekli dakikalarda kalıp değiştirme olarak çevrilmektedir. Kalıp değiştirmenin yanı sıra süreçlerdeki ve endüstrilerdeki tüm tiplere uyarlanabilir.

Hazırlık zamanı prosedürlerinin genellikle operasyona ve ekipmana bağlı olarak çok fazla değiştiği düşünülür. Farklı bir bakış açısıyla baktığımızda kabaca dört adıma ayrılabilir (Shingo, 1985):

1. Hazırlık, işlem sonrası ayarlamalar, ham madde kontrolü, malzeme, bıçaklar, kalıplar, mastarlar vb. süreçler hazırlık zamanının %30'unu almaktadır.
2. Montaj ve bıçakların değiştirilmesi gibi süreçler hazırlık zamanının %5'ini almaktadır.
3. Merkezleme, ölçülendirme ve diğer koşulların ayarlanması hazırlık zamanının %15'ini almaktadır.
4. Deneme çalıştırmaları ve ayarlamalar hazırlık zamanının %50'sini almaktadır. Deneme çalıştırmalarının bu kadar zaman kaybettirmesinin sebebi bunun hazırlık zamanı mühendisine yani kişiye bağlı olmasıdır. hazırlık zamanındaki en önemli kayıp ise ekipman ayarlarıdır.

Endüstrideki birçok firmada SMED uygulamalarını üç adımda özetleyebiliriz (Shingo, 1985):

1.Adım İç ve dış hazırlık zamanının ayrılması: smed uygulamalarındaki en önemli adım iç mi dış hazırlık zamanı mı olacağına karar verilmesidir. Hazırlık zamanının azaltılmasındaki başlıca amaç makine arızalarının azaltılmasıdır. İç hazırlık zamanları genelde arızalardan kaynaklandığı için olabildiğince görevin dış olarak sınıflandırılması daha optimaldir.

2.Adım İç hazırlık zamanını dışa çevirme: Normal hazırlık zamanları %30-50 arasında azaltılabilir. Bunun için 1. aşamada sınıflandırılan içten dışa çevrilmesi gerekmektedir. İlk olarak yanlışlıkla dış hazırlık zamanı kararı verilip verilmediği konusunda yapılan işlemler tekrar gözden geçirilir. Sonra bu aşamaları dış hazırlık zamnına çevirmek için yeni yollar aranır.

3.Adım Hazırlık zamanı sürecinin tüm açılardan geliştirilmesi: Bu aşamada her bir operasyonun detaylı analizi istenir. Aslında gidilmek istenen nokta tek dokunuşta kalıp değişimidir. Bu sebeple tüm hazırlık zamanı prosedürleri olabildiğince basitleştirilmeli ve her operatörün kendi başına yapabilir hale getirilmelidir.

2.2.3.9.Poka-Yoke

Shingo başta "basit araçlar" olarak tanımladığı poka-yokeyi daha sonra "fark edilmeyen hataları önleme" olarak değiştirmiştir. Poka-Yoke; Shigeo Shingo'nun oluşturduğu, üretilen parçalarda/ürünlerde %100 kaliteyi amaçlayan hata önleyici sistemlerdir. Poka-Yokeler kaynak denetiminde de bağlayıcı olması gereken hem görsel hem de fiziksel bir araçtır. Hata oranını azaltarak kaliteyi iyileştirir; bu da OEE oranına olumlu etki eder. (Santos ve diğ., 2006)

Poka-Yoke tasarlamak için montaj sürecinde metrelerin/sayıcıların, yedek parça yönteminin, sabit sıralamanın dışında kabaca üç yöntem vardır. Poka-Yoke tasarımı ağırlık, ölçüler ve parçanın şekline bağlıdır. Bunlara bağlı olarak yapılan kontrol araçlarının dışında teknoloji de kullanılabilir. Anahtar gibi bağlantı mekanizmaları, algılayıcı gibi bağlantısız mekanizmalar ya da sayaçlar teknolojik kullanımlarına örnek olarak gösterilebilir. (Santos ve diğ., 2006)

2.2.3.10.Hücresel İmalat Uygulaması

Geleneksel üretimde üretim tesisleri torna tezgâhları, freze, delme, taşlama ve montaj gibi bölüm özelliklerine göre ayrılırlar. Tesisler bu şekilde düzenlendiğinde büyük lotlarla üretim yapmak zorundadır. Tam zamanında üretim felsefesinde ise makinalar/ekipmanlar makine/bölüm özelliklerine göre değil ürün/ürün gruplarına göre düzenlenirler. Makinalar

gruplanmadan önce optimal bir tam zamanında üretim hücresi için iki durum incelenmelidir: ürünün tek seferde makinadan makinaya akıp akmadığı ve hücrenin farklı çevrim süreleriyle farklı oranlarda üretim esnekliğinin olup olmadığı. (AIDT, 2006)

Departman özellikleri hücresel üretime daha uygun olan bir tesiste montaj hattına göre hücresel imalatın faydaları şu şekildedir (AIDT, 2006):

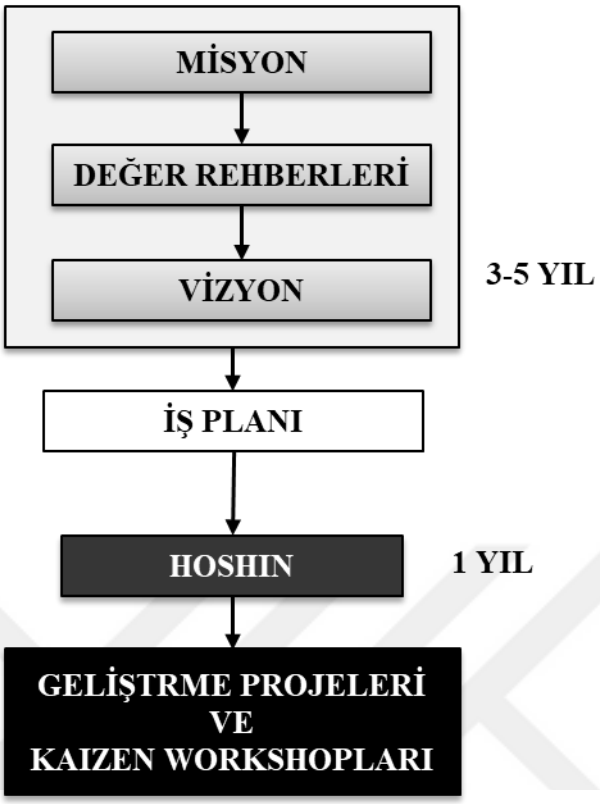
- Montaj hattı fazla alan ihtiyacı gerektirirken, üretim hücresi bunu optimize eder.
- Montaj hattı operatörleri ayırırken, hücre operatörleri birlikte çalıştırır.
- Montaj hattı büyük lotlarda üretimi gerektirirken, üretim hücresi küçük lotlarda üretimi gerçekleştirebilir.
- Montaj hattı işi yaymayı gerektirirken, hücre işi daha yoğunlaştırılmış olarak yapar.
- Montaj hattı esnek olmayan bir personele sahipken, hücre esnek personeli gerektirir.
- Montaj hattı kalite kontrolünü ertelerken, hücrede anlık kalite kontrol yapılmalıdır.

2.2.3.11. Hoshin Kanri

Yukarıdan aşağı Japon yayılım süreci olan Hoshin Kanrinin Japoncadaki karşılığı politika yayılımıdır. Üst düzey yöneticilerden orta düzey yöneticilere birçok farklı ekibi içeren ve tüm personele ulaşmayı amaçlayan kaizen etkinliğidir. (Chiarini, 2013)

Batı şirketleri organizasyonlarında; iyileştirme projelerini, bu projelerin sonuçlarının kontrolünü, standartlaştırılmasını ve yönetime raporlanmasını içeren vizyon-misyon yaklaşımı kapsamında her yıl kısa vadeli hedefler ve temel performans göstergeleri (Key Performance Indicator) belirlenir. Fakat Japon şirketleri ve en iyi batı şirketlerinde organizasyonlar yukardan aşağıya yayılımı hedefleyen bir süreci izlerler. (Chiarini, 2013)

Hoshin Kanri iki farklı aşamada uygulanmaktadır: stratejik planlamada ve günlük yönetimde. Stratejik yayılma politikası uygulanırken Deming'in PUKÖ (Planla-Uygula-Kontrol-Önlem al) döngüsü yönetim süreçleriyle iç içe geçer. (Liker, 2004) Problem çözme teknikleri bölümünde PUKÖ döngüsünde daha detaylı bir şekilde bahsedilecektir.



Şekil 2.9: Stratejik Planlama: Hoshin Kanri **(Chiarini, 2013).**

2.2.3.12. Heijunka-Shojinka

Heijunka hem hacim hem de ürün çeşitliliği açısından üretimin seviyelendirilmesi anlamına gelmektedir. Üretim seviyelendirilirken mevcut müşteri akışına göre değil belli bir periyottaki müşteri talebi dikkate alınarak ve her gün aynı miktarda, karışımda üretim yapılacak şekilde seviyelendirilir. (Liker, 2004)

Shojinka ise, bir operatörün birden fazla iş yapma potansiyelinin olduğu U tipi gibi yerleşim planlarında gereksiz iş gücü hareketlerinin ortadan kaldırılmasıdır. Yine Japonca bir kelime olan shojinka iş gücü dengelemesi anlamına gelmektedir. Üretim taleplerine göre mevcut hatta çalıştırılan işçilerin sayısıyla oynanabilmesi esnekliğidir.

2.2.3.13. Problem Çözme Teknikleri

Bir problemin çözümü için durumun niteliğine ve büyüklüğüne bağlı olarak farklı teknikler ve yöntemler kullanılabilir. Beyin fırtınası, balık kılçığı diyagramı, sebep sonuç diyagramı en çok kullanılan problem çözme tekniklerinden olmakla birlikte genelde kullanılan araçlar şu şekildedir (Sheldon, 2005):

- PUKÖ döngüsü
- DMAIC metodu
- Spagetti diyagramları
- Balık kılçığı diyagramı
- Sebep-sonuç diyagramları
- Pareto tabloları
- Zaman etüdü
- 5-neden diyagramı
- Değer akış haritalama
- Zaman değer haritalama
- Fiziksel süreç haritası
- Mantıksal süreç akış haritalama

3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez çalışmasının temel amacı; uygulama yapılan fabrikada kaizen kültürünü ve hat mantığı yaygınlaştırmaktır. Bu sebeple kaizen bakış açısıyla bakılarak hat tasarlanmalı, dengelenmeli ve hayata geçirilmelidir. Çalışmada, montaj hattı dengeleme (MHD) problem çözümleri için üç farklı sezgisel kullanılmış olup en verimli çözüm seçilmiştir. Sonra dengelenen montaj hattının fabrika içi kanban ile bağlanması gerektiğinden kanban sınıflandırılması detaylıca anlatılmıştır.

3.1. KAIZEN

1999'da Rother ve Shook kaizenin iki seviyesinin olduğunu belirtmişlerdir (Lean Enterprise Corporation, 2008):

1. Çalışanlardan başlayarak orta kademe yöneticilere kadar etki alanını artıran ve sistemin komple değer akışına odaklanan, yönetimin uygulayacağı akış kaizenidir.
2. Çalışanların veya ilk kademedeki yöneticilerin ayrı ayrı süreçler üzerinde odak noktasını arttırdığı süreç kaizendir. Süreç kaizen takım veya takım liderlerinin uygulayacağı kaizendir.

İşletmelerde kaizen felsefesinin benimsendiğinde birçok gizli fayda da bununla birlikte gelir. Sürekli iyileştirme, geliştirme anlayışına sahip işletmelerde bir canlılık, üretkenlik meydana gelir. Çalışanlar aynı amaç ve hedef doğrultusunda çalışmaya başladığı için her bölümdeki insanlar işlerini daha etkili ve verimli biçimde yürütmeye başlarlar. Bu sayede bölümlerde kendi aralarında etkileşime geçmeye başlarlar ve problemleri kısa yoldan ve kalıcı biçimde çözmeye odaklanırlar. Çalışanların işe olan bilgi hakimiyeti ve beceri düzeyi yükselir, motivasyonu artar.

Sürekli gelişmeyi gerçekleştirmek için 3 temel koşulu sağlamak gerekir (Kavrakoğlu, 1998):

1. Mevcut durumun yetersiz olduğunu kabul etmek: Bir sistemin veya sürecin kusursuz olarak çalıştığını kabul etsek bile sisteme/sürece geliştirilebilecek yönler mutlaka vardır şeklinde bakılmalıdır. Müşteri istekleri veya beklentileri gelişen/değişen teknoloji ile birlikte her geçen gün "verimlilik" kıstasını ileriye taşımaktadır.
2. İnsanı geliştirmek: Mevcut yüzyılda kurum veya kuruluşlarda insanın yeri ve önemi büyüktür. Firmalar için insan kullanılan değerli bir kaynaktır. İnsan kaynağının

kullanımı ne yazık ki geleneksel yönetim biçimlerinde oldukça verimsizdir. Her çalışan sürekli gelişim faaliyetlerinin bir üyesi haline getirilmelidir.

3. Problem çözme tekniklerini kullanmak: İnsanlar genellikle problemlerin kök nedenlerine odaklanmak yerine belirtilerine yoğunlaşırlar. Sorunların kalıcı olarak çözülmesi için kök nedenler derinlemesine araştırılıp temel sebep bulunmalıdır. Kök nedenler araştırılırken ve çözülürken sistematik olarak problem çözme teknikleri kullanılarak çözülmelidir.

Kaizen tek başına altında birçok kavramı barındıran geniş bir yelpazeyi ifade etmektedir. Her yazar anladığı şekliyle bu yelpazeyi sınıflandırmıştır. Rother ve Shook kaizeni iki seviyeye ayırırken, (Chiarini, 2013) geliştirme ekiplerini 3 ana gruba ayırmıştır:

1. Süreç stabilizasyonunu sağlamak ve değişkenliği azaltmayı sağlayan uzun vadeli proje ekipleri: Altı sigma, DMAIC ya da PDCA gibi döngüleri kullanarak istatistiksel analizler yaparlar. Projeler 3 aydan 18 aya kadar süren uzun dönemli projelerdir. Uzun vadeli olmalarından dolayı şirketin uzun vade hedefleri arasında yer alan projelerdir.
2. Süreçteki israfları azaltmayı hedef alan kaizen workshop ekipleri: Kanban. 5S, SMED, TPM gibi yalın araçlara aşina olan ekipler tarafından gerçekleştirir. Ekipler uzun vadeli projelerin tersine istatistiksel analizlere gerek duymazlar. Workshoplar genellikle 1 hafta ile 10 gün arasında sürer.
3. Problemler, israflar için hızlı çözümleri hedef alan hızlı kaizen workshop ekipleri: Mevcut hareketlerdeki israfları azaltmayı hedef alan 5 Neden sorusuyla veya problem çözme teknikleriyle olaya yaklaşan 2-3 kişilik ekiplerdir. Bu faaliyetler planlı değildir ve 1 haftadan fazla sürmezler.

(Imai, 1997)'ye göre bir yerde başarılı bir kaizen stratejisi uygulamak için majör sistemler vardır. Imai'ye göre 6 farklı majör kaizen sistemi vardır:

1. Toplam kalite yönetimi: Japon yönetiminin prensiplerinden bir tanesi toplam kalite kontrolüdür. Kalite öncelikli amaç olduğunda her bir önceki süreç kalite kontrolüne odaklanmalıdır. Toplam kelimesi üst yönetimden, orta seviye yöneticiler, süpervizörler ve hat çalışanlarına kadar organizasyondaki herkesi kapsayan bir kelimedir. TQM'da yöneticinin görevi ise sonuca göre süreçleri eleştirmeden süreç kontrolü için plan yapmaktır.

2. Tam zamanında üretim sistemi: Takt zamanı, çevrim zamanı, tek parça akışı, çekme sistemi, jidoka, set-up sürelerinin azaltılması gibi kavramlarla desteklenen bu üretim sistemi değer katmayan işleri yok ederek müşteri isteklerine karşı esnek olmayı hedefleyen üretim sistemidir. Bilindiği üzere Toyota üretim sisteminden gelmektedir.
3. Toplam verimli bakım: Ekipman kalitesini geliştirmeye odaklanan ve maksimum ekipman verimliliğini amaçlayan bir anlayıştır. Toplam kalite yönetimindeki gibi fabrikadaki herkes bu anlayışa sahip olmalıdır.
4. Politika yayılması: Firmalarda kaizen kişilerin inisiyatifine bırakılmamalıdır. Yönetim firmadaki herkese rehber olacak nitelikte açık hedefler koymalı ve gerçek kaizen stratejileri yanından denetlenmelidir.
5. Öneri sistemi: Japon yöneticiler kaizene ilgisi olan çalışanların rolünü arttırmak için öneri sistemini geliştirmişlerdir. Bu sistemde amaç ne kadar küçük olursa olsun çalışanları öneri yapmaları için cesaretlendirmektir. Batı yönetim anlayışının tersine olan bu anlayış kaizene istekli, öz disiplinli yüksek çalışanlar hedeflemektedir.
6. Küçük grup aktiviteleri: Firma içinde resmi olmayan, gönüllü ekiplerden oluşan grupların belirli bir amacı hayata geçirmek için organize olmalarıdır. En önemli örneklerinden bir tane kalite çemberleridir.

Son on yılda yapılan çalışmalara baktığımızda; Das ve diğ. (2014) klima üretilen bir tesiste kazien çalışmalarıyla SMED ve değer akış haritalamayı birleştirirken, James ve diğ. (2014) modüler konut üretiminde iş güvenliği riskinin azaltılması için kaizen uygulanmıştır. Kumar ve diğ. (2018) küçük bir üretim hattında başta kaizen olmak üzere kanban, değer akış haritalama, Poka-Yoke gibi birçok yalın üretim aracını kullanarak stok azaltma, süreç iyileştirme çalışmaları yapmıştır. Ahmad ve diğ. (2018) altı temel duruş kaybını azaltmak için TPM aracını da kullanarak bir kaizen uygulamasından bahsetmiştir. Gaikwad ve diğ. (2017) istatistiksel süreç kontrolü ve altı sigma tekniklerini de kullanarak bir kaizen uygulanması yapmıştır.

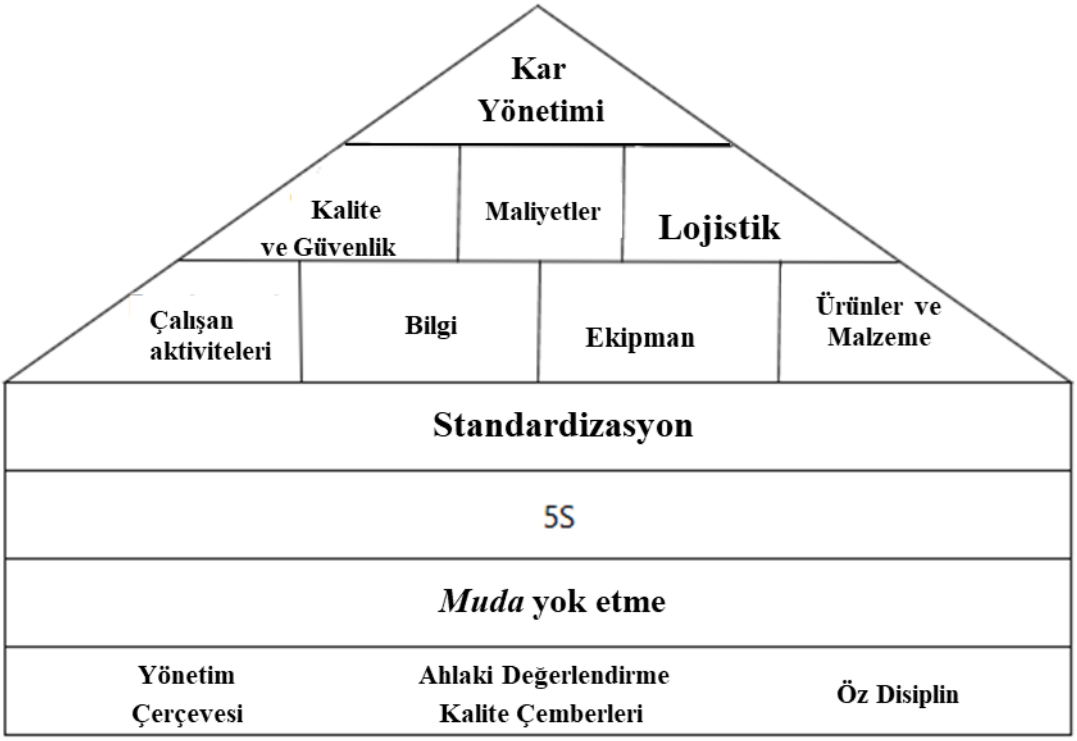
Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere kaizen tek başına kullanılmamıştır. Diğer yalın üretim teknikleri ile iç içe geçmiş olan kaizen üretim ağırlıklı olmak üzere operasyonel uygulamaları da mevcuttur. Son yıllarda hat üzerinde kaizen uygulamaları daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Yazarlar özellikle duruş kayıplarının veya stokların azaltılması gibi konulara eğilmişlerdir.

Birçok yazar kaizenin kendisini ve alt başlıklarını farklı kapsamlarda değerlendirmiştir. Daha genel bir çerçeveden bakacak olursak kaizen üç ana gruba da ayrılabilir: Saha kaizeni anlamına gelen gemba kaizen, odaklanılmış kaizen anlamına gelen kobetsu kaizen, gemba ve/veya kobetsu kaizenden sonra yapılan literatüre henüz yeni yeni girmeye başlayan operatif kaizen.

- **Gemba Kaizen**

Japoncada, Japonların günlük hayatta da kullandığı, *gemba* olayın gerçekleştiği gerçek yer anlamına gelir. İş hayatında ise müşterinin istediği değer katan işlerin olduğu yer gembadır. Bütün işler temelde kazandıkları kârı geliştirme, üretme ve satıştan sağlarlar. Geniş anlamda bakarsak gemba, bu üç majör aktivitenin ortak alanıdır. Daha dar anlamda bakarsak da ürünün veya hizmetin şekillendiği yerdir gemba. (Imai, 1997)

Günlük bazda gembada iki ana eylem meydana gelir: bakım onarım ve kaizen. Bakım onarım sırasıyla standartları ve mevcut durumu kapsarken, kaizen standartları geliştirmekle ilgilidir. İmai'nin tanımladığı gemba evinde, gembanın yönetimi için aranması gereken noktalar şekildeki gibidir. (Imai, 1997)



Şekil 3.1: Gemba Evi **(Imai, 1997)**.

Günlük hayatta kaliteyi, maliyeti fark edebilmek için işgücü, bilgi, ekipman ve malzeme gibi kaynakları yönetilmesi gerekir. Eğer verimli bir şekilde yönetmek isteniyorsa standartlar gerekmeye başlar. Günlük rutinde mutlaka problemler çıkacaktır ve kök nedenleri araştırılıp, belirlendikten sonra mevcut standartlar düzenlenip, önleyici eylemler uygulanacaktır. Böylece standartlar, standardizasyon gemba kaizenin ayrılmaz parçası haline gelir. Gembadaki standardizasyon mühendislerin işçiler için belirlediği operasyonel standartların teknolojik ve mühendislik gerekliliklerinin dönüştürülmesi anlamına gelir. Teknolojik ya da komplike bir gerekliliği olmayan sürecin dönüştürülmesi örnek olarak verilebilir. (Imai, 1997)

Ana gemba aktivitelerinden biri olan 5S; yine Japonca kelimelerden oluşmuş, bakım ve temizliğin meydana getirdiği kelimelerdir. Bir yönetici, herhangi bir fabrika saha gezisinde beş dakika içinde mudalara (israflara) ve 5S'in uygulanmasına göre firmanın seviyesini anlayabilmelidir. Sahadaki 5S'in yokluğu verimsizliğin, mudanın, eksik öz disiplinin, düşük moralin, kalite eksikliğinin, yüksek maliyetlerin ve teslimat kabiliyetlerinin yetersizliğinin göstergesidir. (Imai, 1997)

Standardizasyon ve 5S haricinde mudaların yok edilmesi de gemba kaizenin ana amaçlarından biridir. Sahada gerçekleşen her iş mutlaka birçok süreci içinde barındırır. Bir ürünün hammadde

olarak işlenmesinden son montaj veya sevkiyatına kadar geçen sürede birçok değer katan veya katmayan eylem gerçekleşir. Değer katmayan işler yani mudalar fark edilmeli ve yok edilmelidir.

Gemba evindeki tüm değerler yönetici/ler tarafından anlamlandırılmalı ve desteklenmelidir. Yönetim mümkün olduğunca sahadaki kısıtları azaltarak daha iyi bir iş çıkması için gembaya yardım etmelidir. Fakat gerçekte, birçok yönetici bu rollerini özümsememişlerdir hatta sahaya hatanın kaynağı, bir şeylerin yanlış gittiği yer olarak bakarlar. Bu da onlara sorumluluklarından kaçmak için bir bahane imkânı yaratır. (Imai, 1997)

Sahayı güçlü sendikaların yönettiği bazı Batı şirketlerinde, yönetim gemba ilişkilerinden çekinir. Yönetim sahaya indiğinde ise korku ile iner ve sahada yokmuş etkisi yaratır. Sendikalar yönetim ile iş birliği içerinde değilse, tabiri caizse, saha eski kurtlara kalır ve yönetim saha üzerindeki tüm yönetim yeteneğinin kaybeder. Japonya'da ise yönetim ve operatörler arasındaki yoğun ilişki dikkati çeker ve bu çift taraflı verimli bilgi akışı olarak sonuçlanır. (Imai, 1997)

Birçok yönetici problemlerden ancak günlük, haftalık ya da aylık raporlar vasıtasıyla haberdar olur. Sahadan uzak olmayı ve masalarını tercih eden bu yöneticilerin ilk aşamanın gembayı anlamak ve yönetmek için üretim alanını verimli bir şekilde yönetmek olduğunu anlamaları gerekir. Bu sebeple yöneticiler gembanın beş altın kuralına uymalıdırlar:

1. Bir problem ortaya çıktığında, ilk olarak *gemba*ya git.
2. Gembutsuyu, yani ilişkili ürünleri, kontrol et.
3. Mevcut noktada geçici karşı önlemler al.
4. Kök nedeni bul.
5. Tekrarını önlemek için standartlaştır.

Gemba kaizenin altın kurallarından da anlaşıldığı üzere, bu kurallar aslında gemba evindeki tüm değerleri kapsar ve destekler niteliktedir.

Gemba merkezli bir yaklaşım benimsediği zaman bir fayda da birlikte gelir: (Kawase, 1995)

- Sahada çalışan insanlar *gemba*nın ihtiyaçlarını daha kolay bir şekilde tanımlarlar.

- Hattaki herhangi bir çalışan problemlerin ve çözümlerinin her alternatifi ile ilgili düşünmeye başlar.
- Değişime karşı direnç en aza indirgenir.
- Sürekli uyum mümkün hale gelir.
- Gerçekçi çözümler konuşulmaya başlanır.
- Çözümler, pahalı ve metot bazlı yaklaşımlardansa sağduyulu ve düşük maliyetli yaklaşımları vurgular.
- İnsanlar kaizenden keyif almaya başlarlar.
- Kaizen farkındalığı ve iş verimliliği dikkate değer biçimde arttırılabilir.
- İşçiler çalışırken bile kaizeni düşünmeye başlayabilirler.
- Değişiklik yapmak için her zaman bir üst yöneticinin onayına ihtiyaç kalmaz.

- **Kobetsu Kaizen**

Kobetsu Japoncada bireysel anlamına gelmesine rağmen, *kobetsu kaizen* kelimesinin anlam bütünlüğünü koruması açısından odaklanmış kaizen olarak çevrilmektedir. Kobetsu kaizen: Bir problemin çözümü için üretim, ar-ge, süreç metot, dahili imalat, lojistik, satış pazarlama gibi farklı departmanlardan ekiplerin veya kişilerin saha yöneticileri veya ustalarla gembada (olay yeri) bir araya gelip yapılan iyileştirme faaliyetleridir. Yapılan iyileştirme faaliyetleri esnasında veya sonucunda yine gembada, zorunlu bir şekilde olmamak kaydıyla, toplanılır ve bilgilendirme sunumu yapılır. Sahada yapılmasının amacı ise Toyota'nın ana prensiplerinden olan genci gembutsu (yerinde git ve gör) prensibinden gelmektedir.

Beyaz yakaların genellikle düştüğü hatalardan bir tanesi; problemi ofiste ve tek başına çözmeye çalışmaktır. Sahadan ve firmadaki çalışan herkesin hizmet ettiği üretimden uzak bir şekilde probleme çözüm bulmak imkansızdır. Problemin çözümü bulunsa dahi uzun vadede başarı getirmeyecektir. Mavi yakaların düştüğü hata ise; problemi beyaz yakadan saklayıp kendi aralarında probleme anlık çözümler bulmaya çalışmaktır. Ofiste bulunan çözüm gibi mavi yakaların bulduğu anlık çözümler de uzun vadede başarıyı getirmez. Bu sebeple kobetsu kaizen herkesin katılımını ve şeffaflığı gerektirir.

Odaklanmış kaizen 6 temel prensibe sahiptir (Çelik, 2011):

1. Müşteri memnuniyetini sağlamak için kalite, maliyet ve zamanında teslim konusunda öncü olmak,
2. Herkesin katılımı,
3. Az harcayarak fazla kazanç sağlamak,
4. Küçük adımlarla sürekli gelişme sağlamak,
5. Elde edilen bilgiyi paylaşmak,
6. Elde edilen başarıyı paylaşmak.

Kobetsu kaizen de aslında öneri sistemi, kalite çemberleri gibi takım çalışmasını gerektiren bir iyileştirme aracıdır. Hedefi: Firmadaki ekipman, işçilik, malzeme ve enerji kullanımına yönelik israfların sürekli iyileştirmelerle sıfırlanmasıdır. Firmaya yük getiren bu maliyetlerin dışında çalışılan çevrenin, çalışanların sağlığının ve güvenliğinin, ofis içerisindeki olumsuzlukların iyileştirilmesini de kapsar. Fakat yatırım, büyük bir buluş veya proje çalışması kaizen kapsamında değildir. Toyota'dan alınan kaizen çalışmalarının temelinde; süreçteki, özellikle işçiler tarafından gerçekleştirilen, sürekli ve küçük iyileştirmeler yatar. Sürekli iyileştirme ise süreçe öncelik verir ve kişilerin süreçe yönelik çabalarını destekler. (Çelik, 2011)



Şekil 3.2: Kobetsu Kaizenin 10 Adımı.

- **Operatif Kaizen**

Toyota, Toyota Üretim Sistemini kurarken yapılanmasını diğer kurumsal firmaların tersine mavi yaka üzerine kurmuştur. İşi asıl yapan ve teknik olarak da işine en çok hâkim olan mavi

yakalara yatırım yaparak onları standart hiyerarşide bambaşka bir konuma getirmiştir. Diğer şirketlerin organizasyon şemalarında mavi yakalar veya işçiler bir mühendise bağlanırken, Toyota operatörlerin içerisinden kendi liderlerini çıkarmış ve takım lider, grup lider, şef lider şeklinde kendi aralarında bir hiyerarşi oluşturmuştur. Operatörler, geçici takım ve grup liderleri de dahil olmak üzere mavi yaka şef lidere bağlıdır. Toyota çıkardığı liderleri de bir mühendise bağlamamış, aynı anda hem mühendisleri hem de mavi yaka hiyerarşisini direkt müdüre bağlamıştır.

Organizasyonunu mavi yaka üzerine kuran Toyota genel müdüre doğrudan bağlı olarak çalışan uzmanlar yetiştirmiştir. Uzmanlar binlerce mavi yaka arasından seçilmiş ve kendi ekiplerini bölümleri özelinde kurmalarına izin verilmiş kişilerdir. Bu uzmanlar hem gemba ve kobetsu kaizen yaptığı hem de süreç kaizen yaptığı için operatif kaizen uzmanıdırlar.

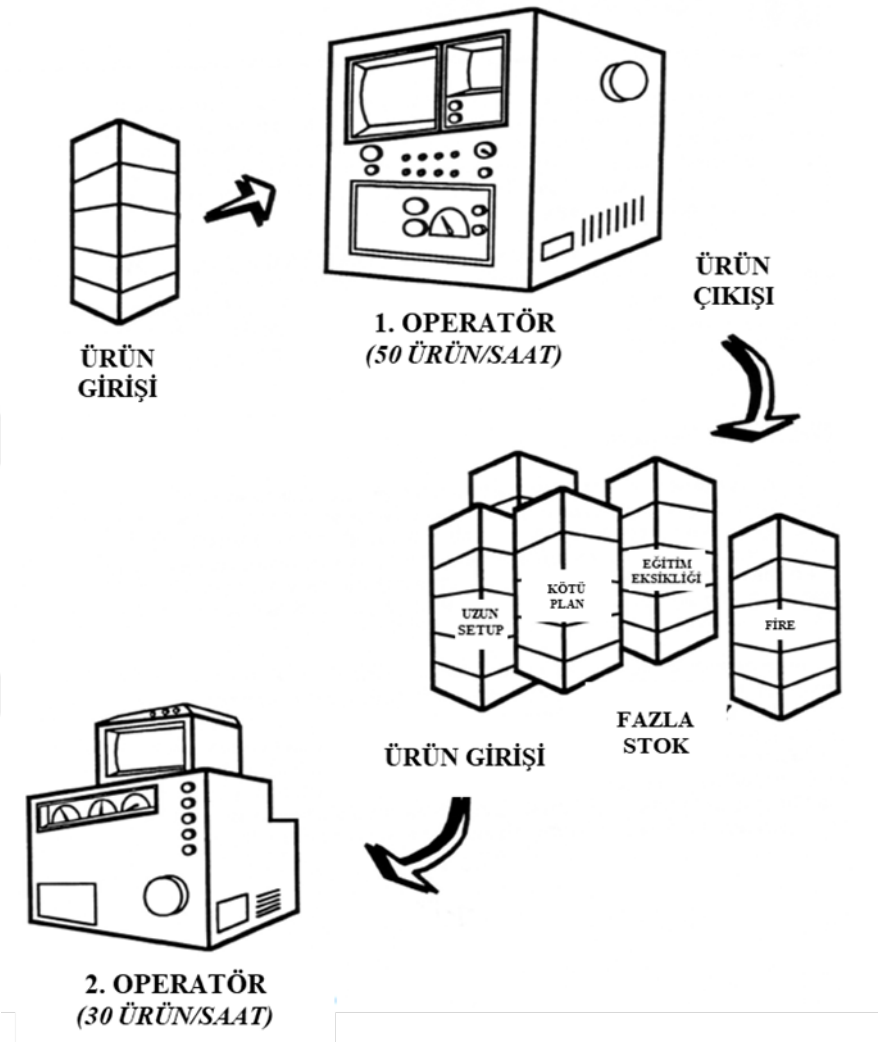
Operatif kaizen literatürde direkt olarak geçmemektedir. Fakat genel müdüre bağlı olarak çalışan ve sahadaki problemlere kendi ekipleriyle çözüm arayıp, operatif uygulama yapılan kaizendir.

Operatif kaizen ile kobetsu kaizen ve gemba kaizen birbirini destekler niteliktedir. Operatif kaizen uzmanı bir bölgede çalışma yaparken, kobetsu kaizende olduğu gibi, o bölge ile ilişkili lojistik faaliyetlerini lojistik uzmanıyla, orada kullanılacak AGV, andon ya da Poka-Yoke ihtiyacını belirlerken otomasyon uzmanıyla birlikte çalışır. Gemba kaizende olduğu gibi de bunları gembada yani sahada gerçekleştirirler. (Cengiz, 2018)

3.2. KANBAN

Japonlar Amerika'yı ziyaret için gittiklerinde yalnızca fabrikalarını incelememiş, günlük hayatlarını ve kullandıkları sistemleri de incelemiştir. Bunlardan bir tanesi de Amerikan süpermarketleridir. Japonlar süpermarketleri gezdiklerinde fabrikalardan daha farklı bir sistemle çalıştığını fark etmişlerdir. Bir müşteri süpermarkete girdiği zaman almak istediği ürünün markette bitmiş olup olmamasıyla ilgili bir endişeye kapılmaz ve istediği minimum ürünü bulur. Marketteki raflar boşaldıkça her gün boşalan raflar bir görevli tarafından doldurulur. Böylece müşteriler ürünleri ne zaman tüketirlerse reyon görevlisi de o zaman stokları yenilemiş olur. Bu durumda müşterinin dinamik talebi reyon görevlileri için de dinamik arzı oluşturur.

Taiichi Ohno daima sistemlerin Japonlara özel veya uyarlanmış olması gerektiğini söylüyordu. Toyota'nın lojistik akışını incelediklerinde aslında Amerika'daki fabrikalarla aynı mantıkla çalıştığını gözlemlediler ve buna itme sistemi dediler.



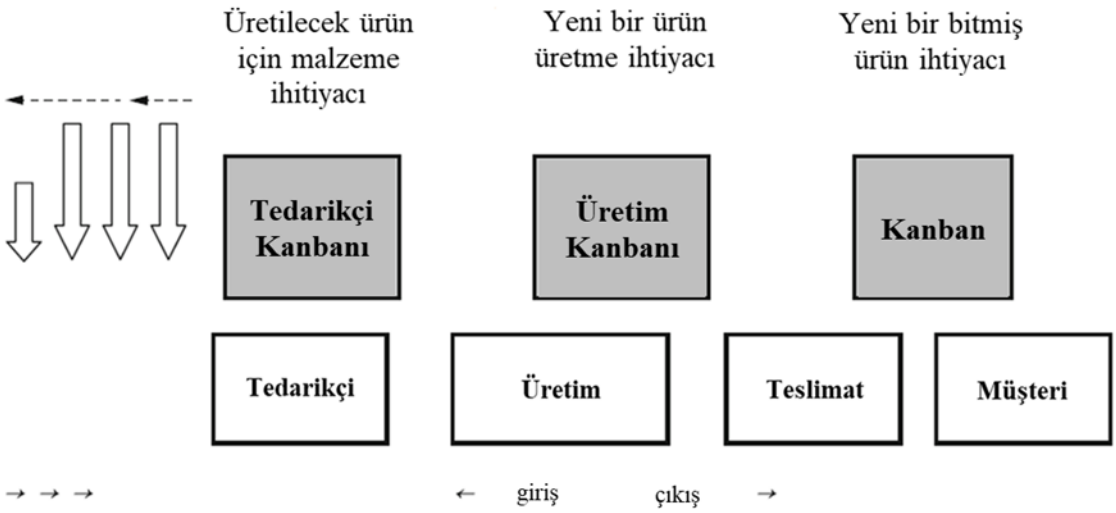
Şekil 3.3: İtme Sistemi **(AIDT, 2006)**.

İtme sistemi bir tahmin çizelgesiyle başlar ve bu tahmin, imalat sürecindeki bir önceki adımda (montajda) zorunlu tutulur. Bu arada, hangi alt montajlara ve bu alt montajlara ne zaman ihtiyaç duyulacağını tahmin etmek için de teslim sürelerinde ayarlamalar yapılır. Böylece toplam üretim sisteminden hammaddelere kadar olan döngüde her bileşen bu tahminlere göre zorlanır. Operatörlere neyi ne zaman ihtiyaç duyduğunu bildirmek için de arka planda evrak işleri devam eder. (AIDT, 2006)

İtme sisteminde her operasyon kendi kapasitesinde sürekli üretir ve bir sonraki operatöre ürettiklerini iter. 2. operatör ise gelen parçaları alır ve işler. 2. operatör çalışmasını durdursa

veya yavaşlatsa bile 1. operatör çalışmaya devam eder. Bu üretimdeki problemleri geçici olarak gizleyen stokları oluşturmaya başlar. Öncesinde yapılan tahminlerden beklenti; tüm bu stoğun itilip, önceden belirlenmiş yerlere, zamanında planlanacak şekilde doğru zamanda teslimatının sağlanmasıdır. Üretim planlama neyin zamanında teslim edilip edilmediğini analiz eder ve gelecek planlamalar buna göre ayarlanır. (AIDT, 2006)

Tam zamanında üretim felsefesi malzeme akışının itme sisteminden farklı olmasını ister. Bu sebeple, Ohno, Amerikan süpermarketlerinin işleyişine bakarak Toyota'nın malzeme akışını tasarladı. Teorik olarak, üretimde veya montaj hattında bir parça/ürün üretildiğinde, harcanan parçalar için üretme veya satın alma emrinin oluşmasına çekme sistemi denir. Çekme sistemi denmesinin sebebi; bitmiş üründen ham maddelere kadar üretim emirlerinin ya da üretim kontrolünün montajdan temel süreçlere doğru çekilmesidir. (Santos ve diğ., 2006)



Şekil 3.4: Kanban Çekme Sistemi **(Chiarini, 2013)**.

Kanban sistemiyle alakalı insanlar çoğu zaman TÜS'nin ana aracı olduğu hatasına düşerler. Aslında 20 farklı TÜS aracından bir tanesidir ve tam zamanında üretimi destekleyici niteliktedir. Japoncada görsel kart/kart anlamına gelen kanban: Üretim ve malzeme akışını kontrol etmek için kullanılan, üretim süreçlerine veya önceki sürece neyi, ne zaman, ne kadar üreteceklerini ve nereye göndereceklerini söyleyen bir üretim yönetim aracıdır. Kanban ile ürün ve bilgi akışı birlikte ele alınır ve ayrı bir stok yönetimi gerektirmez. Sürecin her adımı için hangi parçadan ne kadar üretilmesi gerektiğini söylediği için talep dışı fazla üretimi engeller. Görsel yönetim de sağlayarak lot miktarının kontrollü bir şekilde azaltılmasına yardımcı olur.

Fakat kanban başlı başına bir stok kontrol yönetim sistemi de değildir ve SAP/MRP gibi sistemlere entegre edilmesi ve ortak çalışması gerekir.

Kart bazlı kanban sisteminin başarılı bir şekilde işlemesi için bazı kuralların anlaşılması ve bu kurallara uyulması gerekmektedir.

Tablo 3.1: Kanban Kuralları ve İşlevleri **(Nicholas, 2018)**.

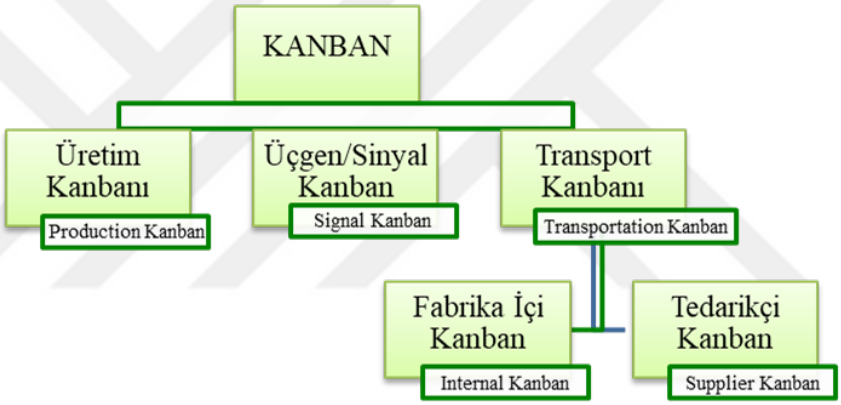
	Kanbanın İşlevi		Uygulama Kuralları
1	Kullanım ya da transport bilgi akışını sağlar.	→	Sonraki proses önceki prosesten kanbanda belirtilen miktar kadar ürün talep eder ve alır. Bu miktar kart sayısıyla kontrol edilir.
2	Üretim Bilgisi akışını sağlar.	→	Kanbanda belirtilen miktar ve sıra ile üretim yapılır.
3	Fazla üretimi ve gereksiz taşımayı engeller.	→	Hiçbir ürünün kanbansız üretilmesine ve taşınmasına izin verilmez. Her zaman kutuya kanban kartı asılı olmalıdır.
4	İş akışları belli olduğu için hatalı üretim ve adet üreten proses hemen tespit edilir.	→	Yalnızca doğru ürünler bir sonraki prosese geçirilir. Hatalı ürünlerin doğru üretilene kadar bir sonraki prosese geçirilmesine izin verilmez.
5	Küçük atel değişikliklerine uyumu kolaylaştırır.	→	Küçük talep değişikliklerine kart sayıları yeniden ayarlanarak uyum sağlanır.
6	Mevcut problemleri tespit ederek gereksiz malzeme stoğunu engeller.	→	Zamanla kart sayısı azalır. Bununla birlikte buffer büyüklüğü ve alanı da azaltılmış olur.

Bu kurallara uyulduğu takdirde elde edilecek faydalar şunlardır:

1. Görsel bir yönetim aracı da olduğu için anlaşılması kolay ve basittir.
2. Bilgiyi hızlı ve kesin bir şekilde sağlar.
3. Bilgi transferini kart vb. materyallerle sağladığından ucuzdur.
4. Müşterinin belirlediği değişikliklerin fabrika içerisinde yarattığı etkiye hızlı cevap verir.
5. Süreç içindeki ihitiyaç dışındaki kapasite kullanımını engeller.
6. Fazla üretimi/stok ve teslim edilmeyen sipariş hemen fark edileceğinden bu durumu engeller.
7. Kapasite ihtiyaç duyulandan fazla kullanılmayacağı için alan ve nakit kazanımı sağlar. Kayıpları azaltır.
8. Belirlenen lojistik akışı içerisinde çalışanlara (belirli) sorumluluklar yükler.

9. Üretim akışı çevresini/üretim genel akışını net hale getirir ve problemin kaynağını daha görünür kılar.

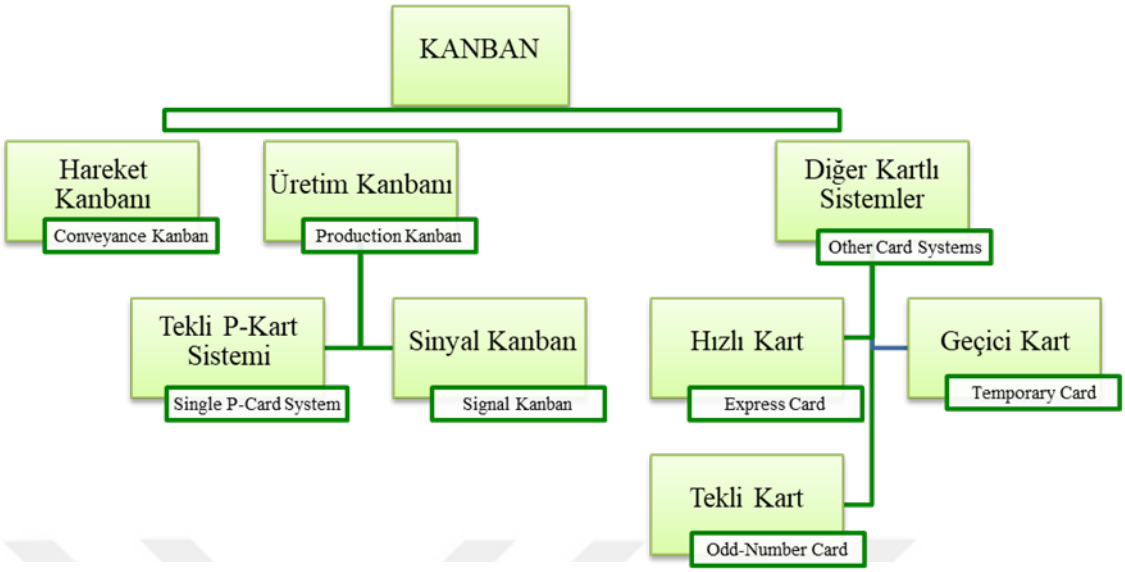
Kanban çekme sistemi farklı yazarlar tarafından, temel mantık aynı olmak şartıyla, farklı yorumlanıp, farklı isimlerle sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalardan en kapsamlısını Chiarini (2013) ve Nicholas (2018) yapmıştır. Chiarini kapsam çerçevesi daha net bir sınıflandırma yaparken Nicholas benzer kavramları türeterek bir sınıflandırma yapmıştır. Fakat mantık ve problemlere getirilen çözüm açısından incelendiğinde her ikisi de aynı yolu göstermektedir. Chiarini'nin sınıflandırması üzerinden gidecek olursak kanban çekme sistemi temelde iki ayrılır: Transport/Hareket kanbanı ve üretim kanbanı. Transport kanbanı ise kendi içerisinde fabrika içi kanban ve tedarikçi kanbanı olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 3.5: Chiarini Kanban Sınıflandırması **(Chiarini, 2013)**.

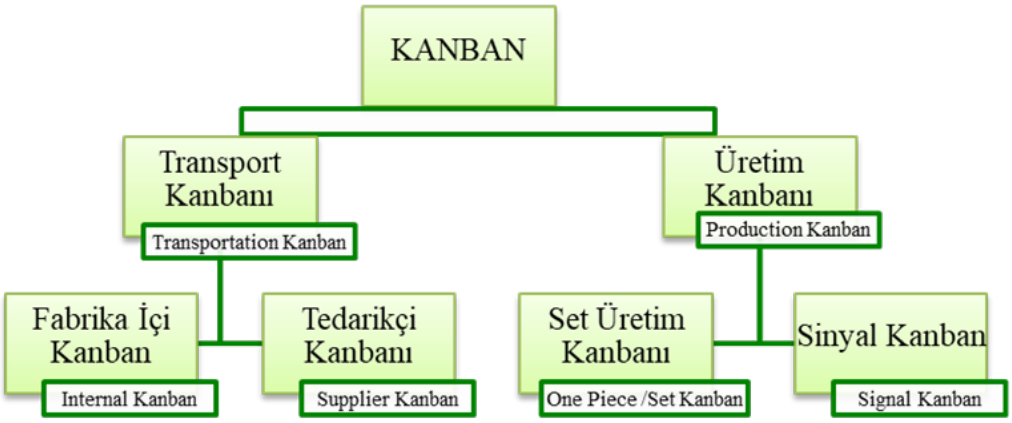
Nicholas kanban sistemini; hareket kanbanı ve üretim kanbanı olmak üzere ikiye ayırmıştır. Bu iki ana kanban sisteminin çözemediği problemleri çözmek için ise diğer kartlı sistemlerde hızlı, geçici ve tekli kart sistemleri bulunmaktadır. Hızlı kart; hatalı parçalardan dolayı üretimin durmasının riskli olduğu zamanlarda, geçici kart; geçici üretim artışlarında çekme sisteminin sapma riski olduğu zamanlarda, tekli kart; taşıma yapılan kutu/konteynırlarda parça unutulduğu zamanlarda kullanılır.

Chiarini'nin sınıflandırmasında transport kanbanı, Nicholas'ın sınıflandırmasında hareket kanbanına denk gelirken, üretim kanbanı aynı şekilde isimlendirilip sinyal kanbanı üretim kanbanının bir çeşidi olarak tanımlanmıştır. Üretim kanbanının diğer bir çeşidi olan tekli P-kart sistemi ise; istasyonların birbirine yakın olduğu ve tek stokla hareket kanbanına ihtiyaç duymadan akışın sağlandığı kanban çeşididir.



Şekil 3.6: Nicholas Kanban Sınıflandırması **(Nicholas, 2018)**.

Chiarini (2013) ve Nicholas (2018) kanban sınıflandırmalarından etkilenilerek tüm sanayiye uyarlanabilmesi açısından aşağıdaki gibi bir sınıflandırma da yapılabilir. Temel mantık, ambardaki malzemenin üretimle ve yan sanayiyle ilişkisinin kurulduğu transport kanban ve nihai ürünün çıktığı yer ve fabrika içi işleme merkezleri/atölyeleri arası ilişkinin kurulduğu üretim kanbanı üzerine kuruludur.



Şekil 3.7: Birleştirilmiş Kanban Sınıflandırması.

3.2.1. Transport Kanbanı

Transport kanbanı; ambardan üretime, işlenmesine gerek duyulmadan direk kullanılacak bir parçanın üretim süreçlerine/hücrelerine veya tedarikçiden ambara parça akışını ifade eder. Amaç yalnızca parça hareketini sağlamaktır, parça üzerinde işlem yapma emrini vermez. Bu

sebeple transport kanbanına hareket kanbanı da denmektedir. Kendi içerisinde iki alt başlığa ayrılmaktadır: Fabrika için kanban ve tedarikçi kanbanı.

- **Fabrika İçi Kanban**

Fabrika içi kanban bir fabrikadaki süreçleri birbirine bağlayan, giriş süreçinden parçaları çekmek için ihtiyaç duyulan bilgiyi sağlayan kanbandır. Genellikle montaj hattındaki önceki süreçte de sonraki süreçte de kullanılır. Fabrika içi kanbanın ürün çeşidine bağlı olarak farklı uygulama çeşitleri vardır: (Chiarini, 2013)

- Her ürün için bir kanban
- Bir üründen belirlenen konteynırda/kutularda, belirlenen miktarlarda, aynı kodla montaj hattına yapılan kanban
- Farklı kodlardaki ürünlerin kanban kutusu/arabasıyla montaj hattına taşınan kanban

Yukarıda bahsedilen sınıflandırmadan yola çıkarak fabrika içi kanbanı iki gruba ayırabiliriz: Çift kutu kanban ve set sevkiyat kanbanı.

Çift kutu kanban: Genellikle cıvata, somun, pul gibi küçük ve ucuz malzemelerin ambardan üretime standart kutularla lojistiğinin sağlandığı kanbandır. Kanban kartı üzerinde parça bilgileriyle birlikte hangi kutu tipine ne kadar konulacağı ne kadar zamanda bir nereden nereye sevk edileceği bilgileri bulunur. (Şekil 3.8)

<table>
<tr><td>KANBAN 1 / 2</td><td colspan="3">PARÇANIN AMBARDAKİ YERİ</td><td>AMBAR G1 - R4 - K8 - S1</td></tr>
<tr><td>PARÇA NO</td><td colspan="3">PARÇA ADI</td><td>KULLANIM MİK.</td></tr>
<tr><td>000632</td><td colspan="3">RAKOR 1" M30</td><td>1 ADET</td></tr>
<tr><td>KUTU TİPİ</td><td colspan="2">SEVK/PARTİ MİKTARI</td><td>SEVK PERİYODU</td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>K0</td><td colspan="2">25 ADET</td><td>1 GÜN</td></tr>
<tr><td colspan="2">KULLANICI REGALİ</td><td colspan="2">KANBAN TİPİ</td></tr>
<tr><td colspan="2">MONTAJ TESİSAT
R1-K3-S4</td><td colspan="2">ÇİFT KUTU</td></tr>
</table>

Şekil 3.8: Çift Kutu Kanban Kart Örneği.

Set sevkiyat kanban: Ambardan istenen parçaların üretilecek ürüne özel, bir ürünlük set halinde sağlanmasıdır. Bu parçalar genellikle operatörün elle kaldırabildiği pahada çok değerli olmayan

parçalardır. Günlük üretim planlaması yapılan bir montaj hattı için banda alış programı yapıldıktan sonra banda alış programına göre de ürüne özel setler hazırlanmaya başlanır. Hazırlanan set kanban araçları kanban destekleyici araçlar ile hatta götürülür. Amaç ürün hattan girmeden set aracının hattın kenarına getirilmesidir.

Tablo 3.2: Set Sevkiyat Liste Örneği.

FİRMA LOGOSU	ÜRÜN ADI-NUMARASI				Revizyon No : R00 Revizyon Tarih: 30.09.2019	
İSTASYON 1						
	Parça No	Parça Adı	Adet	Var/Yok	Ambar Yeri	Parça Fotoğrafı
1	9776	Kartal kapaklar	4	+	Hol1 R1 K1 S1	
2	9775	El ayar çarkı arka sacı (pens sacı) (sol)	2	+	Hol1 R1 K1 S2	
3	10749	El ayar çarkı arka sacı (pens sacı) (sağ)	2	+	Hol1 R1 K1 S3	
4	9767	Kartal kapak kilitleri	4	+	Hol1 R1 K1 S4	
5	5728	Yan kapak karşılığı	4	+	Hol1 R1 K1 S5	
6	9773	Kayış	2	+	Hol1 R1 K1 S6	
7	58010	Gerdirme kasnağı (sol)	2	+	Hol1 R1 K1 S7	
8	2190	Gerdirme kasnağı (sağ)	2	+	Hol1 R1 K1 S8	
9	6172	Kayış kasnağı	2	+	Hol1 R1 K1 S9	
10	5736	Ön fırça (SIO)	2	+	Hol1 R1 K1 S10	
11	5822	Ön fırça (FIU)	2	+	Hol1 R1 K1 S11	
12	6159	Menteşeli perde	2	+	Hol1 R1 K1 S12	
13	6157	(Krom)Yönlendirici sac	2	+	Hol1 R1 K1 S13	
14						

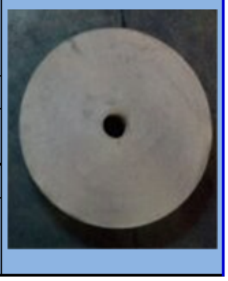
İdeal bir set toplama alanını düşündüğümüzde, görevli ambar personeli set arabasının doldurulma rotasına göre set aracını doldurmaya başlar. Ambarda ise montajda en son takılacak

parçadan ilk takılacak parçaya doğru oluşturulan rotaya göre parçalar toplanır. Böylece ilk takılacak parça en son, en öne/üste konularak parça arama riski sıfıra düşürülür. Toplanma sırasına göre de set listesi entegre edilir. (Tablo 3.2)

Bu durumu süpermarketteki alışveriş arabasına benzetirsek, ürünleri toplaya toplaya liste ile belirlenen rotada ilerlenir. Set toplama rotası sona erdiğinde araba dolmuş ve listeyle çift taraflı kontrol edilmiş olur. Fabrikalarda genelde ambar ve üretim arasında çekişmeler yaşanır. Ambar üretimin işini yalnızca parçaları birleştirmek gibi görürken, üretim de ambarın katma değerli bir iş yapmayıp yalnızca parça hareketini sağladığını düşünür. Bu çekişmeden dolayı üretim ambarın parçaları eksik, yanlış getirdiğini, ambar da tam tersini iddia eder. Bu sebeple set listesi hem ambarın parçayı verdiğine hem de üretimin bu parçaları aldığına kanıt ve kontrol aracı olarak kullanılabilir.

- **Tedarikçi Kanbanı**

Tedarikçi kanbanı müşterisi olan montaj hatlarına/hücrelerine sağlanacak parçalar için tedarikçilere emir gönderen kanban çeşididir. Yani üretim ve yan sanayiler arasındaki ilişkiyi kurar. Tedarikçi kanbanı ürün ya da süreç tipine göre çok çeşitli şekillerde ve ebatlarda uygulanabilir. (Chiarini, 2013) Diğer kanban sistemlerinden farklı olarak ürün mevcut fabrika dışındaki bir tedarikçiden geleceği için her ürün için kaçlı lotlarla, nasıl taşınacağı çalışılmalıdır.

<table>
<tr><td>KANBAN 1 / 1</td><td colspan="2">PARÇANIN ÜRETİM SM YERİ</td><td colspan="2">ÜRETİM SM - R4 - KAT 1 - SIRA 1,2</td></tr>
<tr><td>PARÇA NO</td><td colspan="3">PARÇA ADI</td><td>KULLANIM MİK.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1-281-022</td><td colspan="3" rowspan="2">NH1 GRİ KARTON (KESİLMİŞ)
(0,85 x 54,5)</td><td>1,3 GR</td></tr>
<tr><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">RULO AĞIRLIĞI</td><td>REAKSİYON SÜRESİ</td><td>MİN.STOK MİKTARI</td></tr>
<tr><td colspan="2">10 KG</td><td>3 GÜN</td><td>11 RULO</td></tr>
<tr><td>İŞ MERKEZİ</td><td>KANBAN TİPİ</td><td colspan="2">SİPARİŞ MİKTARI (Adet)</td></tr>
<tr><td>FASON</td><td>TEDARİK</td><td colspan="2">11 DİLİM RULO</td></tr>
</table>

Şekil 3.9: Tedarikçi Kanbanı Kart Örneği.

Tedarikçi kanbanı kartı üzerinde (Şekil 3.9) parça bilgileri, parça için ambarda tutulacak minimum stok, sipariş verildikten sonraki reaksiyon süresi, sipariş miktarı gibi bilgiler yer

almaktadır. İş merkezine fason denilebilirken, firmaya özel de kanban kartları çalışılabilir. Bu örnekte tedariği sağlanacak parçanın ağırlığı önemliyken, başka bir parça için lot miktarı önemli olabilir.

3.2.2. Üretim Kanbanı

Üretim kanbanı; parçaların veya montajlarının üretimi için kullanılan kanban çeşididir. Üretim kanban kartının kullanıldığı yerde kartsız hiçbir üretime izin verilmez. Üretim süreçlerindeki son aşama haricinde üretim kanbanıyla yönetilen yerlerde üretim planlamasına gerek duyulmaz. (Nicholas, 2018)

Transport kanbanıyla çok benzer olan üretim kanbanı, bir önceki süreçe üretimi başlatması için sinyal verir. Montaj süreçleri için çalışan fabrika içi kanbanla aynı mantığa sahiptir. Tek fark üretim yapan hücrelere/hatlara/süreçlere odaklanmasıdır. Fabrika içi kanban hücrelerden /hatlardan/süreçlerden bir parçayı talep ederken, üretim kanbanı bahsi geçen parçanın hücrelerden/hatlardan/süreçlerden üretimini talep eder. (Chiarini, 2013)

Üretim kanbanı hangi üründen, ne kadar üretileceği, üretilen ürünün nerden nereye gideceği hakkında bilgi verir. Temel mantık ihtiyaç olmayan üretimi ve stoğu engellemek olduğundan aslında parçanın ne zaman üretileceğiyle ilgili de tüketim hızına göre cevap verir.

Üretim emri yalnızca bir parça tipi için verilmeyebilir. Özellikle günlük üretim adetinin düşük olduğu yerlerde, otobüs üretimi gibi, bir parça grubunun set halinde üretilmesi de üretim kanbanına örnek gösterilebilir. Bir parça tipi için üretim emrini veren üretim kanbanı sinyal kanbanı olarak adlandırılırken, bir parça grubunun set halinde üretilmesi emrini veren üretim kanbanı set üretim kanbanı olarak adlandırılır. Bu isimlendirmeler farklılaşmakla birlikte temel mantık ve üretim amacı aynıdır.

- **Set Üretim Kanbanı**

Set üretim kanbanı ayrı ayrı farklı lotlarda üretilen parçaların sonradan bir araya getirilmesindense üretilecek nihai üründe kullanılacak kadarını birer ürünlük ürettirir ve set şeklinde hatta gönderir. Montaj hattında bulunan tüm istasyonlar için ayrı ayrı veya toplu olarak, ön montaj ve alt hazırlık alanları gibi üretim ortamında bulunan tüm süpermarketlerde

uygulanabilir. Bu sistem üretim alanı içinde, ambar- üretim arasında, yan sanayi-ambar arasında veya yan sanayi-üretim arasında da kullanılabilir.

Set sevkiyat listesindeki tüm parçalar her takt zamanı içerisinde kullanılacakları alanlara veya üretim hattındaki iş istasyonlarına getirilir. Hedef, bir takt zamanında bir araçlık set parça sevkiyatının yapılmasıdır. Yan sanayi hesaplanan/tespiti yapılan reaksiyon ve sevkiyat şekline göre set sevkiyatlarını fabrikanın ambarına yapar. Üretim birimleri tarafından verilen ana liste esas alınarak yapılan sevkiyat bir palet veya transport arabası içinde kullanıcı süreç/kısım tarafından öngörülen miktar ve zamanda yapılır.

KUPA ARKASI

HK 90/105

AYAK BURC GRUBU

Çıkış Yeri:	Gittiği Yer:
SİLİNDİR DEPO	AYAK KONSTRÜK.

Parça No	Parça Adı	Adet/Araç
013464	BURC Ø40XØ20X15X28 SGMNLI	2
027069	BURC Ø40XØ20X15X117 SG	2
062761	BURC Ø40XØ20X17X51,5 SKML	2
064570	BURC Ø40XØ20X17X140,5 SG	2

ARKA DİNGİL

HK 105

AYAK BURC GRUBU

Çıkış Yeri:	Gittiği Yer:
SİLİNDİR DEPO	AYAK KONSTRÜK.

Parça No	Parça Adı	Adet/Araç
013464	BURC Ø40XØ20X15X28 SGMNLI	2
013464	BURC Ø40XØ20X15X28 SGMNLI	2
027068	BURC Ø40XØ20X13X25 SGMNLI	2
027069	BURC Ø40XØ20X15X117 SG	2
027096	BURC Ø40XØ20X114 SEGMANLI	2
027210	BURC Ø40XØ20X13X47,5 SGML	2
030990	BURC Ø40XØ20X13X144,5 SGM	2
062761	BURC Ø40XØ20X17X51,5 SKML	2
062785	BURC Ø40XØ20X13X122 SGMLI	2
064570	BURC Ø40XØ20X17X140,5 SG	2

Şekil 3.10: Set Üretim Kanbanı Kart Örnekleri.

Set üretim kanbanı kart örnekleri incelendiğinde iki ayrı ürün grubu için üretilmesi istenen burçlar listelenmiştir. Faklı makinalarda da kullanılma durumu olduğundan her ürün grubu hem renklendirilmiş hem de nihai ürünler belirtilmiştir. Ayrıca işlenmiş parçaların nereden nereye gideceğiyle ilgili de bilgi verilmektedir.

- **Sinyal Kanbanı**

Üretim kanbanının bir çeşidi olan sinyal kanbanı; çekme kanbanlarıyla tüketilen hammadde veya yarı mamulün yerine tekrar konulması için belirlenen lotlarla üretim emri verdiren kanban çeşididir. Sinyal kanbanı veya parti üretim kanbanının temelinde belirlenen minimum stok miktarına ulaşılınca ürettirme emri yatar. Minimum stok miktarları belirlenirken hazırlık süresi boyunca kaybedilen zaman, ürünün tüketim hızı, üretildikten sonra yerine konulma süresi gibi

parametreler dikkate alınmalıdır. Diğer isminin üçgen kanbanı olmasının sebebi ise; Toyota'nın sinyal emrini üçgen şeklindeki kartlarla vermesidir. Sinyalin görsel olarak da verilmesi için minimum stok miktarı, bir levha çubukla, kırmızı bir bantla vb. farklı şekillerde ifade edilip gösterilebilir.

Sinyal kanbanında amaç: Hammadde veya nihai ürün stoklarının hesaplanan min/max parametreleri doğrultusunda erişilebilirlik düzeyini ihtiyaç düzeyinde tutmaktır. Eğer üretim hazırlık süreleri makul seviyelerdeyse daha faydalıdır.

Sinyal kanbanı kartını incelediğimizde kart üzerinde parça bilgileri, hangi kutuda ve hangi lotta taşınacağı, minimum stok miktarı yani ne zaman sipariş verileceği, verilen siparişe reaksiyon süresi, sipariş miktarı ve nerde işlem göreceği gibi bilgiler yer almaktadır. Her parça çeşidi için 1 adet kanban bulunur. Malzeme minimum stok seviyesine geldiğinde kanban kartı tedarikçi süreçe götürülür. Burada işleme alınan parça kanban kartı üzerindeki miktar kadar üretilir ve kartla birlikte stok alanına götürülür.

KANBAN 1 / 1	PARÇANIN ÜRETİM SM YERİ		MERKEZ DEPO F1 - R4 - K3 - S 4	
PARÇA NO	PARÇA ADI			KULLANIM MİK.
10967	TRİGER RULMAN SIKMA KAPAĞI			2
KUTU TİPİ	KUTUDAKİ MİKTAR	REAKSİYON SÜRESİ	MİN.STOK MİKTARI	
A350	200 Adet	3 HAFTA	1 Kutu	
İŞ MERKEZİ	KANBAN TİPİ	SİPARİŞ MİKTARI (Adet)		
TALAŞLI İMALAT	ÜRETİM	200 Adet		

Şekil 3.11: Sinyal Kanban Kart Örneği.

3.2.3. Diğer Kanban Kartı Çeşitleri

Hata Kanbanı: Parça eksikliğinden veya hatalı parçalardan dolayı üretimin durma riski olduğunda hata kanbanı kullanılır (Nicholas, 2018).

Operatör standart işini yaparken bir hata ile karşılaştığında veya işini yarım bıraktığında *hata kanbanı* asarak hat sorumlusunu uyarır. Süreçte 2 adet hata kanbanı olmalıdır. Eğer operatör kanban sayısını kontrol ettiğinde asmış olduğu kanbanın 2 takt zamanı sonra (ana otomotiv sanayi için) dönmediğini fark ederse onarım bilgisini hat sorumlusundan sorgulamalıdır. Hat

sorumlusu ise 2 takt zamanı içerisinde (ana otomotiv sanayi için) süreçte yapılan diğer işlerin tamamını kontrol ederek onarımı tamamlamalıdır ve kanbanı operatöre geri döndürmelidir. Daha sonra yaptığı onarımla ilgili operatörü bilgilendirir ve yaptığı onarımı kayıt altına alır.

Henkaten Kanbanı: Henkaten Japonca bir kelime olup Türkçe karşılığı anormallik anlamına gelmektedir. Henkaten alışılmış standart durumun dışında gelişen veya tespit edilen her türlü anormal durum için kullanılabilir. Bu farklı ve anormal durumun kontrol altına alınarak üretimin devam ettirilmesi ise henkaten yönetimidir.

Üretim esnasında operatör sürecinde anormal bir durum yaşadığında henkaten kanbanını araca asarak hat sorumlusunu uyarır. Süreçte henkaten kanbanı adet olmalıdır ve operatör sürekli kart sayısını kontrol ederek astığı kanbanın 3 takt zamanı (ana otomotiv sanayi için) içerisinde dönüp dönmediğini sorgular. Hat sorumlusu ise henkaten kanbanının asılı olduğu aracı, bu aracın önündeki ve arkasındaki araçları kontrol eder. Ayrıca süreçte yapılan tüm işleri kontrol etmelidir. Son olarak 3 takt zamanı (ana otomotiv sanayi için) içerinde kontrolü tamamlayarak yapılan kontroller ile alakalı operatörü bilgilendirmelidir.

Geçici Kanban: Temporary card olarak bilinen ve üretimde geçici olarak çekme sisteminde sapma yaşandığında kullanılan kanban kartıdır. Bunun sebebi geçici üretim artışı, özel müşteri isteği/test, mühendislik, araştırma-geliştirme vb. deneme parçaları olabilir. (Nicholas, 2018)

Tekli Kanban: Lojistik akışları esnasında konteynırlarda unutulan veya kullanılmayan parçalar olduğu fark edilebilir. Bu durumda odd-number card olarak da bilinen tekli kanban kullanılarak doldurulacak konteynır içerisindeki parça dikkate alınarak tamamlanır. Daha sonra çekme sisteminde ya da sonraki üretim sürecinde bu konteynıra öncelik verilir. (Nicholas, 2018)

Bahsi geçen farklı kanban kartı çeşitleri daha hızlı algılanabilmesi açısından farklı renklerle ifade edilir: Yeşil normal işi, turuncu tamiri, mavi geçici işi, sarı normal üretimden fazla üretimi kırmızı ise hatalı parçayı ifade edebilir. (Nicholas, 2018)

3.3. MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ

Montaj hattı: Farklı parçaların/bileşenlerin sırasıyla birer birer bir dizi işçiyle montajlanarak bitmiş ürün haline getirilmesine denir. (Thomopoulos, 2014) Montaj hatları entegre edilen robotlarla/ makinelerle kısıtlı yeteneklerdeki işçilerin kitle üretimi yapmak için çoğunlukla

kullandığı bir yöntemdir. Ana amaç; üretilen iş hacmi ve maliyeti arasındaki oranı arttırarak hat verimliliğini maksimize etmektir. (Rekiek ve Delchambre, 2006)

Montaj hatlarının tarihi milattan önce 200 Çin'deki silah üretimine kadar gider. Fakat bizim bahsettiğimiz anlamdaki yarı otomatik montaj hatları ilk olarak Henry Ford tarafından 1900'lülerin başlarında tanıtılmıştır. Model T'nin piyasaya sürülmesinden sonra talebin artmasıyla birlikte Ford hareket eden bir bant üzerinde işçiler belli bir alanda tutacak şekilde görevleri dağıtarak montaj yaptıran bir sistem tasarladı. (Thomopoulos, 2014)

Ford'un tasarladığı akan montaj hat sisteminden sonra montaj hattı dengeleme problemi ortaya çıkmıştır. İlk 40-50 yılda hatlarda yalnızca deneme yanılma yöntemiyle hatlar dengelenmeye çalışılmıştır. Konuyla ilgili ilk olarak Salveson 1955'de matematiksel model önermiştir. Helgeson ve arkadaşları 1961'de ilk kez MHDP önerisinde bulunmuşlardır. 1964'de ise Gutjahr ve Nemhauser MHD problemlerinin NP-hard kombinatoryel optimizasyon problemleri sınıfına ait olduklarını göstermişlerdir. Bu belli büyüklükteki problemler için optimal bir çözümün olmadığı anlamına gelmektedir. Bu sebeple de MHDP çözümü için sezgisel metotlar popüler olmaya başlamıştır.

MHDP üzerinde akademisyenler/iş insanları 1950'li yıllardan bu yana çalışmaktadırlar. Son beş yıla baktığımızda (Thi Lam, et al., 2016) örnek bir vaka üzerinde Ishikawa ve çoklu eylem diyagramını çalışmasında kullanarak hat dengeleme yapmıştır. Bortolini ve diğ. (2016) hattı dengelerken süreç esnasında parçaların özelliklerini ve taşınmasını dikkate alarak optimizasyon modeli kurmuştur. Lolli ve diğ. (2017) Wright'ın öğrenme eğrisini kullanarak işlerin öğrenme parametrelerini çıkarmıştır ve buna göre işleri dağıtarak hattı dengelemiştir. Ertesi yıl ise Lolli ve diğ. (2018) öğrenme eğrisinin operatörler üzerindeki etkisini ölçerek 5 istasyonlu bir hattı dengeleme çalışma yapmışlardır. Çil ve diğ. (2017) ise metasezgisel yöntemlerden ışın arama algoritmasını kullanarak akan paralel robot hattını dengelemeye çalışmışlardır. Nourmohammadi ve diğ. (2018) CPLEX'de CPU zaman analizi yaparak süpermarketlerle parça beslenmesini düşünerek maliyet bazlı MHDP çözmüşlerdir. Hemen ardından Nourmohammadi ve diğ. (2019) genetik algoritma, lokal arama algoritması gibi metasezgisel yöntemlerle MHDP çalışmışlardır.

Son yıllarda genetik algoritma başta olmak üzere hazır veriler üzerinden akademisyenler metasezgisel algoritmalarla çalışmışlardır. Liu ve diğ. (2019) genetik algoritmaya bilgi

entropisi teorisini entegre ederken; Chen ve diğ. (2018) kaynak kısıtları olan montaj hattında genetik algoritmayı kullanarak operatör ve istasyon minimizasyonu problemini karışık tam sayılı programlama ile çözmüştür. Mura ve Dini (2017) ise istasyon sayısı ve iş yükü sapmasını minimize eden genetik algoritma ile dengeleme yaparken; Chen ve diğ. (2019) genetik algoritmaya bağlı iki aşamalı sezgisel algoritma ile işçilik yoğun çok modelli MHDP çözmüşlerdir. Anlaşıldığı üzere genetik algoritmayı yazarlar tek başına kullanmak yerine ya yeni kısıtlar ekleyerek amaç fonksiyonlarını değiştirmişler ya da bilgi entropisi teorisi gibi farklı teorilerle birleştirmişlerdir.

Genetik algoritma haricinde, parçacık sürü optimizasyonu algoritması sezgiseli ile Şahin ve Kellegöz (2019) bir istasyonda birden fazla kişinin çalıştığı paralel montaj hattını; Che (2016) tedarikçi seçimi için kullanılan bir hibrit modeli parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile MHDP için kullanmıştır.

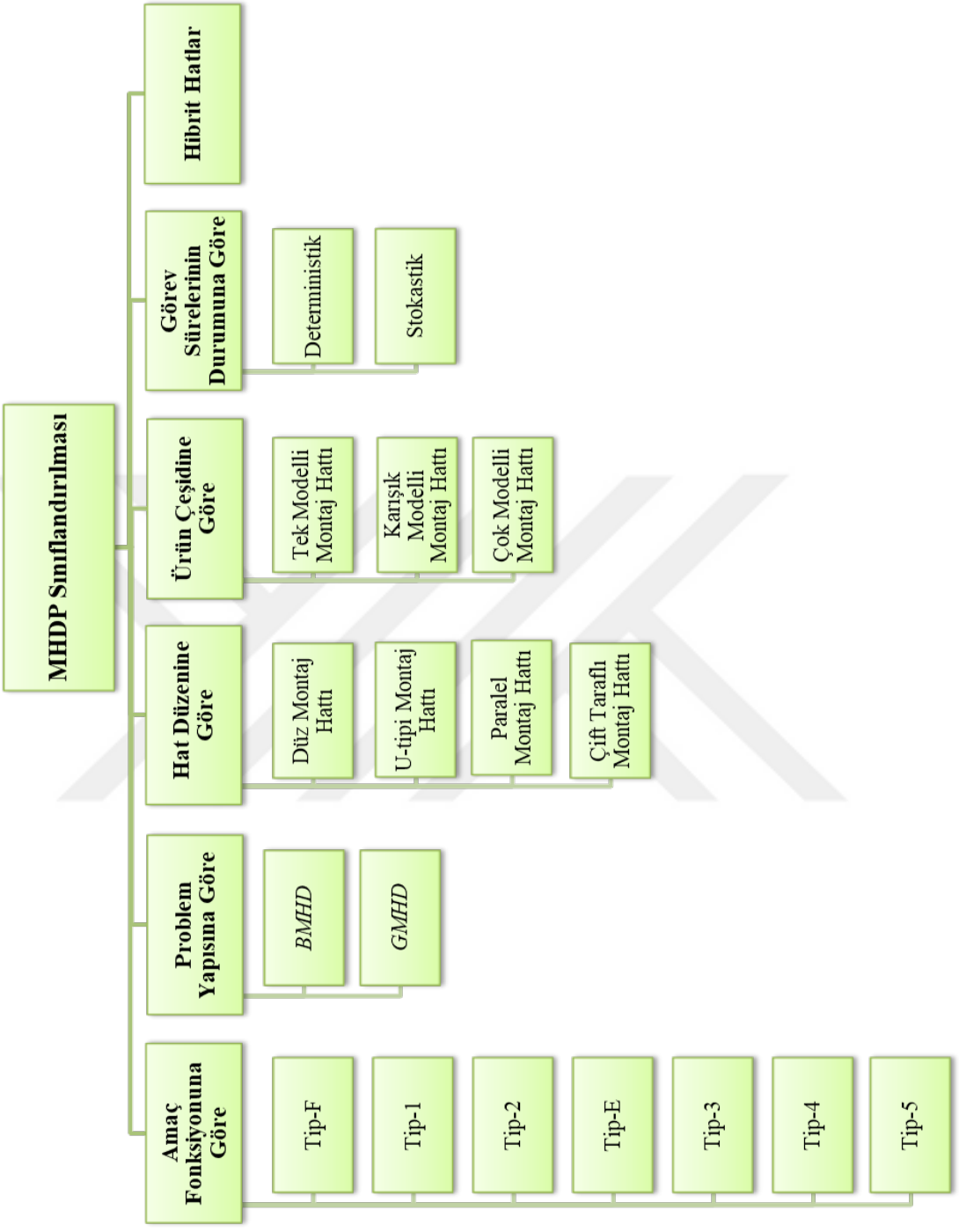
Son yıllarda ergonomik çalışmalar da dikkat çekmeye başlamıştır. Bortolini ve diğ. (2017) çok amaçlı optimizasyon modeliyle MHDP çözüp ve REBA (Rapid Entire Body Assessment) ile analizi yapılan ergonomik riskleri de modele entegre ederken; Moussavia ve diğ. (2019) yeni iş rotasyonu yaklaşımına ergonomik risk analizlerini entegre ederek MHDP çözmüştür.

Sezgisel algoritmaların haricinde problemlere matematiksel tabanlı algoritmalarla yaklaşan yazarlar da olmuştur. Genellikle karışık tam sayılı programlama tercih edilmiştir. Bukchin ve Raviv (2018) basit TipI MHDP için kısıt programlama kullanmış ve aynı amaçları U tipi hatlar için de çözmüştür. Fleszar (2016) ise karışık tam sayılı lineer programlama ile çevrim zamanını minimize eden MHDP çözmüştür.

Bunların dışında Kucukkoc ve Zhang (2016) hem arı kolonisi optimizasyonu yaklaşımını kullanıp hem de COMSOAL, RPWM, RRPWM, LPT, LNP, MNS gibi 6 farklı sezgiselle paralel montaj hattı dengeleme çalışmasında bulunmuştur.

3.3.1. Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Montaj hatları minimum/maksimum dengelenme amaçları, problem yapısı, üretilecek ürün çeşidi, tam görev sürelerinin bilinip bilinmemesi açısından ya da bunlardan birkaçının aynı anda olduğu hibrit hatlar olmak üzere sınıflandırılabilir.



Şekil 3.12: Montaj Hattı Dengeleme Problemleri Kapsamlı Sınıflandırılması.

Amaç fonksiyonuna göre sınıflandırma

- Tip-F: Çevrim zamanı ve istasyon sayısı verilen problemde uygun çözüm aranır.
- Tip-1: Çevrim zamanı verilen problemde istasyon sayısı minimize edilmesidir.
- Tip-2: İstasyon sayısı verilen problemde çevrim zamanının minimize edilmesidir.

- Tip-E: Çevrim zamanı ve istasyon sayısının aynı anda minimize edilmesidir. Genelde hattı etkinliği maksimize edilmeye çalışılır.
- Tip-3: İş yükü dengesinin maksimizasyonu amaçlanır.
- Tip-4: İş uyumluluğunun/ilişkilendirmesinin maksimizasyonu amaçlanır.
- Tip-5: Tip-3 ve tip-4'ü de içeren çoklu amaçları içerir.

Problem yapısına göre sınıflandırma

- Basit MHD: İş istasyonu sayısı belli olan montaj hattında çevrim süresini minimize eden ya da çevrim süresi belli olan montaj hattında iş istasyonu sayısını minimize eden en basit MHD problemidir. (Grzechca, 2011)
- Genel MHD: Basit MHDP haricinde kalan problemlerdir. Stokastik zamanlı paralel ya da karışık modelli hat dengeleme problemleri örnek verilebilir. (Grzechca, 2011)

Hat düzenine göre sınıflandırma

- Düz montaj hattı: İstasyonların düz bir çizgi üzerinde ilerlediği ve operatörlerin hattın tek tarafında çalıştıkları montaj hatlarıdır.
- U-tipi montaj hattı: Operatörlerin "U" şeklinde bükülmüş bir hattın merkezinde çalıştıkları ve çoklu yetenek gerektiren montaj hatlarıdır. (Rekiek ve Delchambre, 2006)
- Paralel montaj hattı: Düz montaj hattının paralel bir şekilde kopyalandığı, farklı çevrim sürelerinde farklı ürünler için de çalıştırılabilen montaj hatlarıdır.
- Çift taraflı montaj hattı: Otobüs, kamyon gibi hacimli ürünlerin üretildiği aynı anda ürünün iki tarafında da çalışmayı gerektiren montaj hatlarıdır.

Ürün çeşidine göre sınıflandırma

- Tek modelli MHD: Tek bir model/ürün tipinin üretildiği montaj hatlarıdır.
- Karışık modelli MHD: Bir ürünün farklı modellerinin ya da benzer ürünlerin aynı anda karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır. (Grzechca, 2011)
- Çok modelli MHD: Bir ürünün farklı modellerinden ya da tamamıyla farklı ürünlerin lotlu olarak üretildiği montaj hatlarıdır. (Grzechca, 2011)

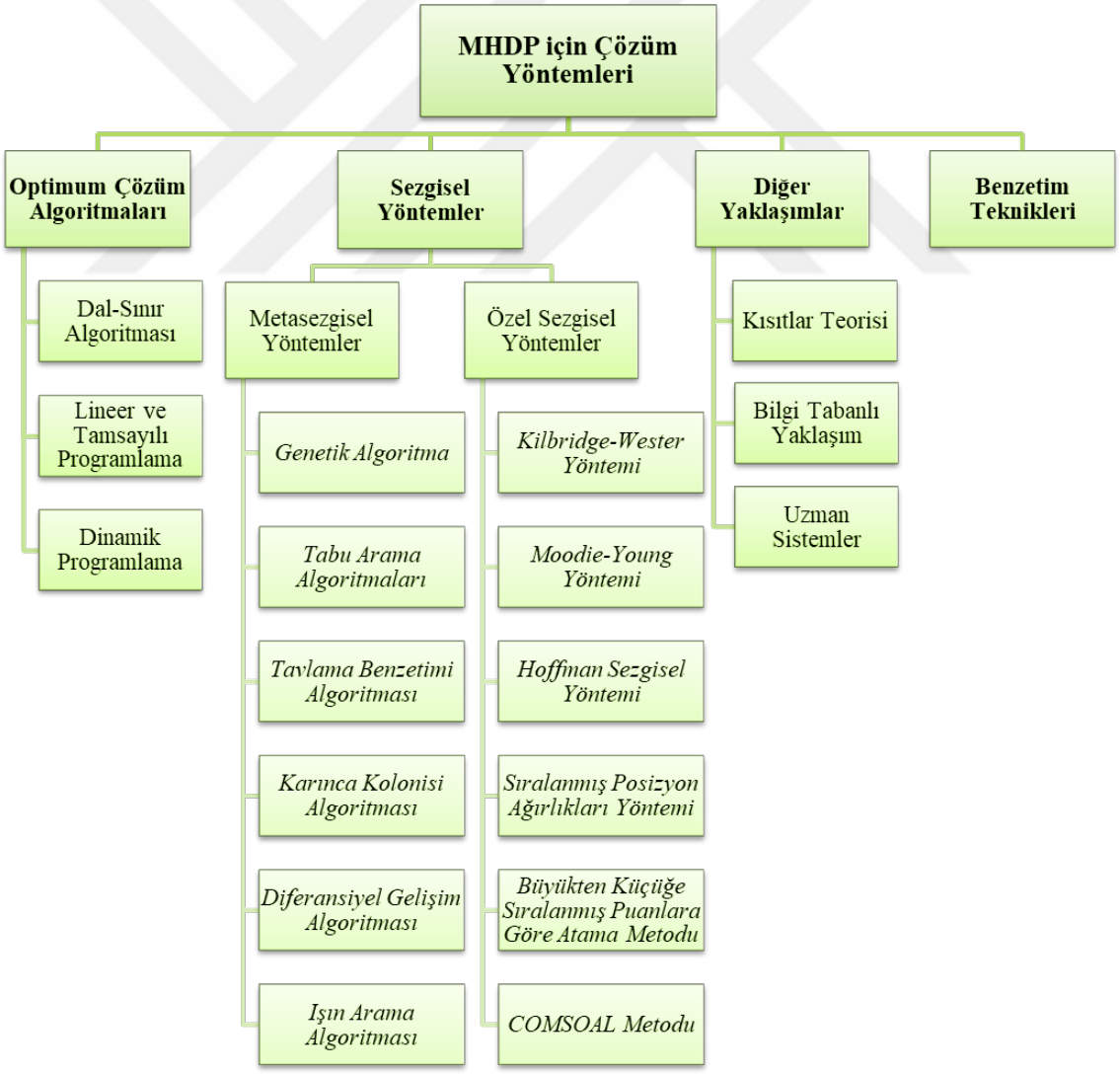
Görev sürelerinin durumuna göre

- Deterministik MHD: Görev sürelerinin belli olduğu montaj hatlarıdır.

- Stokastik MHD: Görev sürelerinin net olarak bilinmediği fakat ortalaması/standart sapması bilinen dağılıma ait olduğu bilinen montaj hatlarıdır.

Hibrit hatlar: Yukarıda anlatılan montaj hatlarının aynı anda birkaçını barındırmasından ortaya çıkan montaj hatlarıdır. Örneğin: Paralel iki hattın aynı zamanda çift taraflı hat olması veya çift taraflı bir hattın aynı zamanda karışık modelli montaj hattı olması.

Anlatılan montaj hatları optimal çözüm yöntemleri ya da sezgisel algoritmalarla çözülmeye çalışılmıştır. Daha sonra doğadan esinlenen meta sezgisel algoritmalar ortaya çıkmıştır ve ilgi oraya kaymıştır. Bunların dışında benzetim teknikleri ya da yapay zekâ biliminin alt dalı olan uzman sistemlerle MHDP çözmek de tercihler arasındadır. (Grzechca, 2011)'nın yaptığı MHDP çözüm yöntemleri sınıflandırması aşağıdaki gibi genişletilebilir.



Şekil 3.13: Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Çözüm Yöntemleri **(Grzechca, 2011)**.

MHDP için çözüm yöntemleri her geçen gün birçok model iç içe kullanılıp hibrit modeller denendiği için genişlemektedir. Farklı yazarlar farklı sınıflandırmalar da yapmaktadır. Bu sınıflandırmanın amacı genel anlamda en çok kullanılan ve yazarlar tarafından en çok bahsedilen çözüm yöntemleri olmasıdır.

3.3.1.1. Helgeson-Birnie Yöntemi

Montaj hattı dengeleme yöntemlerinden biri olan sezgisel Helgeson-Birnie yöntemi çoğunlukla "Sıralanmış Pozisyon Ağırlık Yöntemi" olarak bilinir. Bu yöntem, her bir görev için sıralanmış bir pozisyon ağırlığı hesaplar ve bu ağırlığa göre istasyonlara atamaları yapar.

A_i: Öncelik diyagramında i görevinden sonra gelen görevlerin kümesi olmak üzere;

Bir görevin pozisyon ağırlığı, görevin kendi süresi ile kendisinden sonra gelen görevlerin sürelerinin toplanması ile bulunur.

$$PA_i = t_i + \sum_{j \in A_i} t_i \tag{3.1}$$

Adım 1. Tüm görevlere ait pozisyon ağırlıkları hesaplanır.

Adım 2. Görevler en büyük pozisyon ağırlığına sahip olan görevden başlanarak sıralanır.

Adım 3. Sıralanmış görevler öncelik kısıtları ve çevrim zamanını aşmamak şartı ile istasyonlara sırasıyla atanır.

Adım 4. Eğer herhangi bir istasyona görev atandıktan sonra istasyonda boş zaman kalıyorsa, bir sonraki sıralanmış görev çevrim zamanı aşılmamak kaydıyla istasyona atanır. Çevrim zamanı aşılıyorsa o görev atlanarak bir sonraki görev denenir.

Adım 5. Tüm görevler atanana kadar Adım 3-4 yinelenir.

3.3.1.2. En Fazla İzleyen Görev Yöntemi

En fazla izleyen görev yöntemi sezgisel bir yöntemdir. Bu sezgiselde, öncelik diyagramındaki ilişkiler ihmal edilmeyecek şekilde görevler iş istasyonlarına atanır. Görevler atanırken amaç; izleyen görev sayısı en fazla olandan en az olana doğru atama yapmaktır.

3.3.1.3. Rassal Aramaya Dayalı Bilgisayar Tabanlı Yöntem (COMSOAL)

Geleneksel COMSOAL Arcus (1966) tarafından geliştirilen, rassal aramaya dayalı bilgisayar tabanlı bir metottur. Açılımı Computerized Method for Sequencing of Operations for Assembly Lines; montaj hatları için bilgisayarlı operasyon sıralamadır. Metot çok sayıda uygun sıraların hızlı bir şekilde denenmesine imkân sağlayan basit bir kayıt saklama sistemi olarak kullanılmaktadır.

Adım 1. Öncelik ilişkileri diyagramı oluşturulduktan sonra, bir sütununda tüm görevler, diğer sütununda bu görevlerin hemen önünde yer alan elemanların sayısından oluşan iki sütunlu A listesi oluşturulur.

Adım 2. Kendisinden hemen önce gelen görevleri olmayan elemanları gösteren B listesi hazırlanır. Başka bir ifadeyle B listesi, A listesinin ikinci sütununda, karşısında 0 olan elemanları gösteren bir listedir.

Adım 3. B listesindeki görevlerden zamanları istasyon boş zamanından küçük veya eşit olanlar C listesine eklenir. Eğer C listesi boş ise yeni bir istasyon açılır ve C listesi oluşturulur.

Adım 4. C listesinden rastgele bir görev seçilir. Bu rastgele seçim farklı dengelerin oluşmasını sağlar.

Adım 5. Seçilen görev öncelik diyagramından çıkarılır ve listelerdeki pozisyonlar yeniden düzenlenir. Eğer tüm görevler istasyonlara atanmışsa dengeleme tamamlanmıştır. Eğer atanmamış görev varsa Adım 1'e dönülür.

Yukarıdaki adımlar kullanıcının arzu ettiği kadar tekrar edilir. Her seferinde bulunan çözüm bir önceki ile karşılaştırılır. Eğer sonuçta iyileşme varsa en iyi çözüm güncellenir.

3.4. YALIN ÜRETİMİ DESTEKLEYİCİ SİSTEMLER

- **Konveyör Sistemi**

Yalın bir montaj hattı düşünüldüğünde temel mantık ve gereklilik akan bir bant sisteminin olmasıdır. Montaj hattına akış vermek için konveyörler geliştirilmiştir ve montaj hatlarına entegre edilmiştir.

Konveyör paçanın/ürünün kısa mesafeden orta mesafeye kadar diğer taşıma araçlarına göre daha verimli bir şekilde taşınmasını sağlayan sistemlerdir. Bağlı olduğu motordaki elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek taşıma sağlanır. (Zhang ve Xia, 2010)

Montaj hattına entegre edilen bir konveyörün verimliliği değerlendirilebilir olmalıdır. Konveyör verimliliğinin dört unsuru vardır: performans verimliliği, operasyon verimliliği, ekipman verimliliği ve teknoloji verimliliği. (Zhang ve Xia, 2010)

- **Andon**

Yalın üretimdeki temel fikir organizasyondaki çok çeşitli faaliyetler yürüten her bir üyenin hakkında bilgi sahibi olmak ve kontrol edebilmektir. Bu sebeple akan montaj hatları ortaya çıktıktan sonra hatta teknolojik aletler entegre edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra teknoloji ve yazılım da birleşerek endüstri 4.0 için zemin hazırlanmaya başlanmıştır.

Andon; Japonca bir kelime olup, lambadan gelmektedir. Üretim hatlarında bir problem yaşandığında bu problemi hem görsel hem de işitsel olarak haber veren uyarı lambaları, sirenler, renkli ışıklar gibi ikaz sistemleridir. (Lean Enterprise Corporation, 2008) Ayrıca bu andon yazılımı bir ekrana da entegre edilerek arka planda istatistikler de yaptırılabilmektedir. Bu istatistikler sayesinde ekranda anlık olarak üretim adeti, günlük üretim hedefi ve bu hedefin gerçekleşme oranı, duruş sebepleri ile birlikte duruş oranları takip edilebilir.

- **Manipülatör/Ergokol**

Manipülatörler mekanik kollara sahip pnömatikle (hava) çalışan robot kol, pergel vinç, taşıma sistemi olarak da adlandırılan mekanik sistemlerdir. Amaç: Özellikle kişinin ergonomik olarak kaldıramayacağı bir yükü bir noktadan başka bir noktaya taşımaktır. Bu sebeple üretim hatlarında manipülatör kullanımı iş ve işçi sağlığı açısından son derece yaygındır. Bu sayede ağır yük taşımaya bağlı meslek hastalıklarının önüne geçilebilir. İş ve işçi sağlığının yanı sıra zaman ve kişi tasarrufu da sağlandığı için üretim hatlarında verimliliği arttırır.

Manipülatörler taban ayakları ile birlikte yere sabitlenebilirken, tavana asılarak veya bir ray üzerinde hareket ettirilerek de çalıştırılabilir. Burada önemli olan şey manipülatörlerin üretim hatlarına sürece özel bir şekilde entegrasyonudur. Entegrasyon aşamasında amaç yalnızca manipülatörü sürece yerleştirmek değil, sürece özel bir aparat tasarlanarak özelleştirilmesidir.

- **Karakuri**

Karakuri; Japon kültüründe basit bir mekanizmayla hareket edebilen bir çeşit oyuncak bebektir. Üretimdeki kaizen uygulamalarında ise basitleştirilmiş mühendislik uygulamalarına atıfta bulunur. Takım liderleri ve operatörler üretim esnasında bir ürünü/parçayı yerçekimine karşı kaldırmakta/taşımakta/hareket ettirmekte zorlanırlar. Buna karşın basınçlı hava sistemleri, hidrolik sistemler ve robot sistemleri pahalı olduğundan tercih edilmek istenmez. Buradan hareketle çok az yatırım gerektiren, yerçekimini kullanan karakuri sistemleri ortaya çıkmıştır. (Savas, 2018)

Karakuri yerçekimini kullanarak enerji ihtiyacı olmaksızın malzemenin hareketini sağlayan mekanizmalardır. Mekanizma hareket ihtiyacını malzemenin kendi ağırlığından sağlar. Örneğin; tekerlekli eğimli bir raya konulan kutu/malzeme yerçekiminin etkisiyle hareket eder. Bunun için ekstra bir enerjiye ihtiyaç duyulmaz.

Toyota'da karakuri koçları takım liderlerini bu konuyla alakalı bir yıl eğitime alırlar. Sonraki bir yıl ise operatörlere bu bilgileri nasıl aktaracaklarını/öğreteceklerini gösterirler. Buradan da anlaşılabilir ki Toyota'nın çalışma mantığı beyin fırtınası üzerine kuruludur. Çalışanlarını karşılaşacakları problemlerle ilgili eğitir ve kendilerinin çözüm bulmasını sağlar. Toyota'nın zorluklara karşı yaklaşımı daha zeki insanlar ya da makineler bulmak değildir. Karakuriden de anlaşılacağı üzere basitleştirilmiş mühendislik çözümleri ile daha fazla kaizen yapılmasını sağlamak ve bununla alakalı ekibini geliştirmektir. (Savas, 2018)

- **Towtruck**

Towtruck İngilizce bir kelime olup çekici anlamına gelmektedir. Toyota lojistiği kolaylaştırmak için tasarladığı bu motorlu araçları çekici traktör (tow tractor) olarak pazarlamıştır. Üretimde süreç siparişlerini toplama ve yatay malzeme aktarımı için tasarlanmış olup ayakta veya koltuklu sürüş olmak üzere süreçlere özel olarak çok amaçlı tasarlanmaktadır.

Ayakta çekici traktörler daha kısa mesafeler için tasarlanmış olup, inmesi binmesi çok kolaydır. Bu da sürücünün kısa mesafede hareket etme özgürlüğünü arttırır. Koltuklu olan çekici traktörler ise uzun ve yoğun mesafeler için tasarlanmıştır. Özellikle ağır yüklerin uzun mesafede taşınması için idealdir ve sürücüye ergonomik konfor sağlar.

3.5. GERÇEK HAYAT UYGULAMASI

Uygulama, makine üretimi yapan bir fabrikada yapılmıştır. Fabrika mevcut durumda, atölye mantığıyla kitle üretimi yapmaktadır. 1 usta 2 çırak toplamda 3'er kişilik ekiplerle, kendi aralarında paylaştıkları makine tiplerini üretmektedirler. Operatörler, 10 makineyi yere dizip her bir montaj aşamasını bütün makinelerde bitirdikten sonra diğer montaj aşamasına geçmek suretiyle makineleri üretmektedirler. Böylece her 10 makineye aynı anda başlayıp anda bitirmektedirler. Bu durumun fabrikaya yansıması ise müşteri taleplerine hemen cevap verememekle birlikte iş yoğunluklarına göre 1-2 hafta arasında müşterileri bekletmeleridir.

Fabrika içi lojistik sistemleri incelendiğinde; kanban sistemine set sevkiyat kanbanı ile kabaca girildiği görülmektedir. Ancak mevcut durumda setler 10'lu / 20'li olarak getirildiği için kanbanın uygulanma biçiminde de yanlışlar vardır. Ayrıca çift kutu kanban ve tedarikçi kanbanına ise henüz hiç girilmediği anlaşılmıştır.

Fabrika 73 tip makine üretmektedir ve makineleri küçük, orta, büyük, teknolojik olmak üzere dört temel segmente ayırmıştır. Mevcut durumda bu sınıflandırma yapılırken kabaca alınan montaj sürelerine ve makinelerin fiziksel büyüklüklerine dikkat edilmiştir. Fakat, Tablo 3.3'de görüldüğü gibi, makine süreleri ve fiziksel büyüklükleri tekrar incelendiğinde bazı makinelerin artık büyük segment olarak değerlendirilmesine karar verilmiştir.

Mevcut durumda fabrikada standart iş formları, montaj talimatları veya detay zaman etütleri olmadığı için eldeki verilerle hat dengelemesi yapılamayacağı anlaşılmıştır. Tablo 3.4'de orta segmentte 32 tip makine olduğu görülmektedir. Her bir makinenin ayrı ayrı zaman etütlerinin yapılması çok fazla zaman alacağından fabrika yönetimi ile orta segmentin de kendi içinde sınıflandırılmasına karar verilmiştir. Bu sınıflandırma yapılırken aylık üretim hedeflerine ve makinelerin kendi aralarındaki benzerliğine dikkat edilmiştir. Aylık üretim hedefi sıfır olan 12 tip makine 'kırmızı' işaretlenerek ilk aşamada kapsam dışı bırakılmıştır. Kapsam dışı bırakılan makineler haricinde kalan 20 tip makine ise yönetim ile birlikte dört ana gruba ayrılmıştır. Dört ana gruptan her grubu temsil edecek birer pilot makine seçilerek zaman etüdü yapılacak makinelere karar verilmiştir.

Zaman etütleri yapılan makinelerin sürelerine bakıldığında önceden kabaca alınan montaj süreleri ile aralarında ortalama %50 fark olduğu görülmektedir. Bu kaizen bakış açısıyla yapılan zaman etüdü çalışmasının gerekliliğini bir kez daha kanıtlanmıştır. Ayrıca zaman etütleri

yapılırken, bulgular kısmında detayları verileceği üzere, makinelerin standart iş adımları da çıkarılmış olup makineler arasındaki ortak işler de irdelenmiştir.

Tablo 3.3: Uygulama Fabrikasında Segment Düzenlemesi.

STK KODU	MEVCUT SEGMENT	ÖNGÖRÜLEN SEGMENT	(Kabaca) MONTAJ SÜRE (DK)
Makine Tip 14	ORTA	ORTA	130
Makine Tip 15	ORTA	ORTA	130
Makine Tip 16	ORTA	BÜYÜK	510
Makine Tip 17	ORTA	ORTA	45
Makine Tip 18	ORTA	ORTA	60
Makine Tip 19	ORTA	ORTA	75
Makine Tip 20	ORTA	ORTA	80
Makine Tip 21	ORTA	ORTA	45
Makine Tip 22	ORTA	ORTA	75
Makine Tip 23	ORTA	ORTA	60
Makine Tip 24	ORTA	ORTA	80
Makine Tip 25	ORTA	ORTA	220
Makine Tip 26	ORTA	ORTA	220
Makine Tip 27	ORTA	ORTA	220
Makine Tip 28	ORTA	ORTA	220
Makine Tip 29	ORTA	ORTA	220
Makine Tip 30	ORTA	BÜYÜK	3500
Makine Tip 31	ORTA	BÜYÜK	420
Makine Tip 32	ORTA	ORTA	360
Makine Tip 33	ORTA	BÜYÜK	1170
Makine Tip 34	ORTA	ORTA	260
Makine Tip 35	ORTA	ORTA	240
Makine Tip 36	ORTA	ORTA	200
Makine Tip 37	ORTA	ORTA	200
Makine Tip 38	ORTA	ORTA	220
Makine Tip 39	ORTA	ORTA	220
Makine Tip 40	ORTA	ORTA	120
Makine Tip 41	ORTA	ORTA	90
Makine Tip 42	ORTA	ORTA	135
Makine Tip 43	ORTA	ORTA	150
Makine Tip 44	ORTA	ORTA	120
Makine Tip 45	ORTA	BÜYÜK	925
Makine Tip 46	ORTA	BÜYÜK	1620
Makine Tip 47	ORTA	ORTA	460
Makine Tip 48	ORTA	ORTA	400
Makine Tip 49	ORTA	BÜYÜK	780
Makine Tip 50	ORTA	ORTA	155
Makine Tip 51	ORTA	BÜYÜK	1080
Makine Tip 52	ORTA	BÜYÜK	540
Makine Tip 53	ORTA	ORTA	120
Makine Tip 54	ORTA	ORTA	95

Tablo 3.4: Zaman Etüdü Yapılacak Orta Segment Makineler.

NO	MAKİNE NO	SEGMENT	AYLIK ÜRETİM HEDEFİ	MONTAJ SÜRE kabaca tutulan (DK)	MONTAJ SÜRE zaman etüdü yapılan (DK)
1	Makine Tip 50	ORTA	80	155	-
2	Makine Tip 34	ORTA	200	260	**100,7**
3	Makine Tip 36	ORTA	40	200	-
4	Makine Tip 35	ORTA	40	240	-
5	Makine Tip 54	ORTA	240	95	**48,9**
6	Makine Tip 14	ORTA	80	130	-
7	Makine Tip 43	ORTA	80	150	-
8	Makine Tip 42	ORTA	40	135	-
9	Makine Tip 24	ORTA	100	80	-
10	Makine Tip 21	ORTA	80	45	-
11	Makine Tip 19	ORTA	80	75	-
12	Makine Tip 23	ORTA	80	60	-
13	Makine Tip 18	ORTA	80	60	-
14	Makine Tip 22	ORTA	80	75	-
15	Makine Tip 41	ORTA	80	90	-
16	Makine Tip 53	ORTA	100	120	**71,4**
17	Makine Tip 17	ORTA	50	45	-
18	Makine Tip 20	ORTA	40	80	-
19	Makine Tip 28	ORTA	200	220	**56,7**
20	Makine Tip 29	ORTA	40	220	-
21	Makine Tip 32	ORTA	20	360	-
22	Makine Tip 38	ORTA	20	220	-
23	Makine Tip 25	ORTA	12	220	-
24	Makine Tip 39	ORTA	10	220	-
25	Makine Tip 44	ORTA	6	120	-
26	Makine Tip 15	ORTA	0	130	-
27	Makine Tip 37	ORTA	0	200	-
28	Makine Tip 26	ORTA	0	220	-
29	Makine Tip 27	ORTA	0	220	-
30	Makine Tip 40	ORTA	0	120	-
31	Makine Tip 47	ORTA	0	460	-
32	Makine Tip 48	ORTA	0	400	-

Zaman etütleri yapılan makinelerin öncelik ilişkileri diyagramları çıkarıldıktan sonra hangi MHDP sınıfına dahil edileceği araştırılmıştır. MHDP sınıfının;

- Amaç fonksiyonuna göre çevrim zamanı belli olup istasyon sayısı makine göre değişeceğinden MHDP Tip-1,
- Problem yapısına göre MHDP Tip-1 olduğu için Basit MHDP,

- Hat düzenine göre, loop konveyör olmasına rağmen, hat tek taraflı çalışmaya müsaade ettiğinden düz montaj hattı,
- Ürün çeşidine göre, aslında karışık modelli MHDP olmasına rağmen, her bir makine kendine has süreçlere sahip olduğu ve çoklu üretme ihtimalleri olduğu için çok modelli MHDP,
- Görev sürelerinin durumuna göre, görev süreleri dinamik olmasına rağmen, öğrenme eğrileri kapsam dışı bırakıldığından deterministik olduğu belirlenmiştir.

Belirlenen MHDP sınıfı göz önünde bulundurularak MHDP Helgeson-Bernie yöntemi, en fazla izleyen görev sayısı yöntemi ve COMSOAL yöntemi olmak üzere üç farklı yöntemle çözülüp en iyi ve hatta uyarlanabilir olanı pilot makineler için seçilmiştir.

Dengelenen montaj hattında artık istasyon özelinde yapılacak görevler belli olduğundan belirlenen takt zamanına göre fabrika içi lojistiğin hat ile arasındaki bağı kurma aşamasına geçilmiştir. Fabrika içi kanban kurulumu için pilot makinelerin ürün ağaçları incelenip her bir parçanın lojistik akışına karar verilmiştir. Başlangıç aşaması için cıvata, somun gibi küçük ve ucuz malzemelerin çift kutu kanban ile, bir kişinin rahatlıkla kaldırabileceği ve makineye özel olan malzemelerin set kanbanı ile, alt montajlı veya bir kişinin kaldıramayacağı fiziksel büyüklükteki/ağırlıktaki malzemelerin ise makaralı silindir sistemleri (shooter / roller) kullanılarak getirilmesi öngörülmüştür.

Fabrikada, operatörler gün içerisinde defalarca ağır yük, özellikle 10 kilogram üstü, kaldırmaya maruz kaldıkları için yoğun olarak bel ve boyun fıtığı rahatsızlıkları görülmektedir. Buna çözüm olarak tasarlanan ve kurulan montaj hattına manipülatör, ergokol, karakuri sistemleri gibi yalın üretimi destekleyici sistemler entegre edilmiştir.

4. BULGULAR

Tez çalışmasının bu bölümünde uygulama yapılan fabrikada ilk kez kurulan montaj hattının dengelenmesi, dengelenen montaj hattının yalın üretimi destekleyen sistemlerle entegrasyonu ve fabrika içi lojistiğin hatla bağının kurulması amaçlanmıştır.

4.1. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Mevcut durumda makinelerle ilgili yalnızca kabaca tutulan montaj süreleri olduğundan belirlenen pilot makineler için zaman etüdü yapılmasına karar verilmiştir. Saniye bazında tutulan montaj süreleri daha sonra dakikaya çevrilerek dengeleme yapılmıştır.

Operatörler, mevcut durumda önce hazırlık işlerini bitirip daha sonra montaj aşamasına geçmektedirler. Montaj yaparken de belirledikleri süreci dizdikleri tüm makinelerde bitirdikten sonra diğer sürece geçmektedirler. Bu sebeple zaman etüdüyle elde edilen montaj operasyonları sırası, 1. adımda hazırlık operasyonları ana işin hemen önüne koyularak bir iş akışı oluşturulmuştur. Bu şekilde bile makine başına 40'a yakın farklı operasyon çıktığından 2. adımda iş birleştirmeye gidilmiştir. İş birleştirme aşaması makine montaj görev sürecini sadeleştirmiştir ve Öncelik İlişkileri Diyagramlarının (ÖİD) oluşturulmasını kolaylaştırmıştır.

Basitleştirilen montaj sürecinde her pilot makine için ortak dili konuşmak adına; ortak görevler analiz edilmiş ve birleştirilmiş görev numaraları kullanılarak öncelik ilişki diyagramları oluşturulmuştur.

Pilot Makine Tipleri için Zaman Etüdü Analizi

İlk aşamada belirlenen Makine tip 53, Makine tip 54, Makine tip 34 ve Makine tip 28'in video çekimleri yapılmıştır. Videolardan zaman etüdü analizleri yapılarak makine bazında her bir görev için ortalama süre saniye ve dakikalar elde edilmiştir.

Analizlerden de anlaşılacağı üzere her makine için öncelikle hazırlıklar yapılmış daha sonra ana montaj sürecine geçilmiştir.

Tablo 4.1: Makine Tip 53 Zaman Etüdü Analizi.

Makine Tip 53		
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (sn)***	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
H1	34	0,6
H2	125	2,1
H3	244	4,1
H4	28	0,5
H5	72	1,2
H6	61	1,0
H7	151	2,5
H8	24	0,4
H9	20	0,3
H10	155	2,6
H11	92	1,5
H12	106	1,8
H13	80	1,3
1	60	1,0
2	58	1,0
3	74	1,2
4	115	1,9
5	143	2,4
6	92	1,5
7	164	2,7
8	43	0,7
9	34	0,6
10	20	0,3
11	80	1,3
12	87	1,5
13	42	0,7
14	58	1,0
15	84	1,4
16	25	0,4
17	50	0,8
18	46	0,8
19	77	1,3
20	73	1,2
21	96	1,6
22	182	3,0
23	12	0,2
24	16	0,3
25	18	0,3
26	32	0,5
27	182	3,0
28	278	4,6
30	22	0,4
29	32	0,5
31	145	2,4
32	26	0,4
33	120	2,0
34	122	2,0
35	154	2,6
36	58	1,0

Tablo 4.2: Makine Tip 54 Zaman Etüdü Analizi.

Makine Tip 54		
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (sn)***	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
H1	62	1,0
H2	53	0,9
H3	60	1,0
H4	56	0,9
H5	57	1,0
H6	18	0,3
H7	156	2,6
H8	52	0,9
H9	150	2,5
H10	182	3,0
1	60	1,0
2	117	2,0
3	72	1,2
4	32	0,5
5	17	0,3
6	22	0,4
7	30	0,5
8	70	1,2
9	32	0,5
10	46	0,8
11	23	0,4
12	71	1,2
13	50	0,8
14	24	0,4
15	150	2,5
16	154	2,6
17	54	0,9
18	79	1,3
19	40	0,7
20	86	1,4
21	74	1,2
22	114	1,9
23	58	1,0
24	127	2,1
25	52	0,9
26	26	0,4
27	50	0,8
28	80	1,3
29	30	0,5
30	150	2,5
31	64	1,1
32	34	0,6

Tablo 4.3: Makine Tip 34 Zaman Etüdü Analizi.

Makine Tip 34		
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (sn)***	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
H1	330	5,5
H2	87	1,5
H3	136	2,3
H4	263	4,4
H5	405	6,8
H6	280	4,7
H7	315	5,3
H8	180	3,0
1	60	1,0
2	60	1,0
3	316	5,3
4	164	2,7
5	64	1,1
6	210	3,5
7	268	4,5
8	235	3,9
9	152	2,5
10	130	2,2
11	32	0,5
12	294	4,9
13	134	2,2
14	190	3,2
15	30	0,5
16	70	1,2
17	74	1,2
18	211	3,5
19	160	2,7
20	26	0,4
21	90	1,5
22	194	3,2
23	223	3,7
24	56	0,9
25	142	2,4
26	118	2,0
27	148	2,5
28	158	2,6

Tablo 4.4: Makine Tip 28 Zaman Etüdü Analizi.

Makine Tip 28		
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (sn)***	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
H1	400	6,7
H2	270	4,5
H3	232	3,9
H4	28	0,5
H5	52	0,9
H6	64	1,1
H7	317	5,3
H8	265	4,4
1	60	1,0
2	80	1,3
3	60	1,0
4	80	1,3
5	30	0,5
6	81	1,4
7	70	1,2
8	160	2,7
9	60	1,0
10	54	0,9
11	234	3,9
12	192	3,2
13	79	1,3
14	38	0,6
15	72	1,2
16	47	0,8
17	82	1,4
18	58	1,0
19	62	1,0
20	100	1,7

Pilot Makine Tipleri için 1.Adım – Hazırlıkları Akışa Dahil Etme

Pilot makinelerin zaman etüdü analizleri yapıldıktan sonra her bir makinenin önce hazırlık daha sonra montaj süreci olacak şekilde bir akış çıkmıştır. Hat akışı mantığına uygun olmadığı için hazırlık süreçleri montajından hemen önceki satıra yerleştirilerek hayali bir akış verilmiştir. Hazırlıklar akışa dahil edildikten sonra, 2. Adıma geçilmeden önce, makinelerin toplam işçilik sürelerine bakılarak hangi hazırlıkların hat dışına verileceğine de karar verilmiştir. Bu kararı motor ve elektrik panosu işlemlerinin mevcut durumda zaten başka hatlarda yapılması desteklemiştir.

Tablo 4.5: Makine Tip 53 için Hazırlıkların Akışa Dahil Edilmesi.

1. ADIM-Hazırlıkları akışa dahil etme	
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
1	1,0
2	1,0
3	1,2
4	1,9
H2	2,1
5	2,4
6	1,5
7	2,7
H8	0,4
8	0,7
9	0,6
10	0,3
H5	1,2
11	1,3
12	1,5
13	0,7
14	1,0
15	1,4
H9	0,3
16	0,4
17	0,8
H12	1,8
H13	1,3
18	0,8
19	1,3
H6	1,0
H7	2,5
20	1,2
21	1,6
H4	0,5
22	3,0
23	0,2
H1	0,6
H3	4,1
24	0,3
25	0,3
H11	1,5
26	0,5
27	3,0
28	4,6
30	0,4
29	0,5
H10	2,6
31	2,4
32	0,4
33	2,0
34	2,0
35	2,6
36	1,0

Tablo 4.6: Makine Tip 54 için Hazırlıkların Akışa Dahil Edilmesi.

1. ADIM-Hazırlıkları akışa dahil etme	
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
1	1,0
2	2,0
3	1,2
H8	0,3
4	0,5
H	2,6
5	0,3
6	0,4
H5	0,9
7	0,5
8	1,2
9	0,5
10	0,8
11	0,4
12	1,2
H9	2,5
13	0,8
14	0,4
15	2,5
16	2,6
H5	1,0
17	0,9
18	1,3
19	0,7
H2	0,9
20	1,4
21	1,2
H3	1,0
H1	1,0
H10	3,0
22	1,9
23	1,0
24	2,1
25	0,9
26	0,4
H2	0,9
27	0,8
28	1,3
29	0,5
30	2,5
31	1,1
32	0,6

Tablo 4.7: Makine Tip 34 için Hazırlıkların Akışa Dahil Edilmesi.

1. ADIM-Hazırlıkları akışa dahil etme	
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
1	1,0
H1	5,5
H2	1,5
H3	2,3
2	1,0
3	5,3
4	2,7
5	1,1
H4	4,4
6	3,5
H5	6,8
7	4,5
8	3,9
H6	4,7
H7	5,3
9	2,5
H8	3,0
10	2,2
11	0,5
12	4,9
13	2,2
14	3,2
15	0,5
16	1,2
17	1,2
18	3,5
19	2,7
20	0,4
21	1,5
22	3,2
23	3,7
24	0,9
25	2,4
26	2,0
27	2,5
28	2,6

Tablo 4.8: Makine Tip 28 için Hazırlıkların Akışa Dahil Edilmesi.

1. ADIM-Hazırlıkları akışa dahil etme	
Görev No	*Ölçümler Ortalama Süre (dak)*
1	1,0
2	1,3
H5	0,9
3	1,0
4	1,3
5	0,5
6	1,4
7	1,2
H2	4,5
8	2,7
9	1,0
H7	5,3
H12	6,7
H8	4,4
H4	0,5
10	0,9
11	3,9
12	3,2
13	1,3
H6	1,1
14	0,6
15	1,2
16	0,8
H7	3,9
17	1,4
18	1,0
19	1,0
20	1,7

Pilot Makine Tipleri için 2.Adım – İş Birleştirme

Montaj süreci hazırlıklar dahil edilerek bir akışa haline getirilmesine rağmen, ÖİD için, hala çok kompleks olduğu için bazı işlerin birleştirilmesine gidilmiştir. Bu işler birleştirilirken, aslında alt montaj olmayıp hat kenarı alt hazırlıklar olan işler montaj görevleriyle birleştirilerek daha yalın hale getirilmiştir.

Tablo 4.9: Makine Tip 53 için Birleştirilmiş Görev Zamanları.

2. ADIM-İş birleştirme	
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
1	1,0
2	1,0
3	1,2
4	4,5
5	1,5
6	3,9
7	1,1
8	0,6
9	2,5
11	5,0
14	1,4
15	3,9
16	2,1
17	4,8
18	4,1
19	5,2
20	5,1
21	12,1
22	5,0
23	2,6

Tablo 4.10: Makine Tip 54 için Birleştirilmiş Görev Zamanları.

2. ADIM-İş birleştirme	
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
1	1,0
2	1,6
3	0,8
4	2,9
5	1,4
6	4,3
7	1,6
8	2,5
9	5,1
10	5,1
11	4,2
12	5,0
13	1,3
14	1,7
15	2,4
16	1,1
17	3,9
18	3,1

Tablo 4.11: Makine Tip 34 için Birleştirilmiş Görev Zamanları.

2. ADIM-İş birleştirme	
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
1	1,0
2	5,5
3	4,7
4	5,3
5	3,8
6	3,9
7	3,5
8	4,5
9	2,5
10	5,2
11	0,5
12	4,9
13	14,9
14	13,8
15	2,5
16	2,6

Tablo 4.12: Makine Tip 28 için Birleştirilmiş Görev Zamanları.

2. ADIM-İş birleştirme	
Görev No	***Ölçümler Ortalama Süre (dak)***
1	1,0
2	1,9
3	1,3
4	8,1
5	5,3
6	9,7
7	1,0
8	1,2
9	5,0
10	5,2
11	3,2
12	3,2
13	1,0
14	1,7

Görev Numaralarının Ortaklaştırılması

ÖİD oluşturulabilmesi için ortak görevleri analizi gerekmektedir. Süreleri farklı olmasına rağmen makinelerde ortak işler bulunmaktadır. Ortak işlerin analiz edilmesinin amacı; ÖİD oluşturulurken Görev numaralandırmasında ortak bir dil ihtiyacıdır. Böylece makinelerin ÖİD'ları karşılaştırılırken ortak işler kolayca görülebilir ve süreleri karşılaştırılabilir.

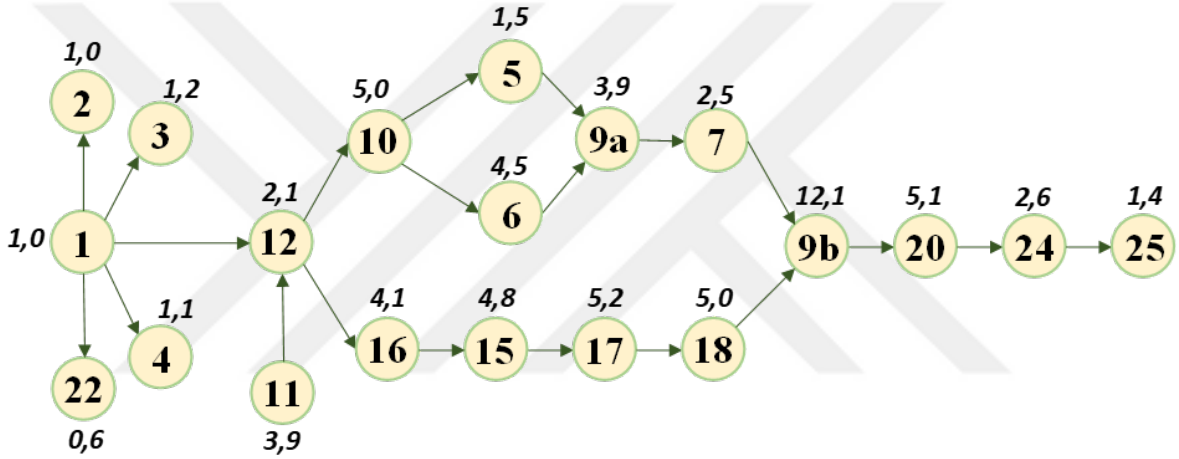
Tablo 4.13: Ortak Görevlerin Analizi ve Numaralandırmanın Birleştirilmesi

Birleştirilmiş Görev No	*Makine Tip 53*	*Makine Tip 54*	*Makine Tip 34*	*Makine Tip 28*
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✗	✗	✓
3	✓	✓	✗	✓
4	✓	✓	✗	✗
5	✓	✓	✓	✗
6	✓	✓	✗	✗
7	✓	✓	✗	✗
8	✗	✓	✗	✗
9	✓	✓	✗	✗
10	✓	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓	✓
12	✓	✓	✓	✓
13	✗	✗	✓	✗
14	✗	✗	✗	✓
15	✓	✓	✓	✓
16	✓	✓	✓	✓
17	✓	✗	✗	✗
18	✓	✗	✓	✗
19	✗	✗	✓	✗
20	✓	✗	✓	✗
21	✓	✓	✓	✗
22	✓	✓	✗	✓
23	✗	✓	✗	✓
24	✓	✓	✓	✓
25	✓	✓	✓	✓
26	✗	✓	✓	✓

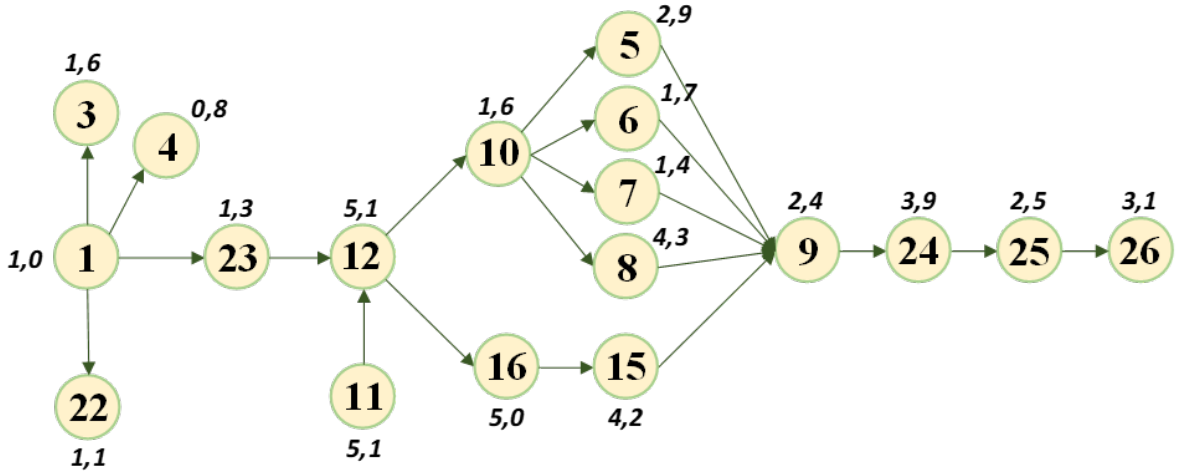
Öncelik İlişkileri Diyagramlarının Oluşturulması

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözülebilmesi için ürüne özel ilişki diyagramlarının çıkarılması gerekmektedir. Ortak görevlerin analizi yapıldıktan ve görevler birleştirildikten sonra ilişki diyagramları için yeterli veri elde edilmiştir.

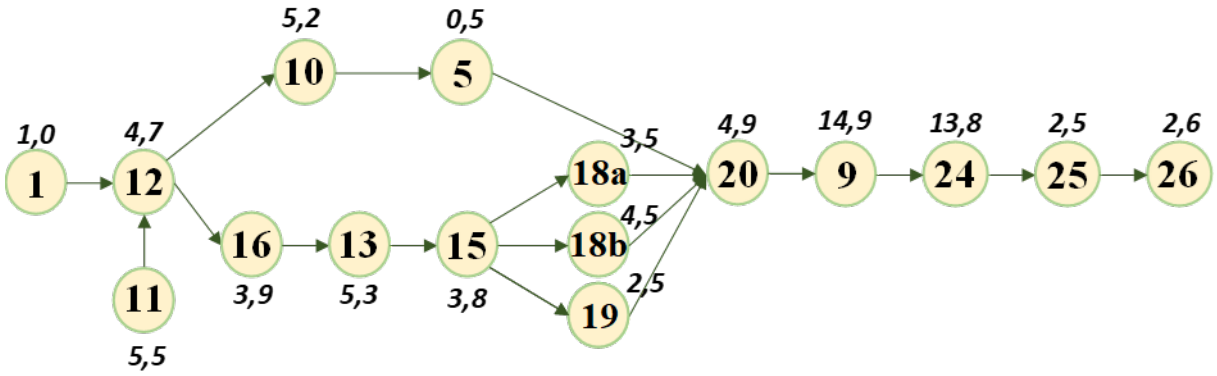
ÖİD'larına bakıldığında bazı işlerin a, b şeklinde parçalandığı görülmektedir. Bu parçalama işlemi aslında görevler birleştirilmeden ve ortak görevler analiz edilmeden önce bir iş adımı olarak zaten olan işlerdir. Diğer makinelerle sürelerinin farklı olmasından dolayı görev numaralandırılması değiştirilmemiş fakat kendi içinde parçalanmıştır.



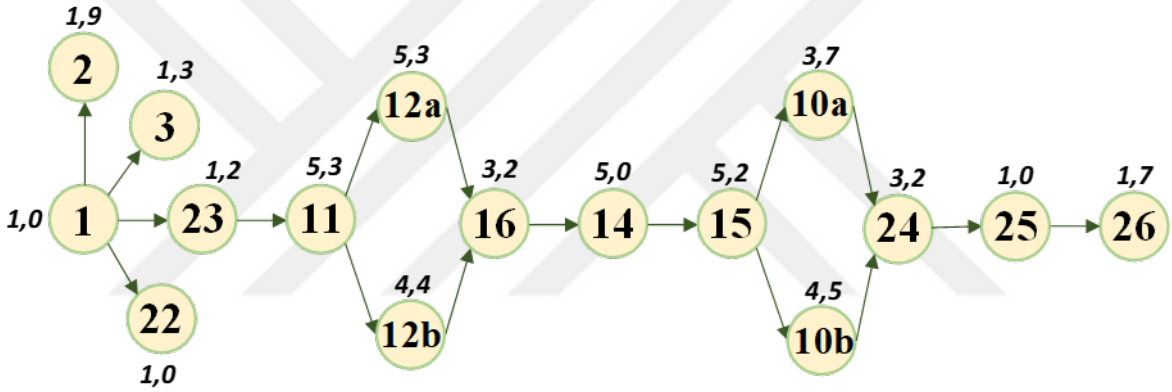
Şekil 4.1: Makine Tip 53 Öncelik İlişkileri Diyagramı.



Şekil 4.2: Makine Tip 54 Öncelik İlişkileri Diyagramı.



Şekil 4.3: Makine Tip 34 Öncelik İlişkileri Diyagramı.



Şekil 4.4: Makine Tip 28 Öncelik İlişkileri Diyagramı.

4.2. MONTAJ HATTI DENGELEME SONUÇLARI

MHDP çözümü için sezgisel ve optimal yöntemler kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasındaki uygulama gerçek hayat uygulaması olduğu için optimal yöntemler uygun olmayacaktır. Sezgisel yöntemler, probleme yansıtılamayacak psikolojik ve kültürel kısıtlara esneklik sağlayacağı için ilk aşamada daha uygundur.

Sezgisel yöntemler incelendiğinde problem MHDP Tip-1 olduğu için Helgeson-Bernie yöntemi, en fazla izleyen görev yöntemi ve COMSOAL olmak üzere üç farklı sezgisel seçilmiştir. Her pilot makine bu üç sezgiselle çözülmüştür ve en iyi çözüm seçilmiştir.

MHDP çözülürken bazı bilgilere ihtiyaç vardır. Bu bilgiler:

- Günlük net çalışma zamanı: Gün içerisindeki çay ve yemek molaları çıkartıldığında çalışılması gereken net süredir. Uygulama yapılan fabrika için 540 dakikadır.

Tablo 4.14: Günlük Net Çalışma Zamanı.

Başlangıç	Bitiş	Süre
07:30	09:30	120 dk
09:30	09:40	10 dk
09:40	12:00	140 dk
12:00	12:40	40 dk
12:40	15:00	140 dk
15:00	15:10	10 dk
15:10	17:30	140 dk
	Net Çalışma:	**540 dk**

- Takt zamanı (TT): Günlük müşteri talebinin üretileceği net birim zamandır.

$$TT = \frac{T}{Q} = \frac{1\ gün}{100\ makine} \text{x} \frac{9\ saat}{1gün} \text{x} \frac{60dak}{1saat} = 5{,}4 \text{ dak} \quad (4.1)$$

- Çevrim zamanı (C): T kadar zamanda Q kadar makinenin üretilmesi anlamına gelir. Uygulama yapılan fabrika için günlük 100 adet makinedir. Bu durumda çevrim zamanı

$$C = \frac{T}{Q} = \frac{1\ gün}{100\ makine} \text{x} \frac{9\ saat}{1gün} \text{x} \frac{60dak}{1saat} = 5{,}4 \text{ dak} \quad (4.2)$$

İdeal durumda takt zamanı ile çevrim zamanı eşittir. Fakat gerçek hayat uygulamasında takt zamanının %85'ini çevrim zamanı olarak almak başarılı sayılabilir. Uygulama yapılan fabrikada ise çevrim zamanı (5,4*0,85=4,6) olarak kabul edilmiştir. Ancak istasyonlar doldurulurken maksimum sınır olarak yine 5,4 dak göz önünde bulundurulmuştur.

- İstasyon sayısı (K): Mevcut montaj hattında toplam 16 istasyon vardır. Fakat MHDP çözülürken k kısıt olarak kullanılmayacaktır. Yalnızca çevrim zamanı ve takt zamanı kısıt olarak değerlendirilip problemin sonucunda 16 istasyonu aşıp aşmadığı değerlendirilecektir.
- $Minimum\ istasyon\ sayısı = K_{min} = \frac{(\sum_{i=1}^{N} t_i)}{C}$ (4.3)

- Denge gecikmesi (*d*): Etkinliğin bir ölçüsü olan denge gecikmesi, toplam boş zamanın ürünün hattın başından sonuna hareketi esnasında harcanan toplam zamana oranıdır. Aslında üretim hattındaki toplam iş miktarının iş istasyonlarına kötü bir şekilde dağıtılması sonucunda, bazı istasyonlardaki operatörlerin boş kalması anlamına gelir. Bu süre, montaj hattının dengesizliğinin de bir ölçüsü olarak kullanılır.

$$d = \frac{(KxC - \sum_{i=1}^{N} t_i)}{KxC} \tag{4.4}$$

- Hattın etkinliği (*e*): 0 ile 1 arasında değer alan ve verimlilik ölçütü olarak kullanılan bir kıstastır.

$$e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} \tag{4.5}$$

- Düzgünlük indeksi: Bir montaj hattının dengesinin göreceli düzgünlüğünü gösteren bir indekstir. İndeksin "0" olması dengenin tam olduğu anlamına gelir.

$$SI = \sqrt{\sum_{k=1}^{K} (S_{max} - S_k)^2} \tag{4.6}$$

4.2.1. Helgeson-Bernie Yöntemi ile MHDP Çözülmesi

Dört pilot makine Helgeson-Bernie yöntemi ile çözülmüştür.

- Makine Tip 53: Tip 53 için minimum istasyon sayısı 12,6 (~13) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 15 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür.

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{68{,}5\ dak}{(15)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}85$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(15x5{,}4dak - 68{,}5dak)}{15\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}15$

Tablo 4.15: Makine Tip 53 Helgeson-Bernie Yöntemi Sonuçları.

Görev No	Sıralanmış PA	$t_{i(\text{dak})}$	İstasyon (k)	S_k	Boş Zaman
1	68,5	1,0	1	4,9	0,6
11	63,6	3,9			
12	59,8	2,1	2	2,1	3,4
16	40,3	4,1	3	4,1	1,3
10	38,6	5,0	4	5,0	0,4
15	36,2	4,8	5	4,8	0,7
6	32,1	4,5	6	4,5	0,9
17	31,4	5,2	7	5,2	0,2
5	29,2	1,5	8	5,4	0,0
9a	27,6	3,9			
18	26,2	5,0	9	5,0	0,4
7	23,7	2,5	10, 11, 12	4,9	0,5
9b	21,2	12,1			
20	9,1	5,1	13	5,1	0,3
24	4,0	2,6	14	4,0	1,4
25	1,4	1,4			
3	1,2	1,2	15	3,9	1,5
4	1,1	1,1			
2	1,0	1,0			
22	0,6	0,6			

- Makine Tip 54: Tip 54 için minimum istasyon sayısı 9,05 (~10) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 13 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür.

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{48{,}9\ dak}{(13)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}70$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(13x5{,}4dak - 48{,}9dak)}{13\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}30$

Tablo 4.16: Makine Tip 54 Helgeson-Bernie Yöntemi Sonuçları.

Görev No	Sıralanmış PA	$t_{i(\text{dak})}$	İstasyon (k)	S_k	Boş Zaman
1	48,9	1,0	1	2,3	3,1
23	44,4	1,3			
11	43,1	5,1	2	5,1	0,3
12	38,1	5,1	3	5,1	0,3
10	23,8	1,6	4	1,6	3,8
16	21,2	5,0	5	5,0	0,4
8	16,2	4,3	6	4,3	1,1
15	16,1	4,2	7	4,2	1,2
5	14,8	2,9	8	4,6	0,8
6	13,6	1,7			
7	13,3	1,4	9	3,9	1,5
9	11,9	2,4			
24	9,5	3,9	10	3,9	1,5
25	5,6	2,5	11	2,5	2,9
26	3,1	3,1	12	4,6	0,8
3	1,6	1,6			
22	1,1	1,1	13	1,9	3,5
4	0,8	0,8			

- Makine Tip 34: Tip 34 için minimum istasyon sayısı 14,6 (~15) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 18 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından büyüktür ve uygulanabilir değildir.

Hattın etkinliği incelendiğinde 18 istasyon olsa bile; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{79{,}0\ dak}{(18)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}81$

Denge gecikmesi incelendiğinde 18 istasyon olsa bile; $d = \frac{(18x5{,}4dak - 79{,}0dak)}{18\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}19$

Tablo 4.17: Makine Tip 34 Helgeson-Bernie Yöntemi Sonuçları.

Sıralanmış PA	$t_{i(\text{dak})}$	İstasyon (k)	S_k	Boş Zaman
79,0	1,0	1	1,0	4,4
78,0	5,5	2	5,5	-0,1
72,5	4,7	3	4,7	0,7
62,1	3,9	4	3,9	1,5
58,2	5,3	5	5,3	0,1
52,9	3,8	6	3,8	1,6
44,3	5,2	7	5,2	0,2
43,1	4,5	8	4,5	0,9
42,1	3,5	9	3,5	1,9
41,2	2,5	10	3,1	2,3
39,2	0,5			
38,6	4,9	11	4,9	0,5
33,7	14,9	12, 13, 14	5,0	0,5
18,9	13,8	15, 16, 17	4,6	0,8
5,1	2,5	18	5,1	0,3
2,6	2,6			

- Makine Tip 28: Tip 28 için minimum istasyon sayısı 9,05 (~10) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 12 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür. İstasyonlar oluşturulurken yalnızca 2. istasyonda 0,1'lik zaman fazlası çevrim zamanının dışında kalmıştır. Fakat bu süre 6 saniye gibi çok küçük bir zaman olduğu için önceki ve sonraki istasyonlardaki boşluklar da göz önünde bulundurularak dikkate alınmamıştır.

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{48{,}9\ dak}{(12)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}76$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(12x5{,}4dak - 48{,}9dak)}{12\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}24$

Tablo 4.18: Makine Tip 28 Helgeson-Bernie Yöntemi Sonuçları.

Görev No	Sıralanmış PA	t_i (dak)	İstasyon (k)	S_k	Boş Zaman
1	48,9	1,0	1	2,2	3,2
23	43,7	1,2			
11	42,5	5,3	2	5,3	0,1
12a	32,8	5,3	3	5,3	0,1
12b	31,9	4,4	4	4,4	1,0
16	27,5	3,2	5	3,2	2,2
14	24,3	5,0	6	5,0	0,4
15	19,3	5,2	7	5,2	0,2
10b	10,4	4,5	8	4,5	0,9
10a	9,6	3,7	9	3,7	1,7
24	5,9	3,2	10	4,2	1,2
25	2,7	1,0			
2	1,9	1,9	11	4,9	0,5
26	1,7	1,7			
3	1,3	1,3			
22	1,0	1,0	12	1,0	4,4

4.2.2. En Fazla İzleyen Görev Yöntemi ile MHDP Çözülmesi

Dört pilot makine en fazla izleyen görev yöntemi ile çözülmüştür. Bu yöntem öncelik ilişkilerini bozmadan istediğimiz görevi, izleyen görev sayısına göre, istediğimiz istasyona koyabilme esnekliğini sağlar. Bu sebeple gerçek hayat uygulamalarında daha başarılı sonuç verir.

- Makine Tip 53: Tip 53 için minimum istasyon sayısı 12,6 (~13) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 14 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür.

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{68{,}5\ dak}{(14)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}91$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(14x5{,}4dak - 68{,}5dak)}{14\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}09$

Tablo 4.19: Makine Tip 53 En Fazla İzleyen Görev Yöntemi Sonuçları.

Görev No	t_i (dak)	Öncül işler	İzleyen Görev Sayısı	İstasyon (k)	S_k
11	3,9	-	14	1	4,9
1	1,0	-	14		
12	2,1	1, 11	13	2	4,8
2	1,0	1	0		
3	1,2	1	0		
22	0,6	1	0		
10	5,0	12	8	3	5,0
16	4,1	12	7	4	4,1
6	4,5	10	6	5	4,5
5	1,5	10	6	6	5,4
9a	3,9	5,6,7	5		
15	4,8	16	6	7	4,8
17	5,2	15	5	8	5,2
18	5,0	17	4	9	5,0
7	2,5	9a	4	10, 11, 12	4,9
9b	12,1	18	3		
20	5,1	9a, 9b	2	13	5,1
24	2,6	20	1	14	5,1
4	1,1	1	0		
25	1,4	24	0		

- Makine Tip 54: Tip 54 için minimum istasyon sayısı 9,05 (~10) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 12 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür.

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{48{,}9\ dak}{(12)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}76$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(12x5{,}4dak - 48{,}9dak)}{12\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}24$

Tablo 4.20: Makine Tip 54 En Fazla İzleyen Görev Yöntemi Sonuçları.

Görev No	t_i (dak)	Öncül işler	İzleyen Görev Sayısı	İstasyon (k)	S_k
1	1,0	-	13	1	4,7
23	1,3	1	12		
3	1,6	1	0		
4	0,8	1	0		
11	5,1	-	12	2	5,1
12	5,1	11, 23	11	3	5,1
10	1,6	12	8	4	4,5
5	2,9	10	4		
16	5,0	12	5	5	5,0
8	4,3	10	4	6	4,3
15	4,2	16	4	7	4,2
6	1,7	10	4	8	4,2
7	1,4	10	4		
22	1,1	1	0		
9	2,4	5, 6, 7, 8, 15	3	9	2,4
24	3,9	9	2	10	3,9
25	2,5	24	1	11	2,5
26	3,1	25	0	12	3,1

- Makine Tip 34: Tip 34 için minimum istasyon sayısı 14,6 (~15) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 17 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından büyüktür ve uygulanabilir değildir. İlaveten ilk iki istasyonda 6-12 saniye arası çevrim süresini aşan süreler görmezden gelinmiştir.

Hattın etkinliği incelendiğinde 17 istasyon olsa bile; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{79{,}0\ dak}{(17)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}86$

Denge gecikmesi incelendiğinde 17 istasyon olsa bile; $d = \frac{(17x5{,}4dak - 79{,}0dak)}{17\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}14$

Tablo 4.21: Makine Tip 34 En Fazla İzleyen Görev Yöntemi Sonuçları.

Görev No	t_i (dak)	Öncül işler	İzleyen Görev Sayısı	İstasyon (k)	S_k
11	5,5	-	14	1	5,5
1	1,0	-	14	2	5,7
12	4,7	1, 11	13		
16	3,9	12	10	3	3,9
13	5,3	16	9	4	5,3
15	3,8	13	8	5	3,8
10	5,2	12	6	6	5,2
18a	3,5	15	5	7	3,5
18b	4,5	15	5	8	4,5
19	2,5	15	5	9	3,1
5	0,5	10	5		
20	4,9	9	4	10	4,9
9	14,9	5, 15, 18a, 18b, 19	3	11, 12, 13	5,0
24	13,8	20	2	14, 15, 16	4,6
25	2,5	24	1	17	5,1
26	2,6	25	0		

- Makine Tip 28: Tip 28 için minimum istasyon sayısı 9,05 (~10) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 11 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür. İstasyonlar oluşturulurken yalnızca son istasyonda, diğer istasyonlarla karşılaştırıldığında, daha fazla boşluk (%50) kalmıştır. Fakat istasyon sayısı minimum istasyon sayısına çok yakın olduğu için bu durum dikkate alınmamıştır.

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{48{,}9\ dak}{(11)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}82$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(11x5{,}4dak - 48{,}9dak)}{11\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}18$

Tablo 4.22: Makine Tip 28 En Fazla İzleyen Görev Yöntemi Sonuçları.

Görev No	t_i (dak)	Öncül işler	İzleyen Görev Sayısı	İstasyon (k)	S_k
1	1,0	-	12	1	4,5
23	1,2	1	11		
3	1,3	1	0		
22	1,0	1	0		
11	5,3	23	10	2	5,3
12a	5,3	11	8	3	5,3
12b	4,4	11	8	4	4,4
16	3,2	12a, 12b	7	5	5,1
2	1,9	1	0		
14	5,0	16	6	6	5,0
15	5,2	14	5	7	5,2
10a	3,7	15	3	8	3,7
10b	4,5	15	3	9	4,5
24	3,2	10a, 10b	2	10	3,2
25	1,0	24	1	11	2,7
26	1,7	25	0		

4.2.3. COMSOAL ile MHDP Çözülmesi

Dört pilot makine COMSOAL yöntemi ile çözülmüştür. Bu yöntem çevrim zamanını dikkate alarak istediğimiz görevi, kendinden hemen önce gelen görev sayısına göre, istediğimiz istasyona koyabilme esnekliğini sağlar. Bu sebeple gerçek hayat uygulamalarında başarılı sonuç verir. Pilot makineler için bu yöntem uygulanırken, işlemler tablo kalabalığına sebep olacağından her aşama tabloda detaylı verilmemiştir.

- Makine Tip 53: Tip 53 için minimum istasyon sayısı 12,6 (~13) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 16 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür.

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{68{,}5\ dak}{(16)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}79$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(16x5{,}4dak - 68{,}5dak)}{16\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}21$

Tablo 4.23: Makine Tip 53 COMSOAL ile Çözümü.

		1.aşama		2.aşama	
Görev No	t_i (dak)	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k
11	3,9	0	1; 4,9		
1	1,0	0			
2	1,0	0	2; 3,9		
3	1,2	0			
22	0,6	0			
4	1,1	0			
12	2,1	1		0	3; 2,1
10	5,0	1		1	4; 5,0
16	4,1	1		1	5; 4,1
6	4,5	1		1	6; 4,5
5	1,5	1		1	
15	4,8	1		1	
17	5,2	1		1	
18	5,0	1		1	
7	2,5	1		1	
20	5,1	1		1	
24	2,6	1		1	
25	1,4	1		1	
9a	3,9	2		2	
9b	12,1	2		2	

		3.aşama		4.aşama	
Görev No	t_i (dak)	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k
11	3,9				
1	1,0				
2	1,0				
3	1,2				
22	0,6				
4	1,1				
12	2,1				
10	5,0				
16	4,1				
6	4,5				
5	1,5	0	7; 5,4		
9a	3,9	1			
15	4,8	0	8; 4,8		
17	5,2	1	9; 5,2		
18	5,0	1	10; 5,0		
7	2,5	1		0	11; 2,5
9b	12,1	2		1	12, 13, 14; 12,1
20	5,1	1		1	15; 5,1
24	2,6	1		1	16; 4,0
25	1,4	1		1	

- Makine Tip 54: Tip 54 için minimum istasyon sayısı 9,05 (~10) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 12 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür. (Tablo 4.2.3.2)

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{48{,}9\ dak}{(12)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}76$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(12x5{,}4dak - 48{,}9dak)}{12\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}24$

Tablo 4.24: Makine Tip 54 COMSOAL ile Çözümü.

		1.aşama		2.aşama	
Görev No	t_i (dak)	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k
1	1,0	0	1; 4,5		
3	1,6	0			
4	0,8	0			
22	1,1	0			
11	5,1	0	2; 5,1		
23	1,3	1	3; 1,3		
12	5,1	2		0	4; 5,1
16	5,0	1		1	5; 5,0
15	4,2	1		1	6; 4,2
10	1,6	1		1	
6	1,7	1		1	
7	1,4	1		1	
8	4,3	1		1	
5	2,9	1		1	
9	2,4	5		1	
24	3,9	1		1	
25	2,5	1		1	
26	3,1	1		5	

		3.aşama		4.aşama	
Görev No	t_i (dak)	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k
1	1,0				
3	1,6				
4	0,8				
22	1,1				
11	5,1				
23	1,3				
12	5,1				
16	5,0				
15	4,2				
10	1,6	0	7; 4,7		
6	1,7	1			
7	1,4	1			
8	4,3	1	8; 4,3		
5	2,9	1		0	9; 5,3
9	2,4	4		1	
24	3,9	1		1	10; 3,9
25	2,5	1		1	11; 2,5
26	3,1	1		1	12; 3,1

- Makine Tip 34: Tip 34 için minimum istasyon sayısı 14,6 (~15) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 18 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından büyüktür ve uygulanabilir değildir.

Hattın etkinliği incelendiğinde 18 istasyon olsa bile; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{79{,}0\ dak}{(18)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}81$

Denge gecikmesi incelendiğinde 18 istasyon olsa bile; $d = \frac{(18x5{,}4dak - 79{,}0dak)}{18\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}19$

Tablo 4.25: Makine Tip 34 COMSOAL ile Çözümü.

		1.aşama		2.aşama	
Görev No	t_i (dak)	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k
11	5,5	0	1; 5,5		
1	1,0	0	2; 1,0		
12	4,7	2	3; 4,7		
10	5,2	1	4; 5,2		
16	3,9	1	5; 4,5		
5	0,5	1			
13	5,3	1	6; 5,3		
15	3,8	1	7; 3,8		
18a	3,5	1	8; 3,5		
18b	4,5	1	9; 4,5		
19	2,5	1		0	10; 2,5
20	4,9	4		1	11; 4,9
9	14,9	1		1	12, 13, 14; 4,9
24	13,8	1		1	15, 16, 17; 4,6
25	2,5	1		1	18; 5,1
26	2,6	1		1	

- Makine Tip 28: Tip 28 için minimum istasyon sayısı 9,05 (~10) istasyondur. Problem çözümü sonucunda 12 istasyon elde edilmiştir ve bu sayı 16 toplam istasyon sayısından küçüktür.

Hattın etkinliği incelendiğinde; $e = \frac{\sum_{k=1}^{K} S_k}{KxC} = \frac{48{,}9\ dak}{(12)x(5{,}4\ dak)} = 0{,}76$

Denge gecikmesi incelendiğinde; $d = \frac{(12x5{,}4dak - 48{,}9dak)}{12\ x\ 5{,}4dak} = 0{,}24$

Tablo 4.26: Makine Tip 28 COMSOAL ile Çözümü.

		1.aşama		2.aşama	
Görev No	t_i (dak)	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k	Hemen önce gelen görev sayısı	İstasyon (k); S_k
1	1,0	0	1; 5,2		
2	1,9	1			
3	1,3	1			
22	1,0	1			
23	1,2	1	2; 1,2		
11	5,3	1		0	3; 5,3
12a	5,3	1		1	4; 5,3
12b	4,4	1		1	5; 4,4
16	3,2	2		2	6; 3,2
14	5,0	1		1	7; 5,0
15	5,2	1		1	8; 5,2
10a	3,7	1		1	9; 3,7
10b	4,5	1		1	10; 4,5
24	3,2	2		2	11; 3,2
25	1,0	1		1	12; 2,7
26	1,7	1		1	

4.3. MHDP SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Montaj hattı dengeleme problemi 4 farklı pilot makine tipi için çözülmüştür. Pilot makinelerin kendi içerisinde veya aralarında en iyi sonuçların karşılaştırılabilmesi adına kıstas olarak hattın etkinliği, denge gecikmesi ve elde edilen istasyon sayısı alınmıştır.

Tablo 4.3.1'de görüldüğü üzere pilot makine tipleri için en iyi sonucu "En fazla izleyen görev yöntemi" vermiştir. En fazla izleyen görev yönteminin en iyi sonucu vermesinin sebebi; sezgisel tarafının, yani kararın dengeleyen kişiye bırakılmasının, daha güçlü olmasıdır. Hattı dengeleyen kişi işler ve operatörler arasındaki dengeyi, fabrika kültürü ve olgunluk seviyesini de değerlendirerek dengeleme yaparken yöntem haricinde inisiyatif kullanabilir. Bu durum da hattın ilk kez dengelemesi yapılırken neden sezgisel yöntemler kullanılması gerektiğini desteklemektedir.

MHDP çözülürken yalnızca Makine Tip 34 dengelenememiştir. Sebebi; minimum istasyon sayısı 15 olarak hesaplanmasına rağmen, işler bölünemediği ve kendi aralarında

birleştirilemediği için istasyon sayısının beklenenin çok üzerinde çıkmasıdır. Buna çözüm olarak, alt hazırlık olan 11 numaralı görev hat dışına alınıp en fazla izleyen görev yöntemiyle problem tekrar çözülebilir. 11 numaralı görev hat dışına alındığında, istasyon sayısı 16 olacağı için MHDP sonucu kabul edilebilir. Diğer bir yöntem ise hatta yeni istasyon eklemek olabilir. Fakat yeni istasyon eklenmesi demek, diğer makine tiplerinin 17 istasyona göre tekrar dengelenmesi anlamına gelir ve istasyon sayısı artacağı için hat etkinliğinin düşmesine sebep olur.

Tablo 4.27: MHDP Sonuçlarının Karşılaştırılması.

Yöntem	*Kıstas*	***Makine Tip 53***	***Makine Tip 54***	***Makine Tip 34***	***Makine Tip 28***
Helgeson-Bernie Yöntemi	***e***	0,85	0,70	0,81	0,76
	d	0,15	0,30	0,19	0,24
	K	15	13	18	12
En Fazla İzleyen Görev Yöntemi	***e***	0,91	0,76	0,86	0,82
	d	0,09	0,24	0,14	0,18
	K	14	12	17	11
COMSOAL	***e***	0,79	0,76	0,81	0,76
	d	0,21	0,24	0,19	0,24
	K	16	12	18	12

4.4. MONTAJ HATTINA FABRİKA İÇİ KANBAN ENTEGRASYONU

Montaj hatları dengelendikten sonra yapılması gereken en önemli şey; hattın takt zamanı ile lojistiğin birbirine entegre edilmesidir. Ne kadar mükemmel hat tasarımı yapılırsa yapılsın ya da hat ne kadar iyi dengelenirse dengelensin doğru istasyona doğru zamanda doğru parça gelmediğinde tüm akış bozulur. Fabrika içerisinde domino taşı etkisi gibi beklemeler artmaya başlar ve çözüm bulmak adına gereksiz taşımalar başlar. Gereksiz taşımalarla/hareketlerle birlikte de eski sisteme dönüş başlar, hat ve akış tüm etkisini kaybeder.

Anlaşılacağı üzere hattın takt zamanı ile fabrika içi lojistik sistemi birbirlerinin ön koşullarıdır. Fabrika içi lojistik olduğu halde takt zamanı olmazsa; malzemeler ihtiyaç duyulan yerde olmasına rağmen fazla stoğun ve malzeme kaosunun önüne geçilemez. Takt zamanı olduğu halde fabrika içi lojistik kurulmamışsa; hat kenarından başlamak geriye doğru beklemeleri artırır ve sistem geriye doğru hızlıca dönmeye başlar. Bu sebeple öncelikle hat dengelemesi daha sonra ise hattın fabrika içi kanbanla birbirine entegre edilmesi sırası izlenmiştir.

Fabrika içi kanban ikiye ayırılır: Çift kutu kanban ve set sevkiyat kanbanı. İlk aşamada ürün ağaçlarındaki her bir parçanın hangi gruba gireceğine parça bazında karar verilmiştir.

Tablo 4.28: Ürün Ağaçlarında Kanban Tayini.

Malz No.	Açıklama	Mevcut Besleme	Öngörülen Besleme
1SC021000-0017	M6*30 İMBUS	Market	ÇiftKutu
1SC021000-0026	M8*20 İMBUS	Market	ÇiftKutu
1SC021000-0008	M5*20 İMBUS	Market	ÇiftKutu
1SC021000-0041	M10*30 İMBUS	Market	ÇiftKutu
1SA010000-0107	ŞASE+KABİN (TK 500)	10'lu paletlerle	Sıralı
2TU012510-0649	SABİT TABLA(TK 500)	Set Aracı	Sıralı
1PN140000-0005	1/8-6 DİRSEK QSL-1/8-6-100 (130729)	Set Aracı	ÇiftKutu
3SY110100-0282	TK 500 ETİKET TAKIMI	Set Aracı	Set Aracı
1AM019000-0063	SEPERATÖR 512*345*89(TK 500)	Elektrik Hattı	Elektrik Hattı
1AM019000-0064	Y-ABOX 552*360*828(TK 500)	Elektrik Hattı	Elektrik Hattı
1SC081000-0013	M6 PUL	Market	ÇiftKutu
1SC071000-0011	M6 SOMUN	Market	ÇiftKutu
1SC041000-0004	M4*15 YSB	Market	ÇiftKutu
1ET029000-0021	KUMANDA KUTUSU ETİKETİ(TK500)	Set Aracı	Set Aracı
1PN030000-0010	1/8-4 REKOR (S6510-4-1/8)	Set Aracı	Set Aracı
1PN030000-0024	3/8-1/8 REDİKSİYON (DK 502)	Set Aracı	Set Aracı
1PN020000-0040	80X110 PİSTON PNC-AY (TK 505)	Set Aracı	Set Aracı
2TU012510-0648	HAREKETLİ TABLA(TK 500)	10'lu paletlerle	Sıralı
2TU012510-0212	MENGENE DİREĞİ (DK 502)	CNC	CNC

Parçaların kanban tayini yapılırken;

- Parçanın fiziksel büyüklüğüne,
- Parçanın fiziksel ağırlığına,
- Parçanın makineye özel olup olmadığına,
- Parçanın maliyetine/pahasına,
- Günlük kullanım adetine bakılmıştır.

İlk olarak pilot makinelerdeki ürün ağaçlarının kanban tayini yapılmıştır. Malzemelerin mevcut besleme biçimi ve öngörülen besleme biçimindeki oran analiz edilmiştir. Mevcut besleme biçimindeki oralara bakıldığında set aracı ile malzemelerin %58'i beslenmektedir. Bu rakam normalde set sevkiyat aracı için yüksek bir rakamdır. Ürün ağaçları analiz edildikten sonra set kanbanı ile beslenecek malzemelerin oranı %54'e düşmüştür. Yine de yüksek bir oran olmasına rağmen sebebinin makineye özel çok fazla parça olması belirtilmiştir.

Tablo 4.29: Mevcut ve Öngörülen Besleme Biçimlerinin Analizi.

Mevcut Besleme		
Market	91	20%
Set Aracı (10'lu)	261	58%
Tedarikçiden 10'lu paletlerle	5	1%
Diğer	91	20%
Öngörülen Besleme		
Sıralı	10	2%
Set Kanbanı	244	54%
ÇiftKutu Kanban	103	23%
Diğer	91	20%

Çift Kutu Kanban Tayini

Kanban tayinin yapılmasına çift kutu kanbandan başlanmıştır. Normal şartlarda bir ürün ağacının %40-60'ı çift kutu kanban malzemesidir. Fakat uygulama fabrikasındaki makinelerde makineye özel malzeme sayısı %40'ın üzerinde olduğu için öngörülen beslemenin %23'ü çift kutu kanban olarak hesaplanmıştır.

Uygulama fabrikasının günlük üretim talebi 100 makine/gün'dür. Bu rakam ana otomotiv sanayi ya da beyaz eşya sanayi düşünüldüğünde çok düşük bir rakam olduğu için kanban

sayılarının hesaplanmasında daha esnek davranılmıştır. Ana otomotiv sanayi ya da beyaz eşya sektöründe kutuların taşıma, bekleme, toplanma süreleri ayrı ayrı dakika bazında ifade edilirken bu uygulamada gün bazında ifade edilecektir. Aynı şekilde, kutu lot miktarları günlük üretim adetlerinin %10'unu geçmezken, uygulamada 5 katına kadar esnek davranılmıştır.

Kanban kartı sayısı (4.1) formülündeki gibi hesaplanmaktadır. Formüldeki D bir ürün için günlük/saatlik taleptir ve uygulamadaki karşılığı 100 makine/gün 'dür. *p* parça başına işlem süresini ifade etmektedir; uygulamada çevrim zamanı (5,4 dk.) dikkate alınacaktır. *w* kanban kartlarının bekleme/toplanma/taşınma süresini ifade eder; uygulamada bu sürelerin tamamı için tek bir süre verilmiştir. Çift kutu kanbandan sorumlu olan örümcek adamın hattın kenarındaki rafları 2 günde bir dolaşması yeterli olacağından *w* 2 gün=1080 dk. olarak alınmıştır. α değeri sistemdeki kayıpları gösterir ve sistem kanbana ilk kez adapte edileceği için yönetim ile 0,25 olarak belirlenmiştir. α değeri süreç işledikçe kendiliğinden ihtiyaç azalacak ve düşürülecektir. Ana otomotiv/beyaz eşya sektöründe çok çeşitli kutu büyüklükleri kullanılmasına rağmen kanban uygulamasına yeni geçen fabrikalar bu çeşitliliği yönetemez. Bu sebeple 2 en fazla 3 çeşit kutu tipi kullanılır. Uygulamada iki tip kutu belirlenmiştir ve C kutu kapasitesi 500 adet olarak sabitlenmiştir.

$$Kanban\ kart\ sayısı = \frac{Gerekli\ Stok}{Taşıyıcı\ Kapasitesi} = \frac{D\ x\ (p + w)\ x\ (1 + \alpha)}{C} \qquad (4.1)$$

Kanban kart sayısı formülü normalde her iki sürecin birbirine bağlanması için kullanılır. Uygulamada ise bu iki sürece daha geniş bakılmıştır ve ambardan hatta hattan ambara olmak üzere temel iki süreç belirlenmiştir.

$$Kanban\ kart\ sayısı = \frac{D\ x\ (p + w)\ x\ (1 + \alpha)}{C} = \frac{100\ x\ (5{,}4 + 1080)\ x\ (1 + 0{,}25)}{500}$$
$$= 271{,}35 \cong 272\ kart$$

Her bir kart bir tip malzeme olarak düşünüldüğünde ne kadar rafa ihtiyaç olduğu hesaplanmıştır. Uygulama fabrikasında imal edilen raflar 5 katlı, her kat 6 kutu, toplamda 30 kutu kapasiteye sahiptir. Bu durumda kanban rafı sayısı 10 raf olarak hesaplanmıştır. Fakat istasyon arası mesafelerin 4 metre ve toplamda 16 istasyon olduğu düşünüldüğünde uygulamada bu raf sayısı, ilk aşama için istasyon başına 1 raf olacak şekilde düzenlenebilir. Operatörler ve fabrikadaki

diğer birimler hat çalışma düzeni ve kanban sistemine alıştıktan sonra ideal kanban kart sayısı ve raf sayısı uygulanabilir.

$$Kanban\ rafı\ sayısı = \frac{Toplam\ Kart\ Sayısı}{Raf\ Kutu\ Kapasitesi} = \frac{272}{30\ kutu/raf} = 9{,}06 \cong 10\ raf$$

Set Sevkiyat Kanban Tayini

Set sevkiyat kanbanı temelde çift kutu kanban kutularına sığmayan fakat bir kişinin rahatlıkla kardırabileceği fiziksel büyüklükteki parçaları kapsar. Uygulamada ise bu kıstaslara parçanın makineye özel olup olmaması da eklenmiştir. Eğer yalnızca parçanın fiziksel büyüklüğüne göre değerlendirilseydi set kanbanının %20-30'u çift kutu kanbana geçebilirdi. Fakat bu durumda tekli adetlerde kullanılan makineye özel parçaların bitmesi haftalar alır; bu durum da hat kenarında stok şişmesine sebep olabilirdi.

Tablo 4.30: Set Sevkiyat Listesi Örneği.

MAKİNE TİP 53

Revizyon No : R00
Revizyon Tarih: 30.09.2019

İSTASYON 12

İSTASYON 12

	Parça No	Parça Adı	Adet	Var/Yok	Ambar Yeri	Parça Fotoğrafı
1	3SY110100-0140	TK 503 ETİKET TAKIMI	1			
2	1PL050000-0032	EK.05.1005 YAPIŞKAN KROŞE (PANO ANAHTARI TUTUCU)	1			
3	1ET059000-0001	BARKOD ETK. 100*30 (ECO TERMAL SABİT YAPIŞKANLI)	1			
4	1PN020000-0040	80X110 PİSTON PNC-AY	2			
5	1PN020000-0109	32X60 PİSTON DMC-A	1			
6	1ET089000-0060	KULLANIM KILAVUZU	1			
7	1SA050000-0163	AYAK PROFİLİ DESTEK RAFI	1			
8	1SA050000-0162	AYAK PROFİLİ	4			

Mevcut besleme biçiminde set sevkiyat kanbanının uygulanış biçimi hat düzenine uygun değildir. Çünkü setler 10'lu 20'li setler şeklinde toplanmaktadır ve aslında setin içerisine girmemesi gereken ve sıralı olarak tekli beslenmesi gereken malzemeler set adı altında paletlerle üretim alanına getirilmektedir.

Öngörülen beslemede çift kutu kanban malzemeleri ürün ağacında karar verildikten sonra set sevkiyat kanban malzemeleri tayin edilmeye başlanmıştır. Malzemeler set sevkiyat olarak atandıktan sonra dengelenmiş hat düzeninde istasyonlara özel set sevkiyat listeleri oluşturulmuştur. Bu listelerde Tablo 4.4.3 'te görüldüğü üzere parçanın kodu, adı, kullanım miktarı yani set arabasındaki adeti, ambarda olup olmadığı yani set arabasına konulup konulmadığı, ambar yeri ve parça fotoğrafı bulunmaktadır. Bu bilgiler daha fazla genişletilebilir ya da daraltılabilir. Fakat yeni başlayan bir operatörün bile sistemi kolayca anlayıp, adapte olabilmesi adına bu bilgilerin olması daha garantidir.

Tekli (Sıralı) Transferlerin Tayini

Mevcut durumda fabrika, kutuya ve set arabasına koyamadığı fiziksel olarak ağır ve büyük malzemeleri 10'lu 20'li paletlerle üretim alanına getirmektedir. Bu durum atölye tipi üretime en güzel örneklerdendir. Paletlerin/setin aynı makine için 10-20 makinelik aynı anda gelmesi hem üretim alanında karmaşaya sebep olmaktadır hem de karışık tip üretmeyi zorlaştırmaktadır.

İdeal bir montaj hattı sisteminde şase, kapı, kapak gibi hacimli, ağır, aynı zamanda ürüne özel malzemeler takt zamanı ve üretim planına göre sıralı, tekli olarak getirilmelidir. Bu malzemeler ambar ya da tedarikçiden gelebileceği gibi dahili üretimdeki alt montajlı yarı mamuller de olabilir. Öngörülen besleme biçiminde; bir tedarikçi firmadan gelen malzemeler ya da dahili üretimdeki alt montajlı yarı mamuller 10 adet olarak belirlenmiş olup ürün ağacının %2'sini oluşturmaktadır.

Tekli, sıralı transferine karar verilen malzemelerin hatta beslenmesi malzemeye göre değişmekle birlikte ya tekli paletlerle hat kenarına ya da karakuri sistemlerinden biri olan Makaralı atıcı sistemlerle (shooter) sıralı olarak getirilmektedir. Bu malzemeler ağır olduğundan yalın hat tasarımını destekleyen manipülatör/ ergokol gibi sistemler de entegre edilerek ergonomik açıdan operatörler desteklenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması Türkiye'deki birçok yerli firma başta olmak üzere bu firmalardan makine sanayisinde faaliyet gösteren bir fabrika özelinde ihtiyaca yönelik yapılmıştır. İmalat sanayisinin TÜS'ni kendi sistemlerine ve fabrika kültürlerine hangi sırayla nasıl uygulayacakları ile alakalı çalışılmıştır.

TÜS'nden de önce ilk olarak Fordist üretim sisteminin gerekliliği olan hat mantığı fabrikada mevcut olmadığı için yalın bir hat tasarlanmıştır ve kurulmuştur. Daha sonra bu çalışmada hattın dengelenmesi için Helgeson-Bernie, en fazla izleyen görev ve COMSOAL yöntemi olmak üzere üç farklı sezgisel yöntem kullanılmıştır. Sezgisel yöntemlerin kullanılmasının başlıca amacı; fabrikaya ilk kez hat kurulacağı ve ilk kez dengeleme olacağı için karar verme yetkisinin daha fazla elde tutulmak istenmesidir.

Tasarlanan montaj hattı, üretilecek modelleri çoklu olarak, yani 5'li-3'lü gibi, karışık modelli üretim yapacağı için çoklu montaj hattı dengeleme problemleri incelenmiştir. Fakat makineler analiz edildiğinde ortak işler olmasına rağmen, ortak işlerin zamanları aynı olmadığı için her makine kendi özelinde değerlendirilip dengelenmiştir.

MHD problemleri için seçme kıstası olarak hat etkinliği (e) ve denge gecikmesi (d) seçilmiştir. Dengelemesi ayrı ayrı yapılan 4 pilot makine için (e) ve (d) değerleri hesaplandığında en iyi çözümü en fazla izleyen görev yönteminin verdiği görülmüştür. (e) ve (d) değerlerinin haricinde problem sonucunun verdiği toplam istasyon sayısının da hattaki toplam istasyon sayısı olan 16 istasyonu aşıp aşmamasına da ayrıca bakılmıştır.

Tablo 5.1 'de görüldüğü üzere Makine Tip 53, 54 ve 28'de toplam istasyon sayısı aşılmamıştır. Ancak Makine Tip 34'de 17 istasyon elde edilmiştir. Bunun için de çözüm olarak analiz edilen işlerdeki hazırlıklardan birini hat dışına verilmesi kararlaştırılmıştır.

Hat etkinliği incelendiğinde %76 ile Makine Tip 54 en düşük etkinliğe sahipken, %91 ile Makine Tip 53 en yüksek etkinliğe sahiptir.

Tablo 5.1: MHDP için En İyi Çözümler.

Yöntem	*Kıstas*	***Makine Tip 53***	***Makine Tip 54***	***Makine Tip 34***	***Makine Tip 28***
En Fazla İzleyen Görev Yöntemi	***e***	0,91	0,76	0,86	0,82
	d	0,09	0,24	0,14	0,18
	K	14	12	17	11

Tez kapsamındaki, gerçek hayat uygulaması ile uygulama öncesindeki ortalama günlük üretim makine bazında değişmektedir. Makine Tip 54, 34 ve 28, 10 adet makineyi 3'er kişilik ekiplerle 3,5 günde montajladığı için 2,9 makine/gün; Makine Tip 53 ise 3'er kişilik iki ayrı ekiple 20 adet makineyi 3,5 günde montajladığı için 5,7 makine/gün üretilmektedir.

Tablo 5.2: Uygulama Sonrası Verimlilik Hesaplamaları.

	Günlük Verimlilik			
	Makine Tip 53	***Makine Tip 54***	***Makine Tip 34***	***Makine Tip 28***
Uygulama Öncesi	5,7 makine/gün	2,9 makine/gün	2,9 makine/gün	2,9 makine/gün
Uygulama Sonrası	Makinelerin **%43**'ü	Makinelerin %24'ü	Makinelerin %20'si	Makinelerin %13'ü
	0,91 hat etkinliği ile	**0,76** hat etkinliği ile	**0,86** hat etkinliği ile	**0,82** hat etkinliği ile
	39,1 makine/gün	18,2 makine/gün	17,2 makine/gün	10,7 makine/gün
Verimlilik Artışı (*Hat etkinliğine bağlı***)**	586%	528%	493%	269%

Uygulama sonrası hat verimliliğini hesaplamak için her bir makine tipinin, dengeleme sonucunda elde edilen hat etkinliği kullanılmıştır. Hat etkinliğinin makine bazında kullanılabilmesi için makine taleplerinin kendi içlerinde yüzde olarak dağılımına bakılmıştır. 100 makinelik müşteri talebinin makine tiplerine göre dağılımı; Makine Tip 53 %43, Makine Tip 54 %24, Makine Tip 34 %20 ve Makine Tip 28 %13'tür. Bunun anlamı günde üretimi hedeflenen 100 makinenin 43 adeti Makine Tip 53, 24 adeti Makine Tip 54, 20 adeti Makine Tip 34 ve 13 adeti Makine Tip 28 olmalıdır. Elde edilen en iyi çözümlerdeki hat etkinliği dikkate alınarak hesaplanan günlük üretimler; 39,1 adeti Makine Tip 53, 18,2 adeti Makine Tip 54, 17,2 adeti Makine Tip 34 ve 10,7 adeti Makine Tip 28 olacak şekilde hesaplanmıştır. Sonuç olarak Makine Tip 53 için %586, Makine Tip 54 için %528, Makine Tip 34 için %493 ve Makine Tip 28 için %269 verimlilik artışı elde edilmiştir.

Elde edilen verimlilik artışıyla birlikte kanban sisteminin hatta entegre edilmesi de malzeme lojistiğini standart hale getirmiştir ve ürün çeşitliliğine olan esnekliği artırmıştır. Üretilecek ürünlerin gün içerisinde müşteri talebine göre değişmesi uygulama öncesi en az tip bazında 3-4 gün kaybettirirken; kanbanın hatta bağlanmasıyla maksimum yarım gün içerisinde makine için malzemeler hazır hale getirilebilir hale gelmiştir ve bu sayede müşteri temin süreleri rekabet avantajı sağlayacak şekilde kısaltılmıştır.

Uygulamanın, rakamlarla ifade edilememesine rağmen, faydasının aşikâr olduğu noktalardan biri de operatörlere sağladığı ergonomik konfordur. Uygulama öncesinde bel ve boyun fıtığı gibi ciddi rahatsızlıkların sık meydana gelmesine sebep olan durumlar, yalın üretimi destekleyici sistemler sayesinde yüksek oranda ortadan kaldırılmıştır.

KAYNAKLAR

Ahmad, N., Jamal, H. & Ali, S. M., 2018. Improvement of overall equipment efficiency of ring frame through total productive maintenance: a textile case. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 94(1-4), p. 239–256.

AIDT, 2006. *Just-In-Time Manufacturing.* Alabama: AIDT.

ANONİM, 2014. *Tesis Planlama.* [Çevrimiçi] Available at: https://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=67&USER=4049

Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, . M. & Pilati, F., 2016. *Including Material Exposure and Part Attributes in the Manual Assembly Line Balancing Problem.* Troyes, Elsevier Yayınları.

Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, . M. & Pilati, F., 2017. Multi-objective assembly line balancing considering component picking and ergonomic risk. *Computers & Industrial Engineering,* Cilt CXII, pp. 348-367.

Bukchin, Y. & Raviv, T., 2018. Constraint Programming for Solving Various Assembly Line Balancing Problems. *Omega,* Cilt LXXVIII, pp. 57-68.

Cengiz, H., 2018. *Kaizen Çalışmalarında "Uygulamacı" Firma* [Röportaj] (20 Ocak 2018).

Cengiz, H., 2018. *Verimlilik Savaşları.* 3. dü. İstanbul: Optimist Yayınları.

Chen, J. C., Chenb, Y.-Y., Chen, T.-L. & Kuo, Y.-H., 2019. Applying two-phase adaptive genetic algorithm to solve multi-model assembly line balancing problems in TFT–LCD module process. *Journal of Manufacturing Systems,* Cilt LII, pp. 86-99.

Chen, Y.-Y., Cheng, C.-Y. & Lia, J.-Y., 2018. Resource-constrained assembly line balancing problems with multi-manned workstations. *Journal of Manufacturing Systems,* Cilt XLVIII, pp. 107-119.

Che, Z. H., 2016. A multi-objective optimization algorithm for solving the supplier selection problem with assembly sequence planning and assembly line balancing. *Computers & Industrial Engineering,* Cilt CV, pp. 247-259.

Chiarini, A., 2013. *Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office.* Bologna: Springer Yayınları.

Cole, G. A., 1993. *Management: Theory and Practice.* 4. dü. London: DP Yayınları.

Çelik, F., 2011. *lean.org.tr.* [Çevrimiçi] Available at: https://lean.org.tr/kaizen-metodolojisi-ve-isdemirde-kaizen-yaklasimi/ [Erişildi: 25 10 2019].

Çil, Z. A., Mete, S., Özceylan, E. & Ağpak, K., 2017. A Beam Search Approach for Solving Type II Robotic Parallel Assembly Line Balancing Problem. *Applied Soft Computing,* Cilt LXI, pp. 129-138.

Çınar, M., 2010. *ÜRETİM SİSTEMLERİ.* [Çevrimiçi] Available at: http://enm.blogcu.com/uretim-sistemleri-ve-siniflandirilmalari/9077455 [Erişildi: 27 10 2010].

Das, B., Venkatadri, U. & Pandey, P., 2014. Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 71(1-4), pp. 307-323.

Dennis, P., 2007. *Lean Production Simplified.* 2. dü. New York: Productivity Yayınları.

Elbert, M., 2013. *Lean Production for the Small Company.* 1. dü. New York: CRC Yayınları.

Ersöz, T., Düğenci, M., Ünver, M. & Eyiol, B., 2015. Demir Çelik Sektörüne Genel Bir Bakış ve Beş Milyon Ton Üstü Demir Çelik İhracatı Yapan Ülkelerin Kümeleme Analizi ile İncelenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 4(2), pp. 75-90.

Evans, J. V., 1871. *Total Quality Management.* basım yeri bilinmiyor:South-Western College Pub..

Fleszar, K., 2016. A New MILP Model for the Accessibility Windows Assembly Line Balancing Problem Level 2 (AWALBP-L2). *European Journal of Operational Research,* Cilt CCLIX, pp. 169-174.

Gaikwad, L. M., Sunnapwar, V. K., Teli, S. N. & Parab, A. B., 2017. Application of DMAIC and SPC to Improve Operational Performance of Manufacturing Industry: A Case Study. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C,* 100(1), p. 229–238.

Grzechca, W., 2011. *Assembly Line – Theory and Practice.* 1. dü. Rijeka: InTech Yayınları.

Harry, M. J. ve diğerleri, 2010. *Practitioner's Guide to Statistics and Lean Six Sigma for Process Improvements.* 1. dü. New Jersey: John Wiley & Sons Yayınları.

İhracat Genel Müdürlüğü, Otomotiv, Makina, Elektrik ve Elektronik Ürünler Daire Başkanlığı, 2016. *Takım Tezgahları Sektörü,* Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı.

Imai, M., 1997. *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management.* 1. dü. New York: McGraw-Hill Companies Yayınları.

İstanbul Sanayi Odası, 32, 33 ve 34. Grup Meslek Komitesi, 2014. *Elektrikli Teçhizat İmalat Sanayi,* İstanbul: İstanbul Sanayi Odası Yayınları.

Jackson, T. L. & Jones, K. R., 1996. %1 içinde*Implementing A Lean Management System.* Portland: Productivity Yayınları, pp. 4-35.

James, J., Ikuma, L. H., Nahmens, I. & Aghazadeh, F., 2014. The impact of Kaizen on safety in modular home manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 70(1-4), pp. 725-734.

Kavrakoğlu, İ., 1998. *KALİTE GÜVENCESİ VE ISO 9000.* İstanbul: KalDer Yayınları.

Kawase, T., 1995. *Solving Industrial Engineering Problems.* Tokyo: Nikkan Kogyo Shinbun.

Keskin, F., 2012. *Tekstil Ürünleri İmalatı,* Ankara: Türkiye Kalkınma ve Yatırım Bankası A.Ş..

Kucukkoc, İ. & Zhang, D. Z., 2016. Mixed-model Parallel Two-sided Assembly Line Balancing Problem: A Flexible Agent-based Ant Colony Optimization Approach. *Computers & Industrial Engineering,* Cilt XCVII, pp. 58-72.

Kumar, S., Kumar Dhingra, A. & Singh, B., 2018. Process improvement through Lean-Kaizen using value stream map: a case study in India. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 96(5-8), p. 2687–2698.

Lean Enterprise Corporation, 2008. *Lean Lexicon.* 5. dü. Cambridge: Lean Enterprise Institute Yayınları.

Liker, J. K., 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer.* 1. dü. New York: McGraw Hill Education Yayınları.

Liker, J. K., 2004. Toyota Dünyanın En İyi İmalatçısı Haline Nasıl Geldi?. Z. Dicleli, 1. dü. *Toyota Tarzı.* İstanbul: Optimist Yayınları, pp. 46-50.

Liu, X., Lei, M., Zeng, Q. & Li, A., 2019. *Integrated Optimization of Mixed-Model Assembly Line Balancing and Buffer Allocation Based on Operation Time Complexity.* Ljubljana, Elsevier Yayınları.

Lolli, F., Balugani, E., Gamberini, R. & Rimi, B., 2018. *A human-machine learning curve for stochastic assembly line balancing problems.* Bergamo, Elsevier Yayınları.

Lolli, F., Balugani, E., Gamberini, R. & Rimini, B., 2017. *Stochastic assembly line balancing with learning effects.* Toulouse, Elsevier Yayınları.

Moussavia , S. E., Zareb, M., Mahdjoubb, M. & Grund, O., 2019. Balancing high operator's workload through a new job rotation approach: Application to an automotive assembly line. *International Journal of Industrial Ergonomics,* Cilt LXXI, pp. 136-144.

Mura, M. D. & Dini, G., 2017. A multi-objective software tool for manual assembly line balancing using a genetic algorithm. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology,* Cilt XIX, pp. 72-83.

Nicholas, J., 2018. *Lean Production for Competitive Advantage.* 2. dü. New York: CRC Yayınları.

Nicholas, J., 2018. *Lean Production for Competitive Advantage.* 2. dü. New York: CRC Press.

Nicholas, J. & Soni, A., 2005. *The Portal to Lean Production: Principles and Practices for Doing More with Less.* 1. dü. New York: Auerbach Yayınları.

Nourmohammadi, A., Eskandari, H., Fathi, M. & Bourani, M. R., 2018. *An integrated model for cost-oriented assembly line balancing and parts feeding with supermarkets.* Stockholm, Elsevier Yayınları.

Nourmohammadi, A., Fathi, M. & Ng, A. H. G., 2019. *Choosing efficient meta-heuristics to solve the assembly line balancing.* Ljubljana, Elsevier Yayınları.

Ohno, T., 1988. *Toyota Production System.* 1. dü. Portland: Productivity Yayınları.

Owens, R. G., 1981. *Organizational Behavior in Education.* 2. dü. London: Prentice/Hall International Ltd. Yayınları.

Rekiek, B. & Delchambre, A., 2006. *Assembly Line Design: The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms.* 1. dü. Berlin: Springer London Ltd. Yayınları.

Rother, M. & Shook, J., 1999. *Learning to See: value stream mapping to add value and eliminate muda.* 1. dü. New York: The Lean Enterprice Institute Yayınları.

Santos, J., Wysk, R. & Torre, J. M., 2006. *Improving Production with Lean Thinking.* 1. dü. New Jersey: John Wiley & Sons Yayınları.

Savas, M., 2018. *Lean Enterprise Institute.* [Çevrimiçi] Available at: https://www.lean.org/LeanPost/Posting.cfm?LeanPostId=874 [Erişildi: 5 Nisan 2018].

Sekmen, F., 2012. *Kimyasal Madde ve Ürünlerin İmalatı,* Ankara: Türkiye Kalkınma ve Yatırım Bankası A.Ş..

Sheldon, D. H., 2005. *Class A ERP Implementation: Integrating Lean and Six Sigma.* 1. dü. Florida: J. Ross Yayınları.

Shingo, S., 1985. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System.* 1. dü. Cambridge: Productivity Yayınları.

Shingo, S., 1989. *A Study of the Toyota Production System From Industrial Engineering Viewpoint.* 1. dü. Cambridge: Productivity Yayınları.

Suzaki, K., 1987. *The New Manufacturing Challenge.* 1. dü. New York: The Free Yayınları.

Şahin, M. & Kellegöz, T., 2019. A new mixed-integer linear programming formulation and particle swarm optimization based hybrid heuristic for the problem of resource investment and balancing of the assembly line with multi-manned workstations. *Computers & Industrial Engineering,* Cilt CXXXIII, pp. 107-120.

Thi Lam, N., Toi, L. M., Thanh Tuyen, V. T. & Hien, D. N., 2016. *Lean line balancing for an electronics assembly line.* Vietnam, Elsevier Yayınları.

Thomopoulos, N. T., 2014. *Assembly Line Planning and Control.* Basel: Springer International Yayınları.

Tortop , N., 1983. *Yönetim Bilimleri.* Ankara: "S" yayınları.

VETERİNER HİZMETLERİ, B. S. G. V. Y. K., 2010. [Çevrimiçi] Available at: http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100613-12.htm [Erişildi: 13 6 2010].

Womack, J. P. & Jones, D. T., 2003. *Lean Thinking.* 1. dü. New York: The Free Yayınları.

Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D., 1990. *The Machine That Changed The World.* 1. dü. New York: Macmillian Publishing Company Yayınları.

Zhang , S. & Xia, X., 2010. Optimal control of operation efficiency of belt conveyor systems. *Applied Energy,* Cilt LXXXVII, pp. 1929-1937.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nermin Kesit
Doğum Yeri	Kadıköy
Doğum Tarihi	11.11.1994
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0 537 225 3160
E-Posta Adresi	nrmnkst12@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Gazi Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Endüstri Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği

Çalışma Deneyimi	
Unvan	Kaizen Uygulama Uzmanı
Kurum Adı	Erasys Mühendislik v Danışmanlık Ltd. Şti.
Başlangıç Tarihi	2017-Devam ediyor.